KLEINE ENZYKLOPÄDIE

Natur

KLEINE ENZYKLOPÄDIE

Natur

KLEINE ENZYKLOPÄDIE

Natur

über 500 Strichzeichnungen, 80 Fototafeln,

24 Farbtafeln, eine Weltkarte

1963

VEB VERLAG ENZYKLOPÄDIE LEIPZIG

HERAUSGEBER

Walter Gellert, Leipzig
Dr. Herbert Küstner, Markkleeberg
Dr. Werner Seidel, Leipzig
Prof. Dr. Konrad Senglaub, Berlin



Hauptredaktion Natur/Technik: Leitung Dr. Gerhard Niese
Verantwortlicher Redakteur: Dr. Werner Seidel
Bildredakteure: Ingeborg Claus, Christa Tschoepe
Technischer Redakteur: Helga Röseler
Hersteller: Annelies Hecker
Redaktionsschluß: 20. 7. 1962
14., (vollständig) überarbeitete Auflage, 1126.—1225. Tausend
Schutzumschlag- und Einbandentwurf: Rudolf Uhlisch, Herbert Wiederroth
Satz: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)
Druck und Einband: VEB Offizin Andersen Nexö, Leipzig (III/18/38)
Verlagslizenz: 434 130/36/63 — MdI der DDR 2038/7/62
ES 18 A — EVP 12,—

Zum Geleit

Von Prof. Dr. *Robert Havemann*

Wir leben in einer historischen Epoche, in der über unser ganzes zukünftiges Schicksal entschieden wird. Die Menschheit schickt sich an, die volle, uneingeschränkte Herrschaft über die Kräfte der Natur zu erobern. Es ist eine stürmische Epoche. Die Naturwissenschaft erlebt einen Aufstieg von unvergleichlichem Ausmaß. Ihre Schwester, die Technik, verwandelt innerhalb weniger Jahrzehnte das Antlitz der Erde. Noch leben Hunderte Millionen in Armut und Elend. Aber schon sind alle Mittel in unseren Händen, diese Geißeln der Menschheit für immer zu verbannen. Eine stürmische Vermehrung der Menschen hat begonnen. Man muß damit rechnen, daß sich die Bevölkerung der Erde bis zum Jahre 2000 mehr als verdoppeln wird. Es wird dann 5 bis 6 Milliarden Menschen geben. Man erwartet, daß sich diese Zahl im Laufe des 21. und 22. Jahrhunderts weiter erhöhen wird, bis sich schließlich eine Stabilisierung bei einer Einwohnerzahl dieses Planeten von 20 bis 30 Milliarden ergeben wird, also etwa das 10fache der gegenwärtigen Bevölkerung. Unter welchen phantastischen Bedingungen diese Menschen dann leben werden, übersteigt alle Kraft wissenschaftlicher Voraussicht. Eins ist aber sicher – **wenn** sie leben werden, dann werden die Bedingungen ihres Lebens sich von den unsrigen fast ebenso unterscheiden wie unsere gegenwärtigen Lebensverhältnisse von denen in prähistorischen Zeiten.

Die Perspektive in diese phantastische Zukunft verdanken wir den Erfolgen der Naturwissenschaft. Wir verdanken ihnen aber auch, daß vor dem Weg in diese paradiesische Welt ein schicksalsschweres „Wenn..." steht. Wir können es heute schon als einen Erfolg der weltweiten Aufklärung durch die moderne Friedensbewegung ansehen, daß die Menschen in allen Erdteilen sich wenigstens der Größe der Gefahr bewußt geworden sind, in der wir uns befinden. Wenn alle jetzt vorhandenen Vorräte an Atom- und Wasserstoffbomben auch nur einigermaßen systematisch zur Explosion gebracht würden, so würde das die Auslöschung aller Zentren der modernen Zivilisation bedeuten, ja vielleicht, als spätere Folge der schleichenden Wirkung des freigesetzten atomaren Giftes, die Vernichtung alles höher organisierten Lebens überhaupt. Die Mittel zur Vernichtung, über die wir heute verfügen, übersteigen in ihrer Wirkung fast unsere Vorstellungskraft. Moderne Wasserstoffbomben haben eine Sprengkraft, die vielen Millionen Tonnen gewöhnlicher Sprengstoffe äquivalent ist. Es gibt H-Bomben mit einer Sprengkraft von 100 Millionen Tonnen Trinitrotoluol, einem der gebräuchlichsten Sprengstoffe des zweiten Weltkrieges. 100 Megatonnen TNT, wie die technische Bezeichnung lautet, das ist in einer Bombe das Vielfache der Sprengstoffmenge, die von allen kriegführenden Staaten zusammen während des ganzen zweiten Weltkrieges in Form von Bomben und Granaten zur Explosion gebracht wurde! Und von dieser Art Bomben gibt es heute bereits Zehntausende! Wenn wir die komplizierten und widerspruchsvollen Vorgänge in der Arena der Weltpolitik unserer Tage betrachten und einschätzen, dann sollten wir immer diese schrecklichen Zahlen vor Augen haben!

Mit nie dagewesener Deutlichkeit wird uns heute ins Bewußtsein gebracht, daß der Gebrauch, der von den Erkenntnissen der Wissenschaft gemacht wird, von den gesellschaftlichen Verhältnissen abhängt, unter denen wir leben. Die Widersprüche zwischen den wissenschaftlichen

Möglichkeiten und den sozialen und ökonomischen Bedingungen sind heute bis an Grenzen gelangt, wo Vernunft in Wahnsinn umschlägt. Ein großer Teil der ökonomischen Potenzen der hochindustrialisierten Länder wird in einem sinnlosen Rüstungswettlauf vergeudet. Seine Sinnlosigkeit ist gerade deshalb für alle Beteiligten so eklatant, weil jeder weiß, daß die Ingangsetzung der riesigen Zerstörungsmaschinerie keiner Seite den Sieg verspricht, sondern nur alle mit dem Untergang bedroht. Aber trotzdem sind bislang alle Anstrengungen, zu einer internationalen Abrüstungsvereinbarung zu gelangen, ohne entscheidenden Erfolg geblieben.

Wenn die Milliardenbeträge, die heute in ungeheueren Rüstungen verschwendet werden, jenen Ländern zufließen würden, deren Industrie und Landwirtschaft noch rückständig und unentwickelt ist, Ländern, in denen mehr als die Hälfte der Menschheit in Not und Elend lebt, dann würde durch die gewaltige Vermehrung der Produktivkraft der ganzen Menschheit unser aller Wohlstand in enormem Tempo anwachsen. Auch die schrecklichen Erscheinungen des kulturellen Verfalls, die aus den antihumanistischen Grundzügen hervorgehen, die der Kapitalismus in seiner Endphase der Weltpolitik aufprägt, können nur gebannt werden, wenn durch einen Wandel in den Grundlinien der Weltpolitik der Rüstungswettlauf beendet und eine fortschreitende allgemeine Abrüstung verwirklicht ist. Dies wird aber nur möglich sein, wenn alle Regierungen sich ohne Vorbehalt zu dem von der Sowjetunion verkündeten Prinzip der friedlichen Koexistenz bekennen und auf das Mittel des Krieges zur Lösung internationaler Probleme grundsätzlich verzichten.

Der Aufbau des Sozialismus stellt nicht nur eine Umwälzung der gesellschaftlichen Verhältnisse und der politisch-ökonomischen Struktur dar. Er ist zugleich ein Prozeß, der eine enge Verbindung zwischen naturwissenschaftlicher und technischer Forschung und industrieller und landwirtschaftlicher Produktion erfordert. Es handelt sich nicht nur darum, den industriellen Entwicklungsstand in vielen noch unentwickelten Gebieten schnell auf die Höhe der modernen Entwicklung zu bringen, sondern zugleich ergibt sich, daß die Ziele des ökonomischen Aufbaus weiter in die Zukunft gerichtet und auch von grundsätzlich anderer Art sind, wie in den höchstentwickelten Industriestaaten des Kapitalismus. Mit dem Aufbau der sozialistischen Ökonomie ist eine allgemeine Kulturrevolution verbunden, die das Verhältnis der Menschen untereinander und zu den geistigen Grundlagen unserer Existenz von Grund auf wandelt. Sozialismus bedeutet nicht nur Aufhebung der Ausbeutung des Menschen durch den Menschen, sondern auch die Befreiung aus der Knechtschaft widersinniger und kulturfeindlicher ökonomischer Bedürfnisse, in die der Kapitalismus aus purer Profitsucht alle verstrickt. Im Sozialismus werden die schöpferischen Kräfte aller Menschen zu freier Entfaltung gebracht. Wissenschaft, Philosophie, Literatur und Kunst bleiben nicht mehr einer dünnen privilegierten Schicht vorbehalten, sondern werden Sache des ganzen Volkes.

Lernen, lernen und nochmals lernen steht nicht nur als gesellschaftliche Forderung vor uns allen, sondern entwickelt sich als ursprüngliches Bedürfnis in allen Volksschichten. Immer mehr Menschen fragen schon gar nicht mehr nur nach dem praktischen Wert des erworbenen Wissens. In ihren Köpfen ist ein brennendes Interesse an der Sache selbst erwacht. Die sieben Siegel, mit denen die Werke des Geistes der Menschheit der Mehrheit der Menschen verschlossen waren, wurden gelöst. Die Millionen, die bisher nur dazu verurteilt waren, die Werte der Kultur in harter Arbeit zu schaffen, bemächtigen sich nun auch ihrer geistigen Grundlagen selbst.

Dies ist auch der Sinn unserer Kleinen Enzyklopädie: Zur Befriedigung und zugleich zur weiteren Belebung dieses Wissensdurstes in allen Volksschichten beizutragen, so daß das Volk sich mit den geistigen Kräften wappnen kann, die es zur Lösung seiner historischen Aufgaben braucht.

Berlin, den 7. Januar 1963

Vorwort

Der Band „Natur" in der Reihe „Kleine Enzyklopädie" will dem wissensdurstigen Laien und dem Lernenden eine rasche Orientierung über das Grundwissen der verschiedenen Teilgebiete der Naturwissenschaften ermöglichen. Dieses Werk ist kein methodisches Lehrbuch, kein Fachbuch für den Wissenschaftler oder Spezialisten, sondern ein systematisch geordnetes, populärwissenschaftliches Nachschlagewerk, das sich insbesondere an die Werktätigen wendet.

Mit seinen Hauptabschnitten Zahl–Raum–Zeit–Maßeinheiten–Kraft–Stoff–Weltall–Erde–Leben–Pflanze–Tier–Mensch vermittelt das Werk in leichtverständlicher Darstellung einen Einblick in die Wissenschaftsgebiete Mathematik, Physik, Chemie, Astronomie, allgemeine Geographie, Biologie, Botanik, Zoologie, Anatomie und Physiologie des Menschen.

Durch eine straffe Gliederung mit vielen Zwischenüberschriften, Absätzen sowie durch zahlreiche Tabellen wird die Übersicht erleichtert. Der Stoff ist durch viele Strichzeichnungen sowie 80 Fototafeln und 24 Farbtafeln veranschaulicht. Um das Nachschlagen zu erleichtern, wurde das alphabetische Register besonders ausführlich gestaltet. Aus dem gleichen Grunde haben wir jedem Hauptabschnitt eine systematische Inhaltsübersicht vorangestellt, die weitgehender aufgegliedert ist als das Gesamtinhaltsverzeichnis des Buches. Dadurch wird es ermöglicht, auf konkrete Fragen rasch eine zuverlässige Antwort zu finden. Kuriositäten, die meist das besondere Interesse des Lesers finden und zum weiteren Nachdenken anregen, wurden nicht ausgelassen, jedoch nicht in den Vordergrund gerückt.

Der Versuch, die wichtigsten Teilgebiete des Gesamtbereiches der Naturwissenschaften in einem Band darzustellen, entspricht dem Wunsch weiter Leserkreise. Die im Hinblick auf den begrenzten Umfang des Buches notwendige Auswahl des Stoffes und die Abgrenzung der einzelnen Themen erforderte vielfältige Überlegungen. Aus zahlreichen Zuschriften ersehen wir, daß wir mit der vorgenommenen Stoffauswahl den Wünschen vieler Leser entsprochen haben. Wir glauben dies auch daraus schließen zu dürfen, daß das Buch in wenigen Jahren eine Gesamtauflage von weit mehr als 1 Million Exemplaren erreichte.

Die Arbeit an einem solchen Werk kann nie als ganz abgeschlossen betrachtet werden. Daher wird das Herausgeberkollegium stets Sorge tragen, daß das Buch dem neuesten Stand der einzelnen Wissenschaftsgebiete entspricht.

Die vorliegende, vollständig überarbeitete und auf das neue Großformat der Reihe „Kleine Enzyklopädie" umgestellte Auflage weist zahlreiche Änderungen und Erweiterungen auf, die dem Fortgang der Entwicklung auf den verschiedensten Gebieten entsprechen. Die in der „Verordnung über die physikalisch-technischen Einheiten" vom 14. 8. 1958 festgelegten verbindlichen Maßeinheiten sind in vollem Umfang in die Darstellungen eingegangen.

Allen unseren Mitarbeitern, Autoren, Beratern und Gutachtern danken wir für ihre Arbeit. Unseren besonderen Dank möchten wir auch den vielen Lesern und Freunden zum Ausdruck bringen, die uns mit ihren Zuschriften wertvolle Hinweise zur Verbesserung und Ergänzung des Werkes gaben. Auch in Zukunft sind wir für jeden Hinweis auf Mängel und Lücken des Buches und für jede Anregung aus dem Leserkreis dankbar und bitten um weitere rege und kritische Mitarbeit.

Leipzig, den 7. Januar 1963 HERAUSGEBER UND VERLAG

Mitarbeiter der 14. Auflage

Ahnert, Paul, Dr. h. c. rer. nat., Abteilungsleiter und stellvertretender Direktor an der Sternwarte Sonneberg der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin

Beer, Wolf-Dietrich, Dipl.-Biol., Dr. rer. nat., Oberassistent am Zoologischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Beyrodt, Gustav, Dr. rer. pol., Leipzig

Billig, Kurt, Dr.-Ing., Leiter der Abteilung Makromolekulare Chemie an der Hochschule für Maschinenbau Karl-Marx-Stadt

Dietzmann, Gerhard, Dr., Oberassistent am Physikalischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Feltz, Adalbert, Dr. rer. nat., Oberassistent am Institut für Anorganische Chemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Finger, Heinz, Dipl.-Ing., wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Forschung und Entwicklung im VEB Kartographischer Dienst Potsdam

Fischer, Paul, Dr. med., Oberarzt am Medizinisch-Poliklinischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Franzke, Claus, Prof. Dr.-Ing. habil., Direktor des Instituts für Lebensmittelchemie und -technologie der Humboldt-Universität Berlin

Havemann, Robert, Nationalpreisträger, Prof. Dr. phil. habil., Direktor des Physikalisch-Chemischen Instituts der Humboldt-Universität Berlin

Heinig, Karl, wissenschaftlicher Assistent am Institut für Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften der Humboldt-Universität Berlin

Herrmann, Walter, Nationalpreisträger, Prof. Dr. rer. nat. habil., stellvertretender Direktor des Instituts für angewandte Radioaktivität der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin

Hoppe, Johannes, Prof. Dr. phil. nat. habil., Direktor der Sternwarte Babelsberg der Forschungsgemeinschaft der Akademie der Deutschen Wissenschaften zu Berlin

Hurtig, Eckart, Dr. rer. nat., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geophysikalische Erkundung der Karl-Marx-Universität Leipzig

Jahnke, Hans-Günther, technisch-wissenschaftlicher Assistent am Institut für Angewandte Mathematik und Mechanik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin

Jentsch, Rolf, Dr. rer. nat., Oberassistent am Botanischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Krämer, Walter, Dr. phil., Leiter der Abteilung Erdkunde im volkseigenen Verlag Volk und Wissen, Berlin, Chefredakteur der „Zeitschrift für den Erdkundeunterricht"

Krumbiegel, Günter, Dr. rer. nat., Kustos am Museum für Mitteldeutsche Erdgeschichte mit Geiseltalsammlung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; wissenschaftlicher Mitarbeiter am Geologisch-Paläontologischen Institut der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Lösche, Fritz, Mineraloge im Institut für Mineralogie und Petrographie der Karl-Marx-Universität Leipzig

Mielke, Heinz, Fachschriftsteller, Vizepräsident der Deutschen Astronautischen Gesellschaft, Berlin

Müller, Gerd, Dipl.-Biol., Oberassistent am Botanischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Neumann, Walter, Dr. rer. nat., Dipl.-Geophysiker, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geophysikalische Erkundung der Karl-Marx-Universität Leipzig

Richter, Hans, Dr. rer. nat. habil., Dozent am Geographischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Riedel, Käte, Dipl.-Biol., wissenschaftliche Assistentin am Botanischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Schäffner, Horst, Assistent am Zoologischen Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig

Schmidt, Gerhard, Prof. Dr. rer. nat. habil., Direktor des Geographischen Instituts der Universität Rostock

Senglaub, Konrad, Prof. Dr. habil., Institut für Spezielle Zoologie und Zoologisches Museum der Humboldt-Universität Berlin

Sponheuer, Wilhelm, Dipl.-Ing., Dr. rer. nat. habil., stellvertretender Direktor des Instituts für Bodendynamik und Erdbebenforschung Jena (Forschungsgemeinschaft der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin)

Stams, Werner, Dipl.-Geogr., Leipzig

Stuchlik, Franz, Mathematiker, wissenschaftlicher Oberassistent für das Rechenzentrum am Mathematischen Institut der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg

Tiedeken, Robert, Aktivist, Dr.-Ing., wissenschaftlicher Abteilungsleiter im VEB Carl Zeiss Jena

Willert, Paul, Prof. Dr. phil., Institut für Musikwissenschaft, Abteilung Musikerziehung, Karl-Marx-Universität Leipzig

Witthauer, Kurt, Dr. phil. nat., Geograph, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Geographisch-Kartographischen Anstalt Gotha, VEB Hermann Haack

Wußing, Hans, Dr. rer. nat., wissenschaftlicher Oberassistent am Karl-Sudhoff-Institut für Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften der Karl-Marx-Universität Leipzig

Mitarbeiter früherer Auflagen

Dr. G. Beyrodt, Leipzig — *Dipl.-Biol. R. Ehrlich*, Leipzig — *Dr.-Ing. C. Franzke*, Berlin — *Dr. rer. nat. H. Geiler*, Leipzig — *Prof. Dr. H. v. Guttenberg*, Rostock — *Dipl.-Gärtner W. Heinze*, Berlin — *Dipl.-Geol. G. Krumbiegel*, Halle — *Dr. rer. nat. H. Küstner*, Markkleeberg — *Prof. Dr.-Ing. E. Lüder*, Berlin — *C. H. Ludwig*, Leipzig — *Dr. W. Otto*, Jena — *H. Pfeifer*, Berlin — *Dr. rer. nat. G. Schmidt*, Leipzig — *Dipl.-Phys. G. Schreiber*, Berlin — *Dr. W. Seidel*, Leipzig — *H. Stapf* (verst.), Leipzig — *Prof. Dr. P. Willert*, Leipzig — *Prof. Dr. W. Voigt* (verst.), Leipzig.

Inhalt

Zum Geleit III
Verzeichnis der Foto- und Farbtafeln X
Zahl 1
Raum 53
Zeit 106
Maßeinheiten 123
Kraft 156
Stoff 260
Weltall 376
Erde 427
Leben 576
Pflanze 607
Tier 683
Mensch 764
Alphabetisches Stichwortverzeichnis 838
Griechisches Alphabet 877
Bildquellen 878
Physische Weltkarte ..... am Ende des Buches

Ausführliche Inhaltsübersichten zu Beginn der einzelnen obengenannten Hauptabschnitte

Einfarbige Tafeln

Zahl – Raum – Zeit – Maßeinheiten

Abstammung der Zahlzeichen
Flächenberechnungen (Antike)
Abakusrechnen
Die ersten Rechenmaschinen
Rechenautomaten
Bauelemente
des Rechenautomaten ZRA 1
Die fünf Platonischen Körper
Urmeter – Urkilogramm
Waagen
Nürnberger Ei
Sonnenuhren
Sonnenuhr
Uhren
Längenmessung I
Längenmessung II
Längenmessung III
Winkelmessung

Kraft – Stoff

Wellen
Blitz – Gleitentladung
Elektromagnet – Dynamo
Transformator – Elektronik
Elektrolyse
Galvanotechnik
Spektralphotometer
Weißsche Bezirke
Generatorgaserzeugung
Chemieindustrie I
Chemieindustrie II
Chemieindustrie III
Chemieindustrie IV
Atomenergie

Weltall

Sonne mit Flecken – Protuberanz
Sonnenkorona – Mondoberfläche
Mondlandschaft – Mondrückseite
Venus, Mars, Jupiter, Saturn
Komet – Milchstraße
Plejaden – Orionnebel
Milchstraße
Spiralnebel
Karl-Schwarzschild-Observatorium
Radioteleskop

Erde

Alpengipfel
Vulkanismus I
Vulkanismus II
Erdbeben – Wirbelsturm
Lawine – Gletscher
Höhle – Nordlicht
Wanderdüne
Wasserfall
Wolken
Steilküste
Granit – Sandstein

Leben – Pflanze – Tier – Mensch

Viren und Bakterien
Einzellige Lebewesen
Chromosom
Pflanzliche Zelle
Tierische Zelle
Keimesentwicklung
Fossile Tiere
Fossile Pflanzen I
Fossile Pflanzen II
Einheimische Laubbäume
Ausländische Laubbäume
Einheimische Nadelbäume

Ausländische Nadelbäume
Tiere im Dienste des Menschen I
Tiere im Dienste des Menschen II
Tiere im Dienste des Menschen III
Tiere im Dienste des Menschen IV
Blutdruckmessung
Narkose
Blutübertragung
Röntgendurchleuchtung
Röntgenaufnahme I
Röntgenaufnahme II
Röntgenaufnahme III
Röntgenaufnahme IV
Röntgenaufnahme V
Zahn- und Kieferkrankheiten
Medizintechnik

Farbtafeln

Kraft

Spektren
Farben

Erde

Minerale
Edelsteine
Regenbogen – Vulkanausbruch
Arktischer Eisberg
Antarktischer Eisberg – Halo
Nordlicht

Leben – Pflanze – Tier – Mensch

Genußmittelpflanzen
Tropische Gewürzpflanzen
Ölpflanzen
Südfrüchte I
Südfrüchte II
Geschützte Pflanzen I
Geschützte Pflanzen II
Pilze
Käfer
Schmetterlinge
Vögel
Knorpelfische und Knochenfische
Jagdtiere
Vom Aussterben bedrohte Tierarten
Ausgestorbene Tierarten
Geschützte Tiere

ZAHL

INHALTSÜBERSICHT

I. *Zahl und Ziffer* 1
Zur Einführung 1
Die Zahl 2
Die Ziffer 3
Zahlensysteme 4
Zahlenarten 5
Rechnen mit komplexen Zahlen ... 6

II. *Rechenarten und Rechengesetze* 8
Die sieben Rechenarten 8
Grundgesetze des Rechnens 9
Einige Rechenregeln 9
Primzahlen 12
Bruchrechnung 12
Behandlung der Vorzeichen, Anordnungsbeziehungen, Absoluter Betrag 16
Verhältnisse und Proportionen 17
Kaufmännisches Rechnen 18
Das Rechnen mit Potenzen 21
Das Rechnen mit Wurzeln 24
Das Rechnen mit Null 26
Das Rechnen mit Logarithmen 27

III. *Rechenautomaten* 31
Mechanische Rechenmaschinen 31
Elektronische Rechenautomaten ... 32
Analogierechner 32
Digitalrechner 32
Anwendung elektronischer Rechenautomaten 35
Zukünftige Aufgaben elektronischer Rechenautomaten 35

IV. *Gleichungen* 35
Identische Gleichungen 36
Bestimmungsgleichungen 36
Funktionsgleichungen 38
Funktionalgleichungen 39

V. *Folgen und Reihen* 39
Folgen 39
Reihen 41

VI. *Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik* 42
Kombinatorik 42
Wahrscheinlichkeitsrechnung 43
Statistik 45

VII. *Zahlenspielereien* 46

VIII. *Mathematische Zeichen* 51

I. Zahl und Ziffer

ZUR EINFÜHRUNG

Die *Mathematik* (griech. *mathesis*, Wissenschaft) ist die Wissenschaft von den Zahlen- und den Raumgrößen, deren Eigenschaften und wechselseitigen Zusammenhang zu untersuchen ihre Aufgabe ist. Hierzu bedient sich die Mathematik *abstrakter* Begriffe, Zeichen und Formeln.

Durch diese Abstraktionen wurde der systematische Aufbau der Mathematik überhaupt erst ermöglicht. Beispiele solcher Abstraktionen sind die meist durch kleine Buchstaben des griechischen oder des lateinischen Alphabets dargestellten allgemeinen Zahlen, die jeden bestimmten, d. h. durch Ziffern angebbaren Wert annehmen können, oder der grundlegende mathematische Begriff der Menge als Gesamtheit von Dingen, die sämtlich dieselben Merkmale haben.

Axiome. Mathematische Axiome sind Grundfeststellungen, deren Richtigkeit durch milliardenfache Erfahrungen der Menschen bestätigt sind. Aus ihnen können sämtliche mathematischen Erkenntnisse, Lehrsätze und Formeln durch nach bestimmten Regeln erfolgende logische Schlußfolgerungen abgeleitet, *bewiesen* werden. Die Untersuchung dieser Grundlagen und Regeln ist Aufgabe der *mathematischen Logik*.

Beispiele für Axiome sind:

Jede Größe ist sich selbst gleich.
Gleiche Größen kann man füreinander einsetzen.
Sind zwei (oder mehr) Größen einer dritten gleich, so sind sie untereinander gleich.
Gleiche Rechenoperationen, an gleichen Größen ausgeführt, führen zu gleichen Ergebnissen.

Ein Beispiel für ein Axiom der (euklidischen) Geometrie ist das *Parallelenaxiom*: In der Ebene gibt es zu einer Geraden durch einen nicht auf ihr gelegenen Punkt genau eine Parallele.

Elementare und höhere Mathematik. Die *elementare Mathematik* betrachtet einzelne mathematische, insbesondere geometrische Probleme; die Untersuchungsmethoden sind selten systematisch, sondern meist auf das spezielle, gerade zu untersuchende Problem ausgerichtet. Diese Betrachtungsweise ist für große Teile der Mathematik in den Jahrhunderten vor unserer Zeitrechnung (Babylonier, Ägypter, Griechen) und des Mittelalters bis ins 17. Jahrhundert hinein charakteristisch.
Die *höhere Mathematik* ersetzt die Einzelbetrachtungen der elementaren Mathematik durch immer umfassendere systematische Untersuchungen. Als Anfang dieser systematischen Betrachtungsweise kann die Entdeckung der Differential- und Integralrechnung angesehen werden, die nahezu gleichzeitig durch *Wilhelm Leibniz* (1646 bis 1716) und *Isaac Newton* (1643 bis 1727) gemacht wurde.
Auf ihr basieren die Analysis, eines der wichtigsten Teilgebiete der Mathematik, und damit weite Gebiete der Naturwissenschaften überhaupt.

Algebra, Analysis, Geometrie. Gegenwärtig wird die Mathematik in Algebra (Algebra, Zahlentheorie, Mengenlehre u. a.), Analysis (Differential- und Integralrechnung, Funktionentheorie u. a.) und Geometrie (darstellende Geometrie, analytische und projektive Geometrie, Topologie u. a.) eingeteilt.
Das Wort *Algebra* (nach „Hisab fil-dschabr wal-Mukabala", Titel eines arabischen Lehrbuchs aus dem 9. Jh. u. Z.) bezeichnete zunächst die Lehre von der Auflösung von (Bestimmungs-) Gleichungen. Daraus erwuchs in der *modernen Algebra* ein umfassendes Teilgebiet der Mathematik, das die Lehre von den formalen Rechenbereichen (Gruppen, Ringe, Körper) und von deren Struktur zum Inhalt hat.
Die *Analysis* umfaßt die Teile der Mathematik, die auf den Begriffen Zahl, Folge und Grenzwert beruhen.
Die *Geometrie* bezeichnet das Teilgebiet der Mathematik, das die Eigenschaften und die Gesetzmäßigkeiten des uns umgebenden Raumes und der darin enthaltenen Gebilde (Körper, Flächen, Kurven) untersucht, die sich auf Größe, Form und Lage beziehen.

Reine und angewandte Mathematik. Im Gegensatz zur reinen Mathematik werden sämtliche Teilgebiete der Mathematik, die der Anwendung in der Praxis dienen, als angewandte Mathematik bezeichnet. Durch die „Mathematisierung" weiter Gebiete der Praxis (Industrie, Wirtschaft) und der Wissenschaft nicht nur in naturwissenschaftlich-technischen Bereichen, sondern z. T. auch in gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen (Dokumentation, Sprachübersetzung) kommt der angewandten Mathematik ständig wachsende Bedeutung zu. Reine und angewandte Mathematik stehen, sich gegenseitig befruchtend, in einer starken wechselseitigen Beziehung, indem einerseits die reine Mathematik der angewandten das „mathematische Rüstzeug" zur Erfassung und Lösung der anfallenden Probleme liefert und damit deren Bearbeitung grundsätzlich ermöglicht; andererseits erfordern in den Anwendungen neu auftretende Probleme neuartige Lösungswege und zwingen die reine Mathematik, neue mathematische Theorien zu entwickeln bzw. bestehende zu verallgemeinern, um die neuen Probleme einer Lösung zugänglich machen zu können.
So ist die Mathematik u. a. auf das engste mit den Naturwissenschaften, wie Physik, Chemie, Astronomie, verknüpft und zugleich deren Fundament. Auch Technik und Wirtschaft (z. B. Statistik, Versicherungswesen) sind ohne Mathematik undenkbar und könnten in der heutigen hochentwickelten Form ohne mathematische Hilfsmittel überhaupt nicht existieren.

DIE ZAHL

Zählen. Der Begriff der *Zahl*, genauer der *natürlichen Zahl*, entspringt der Tätigkeit des Zählens. Dinge zählen heißt, sie als gleichartig aufzufassen und ihnen einzeln andere Dinge, z. B. Finger der Hand oder Kugeln eines Rechengitters oder Wörter (*Zahlwörter*) zuzuordnen. Dinge zählen heißt also, festzustellen, wie oft, in welcher Anzahl sie vorhanden sind. Jedes einzelne der gezählten Dinge nennt man eine *Einheit*. Dieser Zählprozeß liefert die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, . . ., aus denen alle weiteren Zahlen durch logische Verallgemeinerung abgeleitet werden. Die natürlichen Zahlen kann man sich auf einem von links nach rechts verlaufenden Zahlenstrahl dargestellt denken, dessen Ausgangspunkt man die *Null* zuordnet. Die kleinere Zahl liegt dann immer links von der größeren. Bereits *Archimedes* (3. Jh. v. u. Z.) hat erkannt, daß die Zahlenreihe 1, 2, 3, . . . grundsätzlich ins Unendliche fortsetzbar ist und daß jede Zahl sprachlich ausgedrückt werden kann.

Rechnen. Das *Zählen* mit natürlichen Zahlen steht in einem engen wechselseitigen Zusammenhang mit dem *Rechnen*. Aus dem Zählen entwickelten sich die ersten einfachsten Rechenoperationen, indem einzelne Zählschritte zusammengefaßt wurden. Andererseits wurde es nur durch dieses rechnende Zusammenfassen kleinerer Zahlen möglich, zu größeren Zahlen zu gelangen. Wesentlich ist also, daß man mit den natürlichen Zahlen nicht nur zählen, sondern auch rechnen kann. Diese letztere Eigenschaft kommt allen durch Verallgemeinerung aus den natürlichen Zahlen entstehenden Zahlen zu und berechtigt überhaupt erst zu der Bezeichnung „Zahlen".

DIE ZIFFER

Schriftlich dargestellt werden (natürliche) Zahlen je nach Wahl des Zahlensystems durch ein oder mehrere auf bestimmte Art kombinierte Zahlzeichen, die *Ziffern*. Der Begriff der Ziffer ist streng von dem der Zahl zu unterscheiden. Jede Darstellung einer Zahl durch eine geeignete Kombination von Ziffern beruht auf Rechenoperationen.

Die Sumerer. Die im 3. Jahrtausend v. u. Z. im Süden des Zweistromlandes Mesopotamien lebenden Sumerer entwickelten frühzeitig eine Zahlenschrift auf der Basis der Zahl 60; dabei wurde jede Einheit mit einem Eigenzeichen geschrieben, mehrere Einheiten wurden aneinandergereiht und zu einer höheren Einheit zusammengefaßt. Kegelige Rundstäbchen mit einem dünnen und einem dicken Ende dienten zum Eindrücken (nicht Schreiben oder Malen) der Zahlzeichen in Tontäfelchen von Handtellergröße, die die ältesten Urkunden für eine im lebendigen Gebrauch stehende Zahlenschrift eines Volkes sind (Abb.). Die Eindrücke waren D-förmig bei schräg, O-förmig bei senkrecht gehaltenem Stäbchen und hatten, je nachdem ob das dünne oder das dicke Ende benutzt wurde, folgende Bedeutung (Abb.):

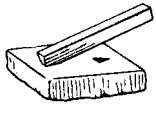


Sumerische Tontafel mit Zahlzeichen



Zahlzeichen der Sumerer (3000 v. u. Z.)

Die Babylonier. In der späteren babylonisch-sumerischen Zahlenschrift (etwa 2. Jahrtausend v. u. Z.) wurden die Zeichen in Keile und Winkelhaken zerlegt, die durch das Eindrücken eines Griffels (Abb.) mit scharfer Kante in Tontäfelchen gebildet wurden: der Keil ▼ hatte den Wert 1, der Winkelhaken ◁ den Wert 10. Ein wesentlicher Zug dieser Zahlenschreibweise war, daß die Unterscheidung in Klein- und Großzeichen fortfiel; die Zahl 60 wurde vielmehr wieder mit dem Zeichen für 1 geschrieben.



Griffel für Keilschrift

Die griechischen Zahlzeichen



und die Zählung mit den Sechzigern von neuem begonnen. So entstand eine *Stellenschrift* (Positionsschreibweise): Wie in der modernen Zahlenschrift hing der Wert eines Zahlzeichens von seinem Platz innerhalb der Zahl ab. Jedes links stehende Zeichen war das 60fache des rechts davon stehenden, doch blieb die Größenordnung zunächst unbestimmt, da ein Fehlzeichen (eine Null) sowohl im Innern einer Zahlzeichenfolge als auch an ihrem Ende fehlte. Erst im 6. Jh. v. u. Z. wurde dieses Fehlzeichen innerhalb einer Zahl verwendet.
Mit dieser nur aus zwei Zeichen bestehenden Zahlenschrift gelangten die Babylonier zu einer großen Fertigkeit im Rechnen an Hand von Zahlentafeln z. B. für Produkte oder Reziproke; sie schufen eine hochentwickelte Mathematik, die bis zur Auflösung von Systemen von linearen und quadratischen Gleichungen mit zwei oder mehr Unbekannten führte.

Die Griechen. Sie benutzten die Buchstaben ihres Alphabets zur Bezeichnung der Zahlen. Zunächst verwandten sie die Anfangsbuchstaben der griechischen Wörter für 1, 5, 10, 100, 1000, 10000 (ähnlich der römischen Zahlenschrift), später eine kürzere alphabetische Schreibweise (Abb.) Um Zahlen von Wörtern unterscheiden zu können, fügte man einen Quer- oder einen Schlußstrich hinzu, z. B. $\overline{\alpha\varphi\chi\delta} = 1524$. Das Rechnen mit den griechischen Zahlzeichen war recht umständlich. Die griechische Zahlenschrift bedeutete gegenüber der babylonischen einen Rückschritt.

Die Römer. Sie kannten sieben einfache Zahlzeichen:

$$\mathrm{I} = 1,\quad \mathrm{V} = 5,\quad \mathrm{X} = 10,\quad \mathrm{L} = 50,\quad \mathrm{C} = 100,\quad \mathrm{D} = 500,\quad \mathrm{M} = 1000,$$

aus denen sämtliche anderen additiv in folgender Weise zusammengesetzt wurden: Verbundene gleiche Ziffern wurden addiert. Bei verbundenen ungleichen Ziffern wurde die kleinere zur größeren addiert, wenn sie rechts von ihr stand, dagegen subtrahiert, wenn sie links von ihr stand. Bei diesen Zusammensetzungsvorschriften wurde natürlich die Bezeichnung hoher Werte umständlich, das Rechnen schwerfällig.

Die römischen Zahlzeichen

I = 1	II = 2	III = 3	IV = 4	V = 5	VI = 6	VII = 7	VIII = 8	IX = 9	X = 10
XX = 20	XXX = 30	XL = 40	L = 50	LX = 60	LXX = 70	LXXX = 80	XC = 90	IC = 99	C = 100
CC = 200	CCC = 300	CD = 400	D = 500	DC = 600	DCC = 700	DCCC = 800	CM = 900	XM = 990	M = 1000

MCDXCVI = 1496 MDCCCLXXXVIII = 1888 MCMLXIII = 1963

Die Inder. *Indische* Brahmapriester erfanden die heute üblichen sog. *arabischen Ziffern* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Die heute ebenfalls allgemein gebräuchliche dezimale Stellenschrift (Positionsschreibweise) und die Null wurden um 500 u. Z. von indischen Astronomen und Rechenmeistern eingeführt.

Die Araber. Im 7. Jh. u. Z. wurden Ziffern und dezimale Stellenschrift der Inder von den Arabern übernommen (daher die Bezeichnung: arabische Ziffern); *al-Chwarismi* kannte bereits zwei Arten von Ziffern: die westarabischen oder Gobarziffern und die ostarabischen Ziffern. Von den ersteren stammen unsere heutigen arabischen Ziffern ab, letztere werden gegenwärtig noch in der Türkei, in Arabien und in Ägypten gebraucht.
Von den Arabern kamen die neun Ziffern 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und die Null im 12. Jh. u. Z. in einer lateinischen Übersetzung des Rechenbuches von *al-Chwarismi* nach Spanien. Von Italien her, wo im Jahre 1202 *Leonardo von Pisa*, genannt *Fibonacci*, als erster Europäer in einem Rechenbuch systematisch die arabischen Ziffern anwandte, gelangten sie nach Norden, doch sollten noch Jahrhunderte vergehen, bevor sich diese Ziffern überall durchgesetzt hatten.

ZAHLENSYSTEME

Zahlensysteme unterscheiden sich durch die als *Grundzahl* des Systems bezeichnete Anzahl der Einheiten, die zur höheren Einheit zusammengefaßt werden. Das System der Zahlenschreibweise, bei dem der Wert der Ziffer von ihrer Stelle (Position) neben anderen Ziffern, von ihrem *Stellenwert* bestimmt wird, heißt *Positionssystem.* Der Stellenwert einer Ziffer ist davon abhängig, welche Grundzahl gewählt wurde. Ein echtes Positionssystem setzt die Einführung eines *Fehlzeichens* (der Null) für eine unbesetzte Stelle sowohl innerhalb einer Zahlendarstellung als auch an ihrem Ende voraus, wie dies z. B. beim Dezimalsystem der Fall ist.

Dezimalsystem. Das *Dezimalsystem*, auch dekadisches System oder Zehnersystem genannt, ist allgemein gebräuchlich; es faßt je 10 Einheiten zur höheren Einheit zusammen: 10 Einer = 1 Zehner; 10 Zehner = 1 Hunderter; 10 Hunderter = 1 Tausender usw. Das Dezimalsystem benötigt zur Darstellung sämtlicher natürlichen Zahlen die zehn Ziffern 0, 1, 2, 3, . . ., 8, 9. Je nach ihrer Stellung in einer Ziffernfolge kennzeichnet der Stellenwert eine Ziffer als Einer, Zehner, Hunderter usw., wenn man die Ziffern von rechts nach links liest. Zum Beispiel tritt die 2 in der Ziffernfolge 2 723 einmal als Zehner, einmal als Tausender auf, während die 3 in 30, 300, 3 000 der Reihe nach als Zehner, Hunderter, Tausender eingeht. Das letztere Beispiel zeigt, daß es für eine positionelle Schreibweise unerläßlich ist, die Null als Zeichen für eine unbesetzte Stelle einzuführen; andernfalls bestände in der Zahlendarstellung kein Unterschied z. B. zwischen den Zahlen 3, 30, 300, 3 000, so daß eine Entscheidung über die Größenordnung von Fall zu Fall an Hand des jeweilig gegebenen Sachverhaltes getroffen werden müßte und das Rechnen sehr umständlich werden würde.

Dualsystem. Das *Dualsystem*, auch *dyadisches*, *Binär-* oder *Zweiersystem* genannt, faßt je zwei Einheiten zusammen. Es benötigt zur Darstellung sämtlicher natürlichen Zahlen nur zwei Ziffern 0, 1, zur Unterscheidung vom Dezimalsystem oft auch 0, L geschrieben. Dabei hat die „duale" Eins je nach ihrer Stellung den Stellenwert 1, 2, 4, 8, 16 . . . im Dezimalsystem, d. h. L ≙ 1, L0 ≙ 2, L00 ≙ 4, L000 ≙ 8, . . . Die Zahl 3 hat z. B. die Darstellung „LL", 29 hat die Darstellung „LLL0L".
Das Dualsystem erlangte große praktische Bedeutung mit der Einführung moderner elektronischer Rechenautomaten. Zur technischen Realisierung einer Zahlendarstellung ist dieses Zahlensystem besonders geeignet, da alle Bauelemente auf elektromagnetischer oder elektronischer Grundlage grundsätzlich dualen Charakter haben: Zum Beispiel ist ein Relais geschlossen oder offen, eine Elektronenröhre führt Anodenstrom oder ist gesperrt. Demzufolge werden Zahlen und Befehle elektronischen Rechenautomaten meist „dual verschlüsselt" zugeführt (vgl. Abschnitt „Rechenautomaten").

Sexagesimalsystem. Das *Sexagesimalsystem*, d. i. ein Zahlensystem mit der Grundzahl 60, verwendeten die Babylonier, führten es aber nicht streng mathematisch durch. Unsere Zahlen 10, 11, 12, . . ., 57, 58, 59 sind in diesem System als Ziffern anzusehen, weil die Grundzahl 60 eigentlich 60 Ziffern und 60 Zeichen für sie erfordert. Die „dreiziffrige Zahl" 44 26 40 bedeutet dann in unserer Schreibweise $44 \cdot 60^2 + 26 \cdot 60 + 40 = 160000$. Es ist verständlich, daß die Babylonier nur nach Tabellen rechneten, denn ihr Einmaleins konnte niemand auswendig lernen.
Die bevorzugte Verwendung der Zahlen 60 (Schock), 360 (Gradzahl des Vollwinkels), 600, 3600 usw., auch der Zahl 12 (Dutzend) in der Rechenpraxis unserer Vorfahren (noch im 19. Jh.), in der man Dezimalbrüche noch nicht kannte und auf möglichst „gängige" gemeine Brüche angewiesen war, beruht dagegen lediglich auf der außerordentlich bequemen Teilbarkeit dieser Zahlen. Die Zahl 360 z. B. kann ohne Rest geteilt werden durch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 30, 36, 40, 45, 60, 72, 90, 120 und 180, während (unsere so sehr bevorzugte) 100 nur durch 1, 2, 4, 5, 10, 20, 25 und 50 teilbar ist.

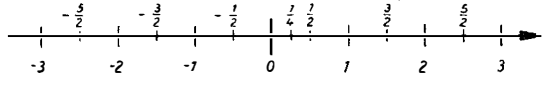
ZAHLENARTEN

Natürliche Zahlen. Die *natürlichen Zahlen* 1, 2, 3, 4, . . . sind entweder gerade Zahlen 2, 4, 6, 8, . . . (d. h. durch 2 teilbare Zahlen) oder ungerade Zahlen 1, 3, 5, 7, . . . (d. h. nicht durch 2 teilbare Zahlen). Im Bereich der natürlichen Zahlen sind die beiden Rechenoperationen der Addition (des Zusammenzählens, Weiterzählens) und der Multiplikation (des Malnehmens) ohne Einschränkung ausführbar. Jedes Ergebnis einer Addition und jedes Ergebnis einer Multiplikation von natürlichen Zahlen, *Summe* bzw. *Produkt* der betreffenden Zahlen genannt, ist wieder eine natürliche Zahl: $3 + 5 = 8$ oder $3 \cdot 5 = 15$. Werden zwei natürliche Zahlen subtrahiert, so ist das Ergebnis, ihre *Differenz*, nur dann eine natürliche Zahl, wenn der Minuend größer als der Subtrahend ist (siehe die sieben Rechenarten): $5 - 3 = 2$ ist eine natürliche Zahl, $3 - 5$ dagegen nicht. Werden zwei natürliche Zahlen dividiert, so ist das Ergebnis ihr *Quotient*, nur dann eine natürliche Zahl, wenn der Dividend ein Vielfaches des Divisors ist; z. B. ist $6 : 3 = 2$ eine natürliche Zahl (wobei $6 = 3 \cdot 2$ ist), $3 : 6$ dagegen nicht. Im Bereich der natürlichen Zahlen sind also die beiden Rechenoperationen der Subtraktion und der Division nur mit Einschränkungen ausführbar. Der Bereich der natürlichen Zahlen ist demnach so zu erweitern, daß in dem erweiterten Bereich der Bereich der natürlichen Zahlen enthalten ist und daß die vier *Grundrechenarten* (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division mit Ausnahme der Division durch Null) sowie die Umkehrungen des Potenzierens ohne Einschränkung ausführbar sind. Einen solchen allgemeinen Zahlenbereich bezeichnet man als einen *Körper*.

Ganze Zahlen. Die Forderung, zunächst die Subtraktion uneingeschränkt ausführen zu können, wird im Bereich der *ganzen Zahlen* erfüllt. Für die Differenzen gleicher Zahlen wird dabei ein gemeinsames Zeichen „0", die *Null*, eingeführt:

$$6 - 6 = 0, \qquad a - a = 0.$$

Differenzen natürlicher Zahlen, in denen der Subtrahend größer als der Minuend ist ($3 - 5 = -2$), geben Anlaß zu der Einführung der *negativen ganzen Zahlen* $-1, -2, -3, -4, \ldots$, die als die Ergebnisse derartiger Subtraktionen erklärt werden. Die natürlichen oder positiven ganzen Zahlen und die negativen ganzen Zahlen zusammen mit der Null bezeichnet man als *ganze* Zahlen, in deren Bereich Addition, Subtraktion und Multiplikation ohne Einschränkung ausführbar sind. Die Division von zwei ganzen Zahlen dagegen ergibt nicht immer eine ganze Zahl; z. B. ist $6 : 3 = 2$ ganz, $3 : 6$ ist nicht ganz. Man veranschaulicht die ganzen Zahlen auf der sogenannten *Zahlengeraden*, indem man auf einer Geraden nach Wahl eines Nullpunktes und einer Einheit den rechts vom Nullpunkt in gleichen Abständen der Einheit gelegenen Punkten die positiven ganzen Zahlen, den entsprechenden links vom Nullpunkt gelegenen Punkten die negativen ganzen Zahlen zuordnet (Abb.).



Zahlengerade

Rationale Zahlen. Sie werden als Quotienten von zwei ganzen Zahlen, d. h. als gemeine Brüche, erklärt (unter Ausschluß der Division durch Null). Sie umfassen als Spezialfall die ganzen (rationalen) Zahlen als Brüche mit dem Nenner 1 und genügen denselben Rechengesetzen wie die natürlichen bzw. die ganzen Zahlen. Sämtliche vier Rechenoperationen sind ohne Einschränkung ausführbar (mit Ausnahme der Division durch Null). Die rationalen Zahlen sind als endliche (abbrechende) oder unendliche (nicht abbrechende) periodische Dezimalbrüche darstellbar. Jeder rationalen Zahl entspricht ein bestimmter Punkt der Zahlengeraden. Um ihn zu finden, hat man die Einheitsschritte entsprechend dem Nenner der rationalen Zahl zu unterteilen: Der Zahl $\frac{1}{2}$ entspricht z. B. der Halbierungspunkt der Strecke $\overline{01}$. Die den rationalen Zahlen entsprechenden Punkte liegen

dicht auf der Zahlengeraden, d. h. zwischen je zwei von ihnen liegt mindestens ein weiterer derartiger Punkt $\left(\text{zwischen } \frac{1}{4} \text{ und } \frac{1}{2} \text{ liegt z. B. das arithmetische Mittel } \frac{3}{8}\right)$. Dennoch gibt es „Lücken" auf der Zahlengeraden, Punkte also, denen keine rationale Zahl entspricht. Ein solcher Punkt ist z. B. der Punkt, der der Länge der Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks mit Katheten der Länge eins entspricht.

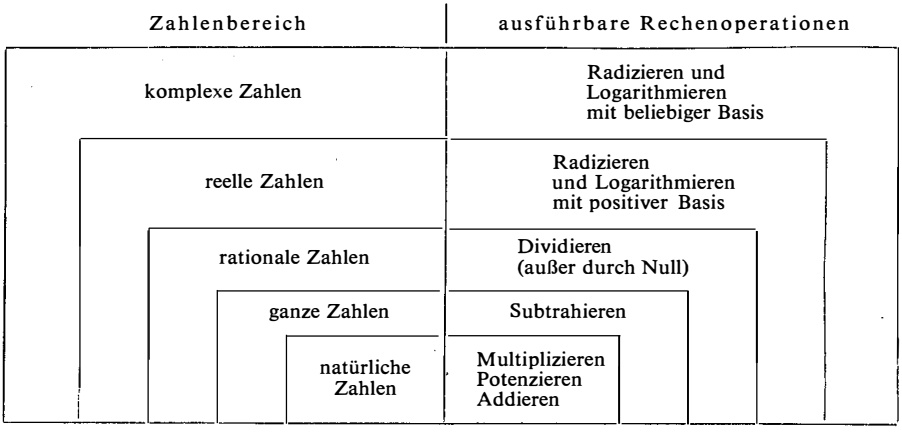
Irrationale Zahlen. Man überzeugt sich leicht, daß z. B. die Zahlen $\sqrt{2}$, $\sqrt[7]{9064}$, log 13 keine rationalen Zahlen, sondern unendliche nichtperiodische Dezimalbrüche sind. Derartige Zahlen bezeichnet man als *irrationale* Zahlen; sie werden in praktischen Rechnungen so genau, wie es erforderlich ist, durch rationale Zahlen angenähert. Auf der Zahlengeraden entsprechen ihnen gerade die oben erwähnten „Lücken". Diese überwiegen die rationalen Zahlen bei weitem; z. B. ist die Summe einer rationalen Zahl und einer irrationalen Zahl stets irrational.

Reelle Zahlen. Rationale und irrationale Zahlen faßt man als *reelle* Zahlen zusammen, in deren Bereich die vier Grundrechenarten (mit Ausnahme der Division durch Null) sowie das Potenzieren unbegrenzt ausführbar sind. Die Umkehrungen des Potenzierens, das Radizieren und das Logarithmieren (letzteres mit positiver Basis) sind nur im Bereich der positiven reellen Zahlen ausführbar. Jeder reellen Zahl ist ein Punkt der (reellen) Zahlengeraden zugeordnet; umgekehrt entspricht jedem Punkt der Zahlengeraden eine reelle Zahl: Reelle Zahlen und Punkte der Zahlengeraden entsprechen einander *umkehrbar eindeutig*.

Komplexe Zahlen. Zu einer letzten Erweiterung des Zahlbegriffs führt die Unmöglichkeit, im Bereich der reellen Zahlen die Quadratwurzeln aus einer negativen reellen Zahl zu ziehen. Zunächst werden die *imaginären* Zahlen als Quadratwurzeln aus negativen reellen Zahlen eingeführt. Bezeichnet man $i = \sqrt{-1}$ als *imaginäre Einheit*, so sind alle imaginären Zahlen reelle Vielfache der imaginären Einheit. Der Bereich der *komplexen* Zahlen besteht aus allen Summen

$$z = a + bi$$

einer beliebigen reellen Zahl a und einer beliebigen imaginären Zahl bi; dabei heißt die reelle Zahl a der *Realteil*, die reelle Zahl b der *Imaginärteil* der komplexen Zahl z. Ist $b = 0$, so ergeben sich die gewöhnlichen reellen Zahlen, ist $a = 0$, die imaginären Zahlen. Im Bereich der komplexen Zahlen sind (mit Ausnahme der Division durch Null) die vier Grundrechenarten, das Potenzieren und seine beiden Umkehrungen ohne Einschränkung ausführbar. Insbesondere kann in diesem Bereich die Quadratwurzel aus einer negativen reellen Zahl gezogen werden, z. B. $\sqrt{-4} = 2i$.

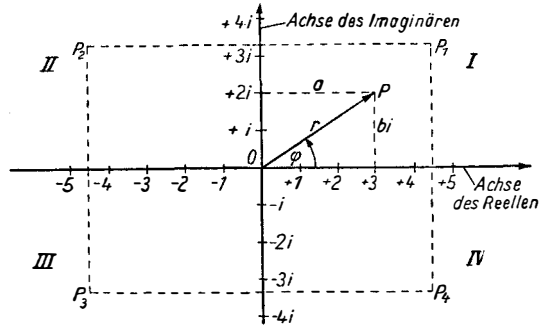


Schema der Zahlenarten und der in ihrem Bereich uneingeschränkt ausführbaren Rechenoperationen (jedes kleinere Rechteck ist Teil der größeren)

RECHNEN MIT KOMPLEXEN ZAHLEN

Gaußsche Zahlenebene. Errichtet man auf der reellen Zahlengeraden in ihrem Nullpunkt die Senkrechte, so kann man auf dieser nach Wahl einer mit i bezeichneten Einheit die *imaginären* Zahlen veranschaulichen. In diesem Zusammenhang wird die reelle Zahlengerade als Achse des Reellen (reelle

Achse), die Senkrechte als Achse des Imaginären (imaginäre Achse) bezeichnet. Diese beiden Achsen spannen die *Gaußsche Zahlenebene* auf (Abb.). Die Zahlenebene erhielt ihren Namen nach dem großen deutschen Mathematiker *C. F. Gauß* (1777 bis 1855), der als erster das Problem der imaginären und der komplexen Zahlen löste. Der komplexen Zahl $a + bi$ entspricht in der Gaußschen Zahlenebene der Punkt mit den (kartesischen) Koordinaten a, b; umgekehrt entspricht dem Punkt mit den Koordinaten a, b die komplexe Zahl $a + bi$. Die 4 Felder (Quadranten) I, II, III, IV enthalten dann der Reihe nach die komplexen Zahlen von der Form $a + bi$; $-a + bi$; $-a - bi$; $a - bi$ (P_1; P_2; P_3; P_4). Es entsprechen einander folgende Punkte und komplexe Zahlen: $P(3 + 2i)$; $P_1(4{,}5 + 3{,}3i)$; $P_2(-4{,}5 + 3{,}3i)$; $P_3(-4{,}5 - 3{,}3i)$; $P_4(4{,}5 - 3{,}3i)$.



Gaußsche Zahlenebene

In der Gaußschen Zahlenebene kann die komplexe Zahl $z = a + bi$ nicht nur durch den Punkt P mit den Koordinaten a, b, sondern auch durch die *gerichtete Strecke* (den *Vektor*) $\overrightarrow{OP}$ veranschaulicht werden; sie wird also durch die Länge und die Richtung einer vom Nullpunkt aus gemessenen Strecke charakterisiert. Die Länge dieser Strecke heißt den *absolute Betrag* oder *Modul* $r = |z|$ der komplexen Zahl z; der Winkel φ zwischen der gerichteter Strecke und der positiven reellen Achse heißt das *Argument* von z. Die Größen r und φ können als *Polarkoordinaten* des Punktes P aufgefaßt werden; es gilt demnach:

$$a = r\cos\varphi \qquad r = |z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$b = r\sin\varphi \qquad \tan\varphi = \frac{b}{a}$$

Danach lautet die *goniometrische Form* einer komplexen Zahl

$$z = a + bi = r(\cos\varphi + i\sin\varphi) = r \cdot e^{i\varphi};$$

dabei ist die *Eulersche Identität* benutzt worden:

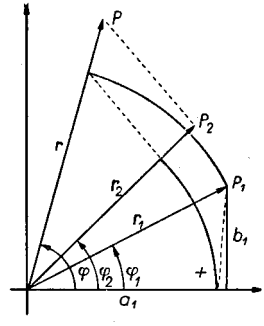
$$e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin\varphi$$

Summe, Differenz, Produkt, Quotient. Die *Summe* zweier komplexer Zahlen lautet:

$$z_1 + z_2 = (a_1 + b_1 i) + (a_2 + b_2 i) = (a_1 + a_2) + (b_1 + b_2)i.$$

Die *Differenz* zweier komplexer Zahlen lautet

$$z_1 - z_2 = (a_1 + b_1 i) - (a_2 + b_2 i) = (a_1 - a_2) + (b_1 - b_2)i.$$



Produkt zweier komplexer Zahlen

Summe und Differenz lassen sich konstruieren als Summe bzw. als Differenz zweier Vektoren. Für das *Produkt* $z = z_1 \cdot z_2$ erhalten wir dagegen nach dem Additionstheorem der trigonometrischen Funktionen:

$$z = z_1 \cdot z_2 = r_1(\cos\varphi_1 + i\sin\varphi_1) \cdot r_2(\cos\varphi_2 + i\sin\varphi_2)$$

$$z = r_1 r_2[\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + i\sin(\varphi_1 + \varphi_2)].$$

$$z = re^{i\varphi} = r_1 r_2 e^{i(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

Das Argument φ des Produktes ist also die Summe $(\varphi_1 + \varphi_2)$ der Argumente seiner Faktoren; sein absoluter Betrag r ergibt sich aus der Proportion $1 : r_1 = r_2 : r$ als das Produkt $r = r_1 r_2$ der absoluten Beträge der Faktoren (Abb.). Entsprechend erhält man für den *Quotienten* $z = z_1 : z_2$

$$z = \frac{r_1}{r_2} e^{i(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Multiplikation und Division in arithmetischer Form. Die Multiplikation und die Division von zwei komplexen Zahlen $z = a + bi$, $w = c + di$ in arithmetischer Form vollzieht sich nach den Regeln

für die Multiplikation und die Division von reellen Zahlen, wenn man beachtet, daß für die imaginäre Einheit i die Beziehung $i^2 = -1$ gültig ist. Die beiden komplexen Zahlen werden *multipliziert* nach der Formel

$$(a + bi)(c + di) = (ac - bd) + (ad + bc)i.$$

Versteht man unter der zu $a + bi$ *konjugiert* komplexen Zahl die Zahl $a - bi$, so ist insbesondere das Produkt von zwei konjugiert komplexen Zahlen stets reell. Die beiden komplexen Zahlen werden *dividiert* nach der Formel

$$\frac{a+bi}{c+di} = \frac{ac+bd}{c^2+d^2} + \frac{bc-ad}{c^2+d^2}\,i,$$

falls $w = c + di$ von Null verschieden ist. Um die Division von zwei komplexen Zahlen auszuführen, hat man also Zähler und Nenner ihres Quotienten mit der zum Nenner konjugiert komplexen Zahl zu multiplizieren.

II. Rechenarten und Rechengesetze

Rechnen ist die Anwendung der Rechenarten, der für sie gültigen Grundgesetze und der daraus abgeleiteten Sätze zur Ermittlung von gesuchten Zahlen aus gegebenen Zahlen; man beschränkt sich dabei häufig auf den Bereich der positiven rationalen Zahlen. Der Ausdruck „*Numerisches Rechnen*" (lat. *numerus*, Zahl) betont, daß sich der Rechenvorgang auf konkret durch ihre Ziffernfolge gegebene Zahlen bezieht.
Alle im folgenden vorkommenden Zahlen seien reelle Zahlen.

DIE SIEBEN RECHENARTEN

Stufe	Ausgangsrechenart	durch Umkehrung entstandene Rechenart	Beispiel	Benennung der Glieder		
				a bzw. 4	b bzw. 3	c bzw. 7, 12, 64
Grundrechenarten A	Addieren (Zusammenzählen)		$a + b = c$ $4 + 3 = 7$	Summand	Summand	Summe $(a + b)$ bzw. $(4 + 3)$
		Subtrahieren (Abziehen)	$c - a = b$ $7 - 4 = 3$	Subtrahend	Differenz $(c - a)$ bzw. $(7-4)$	Minuend
Grundrechenarten B	Multiplizieren (Malnehmen)		$a \cdot b = c$ $4 \cdot 3 = 12$	Multiplikand, Faktor	Multiplikator, Faktor	Produkt $(a \cdot b)$ bzw. $(4 \cdot 3)$
		Dividieren (Teilen)	$c : b = a$ $12 : 3 = 4$	Quotient $(c : b)$ bzw. $(12 : 3)$	Divisor, Teiler von c (Nenner)	Dividend (Zähler)
C	Potenzieren (Malnehmen mit sich selbst)		$a^b = c$ $4^3 = 64$	Basis	Exponent	Potenzwert
		Radizieren (Ziehen der Wurzel)	$\sqrt[b]{c} = a$ $\sqrt[3]{64} = 4$	Wurzelwert	Wurzelexponent	Radikand
		Logarithmieren (Suchen des Logarithmus)	${}^a\log\, c = b$ ${}^4\log\, 64 = 3$	Logarithmenbasis	Logarithmus von c zur Basis a bzw. von 64 zur Basis 4	Numerus

GRUNDGESETZE DES RECHNENS

Gesetz der Verknüpfung. Zu je zwei Zahlen a, b gibt es eine eindeutig bestimmte *Summe* $a + b$ und ein eindeutig bestimmtes *Produkt* $a \cdot b$ von a und b.

Gesetz der Subtraktion bzw. der Division. Zu je zwei Zahlen a und b gibt es eine eindeutig bestimmte *Differenz* $c = b - a$, die Lösung der Gleichung $a + c = b$ ist. Zu je zwei Zahlen a und b, deren erste *von Null verschieden* ist, gibt es einen eindeutig bestimmten Quotienten $d = \frac{b}{a}$, der Lösung der Gleichung $a \cdot d = b$ ist.

Kommutative Gesetze. Bei Addition und Multiplikation dürfen die Zahlen vertauscht (kommutiert) werden:

$$a + b = b + a$$

$$a \cdot b = b \cdot a$$

Assoziative Gesetze. Bei Addition und Multiplikation dürfen die Zahlen beliebig durch Klammern zusammengefaßt werden:

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

$$(ab)\,c = a\,(b\,c)$$

Distributives Gesetz. Dieses Gesetz verbindet Addition und Multiplikation: Eine Summe wird multipliziert, indem die Summanden einzeln multipliziert und die Ergebnisse addiert werden:

$$(a + b)\,c = ac + bc$$

EINIGE RECHENREGELN

Addieren und Subtrahieren. Nur *gleichbenannte* Zahlen können addiert oder subtrahiert werden: $5m + 7m = 12m$; $5m$ und $7m^2$ können nicht addiert oder subtrahiert werden.

Quersumme. Addiert man die Ziffern einer Zahl ohne Rücksicht auf ihren Stellenwert, so erhält man ihre *Quersumme*. Die Quersumme von 3574 ist $3 + 5 + 7 + 4 = 19$.

Neunerprobe. Die *Neunerprobe* dient der Prüfung der Richtigkeit einer Addition. Hierzu bildet man von allen Posten die Quersummen. Sind diese mehrstellige Zahlen, so bildet man von ihnen wieder die Quersummen, bis sich einstellige Zahlen ergeben. Diese Endquersummen zählt man zusammen und bildet aus der Summe wieder die einstellige Quersumme. Ebenso bildet man aus der Summe der ursprünglichen Posten die Endquersumme. Bei richtiger Addition müssen diese beiden Endquersummen gleich sein:

297;	Quersumme ist 18;	Quersumme ist 9	
5861;	Quersumme ist 20;	Quersumme ist 2	
32;	Quersumme ist 5;	Quersumme ist 5	
145;	Quersumme ist 10;	Quersumme ist 1	
3030;	Quersumme ist 6;	Quersumme ist 6	
Summe	9365	Summe	23
Quersumme	23	Endquersumme	5
Endquersumme	5		

Die Bezeichnung „*Neunerprobe*" wurde gewählt, weil die einstelligen Endquersummen gleich 9 sind oder gleich den Resten, die sich beim Dividieren der Zahlen, von denen jeweils die Endquersummen gebildet werden, durch 9 ergeben:

$$10 : 9 = 1 \text{ Rest } 1, \text{ Quersumme von } 10 \text{ ist } 1$$

$$23 : 9 = 2 \text{ Rest } 5; \text{ Quersumme von } 23 \text{ ist } 5$$

Multiplizieren. Im Bereich der ganzen Zahlen ist die Multiplikation ein *Sonderfall der Addition*, nämlich eine Addition von gleichen Summanden:

$$6 + 6 + 6 + 6 = 6 \cdot 4 = 24.$$

Multiplikation mit zweistelligen Zahlen. Man multipliziert mit *zweistelligen Zahlen*, die sich in zwei ganzzahlige Faktoren zerlegen lassen, indem man nacheinander mit diesen Faktoren multipliziert:

$$36 \cdot 422 = 4 \cdot 9 \cdot 422$$

$$422 \cdot 4 = 1688, \quad 1688 \cdot 9 = 15192$$

Multiplikation mit 11. Um eine zweistellige Zahl mit 11 zu multiplizieren, bilde man ihre Quersumme. Ist diese einstellig, so setze man sie zwischen die beiden Ziffern der Zahl:

$43 \cdot 11 = 473$, da die Quersumme von 43 gleich 7 ist.

Ist sie zweistellig, so schriebe man nur ihre Einer dazwischen und erhöhe die erste Ziffer um eins:

$58 \cdot 11 = 638$, da die Quersumme von 58 gleich 13 ist.

Dezimalbrüche. Sie werden wie ganze Zahlen multipliziert. Am Ergebnis trennt man dann von rechts her durch Komma so viele Stellen ab, wie beide Faktoren insgesamt Dezimalstellen haben.

Reihenfolge der Rechenoperationen. Bei mehrgliedrigen Ausdrücken werden Multiplikation und Division *vor* Addition und Subtraktion ausgeführt.

$$60 - 3 \cdot 5 + 12 : 4 + 7 = 60 - 15 + 3 + 7 = 55.$$

Fakultät einer natürlichen Zahl n. Darunter versteht man das Produkt aller natürlichen Zahlen von 1 bis n;

$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \ldots n$. Zum Beispiel ist $3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$

oder $5! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 = 120$.

Dividieren. Division *größerer Zahlen*:

$$\begin{array}{l} 9476 : 23 = 412 \\ \underline{92} \\ \quad 27 \\ \quad \underline{23} \\ \quad\ 46 \\ \quad\ \underline{46} \end{array}$$

Man dividiert den Dividenden von links nach rechts und zieht das Produkt aus Quotient und Divisor jeweils ab. Den Rest ergänzt man durch eine weitere Ziffer des Dividenden. Sind alle Ziffern ohne Rest verbraucht, so ist die Division abgeschlossen. Bleibt ein Rest, so wird eine Null angesetzt, am Quotienten ein Komma angefügt und weiter dividiert:

$$\begin{array}{l} 9485 : 23 = 412{,}391 \\ \underline{28} \\ \quad 55 \\ \quad \underline{46} \\ \quad\ 90 \\ \quad\ \underline{69} \\ \quad\ 210 \\ \quad\ \underline{207} \\ \quad\ \ 30 \\ \quad\ \ \underline{23} \\ \text{Rest:} \quad\ \ 7 \text{ Tausendstel} \end{array}$$

Die Dezimalstellen ließen sich in diesem Falle noch vermehren. Man kann aber jeden Dezimalbruch auch abkürzen (runden). Dabei erhöht die erste wegfallende Dezimalstelle die vorhergehende um eins, wenn ihr Wert größer als 5 ist; ist ihr Wert gleich 5, so wird die vorhergehende Dezimalstelle nur erhöht, wenn sie ungerade ist.
Demnach wird $412{,}391 \approx 412{,}39 \approx 412{,}4$. Das Zeichen $\approx$ bedeutet „angenähert gleich".
Ist der Divisor ein *Dezimalbruch*, so ist er in eine ganze Zahl umzuwandeln und der Dividend durch Verschieben des Kommas nach rechts entsprechend zu vergrößern:

$$\begin{array}{l} 102{,}91 : 25{,}1 = \\ 1029{,}1 : 251 \ = 4{,}1 \\ \underline{1004} \\ \quad 251 \\ \quad 251 \end{array}$$

Man dividiert *ganze Zahlen* und *Dezimalbrüche* durch 10, 100 usw., indem man das Komma um eine, zwei usw. Stellen nach links verschiebt:

$$437 : 10 = 43{,}7; \quad 437 : 1000 = 0{,}437; \quad 0{,}043 : 100 = 0{,}00043.$$

Das Rechnen mit mehrgliedrigen Ausdrücken (Klammerausdrücken). Das Einklammern und das Ausklammern von Zahlen:

$$4a + 6ab - 2ac = 2a(2 + 3b - c)$$

$$5a(2b - 7c + 3d) = 10ab - 35ac + 15ad$$

Beim *Addieren* und beim *Subtrahieren* werden zuerst die Klammern aufgelöst, dann die Glieder addiert bzw. subtrahiert:

$$(12a - 5b) + (7a - 4b) = 12a - 5b + 7a - 4b = 19a - 9b$$
$$(12a - 5b) - (7a - 4b) = 12a - 5b - 7a + 4b = 5a - b$$

Beim *Multiplizieren* mit einer beliebigen Zahl wird jedes Glied der Klammer mit diesem Faktor multipliziert. Die Multiplikation und die Division werden vor der Addition und der Subtraktion ausgeführt:

$$4(a + b - c) = 4a + 4b - 4c$$
$$9b + 4(a + b - c) = 9b + 4a + 4b - 4c = 4a + 13b - 4c$$
$$8c - (12a + 9b - 15c) : 3 = 8c - (4a + 3b - 5c) = 8c - 4a - 3b + 5c = 13c - 4a - 3b$$

Mehrere Klammerausdrücke werden miteinander *multipliziert,* indem man jedes Glied der einen Klammer mit jedem Glied der anderen Klammer multipliziert:

$$(a + b) \cdot (c - d) = ac + bc - ad - bd$$
$$(a + b)^2 = (a + b) \cdot (a + b) = a^2 + ab + ab + b^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

Ein Klammerausdruck wird durch eine beliebige Zahl *dividiert,* indem man jedes Glied durch diese Zahl dividiert:

$$(9a + 2b + 6c) : 3 = 3a + \frac{2}{3}b + 2c$$

Ein Klammerausdruck wird durch einen anderen *Klammerausdruck dividiert,* indem man sein erstes Glied durch das erste Glied dieses Divisors dividiert, mit diesem Teilquotienten den ganzen Divisor multipliziert, dieses Produkt dann vom Dividenden subtrahiert und mit dem Rest in gleicher Weise verfährt:

$$(ac - ad + bc - bd) : (c - d) = a + b$$
$$\begin{array}{r} ac - ad \\ \hline + bc - bd \\ + bc - bd \\ \hline 0 \end{array}$$

Das kleine und das große Einmaleins

	2	3	4	**5**	6	7	8	9	**10**	11	12	13	14	**15**	16	17	18	19
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114
7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133
8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152
9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	121	132	143	154	165	176	187	198	209
12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228
13	26	39	52	65	78	91	104	117	130	143	156	169	182	195	208	221	234	247
14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224	238	252	266
15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285
16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240	256	272	288	304
17	34	51	68	85	102	119	136	153	170	187	204	221	238	255	272	289	306	323
18	36	54	72	90	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288	306	324	342
19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	228	247	266	285	304	323	342	361

PRIMZAHLEN

Primzahlen sind natürliche Zahlen, die nur durch 1 und durch sich selbst teilbar sind; alle Primzahlen außer 2 sind also *ungerade* Zahlen. Es gibt unendlich viele Primzahlen; das Gesetz ihrer Aufeinanderfolge ist jedoch noch nicht bekannt. Sieht man von der Reihenfolge der Faktoren ab, so kann jede natürliche Zahl eindeutig als Produkt von Primzahlen, den *Primfaktoren*, dargestellt werden. Beispiel: $10 = 2 \cdot 5$, $75 = 3 \cdot 5 \cdot 5$.
Aussagen über die Teilbarkeit und die Primfaktorzerlegung von natürlichen Zahlen sowie über die Verteilung (Aufeinanderfolge) der Primzahlen und ihre Anzahl unterhalb einer gewissen Schranke gehören der *Zahlentheorie* an.
Das *Sieb des Eratosthenes* ist eine Methode zur Aussonderung der Primzahlen aus der Gesamtheit der ungeraden Zahlen. Man denke sich die ungeraden Zahlen nacheinander notiert:

3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, ...

Aus dieser Folge werden zunächst die Vielfachen von 3, die auf jedem dritten Platz stehen, herausgestrichen, danach die Vielfachen von 5 (jeder fünfte Platz), von 7 (jeder siebente Platz) usw. Wird dieses Verfahren immer weiter fortgesetzt, so bleiben nur Primzahlen übrig. Man erhält so z. B. die folgende Tabelle:

Primzahlen unter 1000

2	97	227	367	509	661	829
3	101	229	373	521	673	839
5	103	233	379	523	677	853
7	107	239	383	541	683	857
11	109	241	389	547	691	859
13	113	251	397	557	701	863
17	127	257	401	563	709	877
19	131	263	409	569	719	881
23	137	269	419	571	727	883
29	139	271	421	577	733	887
31	149	277	431	587	739	907
37	151	281	433	593	743	911
41	157	283	439	599	751	919
43	163	293	443	601	757	929
47	167	307	449	607	761	937
53	173	311	457	613	769	941
59	179	313	461	617	773	947
61	181	317	463	619	787	953
67	191	331	467	631	797	967
71	193	337	479	641	809	971
73	197	347	487	643	811	977
79	199	349	491	647	821	983
83	211	353	499	653	823	991
89	223	359	503	659	827	997

Die größte bisher ermittelte Primzahl besteht aus 969 Ziffern; es ist die Zahl $2^{3217}-1$.

BRUCHRECHNUNG

Gemeine Brüche und Dezimalbrüche. Die Unmöglichkeit, im Bereich der ganzen Zahlen jede Divisionsaufgabe auszuführen, zwingt zur Einführung der gebrochenen rationalen Zahlen oder Brüche. Man unterscheidet *gemeine Brüche* und *Dezimalbrüche*.

Gemeine Brüche. Als gemeinen Bruch $\frac{a}{b}$ bezeichnet man den Quotienten $a:b$ von zwei ganzen Zahlen a und b. Man identifiziert das Symbol $\frac{a}{b}$ mit dem Quotienten $a:b$ und nennt a den *Zähler*, b den *Nenner* des Bruches. Die ganzen Zahlen sind als Brüche mit dem Nenner 1 aufzufassen: $4 = \frac{4}{1}$.

Dezimalbrüche. Unter einem Dezimalbruch versteht man eine endliche bzw. unendliche Summe von (gemeinen) Brüchen, deren Nenner Zehnerpotenzen sind und deren Zähler entweder Null oder eine der natürlichen Zahlen von 1 bis 9 sind. Ein Dezimalbruch hat also die Gestalt:

$$12 + \frac{7}{10} + \frac{5}{100}, \text{ allgemein: } a_0 + \frac{a_1}{10} + \frac{a_2}{10^2} + \frac{a_3}{10^3} + \dots ;$$

dabei ist a_0 eine ganze Zahl, während $a_1, a_2, a_3, \dots$ der ganzen Zahlen von Null bis 9 fähig sind. Man schreibt den Dezimalbruch abkürzend

$$12{,}75, \text{ allgemein: } a_0, a_1 a_2 a_3 \dots,$$

indem man die Zähler der einzelnen Brüche unmittelbar hintereinandersetzt und sie durch ein Komma von dem ganzen Anteil a_0 abtrennt:

$$12{,}75 = 12 + \frac{7}{10} + \frac{5}{100}, \quad \text{allgemein: } a_0, a_1 a_2 a_3 \ldots = a_0 + \frac{a_1}{10} + \frac{a_2}{10^2} + \frac{a_3}{10^3} + \ldots$$

Ist $a_0 = 0$, so ist der Dezimalbruch kleiner als eins, z. B.

$$0{,}75 = \frac{7}{10} + \frac{5}{100}.$$

Ist einer der Zähler $a_1, a_2, a_3, \ldots$ gleich Null, so muß er auch in der abkürzenden Schreibweise als Null auftreten:

$$12{,}075 = 12 + \frac{7}{100} + \frac{5}{1000}.$$

Eine ganze Zahl wird mit einem Dezimalbruch identifiziert, dessen sämtliche Zähler verschwinden. Ein Dezimalbruch heißt *endlich*, wenn von einer bestimmten endlichen Stelle ab nur Nullen auftreten, andernfalls heißt er *unendlich*. Ein unendlicher Dezimalbruch heißt *periodisch*, wenn eine bestimmte Folge von Ziffern, *Periode* genannt, immer wieder erscheint. Die die Periode bildenden Stellen werden nur einmal angegeben und durch einen Querstrich in ihrem Umfang gekennzeichnet. Beispiele: $0{,}66\overline{6}$ (sämtliche Stellen stimmen überein; Periode ist 6); $0{,}\overline{567}$ (die Periode ist 567).
Dezimalbrüche werden addiert bzw. subtrahiert, indem entsprechende Stellen addiert bzw. subtrahiert werden:

$$10{,}678 + 0{,}0057 = 10{,}6837; \qquad 0{,}\overline{567} + 0{,}077 = 0{,}644\overline{567}.$$

Dezimalbrüche werden multipliziert, indem man die unter Weglassen der Kommata entstehenden Zahlen multipliziert und im Ergebnis von rechts nach links durch ein Komma so viele Ziffern abtrennt, wie die beiden Dezimalbrüche insgesamt Stellen haben: $3{,}5 \cdot 5{,}67 = 19{,}845$; $0{,}7 \cdot 0{,}009 = 0{,}0063$. Dezimalbrüche werden dividiert, indem man ihren Quotienten mit 10 oder 100 oder 1000 usw. erweitert, um einen ganzzahligen Quotienten zu erhalten:

$$0{,}63 : 0{,}07 = (0{,}63 \cdot 100) : (0{,}07 \cdot 100) = 63 : 7 = 9.$$

Rechnen mit gemeinen Brüchen. Für gemeine Brüche sind folgende Bezeichnungen und Regeln gültig: Werden Zähler und Nenner eines gemeinen Bruches vertauscht, so ergibt sich sein *Kehrwert* oder *reziproker* Wert; z. B. haben 5, $\frac{3}{7}$, $\frac{a}{b}$ die Kehrwerte $\frac{1}{5}$, $\frac{7}{3}$, $\frac{b}{a}$.

Echte Brüche sind kleiner als 1; z. B. $\frac{1}{2}$, $\frac{11}{14}$, $\frac{25}{90}$. Brüche mit dem Zähler 1 bezeichnet man als *Stammbrüche*, z. B. $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{87}$; $\frac{11}{14}$ dagegen ist ein *Zweigbruch*.

Unechte Brüche sind größer als 1; z. B. $\frac{3}{2}$, $\frac{9}{7}$.

Gemischte Zahlen bestehen aus einer ganzen Zahl und einem Bruch; z. B. $2\frac{3}{4} = 2 + \frac{3}{4} = \frac{11}{4}$.

Gleichnamige Brüche haben den gleichen Nenner; z. B. $\frac{2}{7}$, $\frac{3}{7}$, $\frac{6}{7}$.

Zwei Brüche haben *gleichen Wert*, wenn sie durch geeignetes Erweitern oder Kürzen ineinander übergehen.

Erweitern. Brüche *erweitern* heißt, Zähler und Nenner mit der gleichen Zahl multiplizieren. So ist $\frac{1}{4} = \frac{3}{12}$ (erweitert mit 3) und $\frac{7}{2} = \frac{35}{10}$ (erweitert mit 5).

Kürzen. Brüche *kürzen* heißt, Zähler und Nenner durch die gleiche Zahl dividieren. So ist $\frac{4}{12} = \frac{1}{3}$ (gekürzt mit 4) und $\frac{12}{3} = 4$ (gekürzt mit 3).

Da das Kürzen der Brüche das Rechnen erleichtert, so kürze möglichst oft, und zwar nach folgenden *Teilbarkeitsregeln*:

Zahlen sind *teilbar*
durch 2, wenn sie gerade sind;
durch 3, wenn die Quersumme durch 3 teilbar ist;
durch 4, wenn die aus den letzten beiden Ziffern gebildete Zahl durch 4 teilbar ist oder beide Ziffern Nullen sind;
durch 5, wenn die letzte Ziffer 5 oder 0 ist;
durch 6, wenn sie sowohl durch 2 als auch durch 3 teilbar sind ($6 = 2 \cdot 3$);

Zahlen sind *teilbar*

durch 8, wenn die aus den letzten drei Ziffern gebildete Zahl durch 8 teilbar ist oder diese Ziffern Nullen sind;

durch 9, wenn die Quersumme durch 9 teilbar ist;

durch 11, wenn die Summe der an den ungeraden Stellen stehenden Ziffern gleich der Summe der an den geraden Stellen stehenden Ziffern ist oder wenn die Differenz dieser beiden Summen gleich 11 oder einem Vielfachen von 11 ist;

durch 12, wenn sie sowohl durch 3 als auch durch 4 teilbar sind ($12 = 3 \cdot 4$);

durch 15, wenn sie sowohl durch 3 als auch durch 5 teilbar sind;

durch 16, wenn die letzten vier Ziffern Nullen sind oder die von ihnen gebildete Zahl durch 16 teilbar ist;

durch 25, wenn die letzten beiden Ziffern Nullen sind oder die von ihnen gebildete Zahl durch 25 teilbar ist;

durch 125, wenn die letzten drei Ziffern Nullen sind oder die von ihnen gebildete Zahl durch 125 teilbar ist.

Allgemein gilt: Eine Zahl ist durch eine andere teilbar, wenn sie durch die Einzelfaktoren (in deren jeweils höchster Potenz) dieser anderen teilbar ist.

Die *größte Kürzungszahl* eines Bruches ist der größte gemeinsame Teiler von Zähler und Nenner. Sie wird mit folgendem Verfahren, dem *Euklidischen Algorithmus*, bestimmt:

Gegeben $\frac{518}{703}$; $703 : 518 = 1$, $-\frac{518}{185}$; $518 : 185 = 2$, $-\frac{370}{148}$; $185 : 148 = 1$, $-\frac{148}{37}$; $148 : 37 = 4$, $-\frac{148}{0}$

Der Divisor, bei dem die Division schließlich ohne Rest aufgeht, ist die größte Kürzungszahl.

$\frac{518}{703} = \frac{14}{19}$ (gekürzt mit 37).

Gleichnamig machen. Brüche gleichnamig machen heißt, sie auf den gleichen (kleinsten) Nenner, ihren Hauptnenner, bringen. Er ist *das kleinste gemeinschaftliche Vielfache* der Einzelnenner. Man findet ihn, indem man die einzelnen Nenner in Primfaktoren zerlegt und diese dann miteinander multipliziert, wobei aber jede Primzahl nur so oft genommen wird, wie sie in den Einzelnennern höchstens vorkommt:

$$\frac{3}{8} - \frac{1}{5} + \frac{5}{12} = \frac{3}{2 \cdot 2 \cdot 2} - \frac{1}{5} + \frac{5}{2 \cdot 2 \cdot 3}.$$

Hauptnenner also $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 3 = 120$;

$$\frac{3 \cdot 15}{8 \cdot 15} = \frac{45}{120}; \quad \frac{1 \cdot 24}{5 \cdot 24} = \frac{24}{120}; \quad \frac{5 \cdot 10}{12 \cdot 10} = \frac{50}{120};$$

$$\frac{45}{120} - \frac{24}{120} + \frac{50}{120} = \frac{45 - 24 + 50}{120} = \frac{71}{120}.$$

Gemischte Zahlen einrichten. Gemischte Zahlen einrichten heißt, sie in unechte Brüche verwandeln. Dies geschieht, indem man die ganze Zahl mit dem Nenner des Bruches multipliziert und das Produkt zum Zähler addiert:

$$3\frac{4}{9} = \frac{(3 \cdot 9) + 4}{9} = \frac{31}{9}.$$

Unechte Brüche in gemischte Zahlen verwandeln. Um unechte Brüche in gemischte Zahlen zu verwandeln, dividiert man Zähler durch Nenner. Dann ist die Zahl, die angibt, wie oft der Nenner im Zähler ganz enthalten ist, die ganze Zahl; der Rest wird zum Zähler des Bruches der gemischten Zahl:

$$\frac{65}{17} = 3\frac{14}{17}, \text{ weil } 65 : 17 = 3 \text{ Rest } 14.$$

Addieren und Subtrahieren. Gleichnamige Brüche werden addiert bzw. subtrahiert, indem man die Zähler addiert bzw. subtrahiert; ungleichnamige werden zunächst gleichnamig gemacht. Bei gemischten Zahlen werden erst die Ganzen, dann die Brüche addiert bzw. subtrahiert:

$$\frac{1}{9} + \frac{4}{9} + \frac{7}{9} = \frac{12}{9} = \frac{4}{3} = 1\frac{1}{3}; \quad 3\frac{1}{9} + 2\frac{4}{9} + 1\frac{7}{9} = 6\frac{12}{9} = 7\frac{3}{9} = 7\frac{1}{3};$$

$$\frac{3}{4} + \frac{1}{5} + \frac{5}{6} = \frac{45}{60} + \frac{12}{60} + \frac{50}{60} = \frac{107}{60} = 1\frac{47}{60}.$$

Multiplizieren. Man multipliziert einen *Bruch mit einer ganzen Zahl,* indem man den Zähler mit ihr multipliziert:

$$3 \cdot \frac{5}{7} = \frac{3 \cdot 5}{7} = \frac{15}{7} = 2\frac{1}{7}.$$

Man multipliziert einen *Bruch mit einem Bruch,* indem man Zähler mit Zähler und Nenner mit Nenner multipliziert:

$$\frac{3}{8} \cdot \frac{2}{5} = \frac{3 \cdot 2}{8 \cdot 5} = \frac{3 \cdot 1}{4 \cdot 5} = \frac{3}{20}.$$

Dividieren. Man dividiert durch einen Bruch, indem man mit dem Kehrwert des Bruches multipliziert; ganze Zahlen werden dabei als Brüche mit dem Nenner 1 aufgefaßt: $4 = \frac{4}{1}$.

Beispiele:

$$18 : \frac{2}{9} = \frac{18 \cdot 9}{2} = 9 \cdot 9 = 81;$$

$$\frac{2}{9} : 4 = \frac{2}{9} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{18};$$

$$\frac{2}{5} : \frac{6}{7} = \frac{2}{5} \cdot \frac{7}{6} = \frac{7}{15}.$$

Dezimalbrüche in gemeine Brüche verwandeln. Endliche oder unendliche periodische Dezimalbrüche sind rational, werden also durch wohlbestimmte gemeine Brüche dargestellt.

a) *Endliche Dezimalbrüche:* An der 1. Stelle nach dem Komma stehen die Zehntel, an der 2. die Hundertstel usw., also sind 0,656 sechshundertsechsundfünfzig Tausendstel:

$$x = 0{,}656 = \frac{656}{1000} = \frac{82}{125}$$

b) *Unendliche reinperiodische Dezimalbrüche,* bei denen nach dem Komma sofort die Periode beginnt:

$$\begin{aligned} x &= 0{,}333\ldots \\ 10x &= 3{,}333\ldots \\ \hline 9x &= 3{,}000 \\ x &= \frac{3}{9} = \frac{1}{3} \end{aligned}$$

c) *Unendliche unreinperiodische Dezimalbrüche:*

$$\begin{aligned} x &= 0{,}65353\ldots \\ 1000x &= 653{,}5353\ldots \\ 10x &= 6{,}5353\ldots \\ \hline 990x &= 647 \\ x &= \frac{647}{990} \end{aligned}$$

Gemeine Brüche in Dezimalbrüche verwandeln. Man verwandelt gemeine Brüche in Dezimalbrüche, genauer in endliche Dezimalbrüche oder in unendliche periodische Dezimalbrüche, indem man den Zähler des gemeinen Bruches durch den Nenner dividiert:

$$\frac{1}{2} = 1 : 2 = 0{,}5;\ \frac{1}{3} = 1 : 3 = 0{,}3\dot{3};\ \frac{1}{4} = 0{,}25;\ \frac{1}{5} = 0{,}2;\ \frac{1}{8} = 0{,}125;\ \frac{1}{9} = 0{,}1\dot{1};\ \frac{1}{10} = 0{,}1;$$

$$\frac{1}{25} = 0{,}04;\ \frac{2}{3} = 0{,}6\dot{6};\ \frac{3}{4} = 0{,}75;\ \frac{4}{5} = 0{,}8;\ \frac{5}{6} = 0{,}8\dot{3}$$

Kettenbrüche. Ein Kettenbruch ist ein Bruch, dessen Nenner die Summe einer ganzen Zahl und eines Bruches ist, dessen Nenner wiederum die Summe einer ganzen Zahl und eines Bruches ist usw. z. B.

$$\cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{3 + \cfrac{1}{4 + \ldots}}}$$

Derartige Brüche können zur Definition und, wenn sie nach endlich vielen Schritten abbrechen, zur näherungsweisen Darstellung von reellen Zahlen benutzt werden. Rationale Zahlen sind Kettenbrüche, die bereits mit dem ersten Nenner abbrechen.

BEHANDLUNG DER VORZEICHEN, ANORDNUNGSBEZIEHUNGEN, ABSOLUTER BETRAG

Behandlung der Vorzeichen. Jede Zahl a, die von 0 verschieden ist, ist entweder positiv oder negativ; das bedeutet auf der Zahlengeraden, daß sie entweder rechts oder links vom Nullpunkt gelegen ist. Dieses Verhalten der Zahlen wird durch die Vorzeichen „+" bzw. „−" kenntlich gemacht; dabei läßt man bei positiven Zahlen meist das Vorzeichen fort. Die Vorzeichen „+" und „−" sind von den Rechen- oder Operationszeichen „+" und „−", die die Bildung der Summe bzw. der Differenz verlangen, streng zu unterscheiden; die mit Vorzeichen versehenen Zahlen sind nötigenfalls einzuklammern. Wie positive und negative Zahlen (im Bereich der ganzen Zahlen bisweilen als *relative* Zahlen bezeichnet) zu addieren bzw. subtrahieren sind, drücken folgende Gleichungen aus:

$$(+a) + (+b) = a + b \qquad (+a) + (-b) = a - b$$
$$(-a) + (+b) = -a + b = b - a \qquad (-a) + (-b) = -a - b = -(a + b)$$

Bei der *Subtraktion* bekommen die auf das Subtraktionszeichen folgenden Zahlen nach Weglassen der Klammern das entgegengesetzte Vorzeichen:

$$(+a) - (+b) = a - b \qquad (+a) - (-b) = a + b$$
$$(-a) - (+b) = -a - b = -(a + b) \qquad (-a) - (-b) = -a + b = b - a$$

Für die *Multiplikation* gilt: Das Produkt von zwei Zahlen ist positiv, wenn beide Zahlen gleiche, negativ, wenn sie verschiedene Vorzeichen haben:

$$(+a) \cdot (+b) = +ab \qquad (+a) \cdot (-b) = -ab$$
$$(-a) \cdot (-b) = +ab \qquad (-a) \cdot (+b) = -ab$$

Bei der *Division* werden die Vorzeichen der Multiplikation entsprechend behandelt:

$$(-a) : (-b) = +\frac{a}{b}. \qquad (-5) : (+9) = -\frac{5}{9}.$$

In Klammern setzt man alleinstehende Zahlen üblicherweise nur dann, wenn es gilt, Irrtümer (z. B. Verwechslungen zwischen Additions- bzw. Subtraktionszeichen und Vorzeichen) zu vermeiden.

Anordnungsbeziehungen. Zwei (reelle) Zahlen a und b sind entweder gleich, oder a ist kleiner als b, oder a ist größer als b. Hierfür schreibt man $a = b$ oder $a < b$ oder $a > b$, gelesen: a ist gleich b, bzw. a ist kleiner als b, bzw. a ist größer als b.
Insbesondere kann $a = 0$, $a < 0$ oder $a > 0$ sein. Die Schreibweise $a < 0$ bzw. $a > 0$ ist also gleichbedeutend damit, daß a negativ bzw. a positiv ist. So ist z. B. $+5 > 0$, $-3 < 0$, $6 < 7$ usw.
Die den Zahlen a und b entsprechenden Punkte A und B der reellen Zahlengeraden haben folgende gegenseitige Lage: Wenn $a = b$ ist, so fallen A und B zusammen; wenn $a < b$ ist, so liegt A links von B; wenn $b < a$ ist, so liegt B links von A.

Für die Größenbeziehung (genauer Anordnungsbeziehung) zwischen zwei reellen Zahlen a und b gelten folgende Grundsätze (Axiome):

1. Wenn $a < b$ ist, so ist für eine beliebige reelle Zahl c stets: $a + c < b + c$ und $a - c < b - c$; d. h., eine Anordnungsbeziehung ändert sich nicht, wenn man auf beiden Seiten einen beliebigen Summanden addiert bzw. subtrahiert. Zum Beispiel ist $3 < 4$; mit $c = 2$ ist also $3 + 2 < 4 + 2$, d. h. $5 < 6$.
2. Für die Multiplikation gilt dieses Gesetz nicht uneingeschränkt. Wenn $a < b$ ist, so ist zwar für eine beliebige positive reelle Zahl c stets $a \cdot c < b \cdot c$. Wenn c jedoch negativ ist, so kehrt sich der Sinn der Anordnungsbeziehung um, und es wird $b \cdot c < a \cdot c$. Zum Beispiel ist $2 < 3$; mit $c = 4$ wird $2 \cdot 4 < 3 \cdot 4$ oder $8 < 12$; mit $c = -4$ dagegen ist $2 \cdot (-4) > 3 \cdot (-4)$ oder $-8 > -12$.
3. Die Aussagen der beiden Grundsätze sind umkehrbar. Sowohl aus $a + c < b + c$ als auch aus $a \cdot c < b \cdot c$ (falls $c > 0$) folgt stets $a < b$.
4. Aus $a < b$ und $c < d$ folgt $a + c < b + d$; sind c und d zudem positiv, so ist $a \cdot c < b \cdot d$. Zum Beispiel ist $2 < 3$ und $2 < 4$; also gilt $2 + 2 < 3 + 4$ oder $4 < 7$, ferner $2 \cdot 2 < 3 \cdot 4$ oder $4 < 12$.
5. Aus $a < b$ folgt $-b < -a$; der Übergang zum entgegengesetzten Vorzeichen kehrt den Sinn der Anordnungsbeziehung um.
6. Ist $a < b$ und a positiv (demzufolge ist auch b positiv), so ist $\frac{1}{b} < \frac{1}{a}$; auch bei der Division wird also der Sinn der Anordnungsbeziehung umgekehrt.

Absoluter Betrag. Unter dem *absoluten Betrag* einer reellen Zahl a versteht man diejenige der beiden Zahlen a und $-a$, die nicht negativ ist. So haben z. B. $+5$ und -5 denselben absoluten Betrag, nämlich $+5$. Der absolute Betrag von a wird symbolisiert durch das Zeichen $|a|$, lies: „a-absolut", „(absoluter) Betrag von a" oder „a-Betrag". Er ist niemals negativ:

$$|a| \geqq 0, \qquad |0| = 0, \qquad |a| > 0, \text{ wenn } a \neq 0.$$

Man kann $|a|$ auch auffassen als den Abstand des der Zahl a entsprechenden Punktes der reellen Zahlengeraden von deren Nullpunkt. Ist a eine komplexe Zahl, so wird $|a|$ definiert als der Abstand des a entsprechenden Punktes der Gaußschen Zahlenebene vom Nullpunkt. Beispiele sind: $|i| = 1$, $|1 + i| = \sqrt{2}$, $|-3 + 4i| = 5$.

Für das Rechnen mit absoluten Beträgen gelten folgende Regeln:

1. Der Betrag der Summe (Differenz) ist nicht größer als die Summe der Beträge:
$$|a \pm b| \leqq |a| + |b|$$
Zum Beispiel ist $|3 + 4| = |3| + |4| = 7$, aber $|3 - 4| < |3| + |4|$, da $|3 - 4| = |-1| = 1$ und $|3| + |4| = 3 + 4 = 7$.
2. Der Betrag der Differenz der Beträge ist nicht größer als der Betrag der Summe (Differenz):
$$||a| - |b|| \leqq |a \pm b|$$
Zum Beispiel ist $||3| - |2|| = |3 - 2| = 1$, aber $||3| - |2|| < |3 + 2|$, da $||3| - |2|| = |1| = 1$ und $|3 + 2| = |5| = 5$.
3. Der Betrag eines Produktes ist gleich dem Produkt der Beträge der Faktoren: $|a \cdot b| = |a| \cdot |b|$
4. Der Betrag eines Quotienten ist gleich dem Quotienten der Beträge der Faktoren:
$$\left|\frac{a}{b}\right| = \frac{|a|}{|b|}$$

Der Begriff des absoluten Betrages und die für ihn gültigen Rechenregeln sind ein wichtiges Hilfsmittel der Mathematik, um Aussagen z. B. über Größenverhältnisse herzuleiten (Aufsuchen der Grenzen, innerhalb deren eine Funktion variieren kann u. ä.).

VERHÄLTNISSE UND PROPORTIONEN

Verhältnis. Unter einem Verhältnis zweier Größen versteht man einen Vergleich ihrer Zahlenwerte, z. B. durch Bildung der Differenz oder des Quotienten der beiden Größen.

Arithmetisches Verhältnis. Fragt man, *um wieviel* eine Zahl (Größe) größer ist als eine andere, so liegt ein *arithmetisches Verhältnis* vor, z. B. 9 ist um 3 größer als 6:
$$9 - 6 = 3; \qquad a - b = c.$$

Geometrisches Verhältnis. Fragt man, *wie oft* eine Zahl (Größe) Teiler einer anderen ist, so besteht ein *geometrisches Verhältnis*, z. B. 20 ist 4mal so groß wie 5:
$$20 : 5 = 4; \qquad a : b = c.$$
Jedes geometrische Verhältnis kann auch als *Bruch* angesehen werden:
$$\frac{15}{5} = \frac{27}{9}; \qquad \frac{a}{b} = \frac{c}{d}.$$

Maßzahl. In $a - b = c$ und $a : b = c$ nennt man c die *Maßzahl* des Verhältnisses. Im folgenden sei unter Verhältnis stets ein geometrisches verstanden. Zwei Verhältnisse sind einander gleich, wenn ihre Maßzahlen gleich sind:
$$15 : 5 = 27 : 9 \text{ (Maßzahl 3).}$$

Proportion. Die Gleichsetzung zweier Verhältnisse heißt eine *Proportion*, z. B. $3 : 4 = 18 : 24$ $\left(\text{gleichbedeutend mit } \frac{3}{4} = \frac{18}{24}\right)$. Dabei sind 3 und 24 die äußeren, 4 und 18 die inneren Glieder der Proportion.

Produktengleichung. Durch kreuzweises Multiplizieren der Glieder entsteht die *Produktengleichung.* $\frac{3}{4} \times \frac{18}{24}$ ergibt $3 \cdot 24 = 4 \cdot 18$ oder $72 = 72$, d. h., das Produkt der äußeren Glieder ist gleich dem Produkte der inneren Glieder. Eine Proportion ist „richtig", wenn diese Produktengleichung gilt.

Stetige Proportion. Eine Proportion heißt *stetig*, wenn ihre inneren Glieder gleich sind:
$$a : b = b : c; \qquad 18 : 6 = 6 : 2.$$
Man nennt b bzw. 6 die *mittlere Proportionale* oder das *geometrische Mittel* von a und c bzw. von 18 und 2.

Fortlaufende Proportion. Eine fortlaufende Proportion, z. B. $1 : 5 : 6 : 8 : 10 = 3 : 15 : 18 : 24 : 30$, läßt sich ohne weiteres in eine „fortlaufende Gleichung von Verhältnissen" umwandeln, also $1 : 3 = 5 : 15 = 6 : 18 = 8 : 24 = 10 : 30$.

Korrespondierende Addition und Subtraktion. Gilt die Proportion $a : b = c : d$, so sind auch die folgenden oder entsprechend gebildete Proportionen richtig:

$$(a + b) : b = (c + d) : d; \qquad (a - b) : a = (c - d) : c; \qquad (a + b) : (a - b) = (c + d) : (c - d).$$

KAUFMÄNNISCHES RECHNEN

Einfacher Dreisatz (Allgemeine Schlußrechnung oder Regeldetri). Der einfache Dreisatz ermöglicht auf einfache Weise die Lösung einer Proportionsgleichung mit *einer* Unbekannten.

Beispiel: 50 kg Ware kosten 20 DM (Bedingungssatz)
60 kg kosten wieviel DM? (Fragesatz)

1. Lösung in Form einer *Proportionsgleichung*, wobei aus dem Bedingungssatz die linke, aus dem Fragesatz die rechte Seite der Gleichung wird:

$$50 : 20 = 60 : x$$

$$x = \frac{20 \cdot 60}{50} = 24; \text{ 60 kg kosten 24 DM.}$$

2. Lösung nach dem *Dreisatz* durch drei Ansätze:

50 kg kosten 20 DM (Vordersatz)

1 kg kostet $\frac{20}{50}$ DM (Mittelsatz)

60 kg kosten $60 \cdot \frac{20}{50}$ DM = 24 DM (Schlußsatz).

Zusammengesetzte Dreisatzrechnung. Hierfür einige Beispiele:

1. Beispiel: In einer Werkstatt arbeiten acht Gehilfen bei einem Stundenlohn von 1,80 DM. Wieviel verdienen sie zusammen in der Woche (= 48 Stunden)?

Lösung: 1 Gehilfe verdient in 1 Stunde 1,80 DM
8 Gehilfen verdienen in 1 Stunde $8 \cdot 1{,}80$ DM
8 Gehilfen verdienen in 1 Woche $48 \cdot 8 \cdot 1{,}80$ DM = 691,20 DM.

2. Beispiel: Wieviel Kilogramm Zinn und Blei muß man einschmelzen, um 6 kg Lötzinn zu erhalten, wenn das Mischungsverhältnis Zinn zu Blei gleich 4 : 6 ist?

Lösung: 4 Teile Zinn + 6 Teile Blei = 10 Teile Lot ≙ 6 kg Lot
1 Teil Lot ≙ 6 kg : 10 = 0,6 kg.
Also: 4 Teile Zinn $4 \cdot 0{,}6$ kg = 2,4 kg
6 Teile Blei $6 \cdot 0{,}6$ kg = 3,6 kg } geben 6 kg Lot.

3. Beispiel: Zwei Maurer erhalten für die Errichtung einer Mauer im Leistungslohn 400 DM. Der eine (A) hat 42 Stunden gearbeitet, der andere (B) 58 Stunden. Wieviel erhält jeder?

Lösung: Beide zusammen erhalten für (42 + 58) Stunden = 100 Stunden 400 DM, jeder erhält für 1 Stunde 400 DM : 100 = 4,00 DM;
A erhält $42 \cdot 4{,}00$ DM = 168,00 DM; B erhält $58 \cdot 4{,}00$ DM = 232,00 DM.

Der Kettensatz. Wenn im Bedingungssatz eine oder beide Benennungen des Fragesatzes fehlen, so muß man nach Zwischengliedern suchen, die die Benennungen beider Sätze miteinander verbinden. Das geschieht durch den *Kettensatz.* Er wird hauptsächlich bei Preisberechnungen und Geldumwertungen angewendet.

1. Beispiel: Wieviel DM kostet 1 Liter eines Öles (Fragesatz), von dem ein Wedro 6,25 Rubel kostet (Bedingungssatz), wenn ein Rubel 0,222168 g Feingold, 1 DM aber 0,399902 g Feingold enthält?

Lösung: Es ist eine Beziehung herzustellen zwischen Liter und Wedro, DM und Rubel. Beim Ansatz der Kette beginnt man mit der Frage, und zwar mit der Benennung, für die ein Wert gefunden werden soll:

? DM ≙ 1 *l*

Für 1 Wedro gilt ..... 12,299 *l* ≙ 1 Wedro
Aus dem Bedingungssatz ergibt sich ..... 1 Wedro ≙ 6,25 Rubel
Nach Gesetz ist festgelegt ..... 1 Rubel ≙ 0,222168 g Feingold
Nach Gesetz ist festgelegt ..... 0,399902 g Feingold ≙ 1 DM

Auf die linke Seite einer Zeile setzt man immer dieselbe Benennung, mit der die rechte Seite der vorhergehenden Zeile versehen ist. Die *Kette* ist *abgeschlossen*, wenn rechts die gleiche Benennung auftritt wie auf der linken Seite der ersten Zeile. Dann bildet man einen Bruch, dessen Zähler das Produkt der rechten und dessen Nenner das Produkt der linken Seite der Kette ist:

$$\frac{1 \cdot 1 \cdot 6{,}25 \cdot 0{,}222\,168 \cdot 1}{12{,}299 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}399\,902}\ \text{DM} = \frac{6{,}25 \cdot 0{,}222\,168}{12{,}299 \cdot 0{,}399902}\ \text{DM} = 0{,}28\ \text{DM}$$

1 *l* kostet 0,28 DM.

Auch die Aufgaben der einfachen Regeldetri kann man mit dem Kettensatz lösen:

2. Beispiel: 50 kg Ware kosten 20 DM.
Wieviel DM kosten 60 kg?

Lösung: ? DM ≙ 60 kg
50 kg ≙ 20 DM

$$\frac{60 \cdot 20}{50} = 24;\ 60\ \text{kg kosten 24 DM.}$$

Prozentrechnung. Bei der Prozentrechnung werden alle Teilbeträge eines „Grundwertes" auf 100 bezogen. 4% eines Grundwertes sind gleich $\frac{4}{100}$ dieses Wertes; $4\,\% = \frac{4}{100}$.

Grundansätze:

1. $\text{Prozentwert} = \frac{\text{Grundwert} \cdot \text{Prozentsatz}}{100}$

2. $\text{Prozentsatz} = \frac{\text{Prozentwert} \cdot 100}{\text{Grundwert}}$

3. $\text{Grundwert} = \frac{\text{Prozentwert} \cdot 100}{\text{Prozentsatz}}$

1. Beispiel: Wieviel sind $4^1/_2\,\%$ von 500 DM?

$$x = \frac{500\ \text{DM} \cdot 4{,}5}{100} = 22{,}50\ \text{DM}.$$

2. Beispiel: Die HO hat den Preis einer Ware, der bisher 60 DM betrug, um 8 DM gesenkt. Wie groß ist der Prozentsatz der Preissenkung?

$$x = \frac{8\ \text{DM} \cdot 100}{60\ \text{DM}} = 13^1/_3\,\%.$$

3. Beispiel: Bei einer 3%igen Steuersenkung erhält ein Freischaffender 13,50 DM zurück. Wie groß war der eingezahlte Steuerbetrag?

$$x = \frac{13{,}50\ \text{DM} \cdot 100}{3} = 450{,}-\ \text{DM}.$$

Zinsrechnung. Die Zinsrechnung verwendet den Dreisatz und die Prozentrechnung. Der Zinsfuß (in %) gibt an, wieviel DM Zinsen man für einen eingezahlten Betrag von 100 DM in einem Jahr bekommt. Es gilt die *Zinsformel*

$$\text{Zinsen}\,(z) = \frac{\text{Betrag}\,(b) \cdot \text{Zinsfuß}\,(p) \cdot \text{Zeit}\,(t,\ \text{in Jahren})}{100},\quad \text{also}\quad z = \frac{b \cdot p \cdot t}{100}.$$

Zinsdivisoren

zur Ermittlung der Zinsen bei Berechnung von $^1/_4\,\%$ bis 6%, das Jahr zu 360 Tagen gerechnet

%	Divisor	%	Divisor	%	Divisor
$^1/_4$	144000	$1^1/_2$	24000	4	9000
$^1/_3$	108000	2	18000	$4^1/_2$	8000
$^1/_2$	72000	$2^1/_2$	14400	5	7200
$^3/_4$	48000	3	12000	$5^1/_2$	6545
1	36000	$3^1/_2$	10286	6	6000

Man findet die Zinsen, indem man den Betrag mit der Zeit (der Anzahl der Tage) multipliziert und durch den zum vorgegebenen Zinsfuße gehörenden Divisor dividiert.

Zinsberechnung

(Zinsen in Pfennigen für 1 Tag bis zu 1 Jahr, das Jahr zu 360 Tagen gerechnet)

Betrag in DM	1	5	10	20	30	2	3	6	12
	Tage					Monate			
	3 Prozent								
1	0,01	0,04	0,08	0,17	0,25	0,5	0,75	1,5	3
5	0,04	0,21	0,42	0,83	1,25	2,5	3,75	7,5	15
10	0,08	0,42	0,83	1,67	2,5	5	7,5	15	30
20	0,17	0,83	1,67	3,33	5	10	15	30	60
30	0,25	1,25	2,5	5	7,5	15	22,5	45	90
40	0,33	1,67	3,33	6,67	10	20	30	60	120
50	0,42	2,08	4,17	8,33	12,5	25	37,5	75	150
60	0,5	2,5	5	10	15	30	45	90	180
70	0,58	2,92	5,83	11,67	17,5	35	52,5	105	210
80	0,67	3,33	6,67	13,33	20	40	60	120	240
90	0,75	3,75	7,5	15	22,5	45	67,5	135	270
100	0,83	4,17	8,33	16,67	25	50	75	150	300
500	4,17	20,83	41,67	83,33	125	250	375	750	1500
1000	8,33	41,67	83,33	166,67	250	500	750	1500	3000
	4 Prozent								
1	0,01	0,06	0,11	0,22	0,33	0,67	1	2	4
5	0,06	0,28	0,56	1,11	1,67	3,33	5	10	20
10	0,11	0,56	1,11	2,22	3,33	6,67	10	20	40
20	0,22	1,11	2,22	4,44	6,67	13,33	20	40	80
30	0,33	1,67	3,33	6,67	10	20	30	60	120
40	0,44	2,22	4,44	8,89	13,33	26,67	40	80	160
50	0,56	2,78	5,56	11,11	16,67	33,33	50	100	200
60	0,67	3,33	6,67	13,33	20	40	60	120	240
70	0,78	3,89	7,78	15,56	23,33	46,67	70	140	280
80	0,89	4,44	8,89	17,78	26,67	53,33	80	160	320
90	1	5	10	20	30	60	90	180	360
100	1,11	5,56	11,11	22,22	33,33	66,67	100	200	400
500	5,56	27,78	55,56	111,11	166,67	333,33	500	1000	2000
1000	11,11	55,56	111,11	222,22	333,33	666,67	1000	2000	4000
	5 Prozent								
1	0,01	0,07	0,14	0,28	0,42	0,83	1,25	2,5	5
5	0,07	0,35	0,69	1,39	2,08	4,17	6,25	12,5	25
10	0,14	0,69	1,39	2,78	4,17	8,33	12,5	25	50
20	0,28	1,39	2,78	5,56	8,33	16,67	25	50	100
30	0,42	2,08	4,17	8,33	12,5	25	37,5	75	150
40	0,56	2,78	5,56	11,11	16,67	33,33	50	100	200
50	0,69	3,47	6,94	13,89	20,83	41,67	62,5	125	250
60	0,83	4,17	8,33	16,67	25	50	75	150	300
70	0,97	4,86	9,72	19,44	29,17	58,33	87,5	175	350
80	1,11	5,56	11,11	22,22	33,33	66,67	100	200	400
90	1,25	6,25	12,5	25	37,5	75	112,5	225	450
100	1,39	6,94	13,89	27,78	41,67	83,33	125	250	500
500	6,94	34,72	69,44	138,89	208,33	416,67	625	1250	2500
1000	13,89	69,44	138,89	277,78	416,67	833,33	1250	2500	5000

Anwachsen eines Betrags von 100 DM durch Zinseszins
(die Zinsen werden jährlich nachträglich zum Betrag geschlagen)

abgelaufene Jahre	Zinsfuß			
	2%	3%	4%	5%
1	102	103	104	105
2	104,04	106,09	108,16	110,25
3	106,12	109,27	112,49	115,76
4	108,24	112,55	116,99	121,55
5	110,41	115,93	121,67	127,63
6	112,62	119,41	126,53	134,01
7	114,87	122,99	131,59	140,71
8	117,17	126,68	136,86	147,75
9	119,51	130,48	142,33	155,13
10	121,90	134,39	148,02	162,89
20	148,59	180,61	219,11	265,33
30	181,14	242,73	324,34	432,19
40	220,80	326,20	480,10	704,00
50	269,16	438,39	710,67	1146,74
60	328,10	589,16	1051,96	1867,92
80	487,54	1064,09	2304,98	4956,14
100	724,46	1921,86	5050,49	13150,13

Beispiel: Ein Betrag von 100 DM wächst in 20 Jahren bei einem Zinssatz von 3% auf 180,61 DM an.

Tilgung eines Betrags
Zinssätze in Prozent

Jahre	2%	3%	4%	5%	Jahre	2%	3%	4%	5%
1	1,02	1,03	1,04	1,05	16	0,074	0,080	0,086	0,092
2	0,515	0,523	0,530	0,538	17	0,070	0,076	0,082	0,089
3	0,347	0,354	0,360	0,367	18	0,067	0,073	0,079	0,086
4	0,263	0,269	0,275	0,282	19	0,064	0,070	0,076	0,083
5	0,212	0,218	0,225	0,231	20	0,061	0,067	0,074	0,080
6	0,179	0,185	0,191	0,197	21	0,059	0,065	0,071	0,078
7	0,155	0,161	0,167	0,173	22	0,057	0,063	0,069	0,076
8	0,137	0,142	0,149	0,155	23	0,055	0,061	0,067	0,074
9	0,123	0,128	0,134	0,141	24	0,053	0,059	0,066	0,072
10	0,111	0,117	0,123	0,130	25	0,051	0,057	0,064	0,071
11	0,102	0,108	0,114	0,120	30	0,045	0,051	0,058	0,065
12	0,095	0,100	0,107	0,113	35	0,040	0,047	0,054	0,061
13	0,088	0,094	0,100	0,106	40	0,037	0,043	0,051	0,058
14	0,083	0,089	0,095	0,101	45	0,034	0,041	0,048	0,056
15	0,078	0,084	0,090	0,096	50	0,032	0,039	0,047	0,055

Beispiel: Um eine Geldschuld, z. B. eine Hypothek, von 1 DM in 5 Jahren (linke Spalte) zu tilgen, sind bei einer Verzinsung von 4% am Ende eines jeden Jahres als Tilgungsanteil 0,225 DM zu zahlen, für 520 DM also $520 \cdot 0{,}225$ DM = 117,— DM.

DAS RECHNEN MIT POTENZEN

Grundbegriffe. Ein Produkt aus beliebig, aber endlich vielen gleichen Faktoren heißt *Potenz*; man benutzt hierfür folgende Schreibweise:

$$\begin{cases} a \cdot a \cdot a = a^3 \text{ (gelesen: } a \text{ hoch 3 oder } a \text{ zur dritten Potenz),} \\ 5 \cdot 5 \cdot 5 = 5^3. \end{cases}$$

Allgemein spricht man bei einer beliebigen reellen Zahl a und einer beliebigen natürlichen Zahl n von der n-ten Potenz von a:

$$\underbrace{a \cdot a \ldots a}_{n \text{ Faktoren}} = a^n$$

Die Zahl (a, 5), die potenziert, d. h. mit sich selbst multipliziert wird, heißt *Basis* oder Grundzahl, die Zahl (3, n), die angibt, wie oft die Basis mit sich selbst multipliziert wird, heißt *Exponent* oder Hochzahl. Der Ausdruck a^3 bzw. 5^3 heißt *Potenz*; sein Wert heißt *Potenzwert*.
Jede Zahl ist selbst ihre erste Potenz: $a^1 = a$; $7^1 = 7$. Potenzen a^2 mit dem Exponenten 2 nennt man *Quadrate*, da sie den Flächeninhalt eines Quadrates mit der Seitenlänge a angeben. Potenzen a^3 mit dem Exponenten 3 nennt man *Kuben*, da sie den Rauminhalt eines Würfels mit der Kantenlänge a angeben. Zweite bzw. dritte Potenzen von natürlichen Zahlen heißen *Quadrat-* bzw. *Kubikzahlen*.

Rechengesetze. Beim Rechnen mit Potenzen sind die folgenden Regeln zu beachten.
1. Durch Potenzieren *gerader* Zahlen ergeben sich *gerade*, durch Potenzieren *ungerader* Zahlen ergeben sich *ungerade* Potenzwerte, z. B.

$$4^3 = 64, \quad 6^2 = 36, \quad 3^4 = 81, \quad 5^3 = 125.$$

2. Potenzen mit *geradem* Exponenten sind, unabhängig vom Vorzeichen der Basis, stets *positiv*; Potenzen mit *ungeradem Exponenten* sind positiv oder negativ, je nachdem ob die Basis eine positive oder eine negative Zahl ist, z. B.

$$3^2 = 9, \quad (-2)^4 = 16; \quad 3^3 = 27; \quad (-2)^5 = -32.$$

3. Für Potenzen mit gleicher Basis und gleichem Exponenten ergeben sich beim *Addieren* und beim *Subtrahieren* Vielfache von Potenzen mit derselben Basis und demselben Exponenten:

$$2a^2 + 3a^2 = 5a^2, \quad pa^n + qa^n = (p + q)a^n;$$

beachte aber:

$$3^2 + 4^2 = 25 \neq (3 + 4)^2 = 49, \quad a^n + b^n \neq (a + b)^n, \text{ wenn } n \neq 1 \text{ ist.}$$

Basis und Exponent dürfen im allgemeinen nicht vertauscht werden:

$$3^2 = 9 \neq 2^3 = 8, \quad a^n \neq n^a.$$

4. Potenzen mit gleicher Basis werden *multipliziert*, indem man die Exponenten addiert:

$$a^2 \cdot a^3 = a^5, \quad a^m \cdot a^n = a^{m+n}.$$

Potenzen mit gleichen Exponenten werden *multipliziert*, indem man das Produkt der Basen mit dem gemeinsamen Exponenten versieht:

$$a^3 \cdot b^3 = (ab)^3, \quad a^n \cdot b^n = (ab)^n.$$

5. Potenzen mit gleicher Basis $a \neq 0$ werden *dividiert*, indem man die Exponenten subtrahiert:

$$a^3 : a^2 = a, \quad a^m : a^n = a^{m-n}.$$

Die Division von Potenzen mit gleicher Basis $a \neq 0$ führt zu Potenzen mit negativen Exponenten, wenn der Exponent des Divisors größer als der des Dividenden ist:

$$a^2 : a^3 = a^{-1}, \quad a^n : a^{m+n} = a^{-m}.$$

Man setzt bei $a \neq 0$:

$$a^{-1} = \frac{1}{a}, \quad a^{-n} = \frac{1}{a^n}.$$

Ferner kann man für $a \neq 0$ setzen $a^0 = 1$, ohne auf einen Widerspruch zu stoßen:

$$a^0 = 1.$$

Für Potenzen mit ganzen Exponenten gelten die gleichen Rechenregeln wie für Potenzen mit natürlichen Exponenten.
Potenzen mit gleichen Exponenten werden *dividiert*, indem man den Quotienten der Basen mit dem gemeinsamen Exponenten versieht (dabei muß $b \neq 0$ sein):

$$a^3 : b^3 = (a : b)^3, \quad a^n : b^n = (a : b)^n.$$

6. Potenzen werden *potenziert*, indem man ihre Exponenten multipliziert:

$$(a^3)^3 = a^9, \quad (a^m)^n = a^{m \cdot n}.$$

Es ist dabei streng zu unterscheiden zwischen den beiden Potenzen $(a^m)^n$ und a^{m^n}, die im allgemeinen nicht übereinstimmen, z. B.

$$(2^2)^3 = 2^6 = 64 \neq 2^{2^3} = 2^8 = 256.$$

7. Potenzen werden *radiziert*, indem man den Potenzexponenten durch den Wurzelexponenten dividiert:

$$\sqrt[3]{a^2} = a^{\frac{2}{3}}, \quad \sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}.$$

Das Radizieren von Potenzen führt im allgemeinen zu Potenzen mit Bruchexponenten (gebrochenen Exponenten), wenn der Wurzelexponent im Potenzexponenten nicht aufgeht:

$$\sqrt[3]{a^2} = a^{\frac{2}{3}}, \quad \sqrt[4]{a^{13}} = a^{\frac{13}{4}} = a^3 \cdot a^{\frac{1}{4}}.$$

Für Potenzen mit gebrochenen Exponenten gelten die gleichen Rechenregeln wie für Potenzen mit natürlichen Exponenten.

8. Klammerausdrücke werden nach denselben Regeln behandelt, die für gewöhnliche Zahlen gelten, indem der Klammerausdruck als Basis gesetzt wird, z. B.

$$(a + b + c)\,(a + b + c)\,(a + b + c) = (a + b + c)^3.$$

Ein zweigliedriger Klammerausdruck heißt *Binom* (lat. *bis*, zweimal; griech. *nomos*, Name); die binomischen Formeln geben die Potenzen solcher Binome für natürliche Exponenten an.

Binomische Formeln. Darunter versteht man Formeln der folgenden Art:

$(a + b)^0 = 1$

$(a + b)^1 = a + b$

$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$

$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$

$(a + b)\,(a - b) = a^2 - b^2$

$(a^2 + ab + b^2)\,(a - b) = a^3 - b^3$

$(a - b)^0 = 1$

$(a - b)^1 = a - b$

$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$

$(a - b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$

$(a^2 - ab + b^2)\,(a + b) = a^3 + b^3$

Pascalsches Dreieck. Der binomische Lehrsatz gibt die Entwicklung von $(a + b)^n$ in eine endliche Summe von Potenzprodukten von a und b mit geeigneten Koeffizienten, den sogenannten *Binomialkoeffizienten* an. Das nach dem französischen Mathematiker *Blaise Pascal* benannte *Pascalsche Dreieck* enthält die Koeffizienten des binomischen Lehrsatzes $(a + b)^n$ für positive ganzzahlige n; jede der Zahlen dieses „Dreiecks" ergibt sich als Summe aus den beiden (rechts und links) über ihr stehenden.

$(a+b)^0$					1				
$(a+b)^1$				1		1			
$(a+b)^2$			1		2		1		
$(a+b)^3$		1		3		3		1	
$(a+b)^4$	1		4		6		4		1
$(a+b)^5$		1		5		10		10		5		1
$(a+b)^6$	1		6		15		20		15		6		1
$(a+b)^7$		1		7		21		35		35		21		7		1
$(a+b)^8$	1		8		28		56		70		56		28		8		1
$(a+b)^9$		1		9		36		84		126		126		84		36		9		1
usw.							usw.												

Der Aufbau dieser Zahlen zeigt zahlreiche Gesetzmäßigkeiten.

Potenzen von 10. Von den Zehnerpotenzen sind folgende mit eigenem Namen zu merken:

$10^2 = 10 \cdot 10 = 100$ = Hundert
$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$ = Tausend
$10^4 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10000$ = Zehntausend
$10^5 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 100000$ = Hunderttausend
$10^6 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000000$ = Million

	Deutschland, England	Sowjetunion, Amerika, Frankreich
10^9	Milliarde	Billion
10^{12}	Billion	Trillion
10^{15}	Billiarde	Quadrillion
10^{18}	Trillion	Quintillion
10^{21}	Trilliarde	Sextillion
10^{24}	Quadrillion	Septillion
10^{27}	Quadrilliarde	Oktillion

Kehrwerte der Zehnerpotenzen. Die Kehrwerte von Zehnerpotenzen lassen sich bequem als Zehnerpotenzen mit negativen Exponenten schreiben:

$$\frac{1}{1000} = 0{,}001 = \frac{1}{10^3} = 10^{-3};\quad \frac{1}{10000} = 0{,}0001 = 10^{-4};\quad \frac{1}{100000} = 0{,}00001 = 10^{-5} \text{ usw.}$$

Sehr große und sehr kleine Zahlen schreibt man gewöhnlich als mit einem geeigneten Faktor versehene Potenzen von 10.

Beispiel: $6000000 = 6 \cdot 10^6$; $\frac{3}{1000} = 0{,}003 = 3 \cdot 10^{-3}$; $0{,}0000081 = 8{,}1 \cdot 10^{-6}$.

DAS RECHNEN MIT WURZELN

Grundbegriffe. *Radizieren* oder *Wurzelziehen* (lat. *radix*, Wurzel) ist die erste Umkehrung des Potenzierens, durch die bei bekanntem Potenzwert und Exponenten die Basis x gesucht wird. Gesucht sind also Lösungen der Potenzgleichung

$$x^3 = 125, \qquad x^n = a$$

bei gegebenem a und gegebener natürlicher Zahl n. Die Lösung dieser Gleichung wird bezeichnet mit

$$x = \sqrt[3]{125} = 5, \quad x = \sqrt[n]{a}.$$

Dabei heißt die Basis x der Potenzgleichung *Wurzel*, genauer n-te (dritte) Wurzel aus a (125). Der Exponent n (3) heißt *Wurzelexponent*, der Potenzwert a (125) *Radikand*. Erklärende Formel der Radizierung (des Radizierens, Wurzelziehens) ist also

$$\left(\sqrt[n]{a}\right)^n = a,$$

d. h., eine Zahl ist n-te Wurzel aus a, wenn ihre n-te Potenz mit a übereinstimmt. Insbesondere ergibt eine Potenz, die mit ihrem Exponenten als Wurzelexponenten radiziert wird, die Basis, da Potenzieren und Radizieren als Umkehrungen voneinander sich gegenseitig aufheben:

$$\sqrt[4]{2^4} = 2, \quad \sqrt[n]{a^n} = a.$$

Wurzeln mit dem Exponenten **2** nennt man *Quadratwurzeln*; man läßt gewöhnlich den Exponenten 2 weg und schreibt

$$\sqrt{4} = 2, \quad \sqrt{a} = b.$$

Wurzeln mit dem Exponenten 3 nennt man *Kubikwurzeln*:

$$\sqrt[3]{125} = 5, \quad \sqrt[3]{a} = c.$$

Rechengesetze. Beim Rechnen mit Wurzeln sind die folgenden Regeln zu beachten.

1. Wurzeln mit der gleichen Basis und dem gleichen Exponenten haben als *Summe* bzw. als *Differenz* Wurzeln mit derselben Basis und demselben Exponenten bzw. Vielfache davon, z. B.

$$2\sqrt[4]{5} + 6\sqrt[4]{5} = 8\sqrt[4]{5}.$$

Beachte aber:

$$\sqrt[2]{4} + \sqrt[2]{9} = 2 + 3 = 5 \neq \sqrt[2]{13}, \quad \sqrt[n]{a} + \sqrt[n]{b} \neq \sqrt[n]{a+b}.$$

2. Wurzeln mit gleichem Exponenten heißen *gleichnamig*. Sie werden *multipliziert*, indem man aus dem Produkt der Radikanden die Wurzel mit dem gemeinsamen Exponenten zieht:

$$\sqrt[3]{5} \cdot \sqrt[3]{25} = \sqrt[3]{125} = 5, \quad \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}.$$

Sie werden *dividiert*, indem man aus dem Quotienten der Radikanden die Wurzel mit dem gemeinsamen Exponenten zieht (dabei muß $b \neq 0$ sein):

$$\sqrt[2]{16} : \sqrt[2]{4} = \sqrt[2]{16:4} = 2, \qquad \sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a:b}.$$

3. Eine Wurzel wird *potenziert*, indem man den Radikanden mit dem Potenzexponenten potenziert:

$$\left(\sqrt[n]{a}\right)^m = \sqrt[n]{a^m}.$$

Eine Wurzel wird *radiziert*, indem man den Radikanden mit dem Produkt der Wurzelexponenten radiziert:

$$\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[n \cdot m]{a}.$$

4. Jede Wurzel mit positivem Radikanden ist als Potenz mit einem gebrochenen Exponenten darstellbar:

$$\sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}}.$$

5. In den meisten Fällen führt das Radizieren zu unendlichen nichtperiodischen Dezimalbrüchen, d. h. zu irrationalen Zahlen:

$$\sqrt[2]{2} = 1{,}414214\ldots$$

In numerischen Rechnungen werden diese durch endliche Dezimalbrüche, d. h. durch rationale Zahlen so genau approximiert (angenähert), daß der Fehler, d. h. die Differenz des wahren Wurzelwertes und des die Wurzel approximierenden Wertes, beliebig klein wird.

6. Das Radizieren *negativer* Zahlen mit *geraden* Wurzelexponenten führt zu den *imaginären* Zahlen:

$$\sqrt{-4} = \sqrt{(-1)\cdot 4} = 2\cdot\sqrt{(-1)} = 2i.$$

Man nennt $\sqrt{-1}$ die imaginäre Einheit und verwendet dafür das Zeichen i.
Das Radizieren *negativer* Zahlen mit *ungeraden* Wurzelexponenten führt zu negativen reellen Zahlen:

$$\sqrt[3]{-8} = -2.$$

7. Jede Gleichung n-ten Grades hat n Lösungen, von denen mehrere als *mehrfache* Lösungen zusammenfallen können. Die n-te Wurzel aus einer Zahl a als Lösung der Gleichung $x^n = a$ ist demnach nicht eindeutig bestimmt. Die Quadratwurzel $x = \sqrt{a}$ z. B. ist doppeldeutig, da sowohl x als auch $-x$ die Gleichung $x^2 = a$ befriedigen, z. B.

$$\sqrt{64} = \pm 8.$$

8. Das *Radizieren* ist — ähnlich wie das Dividieren — ein „*probierendes Verfahren*". Es baut sich bei Quadratwurzeln auf der (binomischen) Formel $(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ in der Form $\sqrt{a^2 + 2ab + b^2} = a + b$ auf:

$$\sqrt{729} = \sqrt{400 + 280 + 49} = \sqrt{\underset{(a^2)}{20^2} + \underset{(a)\,(b)}{2\cdot 20\cdot 7} + \underset{(b^2)}{7^2}} = 20 + 7 = 27.$$

Bei mehrstelligen Radikanden tritt an die Stelle des Binoms $(a+b)^2$ das Trinom $(a+b+c)^2$ usw. Da die Wurzeln aus ein- oder zweistelligen Radikanden ($\sqrt{1}$ bis $\sqrt{99}$) einstellig, aus drei- oder vierstelligen Radikanden ($\sqrt{100}$ bis $\sqrt{9999}$) zweistellig sind usw., muß der Radikand von rechts nach links (bei Dezimalbrüchen auch noch vom Komma aus nach rechts) in Gruppen zu je zwei Ziffern abgeteilt werden (z. B. $\sqrt{5'90'36'57{,}24'80}$).

Beispiel: $\sqrt{5'47'56}$ ergibt ein dreistelliges Resultat; wir legen die Formel $(a+b+c)^2 = a^2 + 2ab + b^2 + 2(a+b)c + c^2$ zugrunde.

Rechenvorgang:

		a	b	c
	$\sqrt{5'47'56} = 200 + 30 + 4$			
a^2	$-4\,00\,00$			
	$1\,47\,56 : 400\ [2a]$			
$2ab$	$-1\,20\,00$			
	$27\,56$			
b^2	$-9\,00$			
	$18\,56 : 460\ [2(a+b)]$			
$2(a+b)c$	$-18\,40$			
	16			
c^2	-16			

gekürzt:

$5'47'56 = 234$

$1\,47 : 43$

$-1\,29$

$18\,56 : 464$

$-18\,56$

Beim Errechnen von Wurzeln, die nicht aufgehen, können dem Radikanden nach dem Komma — wie dem Dividenden bei der Division — beliebig viele Nullen „angehängt" werden. Diese Wurzeln sind irrational.

Tabelle der Quadrate, Kuben usw. (s. S. 26). Die zweiten Spalten geben die *Quadratzahl* ($n \cdot n = n^2$) einer Zahl n, z. B. $17 \cdot 17 = 17^2 = 289$; $1{,}7 \cdot 1{,}7 = 2{,}89$. Die Quadratzahl stellt den Flächeninhalt eines Quadrates mit der Seitenlänge n dar; wird sie mit der Zahl π multipliziert, so ergibt sich der Flächeninhalt eines Kreises vom Radius n.

Die dritten Spalten geben die *Kubikzahl* ($n \cdot n \cdot n = n^3$) einer Zahl n, z. B. $45 \cdot 45 \cdot 45 = 45^3 = 91125$. Ist n nur $\frac{1}{10}$ der in Spalte 1 angegebenen Zahl, so ist n^3 nur der 1000. Teil, z. B. $4{,}5^3 = 91{,}125$. Die Kubikzahl stellt den Rauminhalt eines Würfels mit der Kantenlänge n dar; multipliziert man sie mit $\frac{4}{3}\pi$, so ergibt sich der Rauminhalt einer Kugel vom Radius n.

Die vierten Spalten geben die Quadratwurzel ($\sqrt{n}$) einer Zahl n, z. B. $\sqrt{35} = 5{,}9161$. Die Quadratwurzel verzehnfacht sich, wenn man für n den 100fachen Betrag wählt, z. B. $\sqrt{3500} = 59{,}161$, aber $\sqrt{350} = 18{,}708$ bzw. $\sqrt{3{,}5} = 1{,}8708$.

Die fünften Spalten geben die Kubikwurzeln ($\sqrt[3]{n}$) einer Zahl n, z. B. $\sqrt[3]{35} = 3{,}2711$. Die Kubikwurzel verzehnfacht sich, wenn man für n den 1000fachen Betrag wählt, z. B. $\sqrt[3]{35000} = 32{,}711$, aber $\sqrt[3]{350} = 7{,}0473$ bzw. $\sqrt[3]{0{,}350} = 0{,}70473$ und $\sqrt[3]{3{,}5} = 1{,}5183$ bzw. $\sqrt[3]{3500} = 15{,}183$.

Aus der Quadratwurzel findet man die Seitenlänge zum Flächeninhalt eines Quadrates, aus der Kubikwurzel die Kantenlänge zum Rauminhalt eines Würfels.

Quadrate, Kuben, Quadratwurzeln, Kubikwurzeln

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
1	1	1	1,0000	1,0000	31	961	29791	5,5678	3,1414
2	4	8	1,4142	1,2599	32	1024	32768	5,6569	3,1748
3	9	27	1,7321	1,4422	33	1089	35937	5,7446	3,2075
4	16	64	2,0000	1,5874	34	1156	39304	5,8310	3,2396
5	25	125	2,2361	1,7100	35	1225	42875	5,9161	3,2711
6	36	216	2,4495	1,8171	36	1296	46656	6,0000	3,3019
7	49	343	2,6458	1,9129	37	1369	50653	6,0828	3,3322
8	64	512	2,8284	2,0000	38	1444	54872	6,1644	3,3620
9	81	729	3,0000	2,0801	39	1521	59319	6,2450	3,3912
10	100	1000	3,1623	2,1544	**40**	1600	64000	6,3246	3,4200
11	121	1331	3,3166	2,2240	41	1681	68921	6,4031	3,4482
12	144	1728	3,4641	2,2894	42	1764	74088	6,4807	3,4760
13	169	2197	3,6056	2,3513	43	1849	79507	6,5574	3,5034
14	196	2744	3,7417	2,4101	44	1936	85184	6,6332	3,5303
15	225	3375	3,8730	2,4662	45	2025	91125	6,7082	3,5569
16	256	4096	4,0000	2,5198	46	2116	97336	6,7823	3,5830
17	289	4913	4,1231	2,5713	47	2209	103823	6,8557	3,6088
18	324	5832	4,2426	2,6207	48	2304	110592	6,9282	3,6342
19	361	6859	4,3589	2,6684	49	2401	117649	7,0000	3,6593
20	400	8000	4,4721	2,7144	**50**	2500	125000	7,0711	3,6840
21	441	9261	4,5826	2,7589	60	3600	216000	7,7460	3,9149
22	484	10648	4,6904	2,8020	65	4225	274625	8,0623	4,0207
23	529	12167	4,7958	2,8439	70	4900	343000	8,3666	4,1213
24	576	13824	4,8990	2,8845	75	5625	421875	8,6603	4,2172
25	625	15625	5,0000	2,9240	80	6400	512000	8,9443	4,3089
26	676	17576	5,0990	2,9625	85	7225	614125	9,2195	4,3968
27	729	19683	5,1962	3,0000	90	8100	729000	9,4868	4,4814
28	784	21952	5,2915	3,0366	95	9025	857375	9,7468	4,5629
29	841	24389	5,3852	3,0723	99	9801	970299	9,9499	4,6261
30	900	27000	5,4772	3,1072	**100**	10000	1000000	10,0000	4,6416

DAS RECHNEN MIT NULL

Bei der Erweiterung des Bereichs der natürlichen Zahlen zu dem Bereich der ganzen Zahlen wurde die Null als Symbol für das Ergebnis der Subtraktion von zwei gleichen natürlichen Zahlen eingeführt. Allgemein wird die Null als Lösung der Gleichung

$$a + x = a, \qquad x = a - a = 0$$

charakterisiert; dabei kann a eine beliebige reelle oder auch komplexe Zahl sein. Ein Produkt von zwei oder mehr Faktoren hat den Wert Null, wenn einer der Faktoren den Wert Null hat. Hiervon gilt auch die Umkehrung: Wenn ein solches Produkt verschwindet (den Wert Null hat), ist mindestens einer seiner Faktoren Null.
Eine Potenz mit dem Exponenten Null ist für jeden von Null verschiedenen Wert der Basis gleich Eins. Ein Quotient mit dem Dividenden Null hat den Wert Null. Dagegen ergibt sich aus der Erklärung der Division als Umkehrung der Multiplikation, daß ein Quotient mit dem Divisor Null ($a : 0$) sinnlos ist: Die Division durch Null ist nicht zulässig. Vor jeder Division ist grundsätzlich zu prüfen, ob der Divisor (Nenner) von Null verschieden ist oder nicht; nur im ersten Falle ist die Division ausführbar.
„Erfunden" wurde die Null bereits von den Babyloniern und den Indern; sie gelangte nach dem 10. Jh. über die Araber nach Europa. Ihre Bedeutung für die heute allgemein gebräuchliche dezimale Zahlenschreibweise beruht darauf, daß sie die Einführung des Stellenwertes der Ziffern und das Positionsrechnen ermöglichte:

$$8 + 80 + 800 = 888.$$

DAS RECHNEN MIT LOGARITHMEN

Grundbegriffe. Das Logarithmieren (griech. *arithmos*, Zahl) ist die *zweite Umkehrung des Potenzierens*, durch die bei bekanntem Potenzwert und bekannter Basis der Exponent gesucht wird:

Potenzieren	Radizieren	Logarithmieren
$5^2 = 25$	$\sqrt{25} = 5$	$2 = {}^5\log 25$
$a^n = b$	$\sqrt[n]{b} = a$	$n = {}^a\log b$

Dabei werden, um das Auftreten komplexer Werte zu vermeiden, die gegebenen Werte a und b als positive reelle Zahlen vorausgesetzt.
Der gesuchte Exponent n (2) heißt *Logarithmus* (man sagt: n ist der a-Logarithmus von b, oder n ist der Logarithmus von b zur Basis a; 2 ist der Fünfer-Logarithmus von 25), a heißt Basis oder Grundzahl des jeweiligen Logarithmensystems, b heißt Logarithmand oder *Numerus*. Der Logarithmus der Zahl b zur Basis a ist also die Zahl $n = {}^a\log b$, mit der die Basis potenziert werden muß, um den Numerus zu erhalten: $a^n = b$. Dabei ist n durch a und b eindeutig festgelegt.
Da die Logarithmen *Exponenten einer Potenz* sind, gelten für sie dieselben Rechenvorschriften wie für diese. Demnach werden zwei Zahlen miteinander multipliziert, indem man ihre Logarithmen addiert; sie werden dividiert, indem man ihre Logarithmen subtrahiert usw. So ermöglichen die Logarithmen *ein um eine Stufe vereinfachtes Rechnen*:

Aus Multiplizieren wird Addieren, aus Potenzieren wird Multiplizieren,	aus Dividieren wird Subtrahieren, aus Radizieren wird Dividieren.
${}^a\log(u \cdot v) = {}^a\log u + {}^a\log v$	${}^a\log(u : v) = {}^a\log u - {}^a\log v$
${}^a\log u^n = n \cdot {}^a\log u$	${}^a\log \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n}\,{}^a\log u$

Da man aber im allgemeinen nur Potenzen mit gleicher Basis in einfacher Weise durch Rechenvorgänge verbinden kann, muß man zuerst die *Form* aller Zahlen ändern, indem man sie als Potenzen mit gleicher Basis ausdrückt und so ein einheitliches Logarithmensystem aufbaut. Der *Wert* der Zahlen bleibt dabei unverändert.
Aus den unendlich vielen möglichen Systemen wurden für den praktischen Gebrauch gewählt:

1. Die *Briggsschen Logarithmen* mit der Basis 10 (so genannt nach ihrem Erfinder Henry *Briggs*, 1556 bis 1630), auch *dekadische Logarithmen*, Zeichen lg.

2. Die *natürlichen Logarithmen* mit der Basis $e = 2{,}718\ldots$ (nach ihrem Erfinder auch Napiersche Logarithmen genannt), Zeichen ln.

Die natürlichen Logarithmen werden besonders in der höheren Mathematik verwendet. Für die Briggsschen Logarithmen gilt:

$$\begin{aligned} \lg 1 &= 0, \text{ denn } 1 = 10^0 \\ \lg 10 &= 1, \text{ denn } 10 = 10^1 \\ \lg 100 &= 2, \text{ denn } 100 = 10^2 \\ \lg 1000 &= 3, \text{ denn } 1000 = 10^3 \text{ usw.} \end{aligned}$$

Logarithmentafeln. Logarithmentafeln enthalten je nach ihrer Stellenanzahl die Logarithmen aller drei-, vier- oder mehrstelligen Zahlen. Das eigentliche Logarithmieren, d. h. das Berechnen der Logarithmen, bleibt uns dadurch erspart. Nur die Logarithmen von 10 und allen Potenzen von 10 (100, 1000 usw., auch 0,1, 0,01 usw.) sind ganze (positive oder negative) Zahlen; der Logarithmus der Zahl 1 ist Null. Alle anderen Logarithmen sind unendliche nichtperiodische Dezimalbrüche, also irrationale Zahlen, die je nach der Stellenanzahl der Logarithmentafel durch vier- oder mehrstellige (endliche) Dezimalbrüche approximiert werden, z. B. $\lg 3 = 0{,}47712\ldots \approx 0{,}4771$. In den

Logarithmen der natürlichen Zahlen

Die Mantissen der Briggsschen Logarithmen für die Zahlen 1(00) bis 649

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	00000	00432	00860	01284	01703	02119	02531	02938	03342	03743
11	04139	04532	04922	05308	05690	06070	06446	06819	07188	07555
12	07918	08279	08636	08991	09342	09691	10037	10380	10721	11059
13	11394	11727	12057	12385	12710	13033	13354	13672	13988	14301
14	14613	14922	15229	15534	15836	16137	16435	16732	17026	17319
15	17609	17898	18184	18469	18752	19033	19312	19590	19866	20140
16	20412	20683	20952	21219	21484	21748	22011	22272	22531	22789
17	23045	23300	23553	23805	24055	24304	24551	24797	25042	25285
18	25527	25768	26007	26245	26482	26717	26951	27184	27416	27646
19	27875	28103	28330	28556	28780	29003	29226	29447	29667	29885
20	30103	30320	30535	30750	30963	31175	31387	31597	31806	32015
21	32222	32428	32634	32838	33041	33244	33445	33646	33846	34044
22	34242	34439	34635	34830	35025	35218	35411	35603	35793	35984
23	36173	36361	36549	36736	36922	37107	37291	37475	37658	37840
24	38021	38202	38382	38561	38739	38917	39094	39270	39445	39620
25	39794	39967	40140	40312	40483	40654	40824	40993	41162	41330
26	41497	41664	41830	41996	42160	42325	42488	42651	42813	42975
27	43136	43297	43457	43616	43775	43933	44091	44248	44404	44560
28	44716	44871	45025	45179	45332	45484	45637	45788	45939	46090
29	46240	46389	46538	46687	46835	46982	47129	47276	47422	47567
30	47712	47857	48001	48144	48287	48430	48572	48714	48855	48996
31	49136	49276	49415	49554	49693	49831	49969	50106	50243	50379
32	50515	50651	50786	50920	51055	51188	51322	51455	51587	51720
33	51851	51983	52114	52244	52375	52504	52634	52763	52892	53020
34	53148	53275	53403	53529	53656	53782	53908	54033	54158	54283
35	54407	54531	54654	54777	54900	55023	55145	55267	55388	55509
36	55630	55751	55871	55991	56110	56229	56348	56467	56585	56703
37	56820	56937	57054	57171	57287	57403	57519	57634	57749	57864
38	57978	58092	58206	58320	58433	58546	58659	58771	58883	58995
39	59106	59218	59329	59439	59550	59660	59770	59879	59988	60097
40	60206	60314	60423	60531	60638	60746	60853	60959	61066	61172
41	61278	61384	61490	61595	61700	61805	61909	62014	62118	62221
42	62325	62428	62531	62634	62737	62839	62941	63043	63144	63246
43	63347	63448	63548	63649	63749	63849	63949	64048	64147	64246
44	64345	64444	64542	64640	64738	64836	64933	65031	65128	65225
45	65321	65418	65514	65610	65706	65801	65896	65992	66087	66181
46	66276	66370	66464	66558	66652	66745	66839	66932	67025	67117
47	67210	67302	67394	67486	67578	67669	67761	67852	67943	68034
48	68124	68215	68305	68395	68485	68574	68664	68753	68842	68931
49	69020	69108	69197	69285	69373	69461	69548	69636	69723	69810
50	69897	69984	70070	70157	70243	70329	70415	70501	70586	70672
51	70757	70842	70927	71012	71096	71181	71265	71349	71433	71517
52	71600	71684	71767	71850	71933	72016	72099	72181	72263	72346
53	72428	72509	72591	72673	72754	72835	72916	72997	73078	73159
54	73239	73320	73400	73480	73560	73640	73719	73799	73878	73957
55	74036	74115	74194	74273	74351	74429	74507	74586	74663	74741
56	74819	74896	74974	75051	75128	75205	75282	75358	75435	75511
57	75587	75664	75740	75815	75891	75967	76042	76118	76193	76268
58	76343	76418	76492	76567	76641	76716	76790	76864	76938	77012
59	77085	77159	77232	77305	77379	77452	77525	77597	77670	77743
60	77815	77887	77960	78032	78104	78176	78247	78319	78390	78462
61	78533	78604	78675	78746	78817	78888	78958	79029	79099	79169
62	79239	79309	79379	79449	79518	79588	79657	79727	79796	79865
63	79934	80003	80072	80140	80209	80277	80346	80414	80482	80550
64	80618	80686	80754	80821	80889	80956	81023	81090	81158	81224

Logarithmen der natürlichen Zahlen

Die Mantissen der Briggsschen Logarithmen für die Zahlen 650 bis 1199

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
65	81291	81358	81425	81491	81558	81624	81690	81757	81823	81889
66	81954	82020	82086	82151	82217	82282	82347	82413	82478	82543
67	82607	82672	82737	82802	82866	82930	82995	83059	83123	83187
68	83251	83315	83378	83442	83506	83569	83632	83696	83759	83822
69	83885	83948	84011	84073	84136	84198	84261	84323	84386	84448
70	84510	84572	84634	84696	84757	84819	84880	84942	85003	85065
71	85126	85187	85248	85309	85370	85431	85491	85552	85612	85673
72	85733	85794	85854	85914	85974	86034	86094	86153	86213	86273
73	86332	86392	86451	86510	86570	86629	86688	86747	86806	86864
74	86923	86982	87040	87099	87157	87216	87274	87332	87390	87448
75	87506	87564	87622	87679	87737	87795	87852	87910	87967	88024
76	88081	88138	88195	88252	88309	88366	88423	88480	88536	88593
77	88649	88705	88762	88818	88874	88930	88986	89042	89098	89154
78	89209	89265	89321	89376	89432	89487	89542	89597	89653	89708
79	89763	89818	89873	89927	89982	90037	90091	90146	90200	90255
80	90309	90363	90417	90472	90526	90580	90634	90687	90741	90795
81	90849	90902	90956	91009	91062	91116	91169	91222	91275	91328
82	91381	91434	91487	91540	91593	91645	91698	91751	91803	91855
83	91908	91960	92012	92065	92117	92169	92221	92273	92324	92376
84	92428	92480	92531	92583	92634	92686	92737	92788	92840	92891
85	92942	92993	93044	93095	93146	93197	93247	93298	93349	93399
86	93450	93500	93551	93601	93651	93702	93752	93802	93852	93902
87	93952	94002	94052	94101	94151	94201	94250	94300	94349	94399
88	94448	94498	94547	94596	94645	94694	94743	94792	94841	94890
89	94939	94988	95036	95085	95134	95182	95231	95297	95328	95376
90	95424	95472	95521	95569	95617	95665	95713	95761	95809	95856
91	95904	95952	95999	96047	96095	96142	96190	96237	96284	96332
92	96379	96426	96473	96520	96567	96614	96661	96708	96755	96802
93	96848	96895	96942	96988	97035	97081	97128	97174	97220	97267
94	97313	97359	97405	97451	97497	97543	97589	97635	97681	97727
95	97772	97818	97864	97909	97955	98000	98046	98091	98137	98182
96	98227	98272	98318	98363	98408	98453	98498	98543	98588	98632
97	98677	98722	98767	98811	98856	98900	98945	98989	99034	99078
98	99123	99167	99211	99255	99300	99344	99388	99432	99476	99520
99	99564	99607	99651	99695	99739	99782	99826	99870	99913	99957
100	00000	00043	00087	00130	00173	00217	00260	00303	00346	00389
101	00432	00475	00518	00561	00604	00647	00689	00732	00775	00817
102	00860	00903	00945	00988	01030	01072	01115	01157	01199	01242
103	01284	01326	01368	01410	01452	01494	01536	01578	01620	01662
104	01703	01745	01787	01828	01870	01912	01953	01995	02036	02078
105	02119	02160	02202	02243	02284	02325	02366	02407	02449	02490
106	02531	02572	02612	02653	02694	02735	02776	02816	02857	02898
107	02938	02979	03019	03060	03100	03141	03181	03222	03262	03302
108	03342	03383	03423	03463	03503	03543	03583	03623	03663	03703
109	03743	03782	03822	03862	03902	03941	03981	04021	04060	04100
110	04139	04179	04218	04258	04297	04336	04376	04415	04454	04493
111	04532	04571	04610	04650	04689	04727	04766	04805	04844	04883
112	04922	04961	04999	05038	05077	05115	05154	05192	05231	05269
113	05308	05346	05385	05423	05461	05500	05538	05576	05614	05652
114	05690	05729	05767	05805	05843	05881	05918	05956	05994	06032
115	06070	06108	06145	06183	06221	06258	06296	06333	06371	06408
116	06446	06483	06521	06558	06595	06633	06670	06707	06744	06781
117	06819	06856	06893	06930	06967	07004	07041	07078	07115	07151
118	07188	07225	07262	07298	07335	07372	07408	07445	07482	07518
119	07555	07591	07628	07664	07700	07737	07773	07809	07846	07882

gebräuchlichen Logarithmentafeln ist die Anzahl der Stellen nach dem Komma meist auf 4 oder 5, seltener auf 6 oder 7 begrenzt. Danach unterscheiden wir vier-, fünf-, sechs- und siebenstellige Logarithmentafeln.
Aus den Logarithmen der Zahlen von 1 bis 10 kann man die Logarithmen sämtlicher anderen Zahlen ableiten; z. B. ist $\lg 30 = \lg (3 \cdot 10) = \lg 3 + \lg 10 = 1{,}47712\ldots$ Dabei sind die Logarithmen von echten Brüchen negativ, da diese Brüche als ganze Zahlen mit negativen Exponenten aufgefaßt werden können.

Rechnen mit Logarithmentafel. Die Logarithmen werden durch endliche Dezimalbrüche angenähert:

$$\lg 3 \approx 0{,}47712; \qquad \lg 567 \approx 2{,}75358.$$

Die Ziffer vor dem Komma heißt *Kennziffer* oder Charakteristik. Der Ziffernausdruck nach dem Komma heißt *Mantisse* (lat. *mantissa*, Ergänzung).
Nur die Mantisse ist in den Logarithmentafeln enthalten; sie ist durch die Ziffernfolge der zu logarithmierenden Zahl ohne Rücksicht auf den Stellenwert bestimmt. Die Kennziffer ist nach folgender Überlegung jeweils festzulegen:
Bekannt sind die Kennziffern für 1, 10, 100, 1000 usw. Diese Zehnerpotenzen haben die einzigen ganzzahligen (und gleichzeitig positiven!) Logarithmen des Briggsschen Systems; bei ihnen sind also Kennziffer und Logarithmus identisch. Entsprechendes gilt auch für die Kehrwerte der Zehnerpotenzen, deren Kennziffern (Logarithmen) negative ganze Zahlen sind.

Zahlen:	1, ...,	10, ...,	100, ...,	1000, ...
Logarithmen:	0, ...,	1, ...,	2, ...,	3, ...

Liegen nun Zahlen zwischen den angegebenen, so müssen ihre Logarithmen zwischen den darunterstehenden Werten liegen. Es gilt also die Regel:
Die Kennziffer (in den Tabellen nicht angegeben!) ist immer um 1 kleiner als die Stellen(an)zahl des Numerus vor dem Komma. Bei echten Dezimalbrüchen ist sie *negativ*, und zwar dem Betrage nach gleich der Anzahl der Nullen, mit denen der Dezimalbruch beginnt; dabei ist die Einernull (vor dem Komma) mitzuzählen:

$$\lg 1{,}2 = 0{,}07918$$

$$\lg 12 = \lg (10 \cdot 1{,}2) = \lg 10 + \lg 1{,}2 = 1 + 0{,}07918 = 1{,}07918$$

$$\lg 120 = \lg (100 \cdot 1{,}2) = \lg 100 + \lg 1{,}2 = 2 + 0{,}07918 = 2{,}07918$$

$$\lg 0{,}12 = \lg \frac{1{,}2}{10} = \lg 1{,}2 - \lg 10 = 0{,}07918 - 1$$

$$\lg 0{,}012 = \lg \frac{1{,}2}{100} = \lg 1{,}2 - \lg 100 = 0{,}07918 - 2$$

Der *Numerus* steht auf den Seiten einer Logarithmentafel in der ersten Spalte von links; rechts davon sind die *Mantissen* abzulesen. Das Rechnen mit Hilfe der Logarithmentafel besteht aus drei Rechenvorgängen:

1. Aufsuchen der Logarithmen, d. h. Verwandeln der ursprünglich gegebenen Zahlen (der Numeri) in ihnen gleichwertige Potenzen.
2. Rechnen mit den Logarithmen, d. h. mit den Exponenten dieser Potenzen.
3. Aufsuchen des Numerus des Ergebnisses, d. h. Rückverwandeln des Rechenergebnisses aus der Form der Potenz in die ihr gleichwertige gesuchte Zahl.

Beispiel: $x = 72210 \cdot 0{,}08203$

Lösung:

$$\begin{aligned} \lg x &= \lg 72210 \ldots\ 4{,}85860 \\ &\quad + \lg 0{,}08203 \ldots\ 0{,}91397 - 2 \\ \lg x &= 3{,}77257 \\ x &= 5923 \end{aligned}$$

Ergebnis: $72210 \cdot 0{,}08203 = 5923$

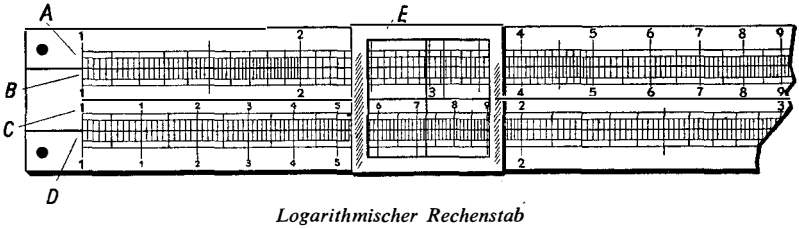
Bequemer und daher im praktischen Rechnen gebräuchlicher ist die Schreibweise, daß man das Zeichen lg wegläßt und grundsätzlich festlegt, daß *links* die Numeri und *rechts* die Logarithmen stehen:

Numerus	lg
72210	4,85860
$\cdot$ 0,08203	+ 0,91397 − 2
= 5923	= 3,77257

oder unter Berücksichtigung des Stellenwertes geschrieben:

72210	4,85860
$\cdot$ 0,08203	+ 0,91397 − 2
5923	= 3,77257

Der logarithmische Rechenschieber. Der Rechenschieber (Rechenstab) ist ein wichtiges Hilfsmittel besonders für das Multiplizieren, Dividieren, Quadrieren und Quadratwurzelziehen (Abb.). Er besteht aus dem *Körper* (Lineal) AD, dem beweglichen *Schieber* (Zunge) BC (auf denen beiden, jeweils von links nach rechts, die Logarithmen der aufgedruckten Zahlen als Längen von Strecken abgetragen sind) und dem *Läufer* E mit Teilstrich (oder Faden). Lineal und Schieber besitzen zwei



Logarithmischer Rechenstab

Teilungen: oben A und B, unten D und C. Die Teilung A (bzw. B) stellt die Quadratzahlen der Teilung D (bzw. C) dar. (So stehen in der Abbildung genau über den Zahlen 2 bzw. 3 von C und D die Zahlen 4 bzw. 9 von B und A.) Beim Multiplizieren und Dividieren benutzt man der größeren Genauigkeit wegen nur die Teilungen C und D.
Grundsätzlich läuft das Arbeiten mit dem logarithmischen Rechenschieber darauf hinaus, daß man mit dessen logarithmischen *Strecken* genauso verfährt wie beim logarithmischen Rechnen mit den logarithmischen *Zahlenwerten* der Logarithmentafel.
Hat man z. B. die Zahl 214 mit 0,0142 zu multiplizieren, so addiert man die logarithmischen Strecken für 214 und 0,0142, indem man sie „aneinandersetzt", d. h.: man schiebt den Schieber so weit nach rechts, bis der Anfangsstrich (1) von C genau über dem Teilstrich 214 von D steht. Dann liest man (mit Hilfe des Läuferfadens) genau unter 142 von C das Ergebnis 3,04 auf D ab. In analoger Weise verfährt man beim Dividieren. Im übrigen ist der vorteilhafte Gebrauch des Rechenschiebers eine Sache der Übung. Daß das Ergebnis des (sehr einfachen) Beispiels 3,04 sein muß (und nicht 30,4 oder 0,304 oder 304 sein kann), ergibt sich aus einer leicht im Kopfe auszuführenden Überschlagsrechnung ($214 \cdot 0{,}0142 \approx 200 \cdot 0{,}014 \approx 2 \cdot 1{,}4 \approx 3$). Solche Rechnungen sind unerläßlich, wenn man nicht die in Lehrbüchern bisweilen angegebenen unhandlichen Stellenregeln anwenden will.
Bei genauester Einstellung und sorgfältigstem Ablesen liefert ein guter Rechenschieber in kürzester Zeit das Rechenergebnis in seinen ersten 3 oder 4 Stellen genau; das ist in den meisten Fällen der Praxis auch ausreichend.

III. Rechenautomaten

Die Wissenschaft vom Austausch von *Informationen* (Nachrichten) zwischen Systemen oder Teilen eines Systems, von der Umwandlung — auch der teilweise mit Veränderungen begleiteten logischen Umwandlung — von Informationen und von der Steuerung und Kontrolle dieser Vorgänge nennt man *Kybernetik*.
Es wird keine Einschränkung über die Natur des oder der Systeme gemacht, in denen diese Vorgänge ablaufen. Es können lebende Organismen, Maschinen, Industrieanlagen oder auch andersartig aufgebaute Systeme sein. Indem die Kybernetik so die Erkenntnisse verschiedenster Disziplinen, wie der Mathematik, der Neurophysiologie, des Maschinenbaus, der Elektronik u. a., in sich vereint, gestattet sie es, Vorgänge und Erscheinungen unter einheitlichen Gesichtspunkten zu untersuchen, die früher in den verschiedensten Gebieten der Wissenschaft völlig losgelöst voneinander betrachtet wurden.
Die Kybernetik, deren Grundlagen im Jahre 1948 von *Norbert Wiener* und *Arthur Rosenbluet* gelegt wurden, steht erst am Anfang ihrer Entwicklung. Zu den Teilgebieten, die bereits klar umrissen sind, gehört die Theorie der *kybernetischen Maschinen*, deren Aufgabe es ist, Informationen zu gewinnen, zu transportieren und nach bestimmten Regeln umzuwandeln und zu verknüpfen. Zu den kybernetischen Maschinen zählen insbesondere die *mechanischen* und die *elektronischen Rechenmaschinen*, die eine schnelle und zuverlässige Ausführung von numerischen Berechnungen ermöglichen.

MECHANISCHE RECHENMASCHINEN

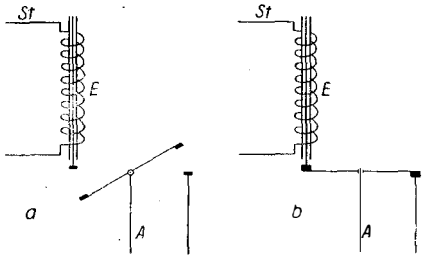
Die erste mit Zahnrädern betriebene mechanische Rechenmaschine erfand der Tübinger Professor *Wilhelm Schickard* 1623, also noch vor *Blaise Pascal* (1642) und *Wilhelm Leibniz* (1672).
Heute werden mechanische Rechenmaschinen von Hand oder mit Elektromotoren angetrieben und eingeteilt in *Addiermaschinen* und *Multipliziermaschinen*. Letztere beruhen i. allg. auf dem

Prinzip der wiederholten Addition. Mechanische Rechenmaschinen haben als Hauptteile *Einstell-*, *Übertragungs-*, *Zähl-* und *Resultatwerke*. Die Einstellung erfolgt durch Einstellhebel oder durch Tasten. Größere mechanische Rechenmaschinen können Zwischenergebnisse in *Speicherwerken* speichern und Endergebnisse ausdrucken. Sie führen Multiplikationen und Divisionen vollautomatisch aus.

ELEKTRONISCHE RECHENAUTOMATEN

Erst von 1940 an nutzte man in Rechenmaschinen elektronische Verfahren aus, deren Vorteil in der hohen Übertragungsgeschwindigkeit von 200000 bis 300000 km/s liegt. Die ersten arbeitsfähigen Rechenmaschinen auf *Relaisbasis* (Abb.) wurden 1942 vollendet (*H. Aiken* in den USA; *K. Zuse* in Deutschland). Wenig später wurden *Elektronenröhren*, die in den letzten Jahren in zunehmendem Maße von den zuverlässigeren *Halbleiterelementen* (*Transistoren*) verdrängt werden, in elektronischen Rechenmaschinen angewendet. Der erste derartige Automat, die ENIAC (Abkürzung für Electrical Numerical Integrator and Computer), wurde 1943 bis 1945 an der Universität von Pennsylvania (USA) konstruiert; er enthält rund 20000 Elektronenröhren und hat mit 15 m Länge und 9 m Breite riesige Ausmaße im Vergleich zu den bisherigen mechanischen Rechenmaschinen.

Man unterscheidet zwei Gruppen von Rechenautomaten, die *Analogierechner* und die *Digital-* oder *Ziffernrechner*.



Schaltbild von Relais

A Arbeitsstrom, St Steuerstrom, E Elektromagnet
a) Kein Steuerstrom — Relais offen
b) Steuerstrom fließt — Relais geschlossen

ANALOGIERECHNER

Analogierechner sind Maschinen kontinuierlicher Tätigkeit: Den mathematischen Größen werden stetig (kontinuierlich) veränderliche physikalische Größen zugeordnet. Ihre Funktionsweise entspricht der des Rechenschiebers, der nicht mit Zahlen rechnet, sondern diesen Längen zuordnet; mathematische Größen (Zahlen) werden also in *analoge* physikalische (Längen) umgewandelt. Weitere mechanische Analogierechner sind Planimeter, Integriergeräte, Differentialanalysatoren.

In *elektronischen Analogierechnern* werden den mathematischen Größen als physikalische Größen z. B. elektrische Spannungen oder Stromstärken zugeordnet. Jeder derartige Rechner besteht aus *Bausteinen*, deren jeder der Ausführung einer bestimmten mathematischen Operation dient. Beispiele sind Bausteine für eine der vier Grundrechnungsarten, für die Differentiation, für die Integration und für die Berechnung spezieller Funktionen, z. B. trigonometrischer Funktionen.

Jeder Analogierechner enthält eine begrenzte Anzahl von Bausteinen und ist jeweils nur für einen begrenzten Problemkreis anwendbar. Je nach der Art der zu lösenden Aufgabe werden die einzelnen Bausteine miteinander verbunden. Dadurch entstehen spezielle Systeme von Schaltungen, die dieselbe mathematische Darstellung wie das zu lösende Problem haben, die also z. B. durch dieselbe Differentialgleichung beschrieben werden.

Analogierechner haben einen relativ einfachen technischen Aufbau, einfache Bedienung und hohe Rechengeschwindigkeit; Differentialgleichungen bis zur 30. Ordnung werden in einigen Sekunden bis Minuten gelöst. Dagegen ist die Genauigkeit mit drei bis vier Stellen des Ergebnisses gering, eine bei technischen Problemen meist unwesentliche Einschränkung, da die zulässigen Toleranzen meist innerhalb der Rechengenauigkeit liegen. Analogierechner werden hauptsächlich in der Mechanik, in der Elektrizitätslehre, der Meteorologie (Wettervorhersage), im Flugzeug-, im Schiff- und im Waggonbau, aber auch in der Regelungstechnik eingesetzt; z. B. wird das Wasserkraftwerk von Kuibyschew durch einen Analogierechner gesteuert.

DIGITALRECHNER

Digital- oder Ziffernrechner sind mit exakt unterscheidbaren, *diskreten* Zuständen arbeitende Rechenmaschinen, die arithmetische und logische Operationen an Zahlen mit großer Genauigkeit ausführen. Ausgangsdaten, Angaben über den Gang der Rechnung sowie Zwischen- und Endergebnisse werden dem Rechner sämtlich als Zahlen eingegeben bzw. entnommen.

Zahlendarstellung. Digitalrechner verwenden meist das *Dual-* oder *Binärsystem*, in dem die beiden Ziffern 0 und 1 zur Darstellung sämtlicher Zahlen ausreichen. Jede Zahl wird durch eine bestimmte Folge der Ziffern Null und Eins dargestellt und als dieser Folge entsprechende Kombination von elektrischen Signalen (Impulsen) übertragen; 0 und 1 können z. B. durch das Fehlen bzw. Vorhandensein einer hohen Gleichspannung weitergeleitet werden. Da Zahlen üblicherweise im Dezimal-

system dargestellt werden, ist vor der Durchführung einer Berechnung auf einem dualen Digitalrechner die Umwandlung (*Konvertierung*) „dezimal → dual", nach Abschluß die Umrechnung (Rückkonvertierung) „dual → dezimal" vorzunehmen. Diese Umwandlungen werden vom Rechenautomaten selbst ausgeführt.

Programmsteuerung. Die hohen Rechengeschwindigkeiten moderner Digitalrechner von 100 bis zu einigen 10000 Operationen je Sekunde (Tabelle) beruhen nicht nur auf der hohen Schaltgeschwindigkeit der verwendeten Bauelemente (ein Relais leistet maximal 150 Schaltungen je Sekunde, ein Transistor dagegen maximal 200000 Schaltungen je Sekunde), sondern vor allem auf dem Vorhandensein einer *Programmsteuerung*. Man nennt die Digitalrechner daher genauer *programmgesteuerte digitale Rechenautomaten.*

Rechengeschwindigkeiten bei verschiedenen Bauelementen

Bauelement	Addition	Multiplikation	Division
Relais	0,35 s···0,5 s	5 s···6 s	15 s
Röhre bzw. Transistor	1 μs···0,01 s	4 μs···0,01 s	6,5 μs···0,04 s

Die Programmsteuerung bewirkt, daß dem Rechner unmittelbar nach Ausführung einer Operation automatisch die nächste mit allen erforderlichen Angaben zur Ausführung zur Verfügung gestellt wird. Der Rechner führt also nicht nur die einzelnen Rechenoperationen, sondern auch die Steuerung des gesamten Rechenvorganges selbsttätig ohne direkte Einflußnahme des Menschen während des Rechenprozesses aus.

Rechengeschwindigkeiten einiger Digitalrechner

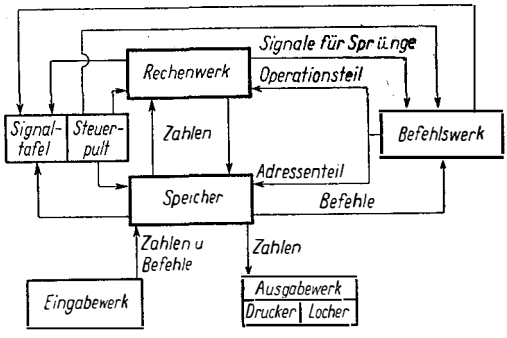
Maschinentype	Operationen je Sekunde
URAL-I	100
ZRA-I	200 bis 300
Siemens 2002	rd. 2000
G 3	rd. 8000
BESM II	8000 bis 10000

Jede Operation wird durch einen bestimmten *Befehl* ausgelöst. Ein Befehl stellt eine Anweisung an den Automaten dar, die in zwei Teile zerfällt, in den *Operationsteil* und in den *Adressenteil*. Ersterer gibt die Operation an, die zur Ausführung zu bringen ist, letzterer die Adressen (Nummern) der Speicherplätze, wo die beteiligten Zahlen (Operanden) aufbewahrt werden bzw. aufzubewahren sind. Die maschinelle Realisierung eines Befehls erfolgt wie bei einer Zahl.
Je nachdem, ob der Adressenteil eines Befehls eine, zwei oder drei *Adressen* enthält, unterscheidet man Ein-, Zwei- oder Dreiadreßbefehle und dementsprechend Ein-, Zwei- oder Dreiadreßrechner. Ein Dreiadreßbefehl entspricht in der Regel drei Einadreßbefehlen.

Programmierung. Unter der *Programmierung* eines Problems versteht man die Auswahl eines mathematischen Verfahrens, des *lösenden Algorithmus*, nach dem das Problem behandelt werden kann, und die Aufstellung des aus sämtlichen zur Durchführung der Berechnung erforderlichen Operationen bzw. Befehlen bestehenden *Programms*. Lösender Algorithmus und Programm werden von einem besonders ausgebildeten Mathematiker, dem *Programmierer*, zusammengestellt und mit den Ausgangsdaten des betreffenden Problems vor Beginn des Rechenprozesses in den Rechner eingegeben.
Einem Programm liegt die *Befehlsliste* eines Rechenautomaten zugrunde, denn nur die in dieser enthaltenen Befehle vermag der Rechner zu „verstehen" und zu befolgen. Wesentlich ist, daß nicht nur numerische Rechnungen, sondern auch logische Aufgaben programmiert werden können. Es kann vom Rechner darüber hinaus verlangt werden, daß er Entscheidungen trifft, die von verschiedenen Bedingungen abhängen (Resultat der vorausgegangenen Rechnung); z. B. kann er die Auswahl eines bestimmten Programmteiles vornehmen. Programme können auch so aufgestellt werden, daß der Rechner automatisch Änderungen an Formeln oder Programmteilen ausführen kann, z. B. Änderungen von laufenden Indizes in Formeln. Es gelang, einen Teil der Programmherstellung zu automatisieren (*automatisches Programmieren*).

Programmabarbeitung. Programm und Daten werden nach ihrer Verschlüsselung über das *Eingabewerk* in den *Speicher* des Rechners eingegeben. Von dort gelangen die Befehle in das *Befehls-* oder *Steuerwerk*. Es steuert die Zusammenarbeit der einzelnen Teile des Rechners während des Rechenprozesses und bewirkt, daß die Befehle in der vorgesehenen Reihenfolge abgearbeitet werden. Im Befehlswerk werden die Befehle entschlüsselt, und sie veranlassen die Ausführung spezifischer Vorgänge. *Lesebefehle* sorgen für die Überführung von Operanden ins Rechenwerk. Arithmetische oder *logische Befehle* lösen Verknüpfungsoperationen aus, und *Speicherbefehle* transportieren die Resultate vom Rechen- ins Speicherwerk. Das Ergebnis kann durch einen Druckbefehl auch im *Ausgabewerk* ausgedruckt oder gelocht werden.

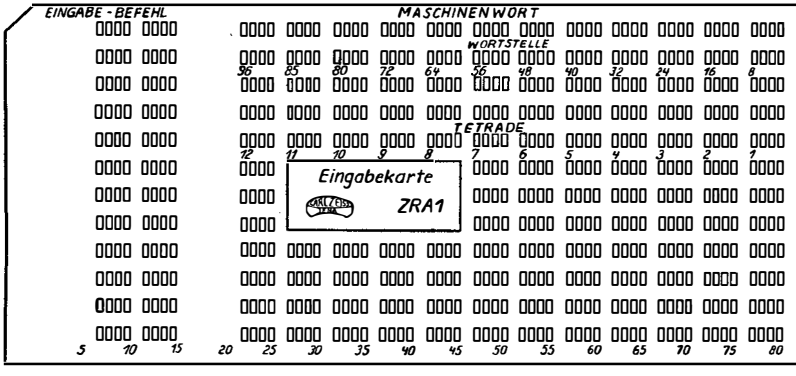
Ferner können Signale in das Befehlswerk übertragen werden, die bei Erfülltsein gewisser Bedingungen Abweichungen von der im Programm vorgesehenen Befehlsfolge, sog. *Sprünge*, veranlassen, die z. B. eine mehrmalige Wiederholung einer Teilberechnung ermöglichen. Ein Steuerpult dient der direkten Einflußnahme des Menschen auf die Arbeit des Rechners, eine Signaltafel der optischen Kontrolle, welche Zahlen bzw. Befehle sich an bestimmten Stellen des Rechners befinden (Abb.).



Blockschema des Digitalrechners

Ein- und Ausgabewerke. Programm und Ausgangsdaten werden zur Eingabe in den Rechner geeignet codiert und mittels einer *Spezialschreibmaschine* und des sog. *Lochers* in Lochstreifen oder Lochkarten eingestanzt (Abb.). Diese werden in das Eingabewerk des Rechners eingelegt und mittels spezieller Einrichtungen meist photoelektrischer Natur (Photozelle) abgetastet; dabei werden bestimmte Kombinationen von Lochungen in bestimmte ihnen entsprechende Kombinationen von elektrischen Signalen übersetzt und dem Rechner dadurch Informationen übermittelt. Die *Streifen-* oder *Lochkartenleser* können stündlich bis zu 30000 Informationen (über 1 Million Zeichen) bzw. bis zu 40000 Lochkarten verarbeiten.

Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt durch Lochstreifen bzw. Lochkarten mit Ausgabegeschwindigkeiten bis zu 50 Lochungen je Sekunde bzw. 6000 Lochkarten je Stunde. Mit dem *Ausgabelocher* ist ein *Spezialdrucker* gekoppelt, der die Ergebnisse mit Geschwindigkeiten bis zu 6 Millionen Zeichen je Stunde, d. h. 1800 Buchstaben bzw. Ziffern je Sekunde ausdruckt.



Lochkarte von ZRA 1

Speicher. Speicher dienen zur Aufnahme, Aufbewahrung (Speicherung) und Weiterleitung der Ausgangsdaten, Zwischen- und Endergebnisse und des jeweiligen Lösungsprogramms. Dadurch, daß sie in der Lage sind, Informationen sehr schnell aufzunehmen und bei Bedarf wieder bereitzustellen, gestatten sie erst eine Ausnutzung der hohen Arbeitsgeschwindigkeit der Rechenwerke. Jeder Speicher besteht aus einzelnen *Zellen*, auch *Speicherplätze* genannt, deren jede i. allg. der Speicherung einer Zahl bzw. eines Befehls dient. Die Zellen sind fortlaufend numeriert; die Nummer eines Speicherplatzes bezeichnet man als seine *Adresse*.

Größere elektronische Rechner haben zwei Speicher, einen *Innenspeicher*, auch *Operativ-* oder *Arbeitsspeicher* genannt, und einen *Außenspeicher*. Der Arbeitsspeicher ist unmittelbar mit dem Rechenwerk verbunden und an der Durchführung der einzelnen Operationen direkt beteiligt. Seine *Speicherkapazität*, d. h. die Anzahl der Speicherplätze, ist mit etwa 1000 bis 4000 Zahlen relativ gering; dementsprechend ist auch die *Zugriffszeit*, d. h. die Zeitspanne, die durchschnittlich zum Aufsuchen eines bestimmten Speicherplatzes erforderlich ist, kurz (1 ms bis 10 μs). Der Außenspeicher hat als Ergänzung des Arbeitsspeichers eine beliebig große Kapazität (10^4 bis 10^7 Plätze)

und eine dementsprechend große Zugriffszeit. Er ist nicht mit dem Rechenwerk verbunden, sondern nur über den Arbeitsspeicher zu erreichen, mit dem er Zahlen in größeren Gruppen austauscht.
Mit Hilfe von *Schnellspeichern* versucht man die bei größerer Speicherkapazität höhere Zugriffszeit zu verringern, um damit die Arbeitsgeschwindigkeit des Rechners zu steigern.

Speichertechnik. Arbeitsspeicher benutzen als Speichermedium häufig *Magnettrommeln*, das sind mit einer dünnen magnetisierbaren Schicht überzogene zylindrische Körper, die mit hoher Geschwindigkeit um ihre Achse rotieren (1500 bis 20000 Umdrehungen je Minute). Speicher auf der Basis magnetischer Ferritkerne (*Ferritkernspeicher*) sind vielverwendete Speichertypen. Sie haben eine geringe Zugriffszeit, geringen Raumbedarf und enthalten keine beweglichen Teile.
Außenspeicher bestehen meist aus *Magnetbändern*, denen mit Hilfe von *Schreib-* und *Leseköpfen* Informationen übertragen bzw. entnommen werden. Gebräuchlich sind auch Speicher mit Lochkarten oder Lochstreifen als Speicherelementen, bei denen Zahlen, geeignet codiert, in genormte Kartonstücke (Lochkarten) oder in Papier- oder Filmstreifen eingestanzt werden (Hollerith- und Arithma-Verfahren). Sie haben gegenüber den Magnetbandspeichern den Nachteil, daß sie nicht gelöscht und dann wieder beschrieben werden können.

ANWENDUNG ELEKTRONISCHER RECHENAUTOMATEN

Elektronische Rechenautomaten ermöglichen Untersuchungen, die wegen ihres Umfanges mit bisher bekannten Verfahren nicht oder nur in groben Näherungen durchgeführt werden konnten. Sie werden zur Lösung mannigfaltiger Probleme eingesetzt, z. B. in der Kernphysik, in der Astronomie, in der Weltraumfahrt, in der Wettervorhersage. Mathematische Probleme, deren Lösung eine große Anzahl von Rechenoperationen erfordert und mit herkömmlichen Mitteln mehrere Monate, ja einige Jahre dauern würde, können nun in Minuten bis Stunden mit beliebiger Genauigkeit behandelt werden (Überwindung der mathematischen Grenzen der Physik). Auch kommerzielle Probleme, die die häufige Wiederholung relativ weniger Rechenoperationen bei zahlreichen Ausgangswerten verlangen, werden mit Elektronenrechnern bearbeitet, z. B. die Platzreservierung im Luftverkehr, die Lagerhaltung, die Buchhaltung und die Lohnbuchhaltung sowie statistische Untersuchungen. Die in der DDR entwickelte Maschine *Robotron* z. B. führt 9000 Nettolohnberechnungen je Stunde durch. Die Steuerung von Maschinen, Taktstraßen und Prozessen (Werkzeugmaschinen, Kernreaktoren, chemische Großindustrie, Verkehrswesen) wird ebenfalls in wachsendem Umfang von Elektronenrechnern durchgeführt.
Die elektronischen Rechenautomaten *entlasten* den Menschen von routinemäßiger Arbeit und führen ihn in zunehmendem Maße zu geistig-schöpferischer Tätigkeit. Rechenautomaten können den Menschen jedoch keineswegs *ersetzen*, denn nur der Mensch ist in der Lage, die von ihnen zu bearbeitenden Probleme zu erkennen, die Lösungsmethoden zu ersinnen und aus den Ergebnissen Schlußfolgerungen zu ziehen.

ZUKÜNFTIGE AUFGABEN ELEKTRONISCHER RECHENAUTOMATEN

Gegenwärtig werden Ziffernrechenanlagen für 100000 bis 1000000 Op./s („Stretch") entworfen und gebaut; in einigen Jahren werden sie bis 10000000 Op./s leisten. Schalt- und Speicherelemente aus dünnen aufgedampften Schichten magnetischer oder supraleitfähiger Materialien (Kryotrontechnik) werden es ermöglichen, bis zu 1500 Schaltelemente mit den sie verbindenden Leitungen in einem Kubikzentimeter unterzubringen.
Eine überaus wichtige Aufgabe ist die *automatische Sprachübersetzung* (die erste derartige Übersetzung — aus dem Russischen ins Englische — fand am 7. 1. 1954 statt); dazu werden Automaten entwickelt, die „lesen" und „hören" können.
Grundsätzliche Bedeutung hat der Bau sog. *lernender Automaten*, die ihr Verhalten auf ihren Erfolg hin überprüfen (z. B. Heraussuchen der günstigsten Variante aus mehreren) und daraus Schlüsse für ihr künftiges Verhalten ziehen (einfachste Form: automatische Schildkröte, Schachspielautomat). Diese Automaten können etwa für die Wirtschaftsplanung oder die Projektierung industrieller Anlagen große Bedeutung gewinnen.

IV. Gleichungen

Eine Gleichung *verbindet* gleichwertige mathematische Ausdrücke, indem sie deren Gleichwertigkeit durch das Zeichen „=" kennzeichnet; z. B. ist $3 = 4 - 1$ eine Gleichung.
Gleichungen bleiben *richtig*, wenn man auf beiden Seiten

a) Gleiches addiert bzw. subtrahiert:

$3 = 4 - 1 \qquad 3 + 1 = 4 \qquad 1 = 4 - 3$

$a = b - c \qquad a + c = b \qquad c = b - a$

(Die Glieder können also durch Vorzeichenwechsel von einer Seite der Gleichung auf die andere gebracht werden.)

b) mit Gleichem multipliziert bzw. durch Gleiches — ausgenommen die Null — dividiert:

$3 \cdot 4 = 12$ $\quad (3 \cdot 4) \cdot 5 = 12 \cdot 5$ $\quad (3 \cdot 4) : 4 = 12 : 4$

$a = b$ $\quad a \cdot c = b \cdot c$ $\quad a : d = b : d$

Gleichungen werden verwendet:

1. zur Darstellung von Rechengesetzen in allgemeiner Form (identische Gleichungen, Formeln),
2. zur mathematischen Formulierung von „Rechen"-Aufgaben, die die Bestimmung einer oder mehrerer konstanter *Größen* zum Inhalt haben (Bestimmungsgleichungen),
3. zur mathematischen Darstellung von *Funktionen* (Funktionsgleichungen),
4. zur mathematischen Formulierung von Aufgaben, die die Bestimmung einer oder mehrerer *Funktionen* zum Inhalt haben (Funktionalgleichungen).

IDENTISCHE GLEICHUNGEN

Bei *identischen Gleichungen* sind alle vorkommenden Werte bekannt bzw. beliebig wählbar:

$$7 + 5 = 12$$

$$m(a + b) = ma + mb$$

Die zweite dieser Gleichungen drückt in mathematischen Zeichen (Symbolen) folgendes Gesetz aus: „Eine Zahl wird mit einer Summe multipliziert, indem man die Zahl mit jedem Posten der Summe multipliziert und die Ergebnisse addiert." Die in dieser Gleichung vorkommenden Buchstaben sind allgemeine Zahlen; man kann für sie irgendwelche Werte einsetzen, die Gleichung bleibt *immer richtig*. Eine solche Gleichung nennt man eine *Formel*.

BESTIMMUNGSGLEICHUNGEN

Bei *Bestimmungsgleichungen*, oft schlechthin *Gleichungen* genannt, sind eine oder mehrere Größen unbekannt. Diese Gleichungen werden im allgemeinen nur für bestimmte Werte der Unbekannten zu identischen Gleichungen zwischen Zahlen; diese Werte der Unbekannten sind durch „Auflösen" der Bestimmungsgleichungen zu bestimmen. Man bezeichnet die gesuchten Unbekannten gewöhnlich mit x, y, z, x_1, x_2 usw.

Ein Beispiel einer Bestimmungsgleichung ist

$$5x - 9 = 36,$$

in Worten: „Multipliziert man eine Zahl mit 5 und subtrahiert vom Produkt 9, so ergibt sich 36". Sie ist nur in einem Falle „richtig", und dieser Fall ist zu ermitteln. Er liegt vor, wenn für x die Zahl 9 eingesetzt wird; $x = 9$ ist die „Lösung" oder „Wurzel" der hier vorgegebenen Gleichung. Andere Bestimmungsgleichungen sind

$a^x = b$ mit der Lösung $x = {}^a\log b$,

$\sin x = 1$ mit den Lösungen $x = \ldots, -\frac{7}{2}\pi, -\frac{3}{2}\pi, \frac{\pi}{2}, \frac{5}{2}\pi, \frac{9}{2}\pi, \ldots$

Im letzten Beispiel hat die Bestimmungsgleichung unendlich viele Lösungen.

Algebraische Gleichungen. Das sind Gleichungen, in denen auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens nur *Polynome* vorkommen, die man also durch geeignete Additionen und Subtraktionen auf die Form „Polynom = 0" bringen kann. Dabei versteht man unter einem Polynom einen Ausdruck, der aus einer Anzahl von Summanden besteht, deren jeder ein Produkt aus einem konstanten Faktor und einer Potenz der Unbekannten x ist. Ein Beispiel ist:

$6x^3 + 7{,}5x^2 + 4x + 8{,}75$, allgemein $a_n x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \cdots + a_1 x + a_0$. Die Konstanten a_n, $a_{n-1}, \ldots, a_1, a_0$ heißen *Koeffizienten* des Polynoms.

Lösungen algebraischer Gleichungen bezeichnet man als *algebraische Zahlen*. Zum Beispiel ist 9 die Lösung der algebraischen Gleichung $5x - 9 = 36$, also eine algebraische Zahl; ebenso ist $+\sqrt{2}$ als eine Lösung der algebraischen Gleichung $x^2 - 2 = 0$ algebraisch.

Transzendente Gleichungen. Jede nichtalgebraische Gleichung ist eine transzendente Gleichung. Beispiele transzendenter Gleichungen sind $a^x = b$ oder $\sin x = 1$. *Transzendente Zahlen* sind Lösungen transzendenter Gleichungen. Fast sämtliche Logarithmen sind transzendente Zahlen, ebenso die Zahlen π und e, die in der Analysis eine wichtige Rolle spielen.

Im folgenden Abschnitt sollen nur algebraische Gleichungen betrachtet werden.

Grad einer Gleichung. Je nach der höchsten Potenz, in der die Unbekannten in einer Gleichung vorkommen, spricht man von *Gleichungen ersten, zweiten, dritten und höheren Grades*:

$$ax + b = 0$$

$$ax^2 + bx + c = 0 \qquad ax^2 + b = 0$$

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0 \qquad ax^3 + b = 0$$

Eine Gleichung, die das Produkt von zwei Unbekannten ersten Grades enthält, hat den Grad 2, z. B. $xy + x = 13$.

Gleichungen 1. Grades oder *lineare* Gleichungen haben *eine* Lösung.
Gleichungen 2. Grades oder *quadratische* Gleichungen haben *zwei* Lösungen.
Gleichungen 3. Grades oder *kubische* Gleichungen haben *drei* Lösungen.

Allgemein haben Gleichungen n-ten Grades n Lösungen; diese können insgesamt oder zum Teil zu mehrfachen Lösungen zusammenfallen.
Die Faktoren der Unbekannten sowie das von Unbekannten freie sogenannte absolute Glied bezeichnet man als *Koeffizienten* der Gleichung (lat. *con*, mit; *efficere*, bewirken); Beispiel: $3x + 6 = 0$, $ax + b = 0$; 3, 6 bzw. a, b sind die Koeffizienten, x die Unbekannte.

Lineare Gleichungen. Eine *Gleichung 1. Grades* mit einer Unbekannten löst man, indem man die Unbekannte auf einer Seite der Gleichung isoliert:

$$ax + b = 0,\ a \neq 0 \qquad 3x - 15 = 0$$

$$ax = -b \qquad 3x = +15$$

$$x = \frac{-b}{a} = -\frac{b}{a} \qquad x = \frac{+15}{3} = +5$$

Quadratische Gleichungen. Eine *Gleichung 2. Grades* mit einer Unbekannten löst man am einfachsten, indem man sie vorher auf die „Normalform"

$$x^2 + px + q = 0$$

bringt, in der x^2 mit dem Koeffizienten 1 auftritt und die rechte Seite gleich 0 ist. Die Auflösung dieser *Normalgleichung* (mit allgemeinen Zahlen) erfolgt in mehreren Stufen:
Abtrennen des x-freien (absoluten) Gliedes:

$$x^2 + px = -q$$

Addieren der „quadratischen Ergänzung" auf beiden Seiten (damit die linke Seite dem Formelausdruck $a^2 + 2ab + b^2$ entspricht):

$$x^2 + px + \left(\frac{p}{2}\right)^2 = -q + \left(\frac{p}{2}\right)^2$$

Umwandeln nach der Formel:

$$a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2,$$

wodurch die linke Seite ein volles Quadrat wird:

$$\left(x + \frac{p}{2}\right)^2 = \frac{p^2}{4} - q$$

Ziehen der Quadratwurzel (links und rechts, wobei die Wurzel *beide* Vorzeichen trägt):

$$x + \frac{p}{2} = \pm\sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

Abtrennen des x-freien Gliedes $\frac{p}{2}$: $\quad x_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$

$$x_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

Damit ist die allgemeine *„Lösungsformel"* gewonnen, die nun in jedem Einzelfalle angewendet werden kann.
Eine besonders *bequeme Lösungsmethode* für günstig liegende Fälle bietet der *Vietasche Wurzelsatz* (*Vieta*, eigentlich *François Viète*, 1540 bis 1603). Er lautet in seiner einfachsten Form:
Sind x_1 und x_2 die zwei Wurzeln der quadratischen Gleichung

$$x^2 + px + q = 0,$$

dann gelten die Beziehungen: $x_1 + x_2 = -p$ und $x_1 \cdot x_2 = +q$.

Mit Hilfe des *Vietaschen Wurzelsatzes* kann man die linke Seite einer quadratischen Gleichung als Produkt von zwei Binomen darstellen und dadurch die Gleichung lösen. Eine entsprechende Aussage gilt für die Gleichungen höheren Grades.

Beispiel: $x^2 - 5x + 6 = 0$ läßt sich umformen in $(x - 2) \cdot (x - 3) = 0$. Dann ist entweder: $(x - 2) = 0$, d. h. $x_1 = +2$, oder $(x - 3) = 0$, d. h. $x_2 = +3$; demnach sind die beiden Lösungen $x_1 = +2$ und $x_2 = +3$.

Gleichungen mit mehreren Unbekannten. Je nach der Anzahl der Unbekannten spricht man von Gleichungen mit einer, zwei, drei oder mehr Unbekannten. Enthalten *lineare* Gleichungen *zwei, drei* oder *mehr* Unbekannte, so sind zu ihrer eindeutigen Lösung jeweils zwei, drei oder mehr Gleichungen erforderlich.

Beispiel: I. $3x + 2y = 12$

II. $9x + 4y = 18$

Lösung: Zunächst wird angestrebt, durch Zusammenfassung beider Gleichungen die eine Unbekannte zu beseitigen (zu eliminieren), um eine Gleichung mit nur einer Unbekannten zu erhalten (*Additions-* und *Subtraktionsmethode*). Dies wird erreicht durch Multiplikation der Gleichung I mit dem Faktor 3. Dadurch ergeben sich in I und II gleiche Koeffizienten von x. Wird nun Gleichung II von I subtrahiert, so ergibt sich eine Gleichung mit nur einer Unbekannten:

$$\begin{array}{rrl} \text{I.} & 3 \cdot 3x + 3 \cdot 2y = 3 \cdot 12 & \\ -\text{ II.} & 9x + 4y = 18 & \\ \hline & 2y = 18 & \\ & y = 9 & \end{array}$$

x gewinnt man, indem man den für y gefundenen Wert in eine der beiden gegebenen Gleichungen einsetzt, z. B. in I.:

$$3x + 2 \cdot 9 = 12$$

$$3x = 12 - 18 = -6$$

$$x = \frac{-6}{3} = -2$$

Eine andere Lösungsmöglichkeit bietet die *Substitutionsmethode*: In einer der Gleichungen isoliere man eine Unbekannte, etwa x, und setze den sich so für x ergebenden Ausdruck an Stelle von x in die zweite Gleichung ein; diese wird so zu einer Gleichung mit einer Unbekannten.
Beide Verfahren können durch wiederholte Anwendung auch zur Auflösung von drei und mehr linearen Gleichungen mit drei bzw. mehr Unbekannten verwendet werden.

FUNKTIONSGLEICHUNGEN

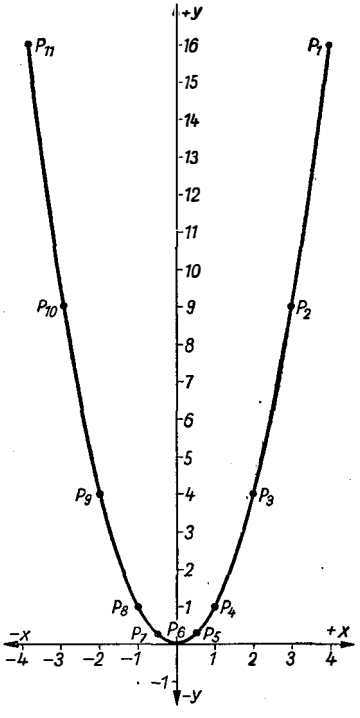
Ist eine eindeutige Vorschrift gegeben, durch die jeder Zahl x aus der Gesamtheit der reellen (oder komplexen) Zahlen oder eines bestimmten Teils von ihnen eine bestimmte Zahl y zugeordnet wird, so heißt y eine *Funktion* von x; die frei wählbare Veränderliche x nennt man *unabhängige* Veränderliche oder *Argument* der Funktion, die in Abhängigkeit von x bestimmte Veränderliche y *abhängige* Veränderliche. Die Gesamtheit der zulässigen Werte x heißt der *Definitionsbereich*, die Gesamtheit der zugehörigen Werte y heißt der *Wertevorrat* der Funktion. Ist die genannte Vorschrift, durch die zu jedem x des Definitionsbereichs ein y bestimmt wird, eine *Rechenvorschrift*, so schreibt man etwa $y = f(x)$, gelesen „y gleich f von x", um auszudrücken, daß y eine Funktion von x ist. Man spricht dann von einer *Funktionsgleichung* als rechnerischem Ausdruck des funktionellen Zusammenhanges zwischen einer (oder mehreren) unabhängigen Veränderlichen und der abhängigen Veränderlichen, z. B. $y = 3x + 5$, $y = 3x + x^2$. In diesem Zusammenhang ist es unwesentlich, welche Buchstaben zur Charakterisierung des funktionellen Zusammenhanges zwischen unabhängigen und abhängigen Veränderlichen gewählt werden.
Im Unterschied zu den Bestimmungsgleichungen, die nur durch einen oder mehrere bestimmte, für jede Unbekannte zu ermittelnde Werte erfüllt werden, gibt es unendlich viele Wertepaare x, y, die die Funktionsgleichung $y = f(x)$ erfüllen. Mit einer Änderung von x ändert sich im allgemeinen auch y.

Beispiel	Definitionsbereich	Wertevorrat
$y = x^2$	$-\infty < x < +\infty$	$y \geqq 0$
$y = +\sqrt{x}$	$x \geqq 0$	$y \geqq 0$
$y = +\sqrt{1 - x^2}$	$-1 \leqq x \leqq 1$	$0 \leqq y \leqq 1$

In einem rechtwinkligen ebenen Koordinatensystem entspricht jedem Wertepaar (x, y) eindeutig ein Punkt mit den Koordinaten x, y. Unter gewissen Voraussetzungen, die hier nicht genauer präzisiert werden können, ergeben sich Geraden und Kurven als Bilder (graphische Darstellung) des funktionalen Zusammenhanges; man trage dazu die Punkte, die einigen der Funktionsgleichung genügenden Wertepaaren entsprechen, in das Koordinatensystem ein und verbinde sie in geeigneter Weise mit dem Lineal bzw. dem Kurvenlineal.

Setzt man in der Funktionsgleichung $y = x^2$ (der einfachsten Funktion zweiten Grades) für x bestimmte Zahlenwerte ein, so ergibt sich (Abb.):

x	y	ergibt Punkt	x	y	ergibt Punkt
4	16	P_1	$-1/2$	$1/4$	P_7
3	9	P_2	-1	1	P_8
2	4	P_3	-2	4	P_9
1	1	P_4	-3	9	P_{10}
$1/2$	$1/4$	P_5	-4	16	P_{11}
0	0	P_6	usw.	usw.	usw.



Graphische Darstellung von $y = x^2$

In diesem Zusammenhang spricht man von graphischer oder *zeichnerischer Lösung* von Gleichungen im Gegensatz zur bisher behandelten numerischen oder rechnerischen Lösung. Bei zwei linearen Gleichungen mit zwei Unbekannten fasse man jede der beiden Gleichungen als eine Funktionsgleichung auf; ihre Bilder sind zwei Geraden, deren Schnittpunktskoordinaten die beiden Lösungen des Gleichungssystems sind.

Die abhängige Veränderliche y kann auch von mehr als einer unabhängigen Veränderlichen abhängen; z. B. ist in der Thermodynamik der Druck eines Gases eine Funktion von Temperatur und Volumen. Man spricht dann von einer Funktion von mehreren Veränderlichen und schreibt dafür z. B. bei einer Abhängigkeit von zwei oder drei Veränderlichen $z = f(x, y)$ bzw. $y = f(x_1, x_2, x_3)$.

Nicht immer kann ein funktioneller Zusammenhang in geschlossener Form durch eine Funktionsgleichung ausgedrückt werden; ein Beispiel hierfür ist die Funktion, bei der der Zusammenhang zwischen den beiden Veränderlichen durch folgende Vorschrift beschrieben wird: für rationale Werte der unabhängigen Veränderlichen x hat die abhängige Veränderliche y den Wert Eins, für irrationale Werte x hat y den Wert Null.

FUNKTIONALGLEICHUNGEN

Funktionalgleichungen bilden einen wichtigen, sehr allgemeinen Gleichungstypus der höheren Mathematik und dienen zur Bestimmung von ihnen genügenden Funktionen, nicht aber einzelner konstanter Größen, so wie es bei den Bestimmungsgleichungen der Fall ist. Beispiele von Funktionalgleichungen sind Differentialgleichungen und Integro-Differentialgleichungen.

V. Folgen und Reihen

FOLGEN

Zahlenfolgen. Man denke sich die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, ... hintereinander aufgeschrieben; in der darunterliegenden Zeile denke man sich wiederum Zahlen notiert, und zwar so, daß immer eine Zahl aus der oberen Zeile und die genau darunterstehende Zahl aus der unteren Zeile als zusammengehörig gelten:

$$1, 2, 3, 4, 5, \ldots, n, \ldots$$
$$a, b, c, d, e, \ldots, s, \ldots$$

Wenn es möglich ist, zu jeder natürlichen Zahl $1, 2, 3, 4, 5, \ldots, n, \ldots$ die darunterstehende Zahl $a, b, c, d, e, \ldots, s, \ldots$ nach irgendeiner Vorschrift zu berechnen, wenn also jede dieser Zahlen auf

eindeutige Weise durch die darüberstehende natürliche Zahl bestimmt wird, so nennt man die Gesamtheit der Zahlen $a, b, c, \ldots$ eine *Zahlenfolge*, kurz eine *Folge*, die Zahlen $a, b, c, \ldots$ selbst ihre Glieder. Ein Beispiel ist:

$$1, 2, 3, 4, \ldots, n, \ldots$$
$$2, 4, 6, 8, \ldots, 2n, \ldots,$$

bei dem die Folge aus sämtlichen geraden Zahlen besteht. Zur Vereinfachung der Schreibweise notiert man nicht das eben angegebene Schema, sondern hängt die natürlichen Zahlen, zu denen die einzelnen Folgenglieder gehören, an diese als *Indizes* oder *Beizahlen* an. Man erhält so folgende allgemeine Schreibweise für eine Folge:

$$a_1, a_2, a_3, a_4, \ldots, a_n, \ldots,$$

wofür man abkürzend auch $\{a_n\}$ schreibt. Das Glied a_n nennt man das *allgemeine Glied* der Folge. Unter Benutzung dieser Schreibweise kann man den Begriff der Folge durch nachstehende in der höheren Mathematik übliche Definition erklären:
Ist eine eindeutige Vorschrift gegeben, durch die man eine erste Zahl x_1, eine zweite x_2, usw. allgemein eine n-te Zahl x_n bestimmen kann, so daß allgemein jeder natürlichen Zahl $1, 2, 3, \ldots, n, \ldots$ eine eindeutig bestimmte Zahl $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n, \ldots$ entspricht, so nennt man die Gesamtheit der Zahlen $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n, \ldots$ eine Folge.

Endliche und unendliche Zahlenfolgen. Eine Folge heißt *endlich*, wenn sie nach endlich vielen Gliedern abbricht, etwa nach dem 5., 20. oder 1000. Glied. Andernfalls heißt sie *unendlich*; in diesem Falle folgt auf jedes Folgenglied x_n ein weiteres, nämlich x_{n+1}.
Einfachste Beispiele von unendlichen Folgen sind die Folge der natürlichen Zahlen $1, 2, 3, 4, \ldots, n, \ldots$ mit dem allgemeinen Glied $a_n = n$ und die Folge ihrer Kehrwerte $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \ldots, \frac{1}{n}, \ldots$ mit dem allgemeinen Glied $a_n = \frac{1}{n}$.

Die Vorschrift, mit der zu jeder natürlichen Zahl n die Zahl x_n bestimmt wird, ist im einfachsten und häufigsten Fall eine Formel, in der außer bekannten Zahlen nur der laufende *Index* n auftritt: Setzt man nacheinander alle natürlichen Zahlen $1, 2, 3, \ldots$ für n ein, so liefert die Formel sämtliche Glieder der Folge. Beispiele: Die Folge der natürlichen Zahlen $1, 2, 3, \ldots, n, \ldots$; Formel $x_n = n$; die Folge der Kehrwerte der natürlichen Zahlen $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \ldots, \frac{1}{n}, \ldots$; Formel $x_n = \frac{1}{n}$; die Folge $2, 2^2, 2^4, 2^6, \ldots, 2^{2n}, \ldots$ von Potenzen der Zwei; Formel $x_n = 2^{2n}$.
Bei den genannten Beispielen können nicht nur das erste, zweite oder dritte, sondern auch jedes beliebige andere Glied sofort ohne Kenntnis davorliegender Glieder berechnet werden. Das trifft jedoch nicht immer zu, z. B. dann nicht, wenn eine *Rekursionsformel* zur Berechnung der Folgenglieder verwendet wird. Ein Beispiel hierfür ist die Formel $x_n = x_{n-1} + d$, bei der zur Berechnung des n-ten Gliedes x_n sämtliche vorangegangenen Folgenglieder bekannt sein müssen, obwohl der Wert von x_n eindeutig festliegt.

Arithmetische Zahlenfolgen. Eine Zahlenfolge $\{x_n\}$ heißt *arithmetisch*, wenn die Differenz von je zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Gliedern stets dieselbe von Null verschiedene Konstante ist: $x_{n+1} - x_n = d = \text{const}$. Eine arithmetische Folge mit dem Anfangsglied a und der Differenz d hat folgendes Aussehen:

$$a, a + d, a + 2d, a + 3d, \ldots; \; n\text{-tes Glied } x_n = a + (n - 1)d.$$

Die Folge der natürlichen Zahlen ist eine arithmetische Folge, für die $a = 1$, $d = 1$ ist. Die Folge $5, 8, 11, 14, 17, \ldots$ ist eine *steigende* arithmetische Folge ($d = 3$), die Folge $23, 18, 13, 8, 3, \ldots$ ist eine *fallende* arithmetische Folge ($d = -5$).
Den Wert der Summe der ersten n Glieder einer arithmetischen Folge bestimmte der etwa achtjährige *Gauß*, als seiner Schulklasse die Aufgabe gestellt wurde, die natürlichen Zahlen von 1 bis 100 zu addieren. Gauß faßte in der Summe $1 + 2 + 3 + \cdots + 98 + 99 + 100$ folgende Glieder zusammen:

$$1 + 100 = 101, \; 2 + 99 = 101, \; 3 + 98 = 101 \text{ usw.}$$

und erhielt 50 Paare zu je 101; der gesuchte Summenwert ist also $50 \cdot 101 = 5050$.
Der Wert der Summe der ersten n Glieder einer arithmetischen Folge ist also gleich dem Produkt aus der Summe von Anfangs- und Endglied und der halben Anzahl der Glieder:

$$s_n = \frac{x_1 + x_n}{2} \cdot n = \frac{n}{2}(x_1 + x_n).$$

Geometrische Zahlenfolgen. Eine Zahlenfolge $\{x_n\}$ von sämtlich nicht verschwindenden Gliedern x_n heißt *geometrisch*, wenn der Quotient von je zwei aufeinanderfolgenden Gliedern stets dieselbe Konstante ist:

$$\frac{x_{n+1}}{x_n} = q = \text{const}.$$

Eine geometrische Folge mit dem Anfangsglied a und dem Quotienten q hat folgendes Aussehen:

$$a,\ aq,\ aq^2,\ aq^3,\ \ldots;\ n\text{-tes Glied } x_n = aq^{n-1}.$$

Der Wert der Summe der ersten n Glieder dieser geometrischen Folge ist für $q \neq 1$:

$$s_n = a \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1}.$$

Ist $q = 1$, so sind alle Glieder gleich; die Summenformel lautet dann:

$$s_n = a(n + 1).$$

Die Folge der Zahlen 4, 8, 16, 32, ... ist eine *steigende* geometrische Folge ($q = 2$, $q > 1$); die Folge der Zahlen 135, 45, 15, 5, ... ist eine *fallende* geometrische Folge $\left(q = \frac{1}{3}, 0 < q < 1\right)$. Die Vorzeichen der Glieder wechseln, wenn q negativ ist; man nennt eine solche Folge *alternierend.*

Grenzwert und Konvergenz. In der höheren Mathematik, insbesondere in der Analysis grundlegend sind die eng miteinander zusammenhängenden Begriffe *Grenzwert* (oder *Limes*) und *Konvergenz.* Eine Folge $\{x_n\}$ heißt konvergent mit dem Grenzwert x, wenn es eine Zahl x gibt, so daß von einem gewissen Index N, d. h. von einem bestimmten Glied x_N an alle weiteren Folgenglieder x_n in beliebiger Nähe der Zahl x gelegen sind. Das bedeutet, daß die Abstände aller dieser auf x_N folgenden Glieder $x_{N+1}, x_{N+2}, \ldots$ von der Zahl x, dem Grenzwert der Folge, unterhalb einer vorgegebenen, insbesondere beliebig kleinen Größe gelegen sind, die man mit ε zu bezeichnen pflegt; nur die endlich vielen Glieder $x_1, x_2, \ldots, x_{N-2}, x_{N-1}$ können einen größeren Abstand als ε von x haben. Wird der Abstand ε sehr klein gewählt, so muß der Index N im allgemeinen groß sein; man erkennt, daß N von ε abhängig ist.
Ist insbesondere der Grenzwert $x = 0$, so spricht man von einer *Nullfolge.* Existiert für eine Folge kein Grenzwert, so heißt sie *divergent.*
Die Folge der natürlichen Zahlen ist divergent, die ihrer Kehrwerte ist konvergent mit dem Grenzwert Null. Jede arithmetische Folge ist divergent, da die Beträge ihrer Glieder mit wachsendem n immer größer werden. Eine geometrische Folge ist konvergent, wenn für den Quotienten $0 < q < 1$ gilt, sonst ist sie divergent.
Wählt man bei der Folge $x_n = 1 + \frac{1}{n}$ die Größe $\varepsilon = \frac{1}{100}$, so sind von dem Index $N = 100$ an alle weiteren Folgenglieder, d. h. die Glieder $x_{101} = 1 + \frac{1}{101}$, $x_{102} = 1 + \frac{1}{102}$, ... um weniger als $\frac{1}{100}$ von 1, dem Grenzwert dieser Folge, entfernt. Nur die endlich vielen (nämlich 100) Glieder $x_1 = 1 + 1$, $x_2 = 1 + \frac{1}{2}$, $x_3 = 1 + \frac{1}{3}$, ..., $x_{99} = 1 + \frac{1}{99}$, $x_{100} = 1 + \frac{1}{100}$ haben keinen kleineren Abstand als $\varepsilon = \frac{1}{100}$ von 1.
In diesem Zusammenhang stößt man bei der Untersuchung einer Folge auf zwei stets wiederkehrende Fragen:

1. Konvergiert die gegebene Folge?
2. Wenn ja, gegen welchen Grenzwert konvergiert sie?

Zur Beantwortung der ersten Frage stehen der Mathematik eine Anzahl von *Konvergenzkriterien* zur Verfügung, die die Konvergenz einer Folge garantieren, wenn diese gewisse von Kriterium zu Kriterium verschiedene Eigenschaften hat. Zum Nachweis der Konvergenz ist also nachzuprüfen, ob die betreffende Folge die in dem jeweiligen Kriterium geforderten Eigenschaften hat. Ist die Konvergenz einer Folge erwiesen, so ist damit ihr Grenzwert im allgemeinen noch nicht ermittelt. Für dessen numerische Berechnung lassen sich kaum allgemeingültige Angaben machen; jedes derartige Problem muß mit von Fall zu Fall besonders zu wählenden Methoden behandelt werden und kann seiner Lösung beträchtliche Schwierigkeiten entgegensetzen.

REIHEN

Gegeben sei eine Folge $\{x_n\}$. Unter einer *unendlichen Reihe* $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \ldots$, Symbol $\sum_{n=1}^{\infty} x_n$ (gelesen: Summe über x_n von $n = 1$ bis unendlich), versteht man die Folge aller endlichen *Abschnitts- oder Partialsummen*:

$$s_1 = x_1,\ s_2 = x_1 + x_2,\ s_3 = x_1 + x_2 + x_3, \ldots$$

$$\ldots, s_m = x_1 + x_2 + x_3 \cdots + x_m = \sum_{n=1}^{m} x_n, \ldots$$

Eine unendliche Reihe heißt *konvergent*, wenn die Folge der zugehörigen Partialsummen konvergiert, andernfalls ist sie *divergent*. Die Glieder x_n einer unendlichen Reihe brauchen nicht konstant zu sein, sondern können z. B. Funktionen einer Veränderlichen x sein.

Beispiel. Die Reihe der natürlichen Zahlen $1 + 2 + 3 + 4 \ldots$ ist divergent; dasselbe gilt sogar von der Reihe ihrer Kehrwerte $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \ldots$, der sogenannten *harmonischen* Reihe. Eine konvergente unendliche Reihe ist z. B. $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \ldots$, die Reihe der reziproken Zweierpotenzen; sie hat die „Summe" 2.

Über das Konvergenzverhalten unendlicher Reihen gelten sinngemäß dieselben Aussagen, die für Folgen gemacht wurden, da Reihen spezielle Folgen sind.

Die unendlichen Reihen haben eine große Bedeutung in der Mathematik und darüber hinaus in weiten Gebieten der Naturwissenschaft und Technik. Es seien hier nur die Taylor-Reihen und die Fourier-Reihen genannt; letztere spielen eine große Rolle in der Theorie der periodischen Funktionen (Schwingungen).

Transzendente Zahlen können als Grenzwerte von konvergenten unendlichen Reihen bestimmt und auf soviele Stellen berechnet werden, wie es gerade erforderlich ist. Zum Beispiel erhält man aus den ersten zwölf Gliedern der Reihe

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \ldots \text{ die Abschätzung } 2{,}718\,281\,826 < e < 2{,}718\,281\,832,$$

also bis zur siebenten Stelle gesichert $e = 2{,}718\,281\,8\ldots$ oder
bis zur achten Stelle gerundet $e \approx 2{,}718\,281\,83$.

Aus den ersten sechzehn Gliedern der Reihe

$$\frac{\pi}{4} = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) - \frac{1}{3}\left(\frac{1}{2^3} + \frac{1}{3^3}\right) + \frac{1}{5}\left(\frac{1}{2^5} + \frac{1}{3^5}\right) - + \ldots$$

erhält man auf acht Dezimalen genau $\pi = 3{,}141\,592\,65\ldots$

VI. Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik

KOMBINATORIK

Die Kombinatorik behandelt die Anordnung von gegebenen Größen nach bestimmten Gesetzen und fragt nach der Anzahl von *möglichen Aufeinanderfolgen* (Zusammenstellungen, Gruppierungen) dieser — „Elemente" genannten — Größen. Die einzelnen Zusammenstellungen heißen *Komplexionen.*

Man unterscheidet nach der Art der Anordnung *Permutationen, Kombinationen* und *Variationen.*

Permutationen. *Permutieren* heißt, die Reihenfolge der gegebenen Elemente ändern. Man interessiert sich für die Frage, wieviel derartige Anordnungen (Permutationen) möglich sind. So können z. B. die zwei Ziffern 5 und 7 nur zweimal in verschiedener Folge nebeneinanderstehen: 57 und 75. Drei Personen A, B und C dagegen gestatten sechs verschiedene Anordnungen: ABC; ACB; BAC; BCA; CAB; CBA. Vier Personen können 24mal ($24 = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4$) ihre Reihenfolge ändern, denn jede der 4 Personen kann 6mal an erster Stelle stehen, während die anderen 3 „permutieren", d. h. sich „umsetzen". Die fünf Silben lo-ko-mo-ti-ve lassen sich zu $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 = 120$ verschiedenen fünfsilbigen Wörtern zusammenstellen: tilomokove, molokoveti usw.

Eine Menge von 10 verschiedenen Elementen gestattet $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10 = 10!$ (lies: 10-Fakultät), das sind 3628800 Permutationen. Allgemein lassen n Elemente $n!$ Permutationen zu.

Wieviele verschiedene Skatspiele sind möglich? Die 32 Karten können auf 32! Arten angeordnet werden. Jeder Spieler bekommt 10 Karten bei einem bestimmten Spiel; auf 10! verschiedene Arten kann er diese 10 Karten anordnen und hat doch stets dasselbe Spiel. Auch die Reihenfolge der 2 im Skat liegenden Karten ist beliebig. Danach ist die Zahl der verschiedenen Spiele:

$$\frac{32!}{10!\,10!\,10!\,2!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \ldots \cdot 29 \cdot 30 \cdot 31 \cdot 32}{1 \cdot 2 \cdot (1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10)^3} \approx 2\,753 \text{ Billionen.}$$

Man betrachtet hier also Permutationen von nicht sämtlich als verschieden anzusehenden Elementen.

Kombinationen. *Kombinieren* heißt, aus einer gegebenen Menge von n Elementen irgend k Elemente ($k < n$) herausgreifen und ohne Berücksichtigung der Reihenfolge in irgendeiner Anordnung

nebeneinanderstellen. Man spricht dann von einer Kombination von n Elementen zur k-ten Klasse.

1. Beispiel: Für die sechs Elemente (hier Zahlen) 1, 2, 3, 4, 5, 6 ergeben sich $\frac{6 \cdot 5 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 20$ in ihren Faktoren voneinander verschiedene Dreierprodukte, nämlich:

$1 \cdot 2 \cdot 3$	$1 \cdot 3 \cdot 4$	$1 \cdot 4 \cdot 5$	$1 \cdot 5 \cdot 6$	$2 \cdot 3 \cdot 4$	$2 \cdot 4 \cdot 5$	$2 \cdot 5 \cdot 6$	$3 \cdot 4 \cdot 5$	$3 \cdot 5 \cdot 6$	$4 \cdot 5 \cdot 6$
$1 \cdot 2 \cdot 4$	$1 \cdot 3 \cdot 5$	$1 \cdot 4 \cdot 6$		$2 \cdot 3 \cdot 5$	$2 \cdot 4 \cdot 6$		$3 \cdot 4 \cdot 6$		
$1 \cdot 2 \cdot 5$	$1 \cdot 3 \cdot 6$			$2 \cdot 3 \cdot 6$					
$1 \cdot 2 \cdot 6$									

2. Beispiel: Wenn in einer Tischrunde von 12 Personen jede mit jeder anstößt, ergibt sich $\frac{12 \cdot 11}{1 \cdot 2} =$ 66maliges Gläserklingen (66 Kombinationen).

3. Beispiel: Wieviel Wettscheine für das Zahlenlotto müssen wir ausfüllen, um sicher zu sein, daß einmal 4 bzw. 5 richtige Zahlen vorkommen?
Setzen wir als erste Zahl jede der 90 Zahlen, als zweite Zahl jeweils jede der 89 anderen Zahlen, als dritte Zahl jeweils jede der 88 fehlenden usw., so haben wir für 4 richtige Zahlen $90 \cdot 89 \cdot 88 \cdot 87$ Wettscheine und für 5 richtige Zahlen $90 \cdot 89 \cdot 88 \cdot 87 \cdot 86$ Wettscheine auszufüllen. Allerdings bekommen wir dabei die 4 bzw. die 5 richtigen Zahlen in allen möglichen Anordnungen, also 4!mal bzw. 5!mal; sollen sie nur einmal auftreten, so erhalten wir:

$$k_{90}^{4} = \frac{90 \cdot 89 \cdot 88 \cdot 87}{4!} = \frac{90!}{4!\,86!} = 2555190,$$

$$k_{90}^{5} = \frac{90 \cdot 89 \cdot 88 \cdot 87 \cdot 86}{5!} = \frac{90!}{5!\,85!} = 43949268.$$

Variationen. *Variieren* heißt, Permutation und Kombination miteinander verbinden. Um die Anordnung der Elemente zu berücksichtigen, muß jede Kombination noch in sich permutiert werden.

Beispiel: Wieviel dreifarbige Flaggen lassen sich aus den 10 Farben Schwarz, Weiß, Gold, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett herstellen? Es ergeben sich $\frac{10 \cdot 9 \cdot 8}{1 \cdot 2 \cdot 3} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 = 720$; denn jede der $\frac{10 \cdot 9 \cdot 8}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 120$ Kombinationen ergibt ja noch $1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$ Permutationen; z. B. blau-weiß-rot; blau-rot-weiß, weiß-blau-rot, weiß-rot-blau, rot-blau-weiß, rot-weiß-blau.
Variieren mit Wiederholung heißt, aus n Elementen k herausgreifen, wobei jedes Element mehrfach auftreten darf.

Beispiel: Wieviele verschiedene Wettscheine sind beim *Sport-Toto* möglich? Dabei gibt es $n = 3$ Elemente: gewonnen, verloren und unentschieden. Für jeden Wettschein sind bei 12 Spielen je $k = 12$ Elemente herauszugreifen. Für das 1. Spiel sind das 3 Möglichkeiten, zu jedem Ausgang dieses Spieles für das 2. Spiel wieder je 3 Möglichkeiten usf., bei 12 Spielen also

$$3^{12} = 531441 \text{ Wettscheine.}$$

WAHRSCHEINLICHKEITSRECHNUNG

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung untersucht die Gesetzmäßigkeiten, die bei zufälligen Ereignissen von Massencharakter (Massenerscheinungen) auftreten, und formuliert sie in abstrakter Form. Grundlegender Begriff der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist der der *Wahrscheinlichkeit*.

Zufällige Ereignisse. Zufällige Ereignisse sind unter wohlbestimmten Umweltbedingungen ablaufende Vorgänge, deren Ergebnisse in einem konkreten einzelnen Fall jedoch nicht vorausgesagt werden können. Beispiele sind das Fallen einer bestimmten Augenzahl, etwa der Sechs, beim Würfeln, das Fallen von Kopf oder Emblem beim Werfen eines Geldstückes, die Maßhaltigkeit eines Werkstückes einer laufenden Produktion, die Ergebnisse einer Versuchsreihe.
Allen diesen Vorgängen ist folgende Gesetzmäßigkeit gemeinsam: Bezeichnet man als Häufigkeit des Eintretens eines zufälligen Ereignisses das Verhältnis „Anzahl der Eintritte" zu „Anzahl der überhaupt vorgenommenen Versuche", so schwankt diese Häufigkeit bei einer großen Anzahl von Versuchen um einen festen Wert. Der englische Statistiker *Pearson* warf z. B. ein Geldstück 24000mal; er erhielt 12012mal den Kopf, so daß die Häufigkeit für das Fallen des Kopfes 0,5005 $\approx \frac{1}{2}$ betrug. Diese Gesetzmäßigkeit liegt dem Begriff der Wahrscheinlichkeit zugrunde.

Wahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines bestimmten zufälligen Ereignisses wird definiert als das Verhältnis der Anzahl der für das Eintreten des betreffenden zufälligen

Ereignisses günstigen Fälle (Versuchsergebnisse o. ä.) zu der Anzahl der überhaupt möglichen Fälle. Ist A ein zufälliges Ereignis, so bezeichnet $p(A)$ die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens, kurz seine Wahrscheinlichkeit.

Beim Würfeln können sechs verschiedene Augenzahlen fallen (mögliche Fälle), nur einer davon, die Sechs, ist günstig: die Wahrscheinlichkeit für das Werfen der Sechs ist also $\frac{1}{6}$. Das bedeutet nicht, daß unter je sechs Würfen eine Sechs vorkommen muß; es ist jedoch — wenn man einen ideal homogenen Würfel annimmt — sicher, daß z. B. unter 420000 Würfen etwa 70000mal die Sechs fällt. Entsprechend ist die Wahrscheinlichkeit für das Fallen des Kopfes beim Werfen eines Geldstückes gleich $\frac{1}{2}$.

Man erkennt, daß Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit bei sehr vielen Versuchen, d. h. also bei Vorgängen von Massencharakter, einander fast gleich sind, bei einer geringen Anzahl jedoch beträchtliche Abweichungen zeigen können (z. B. kann durchaus viermal hintereinander „Emblem" fallen; die Häufigkeit des „Kopfes" ist hierbei gleich Null). Aussagen und Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung gewinnen demnach ihre Gültigkeit erst bei einer großen Anzahl von Ereignissen.

Die Wahrscheinlichkeit $p(A)$ ist als Quotient von Anzahlen nichtnegativ; sie ist nicht größer als Eins, da die Anzahl der günstigen Fälle die Anzahl der überhaupt möglichen Fälle nicht überschreiten kann. Im Falle $p(A) = 0$ ist das Ereignis A unmöglich; im Falle $p(A) = 1$ ist das Ereignis A sicher, es tritt immer ein. Ist $p(A) = \frac{1}{2}$, so tritt A in etwa der Hälfte der Fälle ein; ist $p(A) > \frac{1}{2}$ bzw. $< \frac{1}{2}$, so gibt es mehr günstige bzw. mehr ungünstige Fälle für das Eintreten des Ereignisses A.

Ist A ein zufälliges Ereignis, $\bar{A}$ das zu A entgegengesetzte Ereignis, so ist die Summe der Wahrscheinlichkeiten dieser beiden Ereignisse gleich Eins:

$$p(A) + p(\bar{A}) = 1.$$

Ist z. B. das Ereignis A das Werfen einer Sechs beim Würfeln, $\bar{A}$ also das Werfen einer beliebigen anderen Augenzahl (einer „Nichtsechs"), so sind die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten, wiederum einen idealen Würfel vorausgesetzt, $p(A) = \frac{1}{6}$ und $p(\bar{A}) = \frac{5}{6}$, und ihre Summe ist gleich Eins.

Additionstheorem. Es gilt das folgende Additionstheorem für Wahrscheinlichkeiten: Sind A_1 und A_2 zwei miteinander *unverträgliche* Ereignisse, d. h. kann immer nur *entweder* das eine *oder* das andere Ereignis eintreten, so ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß entweder das eine oder das andere dieser beiden Ereignisse eintritt, gleich der Summe der Wahrscheinlichkeiten eines jeden der beiden Ereignisse:

$$p(A_1 \text{ oder } A_2) = p(A_1) + p(A_2).$$

Beim Werfen eines Würfels sind das Fallen einer Eins und das Fallen einer Zwei miteinander unverträgliche Ereignisse, denn es ist unmöglich, zugleich eine Eins und eine Zwei zu werfen. Die Wahrscheinlichkeit eines jeden dieser beiden Ereignisse ist $\frac{1}{6}$. Die Wahrscheinlichkeit, daß mit einem Wurf entweder eine Eins oder eine Zwei geworfen wird, ist gleich $\frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$.

Unbedingte und bedingte Wahrscheinlichkeiten. Von der Wahrscheinlichkeit eines zufälligen Ereignisses A kann man nur unter genau bestimmten Voraussetzungen (Umweltbedingungen) sprechen; eine Abänderung dieser Voraussetzungen kann zu einer Änderung der Wahrscheinlichkeit $p(A)$ führen. Im allgemeinen wird für wahrscheinlichkeitstheoretische Untersuchungen ein bestimmtes System von Bedingungen als gegeben zugrunde gelegt. Werden Wahrscheinlichkeiten unter den als ein für alle Mal fest angesehenen Bedingungen dieses Systems untersucht, so nennt man sie *unbedingte* Wahrscheinlichkeiten. Müssen darüber hinaus noch genau festgelegte ergänzende Bedingungen erfüllt werden, so nennt man die Wahrscheinlichkeiten *bedingt*.

Die Wahrscheinlichkeit für das Fallen einer bestimmten Augenanzahl, z. B. der Sechs, beim Werfen eines Würfels ist unbedingt, solange nur dieser eine Würfel in Betracht gezogen wird und das zugrunde gelegte Bedingungssystem darstellt. Sie wird bedingt, wenn mit zwei Würfeln geworfen wird und die Wahrscheinlichkeit für das Fallen einer bestimmten Augenanzahl bei dem einen Würfel z. B. unter der Bedingung untersucht wird, daß mit dem zweiten Würfel ebenfalls eine bestimmte, möglicherweise andere Augenanzahl geworfen werden muß. Bedingt ist z. B. die Wahrscheinlichkeit für das Werfen einer Zwei mit dem ersten Würfel unter der Bedingung, daß mit dem zweiten Würfel eine Drei geworfen wird.

Multiplikationstheorem. Die (bedingte) Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses B unter der Voraussetzung, daß das Ereignis A bereits eingetreten ist, wird mit $p(B|A)$ bezeichnet.

Für die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Eintretens zweier Ereignisse, nämlich *sowohl A als auch B*, gilt dann folgendes Multiplikationstheorem:

$$p(A \text{ und } B) = p(A) \cdot p(B|A).$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist gleich dem Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des ersten Ereignisses und der bedingten Wahrscheinlichkeit des zweiten Ereignisses unter der Voraussetzung, daß das erste Ereignis bereits eingetreten ist.
Ein Ereignis B heißt von einem Ereignis A *unabhängig*, wenn $p(B) = p(B|A)$ ist, wenn also seine Wahrscheinlichkeit von dem Eintreten oder Nichteintreten von B nicht beeinflußt wird. Dann gilt das Multiplikationstheorem in folgender Form:
Die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Eintreten zweier unabhängiger Ereignisse A und B ist gleich dem Produkt der Wahrscheinlichkeit dieser Ereignisse:

$$p(A \text{ und } B) = p(A) \cdot p(B).$$

Beim Würfeln z. B. ist die Wahrscheinlichkeit für das Werfen einer Sechs gleich $\frac{1}{6}$. Benutzt man zugleich zwei Würfel, so ist die Augenanzahl, die mit dem einen Würfel geworfen wird, völlig unabhängig von der des anderen. Die Wahrscheinlichkeit für das Werfen etwa eines „Sechser-Pasches" ist nach dem Multiplikationssatz gleich

$$\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36},$$

ein Ergebnis, das man auch unmittelbar aus der Definition der Wahrscheinlichkeit finden kann.

Geschichtliches. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung wurde um die Mitte des 17. Jahrhunderts von *Huygens*, *Pascal*, *Fermat*, *Jacob Bernoulli* u. a. geschaffen und fand zunächst eine nur begrenzte Anwendung (Glücksspiele). Anforderungen aus den Naturwissenschaften, der Theorie der Beobachtungsfehler, der Statistik (vor allem der Bevölkerungsstatistik) und anderen Gebieten, z. B. der Vererbungslehre, trieben ihre Entwicklung voran und führten zur Ausbildung eines komplizierten analytischen Apparates. Hierzu trugen u. a. *Moivre*, *Laplace*, *Gauß*, *Poisson* und in besonderem Maße die russischen Gelehrten *P. L. Tschebyschew*, *A. A. Markow* und *A. M. Ljapunow* bei. Die Einführung moderner Methoden führte zu einer Axiomatisierung der Wahrscheinlichkeitsrechnung, der viele Arbeiten vor allem russischer und sowjetischer Autoren gewidmet sind, z. B. *S. M. Bernstein*, *A. N. Kolmogorow*, *A. J. Chintchin*. Der Begriff der Wahrscheinlichkeit wird durch eine Anzahl von Axiomen definiert, die die mathematische Erfassung beobachteter Gesetzmäßigkeiten sind. Dies kann z. B. durch folgende drei Axiome geschehen:

1. Zu jedem zufälligen Ereignis A gehört eine reelle Zahl $p(A)$, $0 \leqq p(A) \leqq 1$, die die Wahrscheinlichkeit von A genannt wird.

2. Die Wahrscheinlichkeit des sicheren Ereignisses ist Eins.

3. Die Wahrscheinlichkeit einer Summe von endlich vielen zufälligen Ereignissen, die sich zu je zweien ausschließen (unverträglich sind), ist gleich der Summe der Wahrscheinlichkeiten dieser Ereignisse (vollständige Additivität).

Alle weiteren Eigenschaften des Wahrscheinlichkeitsbegriffes werden als Sätze erhalten, die man aus diesen Axiomen ableiten kann. Als äußerst fruchtbar erwies sich dabei die Erkenntnis des Zusammenhanges der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit der metrischen Funktionentheorie und der Mengenlehre, zwei umfassenden Gebieten der modernen Mathematik (*A. N. Kolmogorow*).
Die Ausarbeitung einer Theorie der *stochastischen* oder *zufälligen Prozesse* in den dreißiger Jahren, wiederum durch *A. N. Kolmogorow* und *A. J. Chintchin*, führte zu einer gewaltigen Fortentwicklung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und vor allem ihrer Anwendungsmöglichkeiten in Physik und Technik, da in dieser Theorie Erscheinungen betrachtet werden, die von einem oder mehreren sich stetig ändernden Parametern, z. B. der Zeit, abhängen. Solche Vorgänge treten z. B. bei der Brownschen Molekularbewegung, bei der Diffusion von Gasen, beim Ablauf einer chemischen Reaktion, aber auch beim radioaktiven Zerfall auf.

STATISTIK

In der Statistik stehen ähnlich wie in der Wahrscheinlichkeitsrechnung, für diedie Statistik eines ihrer wichtigsten Anwendungsgebiete ist, Massenerscheinungen im Vordergrund der Untersuchungen.
Aufgabe der Statistik ist die Sammlung von *statistischen Daten*, d. h. von Angaben, die Eigenschaften irgendwelcher Massenerscheinungen charakterisieren, und die statistische Untersuchung dieser Daten, d. h. die Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten, die man durch die Beobachtungen von Massenerscheinungen feststellen kann. Die Statistik zieht also auf Grund der Kenntnisse der Eigenschaften einer geeignet gewählten Teilmenge von Elementen (Dingen), die einer gewissen Gesamtmenge entnommen sind, Rückschlüsse auf die entsprechenden Eigenschaften der übrigen im einzelnen unbekannten Elemente der Gesamtmenge.

Darüber hinaus ist es Aufgabe der Statistik, genauer der *mathematischen Statistik*, Verfahren zur statistischen Kontrolle und zur Analyse der statistischen Daten, also zur Bewältigung der bereits genannten Aufgaben der Statistik auszuarbeiten.
Die Menge, deren Elemente jeweils untersucht werden sollen, heißt Grundgesamtheit oder kurz *Gesamtheit*. Eine solche Gesamtheit kann durch die Bevölkerung eines Landes, den Ausstoß einer Produktion von Massenartikeln, den Verkehrsstrom in einer Straße od. ä. repräsentiert werden: die Elemente der jeweiligen Gesamtheit sind die Bewohner des Landes, die Artikel der Massenproduktion, die Verkehrsteilnehmer u. a. Jede endliche Teilmenge von Elementen der Gesamtheit heißt eine *Stichprobe*; die Anzahl der Elemente einer Stichprobe heißt ihr *Umfang*.
Es entspricht der Problemstellung der Statistik als Mittel zur Untersuchung von Massenerscheinungen, daß ein wichtiges Anwendungsgebiet die Bevölkerungs- und Wirtschaftsstatistik ist. Auch in vielen Teilen der Naturwissenschaft und der Technik werden statistische Verfahren als Hilfs- und Forschungsmethoden angewandt; ein Beispiel ist die statistische Wärmelehre.
Im Zusammenhang mit der Produktion von Massenartikeln werden Ergebnisse der Statistik nicht nur bei der Prüfung bereits fertiggestellter Produkte, sondern auch bei der Organisation des Produktionsprozesses ausgenutzt; es finden dabei die Verfahren der statistischen Qualitäts- und Produktionskontrolle Anwendung.

VII. Zahlenspielereien

Zahlenpyramiden. Im folgenden werden jeweils einige Gleichungen untereinandergesetzt, bei denen links und rechts des Gleichheitszeichens gewisse Gesetzmäßigkeiten zu erkennen sind.

$$\begin{aligned}
1^2 &= 1\\
11^2 &= 121\\
111^2 &= 12321\\
1111^2 &= 1234321\\
11111^2 &= 123454321\\
111111^2 &= 12345654321
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
9\cdot 0+1&=1\\
9\cdot 1+2&=11\\
9\cdot 12+3&=111\\
9\cdot 123+4&=1111\\
9\cdot 1234+5&=11111\\
9\cdot 12345+6&=111111\\
9\cdot 123456+7&=1111111\\
9\cdot 1234567+8&=11111111\\
9\cdot 12345678+9&=111111111
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
8\cdot 1+1&=9\\
8\cdot 12+2&=98\\
8\cdot 123+3&=987\\
8\cdot 1234+4&=9876\\
8\cdot 12345+5&=98765\\
8\cdot 123456+6&=987654\\
8\cdot 1234567+7&=9876543\\
8\cdot 12345678+8&=98765432\\
8\cdot 123456789+9&=987654321
\end{aligned}$$

100 dargestellt mit allen zehn Ziffern. Im folgenden wird die Zahl 100 jeweils durch eine Summe von Zahlen so dargestellt, daß jede Ziffer einschließlich der Null gerade einmal vorkommt:

$$0+1+2+3+4+5+6+7+8\cdot 9=100$$

$$50\frac{1}{2}+49\frac{38}{76}=100 \qquad 90+8\frac{3}{6}+1\frac{27}{54}=100$$

Gleiche Quersummen. In der folgenden Subtraktionsaufgabe haben sowohl der Minuend als auch der Subtrahend als auch der Differenzwert dieselbe Quersumme.

$$\begin{array}{rl}
987654321 & \text{Quersumme} = 45\\
-\,123456789 & \text{Quersumme} = 45\\
\hline
864197532 & \text{Quersumme} = 45
\end{array}$$

Trugschlüsse. Derartige Trugschlüsse beruhen gewöhnlich darauf, daß man z. B. die beiden Seiten einer Gleichung unerlaubterweise durch einen Zahlenausdruck dividiert, der identisch Null ist, oder daß man bei einer vorkommenden Quadratwurzel dasjenige der beiden Vorzeichen wählt, das zu einem falschen Ergebnis führt.

$7 = \underline{5}$

$$\begin{aligned}
7 &= 5+2\\
7(7-5) &= (5+2)(7-5)\\
49-35 &= 35+14-25-10\\
49-35-14 &= 35-25-10\\
7(7-5-2) &= 5(7-5-2)\\
\text{also: } 7 &= 5
\end{aligned}$$

Dieser Trugschluß beruht auf unerlaubter Division durch $7-5-2=0$.

$n = \underline{n+1}$

$$\begin{aligned}
(n+1)^2 &= n^2+2n+1\\
(n+1)^2-(2n+1) &= n^2
\end{aligned}$$

Davon beiderseits $n(2n+1)$ subtrahiert:

$$(n+1)^2 - (2n+1) - n(2n+1) = n^2 - n(2n+1)$$

Dazu beiderseits $\frac{1}{4}(2n+1)^2$ addiert nach Zusammenfassen des zweiten und dritten Summanden:

$$(n+1)^2 - (n+1)(2n+1) + \frac{1}{4}(2n+1)^2 = n^2 - n(2n+1) + \frac{1}{4}(2n+1)^2$$

Jetzt steht beiderseits ein Quadrat:

$$\left[(n+1) - \frac{1}{2}(2n+1)\right]^2 = \left[n - \frac{1}{2}(2n+1)\right]^2$$

Nach Wurzelziehen: $n+1-\frac{1}{2}(2n+1) = n - \frac{1}{2}(2n+1)$

Nach Streichung gleicher Größen auf beiden Seiten:

$$n+1 = n \quad \text{(für } n = 0 \text{ also z. B. } 1 = 0\text{)}$$

Bei diesem Trugschluß wird übersehen, daß eine Quadratwurzel zwei Vorzeichen hat.

Neuner„wunder". 1. Nimm eine mehrstellige Zahl, schreibe sie von hinten nach vorn und ziehe die kleinere der beiden Zahlen von der größeren ab. Das Ergebnis ist immer durch 9 teilbar:

$$\begin{array}{r} 928 \\ -829 \\ \hline 99 \end{array} : 9 = 11$$

Erklärung: Werden die Ziffern einer etwa dreistelligen Zahl der Reihe nach mit a, b, c bezeichnet, so läßt sich die Differenz schreiben:

$$100a + 10b + c - (100c + 10b + a) = 100a - a + 10b - 10b + c - 100c = 99(a - c).$$

Diese Zahl ist in jedem Falle durch 9 teilbar.

2. Nimm eine mehrstellige Zahl, ziehe die Quersumme der Ziffern ab. Das Ergebnis ist immer durch 9 teilbar.

$$\begin{array}{r} 7413 \\ -\ 15 \\ \hline 7398 \end{array} : 9 = 822$$

Erklärung. $1000a + 100b + 10c + d$ vermindert um $a + b + c + d$ ergibt $999a + 99b + 9c = 9 \cdot (111a + 11b + c)$. Diese Zahl ist in jedem Falle durch 9 teilbar.

3. Vervielfache irgendeine Zahl mit 9. Die Quersumme der Ziffern ist dann stets 9 oder ein Vielfaches von 9:

$$421 \cdot 9 = 3789, \text{ hat als Quersumme } 27 = 3 \cdot 9.$$

4. In dem folgenden Schema ergänzen sich die erste und die letzte Ziffer der rechtsstehenden Zahlen immer zu 9, und die 9 mittleren Ziffern sind einander gleich:

$$\begin{aligned}
987654321 \cdot 9 &= 8888888889 \\
987654321 \cdot 18 &= 17777777778 \\
987654321 \cdot 27 &= 26666666667 \\
987654321 \cdot 36 &= 35555555556 \\
987654321 \cdot 45 &= 44444444445 \\
987654321 \cdot 54 &= 53333333334 \\
987654321 \cdot 63 &= 62222222223 \\
987654321 \cdot 72 &= 71111111112 \\
987654321 \cdot 81 &= 80000000001
\end{aligned}$$

Potenzen. Im folgenden sind einige kuriose Identitäten unter Verwendung von Potenzen zusammengestellt.

$$\begin{aligned}
12^2 &= 144 \quad \text{und} \quad 21^2 = 441 \\
13^2 &= 169 \quad \text{und} \quad 31^2 = 961 \\
112^2 &= 12544 \quad \text{und} \quad 211^2 = 44521 \\
113^2 &= 12769 \quad \text{und} \quad 311^2 = 96721 \\
122^2 &= 14884 \quad \text{und} \quad 221^2 = 48841
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
1 &= 1^2 \\
1+3 &= 2^2 \\
1+3+5 &= 3^2 \\
1+3+5+7 &= 4^2 \\
1+3+5+7+9 &= 5^2 \\
1+3+5+7+9+11 &= 6^2
\end{aligned}$$

$$12345678987654321 \cdot (1+2+3+4+5+6+7+8+9+8+7+6+5+4+3+2+1) = 999999999 \cdot 999999999$$

$$41^2 + 43^2 + 45^2 = 5555 \qquad 3^3 + 4^3 + 5^3 = 6^3$$
$$11^3 + 12^3 + 13^3 + 14^3 = 20^3$$

$$1 + 2 = 3 \text{ und } 1^3 + 2^3 = 3^2$$
$$1 + 2 + 3 = 6 \qquad 1^3 + 2^3 + 3^3 = 6^2$$
$$1 + 2 + 3 + 4 = 10 \qquad 1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 = 10^2$$
$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15 \qquad 1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + 5^3 = 15^2$$

Größte dreiziffrige Zahl. Die größte lediglich unter Verwendung von drei Ziffern geschriebene Zahl ist 9^{9^9}, auch $9^{(9^9)}$ geschrieben. Sie bedeutet: 9 zur 387420489sten Potenz erhoben. Wollte man diese Zahl ausschreiben, so brauchte man dazu 369 Millionen Ziffern. Wenn fünf Ziffern 3 cm einer Zeile einnähmen, so müßte der Streifen Papier für die ganze Zahl 2214 km lang sein. Demgegenüber ist $(9^9)^9 = 9^{81}$ eine verschwindend kleine Zahl.

Bescheidener Anfang. Ein Junge kam zu einem Meister. „Ich arbeite für einen halben Pfennig am ersten Tag, wenn Ihr mir am zweiten Tag einen Pfennig gebt. Am dritten und vierten Tage müßt Ihr mir zwei Pfennige und vier Pfennige geben, und so weiter jeden Tag das Doppelte vom vorhergehenden." Den Meister dünkte das ein gutes Geschäft, und da der Junge auch sonst gewitzigt aussah, nahm er ihn. — Aber am letzten Tage des Monats präsentierte der bescheidene Junge eine Rechnung über 5368709 Mark und 12 Pfennige! — Der Junge hat in Pfennigen verlangt:

$$\frac{1}{2} + 1 + 2 + \cdots + \frac{1}{2} \cdot 2^{30-1} = s_{30}.$$

Das ist eine geometrische Reihe mit dem Anfangsglied $\frac{1}{2}$, dem Quotienten 2 und der Gliederzahl 30.
Die Teilsumme ist also:

$$s_{30} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2^{30}-1}{2-1} \text{ Pfennige} \approx 5368709{,}12 \text{ DM}.$$

U	R	A	L
R	O	S	E
A	S	E	N
L	E	N	A

Magische Quadrate. „Magische" Quadrate („Hexeneinmaleins") sind schachbrettartige Anordnungen von Zahlen oder Buchstaben, die aus dem Fernen Osten überliefert und wegen der sich ergebenden vielfältigen Summen- oder Wortbildungen früher für Zauberei gehalten wurden, heute aber zur Unterhaltung dienen. Die Mathematik kennt verschiedene Verfahren, um magische Quadrate in beliebiger Anzahl zu bilden.
Magische *Buchstabenquadrate*: In den Spalten stehen dieselben Wörter wie in den entsprechenden Reihen (Ural, Rose, Asen, Lena).

Magische *Zahlenquadrate*: Reihe, Spalte und Diagonale ergeben gleiche Summen.

4	9	2
3	5	7
8	1	6

Ältestes magisches Quadrat aus einer chinesischen Handschrift; es enthält die Ziffern 1 bis 9, die Summe ist 15
$3 \cdot 15 = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 = 45$

9zelliges Quadrat: Summe 228

75	80	73
74	76	78
79	72	77

Dürers 16zelliges Quadrat auf dem Kupferstich „Melancholie", entstanden 1514 (Jahreszahl in der untersten Reihe), Summe 34
$4 \cdot 34 = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 + 13 + 14 + 15 + 16 = 136$

16	3	2	13
5	10	11	8
9	6	7	12
4	*15*	*14*	1

Doppelt-magisches Quadrat: Innenquadrat 9zellig, Summe 72; Gesamtquadrat 25zellig, Summe 120

12	31	30	13	34
29	25	26	21	19
32	20	24	28	16
33	27	22	23	15
14	17	18	35	36

1	4	2	8	5	7
4	2	8	5	7	1
2	8	5	7	1	4
8	5	7	1	4	2
5	7	1	4	2	8
7	1	4	2	8	5

36zelliges Quadrat durch Verschieben der Ziffern: Quersumme 27 (nicht Diagonalsumme). Die sechs Ziffern der 2. Reihe sind als Zahl das Dreifache, die der 3. Reihe das Zweifache, der 4. Reihe das Sechsfache, der 5. Reihe das Vierfache, der 6. Reihe das Fünffache der Zahl 142857 in der 1. Reihe. Die größte 6stellige Zahl ist $7 \cdot 142857 = 999999$

22	47	16	41	10	35	4
5	23	48	17	42	11	29
30	6	24	49	18	36	12
13	31	7	25	43	19	37
38	14	32	1	26	44	20
21	39	8	33	2	27	45
46	15	40	9	34	3	28

49zelliges Quadrat: Summe 175

Erraten unbekannter Zahlen. *A zu B:* Denke dir eine Zahl, hänge eine Null an, subtrahiere davon die gedachte Zahl, addiere 36, streiche eine Ziffer (außer etwa einer Null am Ende) weg und nenne mir die Ziffern der übrigbleibenden Zahl der Größe nach; ich werde dir die weggestrichene Ziffer sagen.
B denkt sich: 428; 4280 − 428 = 3852; 3852 + 36 = 3888; streicht 8; sagt zu A: acht, acht, drei.
A bildet die Summe der Ziffern 8 + 8 + 3 = 19 und zieht diese Summe von der nächsten durch 9 teilbaren Zahl (27) ab. Die Differenz (8) ist die gestrichene Ziffer.

Erklärung: B hat zu rechnen $10a - a + 36 = 9(a + 4)$, erhält also eine durch 9 teilbare Zahl. Ihre Quersumme ist dann auch durch 9 teilbar. Die Ergänzung der Summe der genannten Ziffern zum nächsten Vielfachen von 9 muß also die letzte fehlende Ziffer sein.

A zu B: Denke dir eine Zahl, verdopple sie, zähle 4 hinzu, halbiere, zähle 7 hinzu, vervielfache mit 8, ziehe 12 ab, teile durch 4, ziehe 11 ab und sage mir das Ergebnis; ich sage dir dann die gedachte Zahl.
B denkt sich 7 und rechnet: 14; 18; 9; 16; 128; 116; 29; 18; gibt also 18 an.
A zieht davon 4 ab, halbiert und sagt die gedachte Zahl 7, denn 18 − 4 = 14; 14 : 2 = 7.

Erklärung: B soll rechnen

$$\left[\left\{(2a+4)\cdot\frac{1}{2}+7\right\}\cdot 8-12\right]\frac{1}{4}-11=2a+4,$$

subtrahiert also A noch 4, so hat er das Doppelte der gedachten Zahl.

A zu B: Denke dir eine Zahl, vervielfache sie mit 5, zähle 2 hinzu, vervielfache mit 4, zähle 3 hinzu, vervielfache mit 5, zähle 7 hinzu und sage mir das Ergebnis; ich sage dir die gedachte Zahl.
B rechnet: 8; 40; 42; 168; 171; 855; 862.
A läßt die zwei letzten Ziffern weg und gibt 8 an.

Erklärung: In allgemeinen Zahlen rechnet B

$$\{(5a + 2)\cdot 4 + 3\}\cdot 5 + 7 = 100a + 62;$$

streicht also A die letzten Ziffern 6 und 2, so subtrahiert er 62 und teilt durch 100, hat also die gedachte Zahl.

Dominoraten. *A zu B:* Nimm einen beliebigen Dominostein. Ich will raten, welche Zahlen auf den beiden Hälften stehen!
B nimmt z. B. den Stein mit 2 und 5.
A: Vervielfache die erste Zahl mit 5, zähle 3 dazu, verdopple, zähle die zweite Zahl dazu und sage mir das Ergebnis.
B findet 31.
A zieht 6 ab und erhält 25; daraus schließt er, daß die erste Zahl 2, die zweite 5 war.

Erklärung: B soll rechnen $2(5a + 3) + b = 10a + b + 6$; subtrahiert also A vom Ergebnis 6, so hat er soviel Zehner, wie die eine Hälfte angibt, und so viel Einer, wie auf der anderen stehen.

Würfelraten. *A zu B:* Wirf dreimal den Würfel, ich errate die Wurfzahlen. Vervielfache die Augenanzahl des ersten Wurfes mit 2, zähle 5 hinzu, vervielfache mit 5, dann zähle die Augenanzahl des zweiten Wurfes hinzu, zähle 10 hinzu, vervielfache mit 10 und zähle schließlich die Augenanzahl des dritten Wurfes hinzu. B. würfelt und erhält der Reihe nach 2, 5 und 3; er rechnet, wie angegeben, und findet 603. A zieht hiervon 350 ab und erhält 253; daraus gibt er als Augenanzahl 2, 5 und 3 an.

Erklärung: B soll rechnen $\{(2a + 5)\cdot 5 + b + 10\}\cdot 10 + c = 100a + 10b + c + 350$; subtrahiert also A vom Ergebnis 350, so sind die Ziffern a, b, c der dreiziffrigen Zahl die Wurfzahlen.

Geburtstagraten. *A zu B:* Ich will deinen Geburtstag erraten. Vervielfache die Anzahl der Tage mit 20, zähle 3 hinzu, vervielfache mit 5, dann zähle die Zahl des Monats hinzu, vervielfache mit 20, zähle 3 hinzu, vervielfache mit 5 und zähle schließlich die aus den letzten beiden Ziffern der Jahreszahl gebildete Zahl hinzu.
B rechnet z. B. für den 7. August 1952: 7; 140; 143; 715; 723; 14460; 14463; 72315; 72367 und sagt die letzte Zahl. A zieht davon 1515 ab und erhält 70852; also gibt er als Datum den 7. 8. 1952 an.
B rechnet $[\{(20a + 3) \cdot 5 + b\} \cdot 20 + 3] \cdot 5 + c = 10000a + 100b + c + 1515$;
subtrahiert also A 1515 vom Ergebnis, so hat er eine 5- oder 6stellige Zahl, deren erste ein oder zwei Ziffern (a) den Tag, deren zweite zwei Ziffern (b) den Monat und deren letzte zwei Ziffern (c) das Jahr angeben, weil er die vollen Jahrhunderte weiß.

Ringraten. Unter einer Anzahl Personen — nicht mehr als 9 — steckt sich eine einen Ring an ein bestimmtes Glied eines bestimmten Fingers. Man setzt die Reihenfolge der Personen fest (durch Abzählen), die Reihenfolge der Finger, etwa mit dem kleinen Finger der linken Hand beginnend, einen Daumen, der nicht verwendet werden darf, als 10 und schließlich die Reihenfolge der Fingerglieder (mit dem Nagelglied beginnend). Um den Ring zu erraten, wird die Zahl der Person, die den Ring trägt, verdoppelt, 5 hinzugezählt, mit 5 vervielfacht, dann wird die Zahl des Fingers hinzugezählt, an dem der Ring steckt, mit 10 vervielfacht, die Zahl des Fingergliedes hinzugezählt und schließlich 250 davon abgezogen. Man erhält eine dreistellige Zahl, deren erste Ziffer die Zahl der ringtragenden Person, deren zweite die Fingerzahl und deren dritte die Zahl des Fingergliedes angibt.
Erklärung: $\{(2a + 5)\,5 + b\}\,10 + c - 250 = 100a + 10b + c$.

Bekanntes Ergebnis beim Rechnen mit unbekannten Zahlen. 1. Denke dir irgendeine Zahl, zähle 11 hinzu, vervielfache mit 2, ziehe davon 20 ab, vervielfache mit 5, ziehe davon das Zehnfache der gedachten Zahl ab. Dann kommt 10 heraus (z. B. 7; 18; 36; 16; 80; 10).

Erklärung: $\{(a + 11)\,2 - 20\} \cdot 5 - 10a = \{2a + 2\} \cdot 5 - 10a = 10$.

2. Denke dir zwei dreistellige Zahlen, schreibe die erste einmal vor und einmal hinter die zweite Zahl; von den beiden sechsstelligen Zahlen, die du so erhältst, bilde die Differenz und teile, was herauskommt, durch die Differenz der ursprünglichen dreistelligen Zahlen. Du erhältst stets 999.

Erklärung: Die zwei dreistelligen Zahlen seien z_1 und z_2. Es darf angenommen werden $z_1 > z_2$, dann ist ihre Differenz: $d_1 = z_1 - z_2$. Stellen wir z_1 einmal vor und einmal nach z_2 und subtrahieren, so kommt:

$$1000z_1 + z_2 - (1000z_2 + z_1) = 999z_1 - 999z_2 = 999d_1 = d_2.$$

Teilen wir also d_2 durch d_1, so erhalten wir stets 999.

3. Denke dir drei verschiedene Ziffern (von 0 bis 9), bilde mit ihnen aus je zwei Ziffern sechs Zahlen und zähle diese sechs zusammen; die Summe teile durch die Summe der ursprünglichen drei Ziffern. Dann erhältst du stets 22.

Erklärung: Aus a, b, c werden die folgenden 6 Zahlen gebildet: $(10a + b)$, $(10b + a)$, $(10b + c)$, $(10c + b)$, $(10c + a)$, $(10a + c)$; ihre Summe ist: $20(a + b + c) + 2(a + b + c) = 22(a + b + c)$, d. h. eine Zahl, die durch $(a + b + c)$ geteilt 22 ergibt.

Blitzschnelles Kopfrechnen. 1. A erhält die Aufgabe $1997 \cdot 2003$ und gibt fast augenblicklich die richtige Lösung: 3999991. Wie ist das möglich? Er benutzt die bekannte und höchst einfache Formel $(a - b) \cdot (a + b) = a^2 - b^2$, indem er für a die bestimmte Zahl 2000, für b die bestimmte Zahl 3 einsetzt und rechnet:
$(2000 - 3) \cdot (2000 + 3) = 2000^2 - 3^2 = 4000000 - 9$.
Ebenso rasch geht es mit: $59 \cdot 61 = (60 - 1) \cdot (60 + 1) = 3600 - 1 = 3599$;
$107 \cdot 93 = (100 + 7) \cdot (100 - 7) = 10000 - 49 = 9951$;
$796 \cdot 804 = (800 - 4) \cdot (800 + 4) = 640000 - 16 = 639984$; und — wenn man das große Einmaleins beherrscht — mit: $149 \cdot 151 = (150 - 1) \cdot (150 + 1) = 22500 - 1 = 22499$ usw.

2. Einige Sekunden länger dauert es bei der Berechnung von $305 \cdot 305 = 93025$; hier benutzt A die Formel $(a + b)^2 = a^2 + 2 \cdot a \cdot b + b^2$ und rechnet: $(300 + 5)^2 = 300^2 + 2 \cdot 5 \cdot 300 + 5^2 = 90000 + 3000 + 25$.
Bei $997^2 = 994009$ verwendet A die Formel $(a - b)^2 = a^2 - 2 \cdot a \cdot b + b^2$ und rechnet: $(1000 - 3)^2 = 1000^2 - 2 \cdot 3 \cdot 1000 + 3^2 = 1000000 - 6000 + 9$.
Ähnlich einfach liegt die Sache bei der Aufgabe $498^2 = (500 - 2)^2 = 500^2 - 2 \cdot 2 \cdot 500 + 2^2 = 248004$.
(Man kann sich für scherzhaft-belehrende Wettkämpfe im Kopfrechnen leicht eine große Anzahl solcher „günstiger" Fälle im voraus zurechtlegen.)

3. Bei der Aufgabe $168 \cdot 125$ gibt der Rechenkünstler A sofort die Lösung 21000; denn $8 \cdot 125$ ist ja 1000, und da die 8 in der 168 genau 21mal enthalten ist, muß als Resultat 21000 herauskommen. Fast ebenso leicht ist die Aufgabe $125 \cdot 243$ (= 30375); denn 8 ist in 240 zunächst 30mal enthalten; das ergibt 30000, wozu dann noch $3 \cdot 125 = 375$ addiert werden muß.

4. Viel einfacher ist die Multiplikation mit 25. Bei $292 \cdot 25$ gibt A sofort das Resultat 7300; denn $4 \cdot 25$ ist ja jeweils 100. Man braucht also 292 nur durch 4 zu teilen und an das Ergebnis dieser Division 2 Nullen anzuhängen. Geht die Division durch 4 nicht auf, so hat man zu dem Ergebnis noch 25 oder 50 oder 75 hinzuzufügen, je nachdem der bei der Division bleibende Rest 1 oder 2 oder 3 beträgt. $511 \cdot 25 = 12700 + 3 \cdot 25 = 12775$.

5. Die Multiplikation mit 625 ist ein wenig schwieriger; $16 \cdot 625$ ergibt jeweils 10000. $336 \cdot 625$ ist demnach $(336 : 16) \cdot 10000 = 21 \cdot 10000 = 210000$. Geht die Division durch 16 nicht auf, so sind solche Aufgaben nur in Einzelfällen für das Kopfrechnen bequem und sicher genug, z. B. $88 \cdot 625 = 80 \cdot 625 + 8 \cdot 625 = 5 \cdot 10000 + 5000 = 55000$; oder $641 \cdot 625 = (640 + 1) \cdot 625 = 40 \cdot 10000 + 1 \cdot 625 = 400625$.

6. Die Division durch 25 ergibt sich sofort auf 2 Dezimalstellen genau, wenn man die zu teilende Zahl mit 4 malnimmt und am Produkt 2 Stellen durch Komma abtrennt: $83 : 25 = (83 \cdot 4) : 100 = 3{,}32$.
Bei der Division durch 125 nimmt man die gegebene Zahl mit 8 mal und trennt vom Produkt 3 Stellen durch Komma ab, z. B. $613 : 125 = (613 \cdot 8) : 1000 = 4{,}904$; $782 : 125 = (782 \cdot 8) : 1000 = 6{,}256$ usw.
Ganz einfach ist aber das Teilen durch 50; man verdoppelt den Dividenden und trennt von der gewonnenen Zahl 2 Stellen durch Komma ab, z. B. $3944 : 50 = 7888 : 100 = 78{,}88$.

VIII. Mathematische Zeichen

Zeichen	Sprechweise und Erläuterung
$\%$	vom Hundert, Prozent
$‰$	vom Tausend, Promille
$/$	je, pro; z. B. m/s
$+$	plus
$-$	minus
$\cdot \times$	mal; z. B. $3 \cdot 4$, 3×4
$: / -$	geteilt durch; z. B. $3:4$, $^3/_4$, $\frac{3}{4}$
$=$	gleich
$\neq$	nicht gleich, ungleich
$\approx$	angenähert, nahezu gleich
$\triangleq$	entspricht; z. B. 4 kg $\triangleq$ 8 DM
$<$	kleiner als; z. B. $a < b$
$>$	größer als; z. B. $a > 0$
$\leqq$	kleiner oder gleich
$\geqq$	größer oder gleich
$\ll$	klein gegen
$\gg$	groß gegen
∞	unendlich
$\equiv$	identisch mit
$\cdots$	bis; z. B. 3,1···7,5
$\sim$	ähnlich, proportional
$\cong$	kongruent, deckungsgleich
$\parallel$	parallel
$\perp$	rechtwinklig zu, senkrecht zu
$\lvert a \rvert$	absoluter Betrag einer Zahl a; z. B. $\lvert 5 \rvert$
$\llcorner$	rechter Winkel, z. B. $1\llcorner$
$\triangle$	Dreieck; z. B. $\triangle ABC$
$\sphericalangle$	Winkel; z. B. $\sphericalangle ABC$
^{g}	Altgrad; Neugrad, Gon; z. B. $45° = 50^g$
^{c}	Altminute; Neuminute; z. B. $27' = 50^c$
^{cc}	Altsekunde; Neusekunde; z. B. $16{,}2'' = 50^{cc}$
$\#$	gleich und parallel
$\overline{AB}$	Strecke AB
$\overset{\frown}{AB}$	Bogen AB (auch Segment über AB)
$\overrightarrow{AB}$	gerichtete Strecke (Vektor) von A nach B
arc α, $\overset{\frown}{\alpha}$	Bogen zum Winkel α
sin α	Sinus des Winkels α

Zeichen	Sprechweise und Erläuterung
$\cos\alpha$	Kosinus des Winkels α
$\tan\alpha$	Tangens des Winkels α
$\cot\alpha$	Kotangens des Winkels α
π	pi = 3,14159... (Ludolfsche Zahl)
a^x	a hoch x, x-te Potenz von a
$\sqrt{a}$	Quadratwurzel aus a
$\sqrt[n]{a}$	n-te Wurzel aus a
i	$\sqrt{-1}$, Einheit der imaginären Zahlen
$n!$	n-Fakultät; z. B. $3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$
$\binom{n}{k}$	n über k, Binomialkoeffizient
${}^a\log x$	Logarithmus von x zur Basis a
$\lg x$	dekadischer Logarithmus (Briggs; Basis 10)
$\ln x$	natürlicher Logarithmus
e	2,718..., Basis der natürlichen Logarithmen
Σ	Summenzeichen; z. B. $\sum_{1}^{10} a_n$ (Summe a_n für $n = 1$ bis $n = 10$)
$f(x)$	f von x, d. h. Funktion der (unabhängigen) Variablen x
$f'(x)$	f' von x, d. h. erste Ableitung der Funktion $f(x)$
Δf	Groß-Delta-f; Differenz zweier Funktionswerte
$\frac{d}{dx}$	Differentiationszeichen (total)
dy	de-ypsilon; Differential
$\frac{dy}{dx}$	dy nach dx; Differentialquotient
$\frac{\partial}{\partial x}$	Differentiationszeichen (partiell)
lim	Limes, Grenzwert
$\rightarrow$	strebt gegen; z. B. $\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} = 0$
$\int$	Integrationszeichen
$\int f(x)\,dx$	unbestimmtes Integral der Funktion $f(x)$
$\int_{-a}^{+a} f(x)\,dx$	bestimmtes Integral von $f(x)$ im Bereich $-a \cdots +a$
$\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$...	Vektor a, b, c usw.
$\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$...	Vektor A, B, C usw.

RAUM

INHALTSÜBERSICHT

I. *Raum und Raumgebilde* 53
II. *Elemente der Raumlehre* 54
Geometrische Grundgebilde 54
Geometrische Örter aus der Planimetrie 56
Geometrische Elementarkonstruktionen 57
Längen-, Flächen-, Körper- und Winkelmessung 58
III. *Berühmte Lehrsätze und Probleme* .. 59
Grundlegende Lehrsätze der Geometrie 59
Die drei klassischen Probleme der antiken Geometrie 61
IV. *Ebene Flächen* 61
Das Dreieck 61
Die Streckenteilung 65
Das Viereck 66
Das Vieleck 67
Der Kreis 67
Flächenberechnung 70
V. *Winkelfunktionen* 70
Definition im rechtwinkligen Dreieck 70
Definition am Einheitskreis 71
Beziehungen im schiefwinkligen Dreieck 75
VI. *Geometrische Körper* 76
Die fünf regelmäßigen Körper 76
Weitere wichtige Körper 76
VII. *Koordinatensysteme* 80
Ebene Koordinatensysteme 80
Parallelkoordinatensysteme im Raume 81
Zylinder- und räumliche Polarkoordinaten 82
VIII. *Aus der analytischen Geometrie* 83
Die Bilder von Gleichungen mit zwei Unbekannten 83
Aus der Vektorrechnung 85
IX. *Kegelschnitte* 87
Die Ellipse 88
Die Parabel 89
Die Hyperbel 90
X. *Grundbegriffe der Infinitesimalrechnung* 91
Differentialrechnung 91
Integralrechnung 95
XI. *Wichtige Jahreszahlen* 99

I. Raum und Raumgebilde

Der Raum ist eine Daseinsform der Materie. Ohne Materie kein Raum, ohne Raum keine Materie.
Der uns umgebende (irdische) Raum hat drei Dimensionen (Ausdehnungen); das bedeutet, daß drei voneinander unabhängige Koordinaten erforderlich sind, um die Lage eines Raumpunktes festzulegen. Man kann diese drei Koordinaten bei Zugrundelegung eines rechtwinkligen Koordinatensystems kurz als *Länge*, *Breite*, *Höhe* bezeichnen. (So sind z. B. zur Bestimmung der Position eines Flugzeuges zu einem bestimmten Zeitpunkt drei Größen anzugeben, die geographische Länge, die geographische Breite und die Höhe über dem Meeresspiegel.)
Die Lehre von denjenigen Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten des uns umgebenden Raumes und der darin enthaltenen Gebilde (Körper, Flächen, Kurven), die sich auf Größe, Form und Lage beziehen, heißt *Geometrie*.
Vom unendlichen Raum unterscheiden sich die endlichen Räume, die durch Flächen begrenzt werden. Der Zweig der Geometrie, der diese endlichen Räume untersucht, heißt *Stereometrie*; er befaßt sich insbesondere mit der Berechnung der Rauminhalte dieser dreidimensionalen Gebilde (Körper). Eine *Fläche* ist ein zweidimensionales Gebilde („Länge" und „Breite"); um einen Punkt der Ebene festzulegen, sind zwei im allgemeinen mit x und y bezeichnete Koordinaten anzugeben. Eine *Kurve* ist ein eindimensionales Gebilde; um die Lage eines Kurvenpunktes eindeutig zu kennzeichnen, ist etwa die *Länge* des Kurvenstückes von einem Anfangspunkt bis zu dem betreffenden Kurvenpunkt als Koordinate zu wählen. Ein Beispiel ist die reelle Zahlengerade; Koordinate ist die jedem ihrer Punkte entsprechende reelle Zahl. Einem Punkt wird, da er keine Ausdehnung besitzt, die Dimension Null zugesprochen. Flächen, Kurven und Punkte in der Ebene sind Gegenstand der *Planimetrie*.
Der allgemeine mathematische Raumbegriff hat nur wenig zu tun mit dem objektiv existierenden Raum, aus dem er durch immer neue Abstraktionen und Verallgemeinerungen hervorwuchs. Der Mathematiker versteht unter einem Raum eine Menge von Dingen, *Punkte* genannt, zwischen denen durch Axiome gewisse Beziehungen postuliert werden. Diese Axiome drücken z. B. aus, welche Dimension der Raum haben soll, was unter der Entfernung (dem Abstand) von zwei Punkten des Raumes zu verstehen ist und welche Eigenschaften diesem Entfernungsbegriff zukommen sollen.

Die verschiedenen Räume und die in ihnen gültigen Geometrien unterscheiden sich durch die verschiedenen Axiome, die als für sie gültig angenommen werden. So steigt die Mathematik von dem uns umgebenden dreidimensionalen (euklidischen) Raum zu allgemeineren, sogenannten *n*-dimensionalen Räumen auf, deren Dimensionszahl größer als drei ist. Derartige Räume, deren Studium Aufgabe der *n*-dimensionalen (euklidischen) Geometrie ist, sind anschaulich nicht mehr begreifbar; ihre Eigenschaften finden aber weitgehend ein Analogon in den Eigenschaften des anschaulich erfaßbaren dreidimensionalen Raumes.
Die Mathematik kennt — besonders seit den Arbeiten von *B. Riemann* (1826 bis 1866) — gekrümmte Räume, die unbegrenzt, aber doch endlich sein können. Ein Beispiel hierfür ist die Oberfläche der Kugel, aufgefaßt als zweidimensionaler Raum. Während der gewöhnliche dreidimensionale (euklidische) Raum zur Beschreibung irdischer Verhältnisse völlig ausreichend ist, hat sich der Begriff des gekrümmten, unbegrenzten, aber endlichen Raumes besonders für die Relativitätstheorie als bedeutsam erwiesen.
Je nach den geltenden *Axiomen* unterscheidet man den euklidischen Raum und die nichteuklidischen Räume und dementsprechend die *euklidische Geometrie* und die *nichteuklidischen Geometrien*. Bis etwa zur Mitte des 19. Jh. kannte man nur den euklidisch genannten Raum, für den die 5 Axiome gelten, die Euklid in den „Elementen", seinem Geometrielehrbuch, zusammengefaßt hat (300 v.u.Z.). Dann entdeckten fast gleichzeitig *Gauß, Lobatschewski, Bolyai* und *Riemann* die Möglichkeit anderer Raumarten und die Widerspruchsfreiheit ihrer Geometrien.
In diesen Räumen gelten die ersten vier Axiome Euklids ohne Einschränkung; der entscheidende Unterschied liegt bei dem fünften Axiom, dem *Parallelenaxiom*, das nur im euklidischen Raum gilt. Dieses Axiom besagt, daß man durch einen Punkt *P*, der außerhalb einer Geraden *t* liegt, eine und nur eine Parallele zu dieser Geraden ziehen kann. In den — zuerst „absolut" (unabhängig) genannten — Geometrien von Gauß, Lobatschewski, Bolyai gilt dagegen der Satz, daß man durch *P* mehrere Parallelen zu *t* ziehen kann. Und in dem durch Riemann erschlossenen unbegrenzten endlichen Raum ist keine Parallele durch *P* zu *t* möglich.
Die *darstellende Geometrie* befaßt sich mit der maßgerechten Abbildung (Darstellung) von (dreidimensionalen) Raumgebilden in der (zweidimensionalen) Ebene. Derartige Abbildungen werden auch *Projektionen* („Schattenbilder") genannt; man kennt verschiedene Arten der Projektion, z. B. Parallelprojektion, Zentralprojektion. Ein Zweig der darstellenden Geometrie ist die Lehre von der *Perspektive*, d. h. von der scheinbaren Formveränderung von Körpern und Flächen je nach dem Blickpunkt des Betrachters.
Die *analytische Geometrie* bestimmt die Eigenschaften geometrischer Gebilde mit algebraischen und analytischen Hilfsmitteln aus Funktionsgleichungen oder sucht umgekehrt geometrische Sachverhalte analytisch (durch Funktionsgleichungen) zu beschreiben.
Die *projektive Geometrie* betrachtet in geometrischen Gebilden nur die Lageverhältnisse von Punkten ohne Ausmessung oder Vergleich von Strecken oder Winkeln. Sie hat ihren Ursprung in der Projektion, bei der zwar Längen und Winkel verändert werden, wesentliche Eigenschaften der projizierten Gebilde aber erhalten bleiben.
Die *Topologie*, ursprünglich ein Teilgebiet der Geometrie, wurde in den letzten Jahren zu einer selbständigen, außerordentlich fruchtbaren Disziplin. Sie behandelt die geometrischen Eigenschaften, für deren Erfassung allein der stetige Zusammenhang zwischen Punkten eines geometrischen Gebildes herangezogen wird, Eigenschaften also, die bei beliebiger Deformation erhalten bleiben.
Die Beziehungen zwischen den Seiten und den Winkeln eines ebenen Dreiecks werden in der *ebenen Trigonometrie* unter Zuhilfenahme der trigonometrischen oder Winkelfunktionen untersucht. Mit den Beziehungen der Winkelfunktionen untereinander befaßt sich die *Goniometrie*.
Entsprechende Untersuchungen über Seiten und Winkel eines sphärischen (Kugel-)Dreiecks, dessen Seiten Großkreise der Kugel sind, gehören der *sphärischen Trigonometrie* an, die besonders in der Astronomie und der See- und Luftfahrt eine bedeutende Rolle spielt.

II. Elemente der Raumlehre

GEOMETRISCHE GRUNDGEBILDE

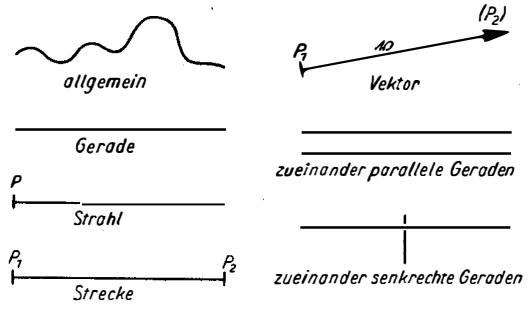
Punkt. Der *Punkt* wird mathematisch definiert als ein Gebilde von der Dimension Null, anschaulich zu erfassen als Schnittpunkt zweier Geraden. Nach der Definition von Leibniz ist er ein Kreis mit unendlich kleinem Radius, eine Erklärung, deren letztes Verständnis genauere Kenntnis der analytischen Geometrie voraussetzt.

Kurve. Eine *Kurve* besitzt nur Längenausdehnung, ist also eindimensional. Bewegt sich ein Punkt ohne Änderung seiner Richtung, so beschreibt er eine gerade Linie. Diese nennen wir eine *Gerade*, wenn wir sie nach beiden Seiten beliebig fortgesetzt denken, einen *Strahl*, wenn sie auf einer Seite, eine *Strecke*, wenn sie auf beiden Seiten begrenzt ist. Eine Kurve heißt *gekrümmt*, wenn sie in jedem ihrer Punkte die Richtung ändert. Jede Gerade wird durch zwei Punkte eindeutig festgelegt.

Eine gerichtete Größe, d. h. eine Größe, die durch Länge und Richtung ausgezeichnet ist, heißt ein *Vektor*. Dieser kann zeichnerisch durch einen Pfeil entsprechender Länge und Richtung veranschaulicht werden.

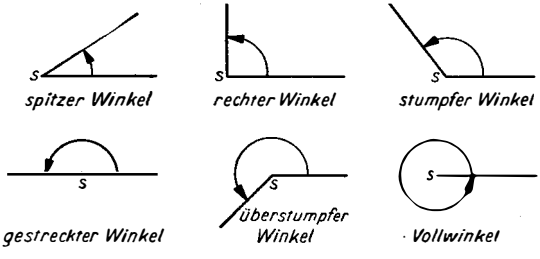
Zwei in einer Ebene liegende Gerade, die in immer gleichem Abstand voneinander verlaufen, ohne sich im Endlichen jemals zu schneiden, heißen *parallel*. Sie unterscheiden sich nur durch ihre Lage. Zwei Gerade, die sich unter einem Winkel von 90° (100ᵍ) schneiden, stehen *senkrecht* aufeinander (Abb.).

Fläche. Eine *Fläche* hat zwei Dimensionen, Länge und Breite. Liegen alle Geraden, die je zwei Punkte einer Fläche miteinander verbinden, in der Fläche, so ist sie eine Ebene. Die Randkurve einer krummlinig begrenzten Fläche, z. B. einer Kreisfläche, heißt *Peripherie*.
Jede nicht ebene Fläche heißt *krumm*. In mathematisch einfacheren Fällen sind die Flächen gleichmäßig gekrümmt, z. B. die Oberfläche einer Kugel oder der Mantel eines Zylinders.



Kurven

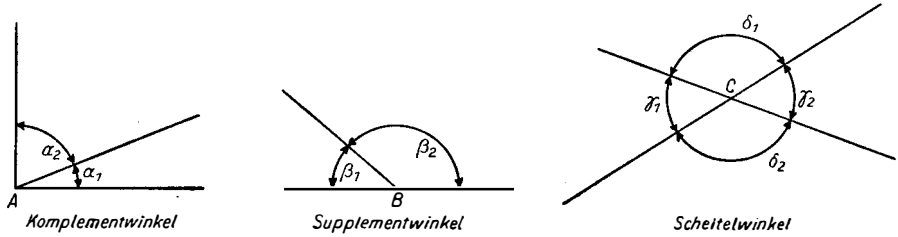
Körper. Ein *Körper* ist ein allseitig (durch Ebenen oder krumme Flächen) begrenzter Teil des Raumes. Er besitzt Länge, Breite und Höhe, ist also ein dreidimensionales Gebilde. In einfacheren Fällen sind die Körper von regelmäßigen (ebenen oder gleichmäßig gekrümmten) Flächen begrenzt, z. B. Würfel, Kugel.



Winkel

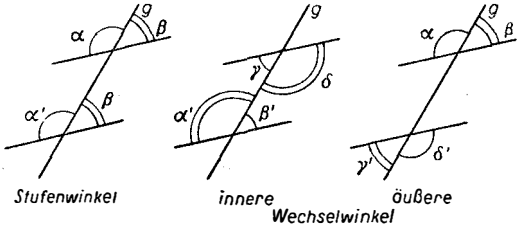
Winkel. Als *Winkel* bezeichnet man den Teil der Ebene, der zwischen zwei sich schneidenden Geraden gelegen ist. Er kann auch als der Teil der Ebene charakterisiert werden, den ein von einem Punkt der Ebene ausgehender Halbstrahl bei Drehung um diesen Punkt überstreicht. Der Punkt heiße *Scheitelpunkt*, kurz *Scheitel* (*S*) des Winkels; Ausgangs- und Endlage des Strahls bei Drehung um den Scheitel heißen *Schenkel* des Winkels. Zu jedem Winkel gehört eine meist durch einen kleinen griechischen Buchstaben α, β, γ, ... dargestellte Zahl, die die Größe des Winkels charakterisiert. Die Messung erfolgt im allgemeinen in Grad. Fallen die Schenkel eines Winkels zusammen, so spricht man von einem *Vollwinkel*. Bilden die Schenkel miteinander eine Gerade, so heißt der Winkel ein *gestreckter*; der halbe gestreckte heißt *rechter* Winkel. *Spitze* Winkel sind kleiner, *stumpfe* Winkel größer als ein rechter. *Überstumpfe* Winkel sind größer als ein gestreckter (Abb.).

Komplement-, Supplement-, Scheitelwinkel. Zwei Winkel, die sich zu einem rechten ergänzen, nennt man *Komplementwinkel* (Abb.; α_1 und α_2 mit Scheitelpunkt *A*). Ergänzen sie sich zu einem gestreckten, so heißen sie *Supplementwinkel* (Abb.; β_1 und β_2 mit Scheitelpunkt *B*); man nennt sie



Winkel

auch *Nebenwinkel*. *Scheitelwinkel* sind solche, die sich am Schnittpunkt zweier Geraden gegenüberliegen (Abb.; γ_1 und γ_2 sowie δ_1 und δ_2 mit Scheitelpunkt C).
Scheitelwinkel sind einander gleich ($\gamma_1 = \gamma_2$, $\delta_1 = \delta_2$). Nebenwinkel ergeben zusammen 180° ($\gamma_1 + \delta_1 = \delta_1 + \gamma_2 = \gamma_2 + \delta_2 = \delta_2 + \gamma_1$).



Winkel an Parallelen

Winkel an Parallelen. Schneidet eine Gerade g zwei Parallelen, so nennt man die Winkel mit verschiedenem Scheitelpunkt, wenn sie auf derselben Seite der schneidenden Geraden und auf derselben Seite der beiden Parallelen liegen, *Stufenwinkel* (α und α'; β und β' usw.). Liegen sie auf verschiedenen Seiten von den Parallelen und der Geraden, so nennt man sie *Wechselwinkel*, und zwar *innere* (γ und β'; δ und α'), wenn sie zwischen den Parallelen, und *äußere* (α und δ'; β und γ'), wenn sie außerhalb dieser liegen (Abb.).

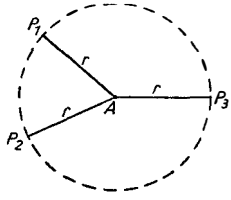
Stufenwinkel (gleichliegende Winkel) an geschnittenen Parallelen sind einander gleich ($\alpha = \alpha'$, $\beta = \beta'$).
Wechselwinkel an geschnittenen Parallelen sind einander gleich ($\alpha = \delta'$, $\beta = \gamma'$, $\gamma = \beta'$, $\delta = \alpha'$).

GEOMETRISCHE ÖRTER AUS DER PLANIMETRIE

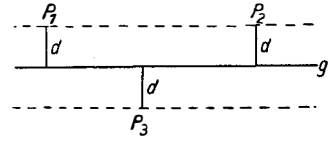
Als *geometrischen Ort* bezeichnet man jede Gesamtheit von Punkten, die sämtlich dieselbe geometrische Eigenschaft haben (z. B. die, daß sie sämtlich denselben Abstand von einem festen Punkt haben).

Kreis. Der *Kreis* mit dem Radius r und dem Mittelpunkt A ist der geometrische Ort für alle Punkte P, die von dem Punkt A den Abstand r haben (Abb.).

Parallelen. Die (beiden) *Parallelen* zu einer Geraden g im Abstande d sind der geometrische Ort für alle Punkte P, die von dieser Geraden den Abstand d haben (Abb.).



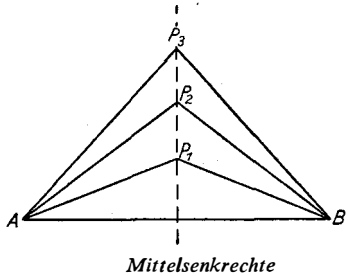
Kreis



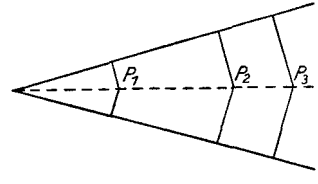
Parallelen

Mittelsenkrechte. Die *Mittelsenkrechte* einer Strecke AB ist der geometrische Ort für alle Punkte P, die von den Endpunkten A und B gleich weit entfernt sind (Abb.).

Winkelhalbierende. Die *Winkelhalbierende* ist der geometrische Ort für alle Punkte P, die von den beiden Schenkeln des Winkels den gleichen Abstand haben (Abb.).

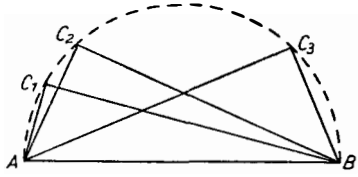


Mittelsenkrechte

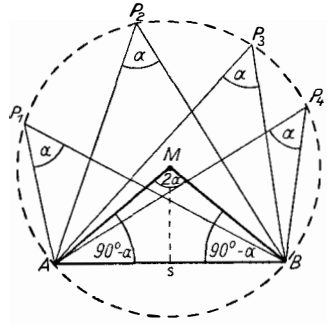


Winkelhalbierende

Halbkreis. Der *Halbkreis* über der Strecke AB als Durchmesser ist der geometrische Ort für die Scheitel aller rechten Winkel, deren Schenkel mit AB als Hypotenuse ein Dreieck bilden (*Halbkreis des Thales*; Abb.).



Halbkreis des Thales



Ortskreis

Ortskreis. Der geometrische Ort für alle Punkte, von denen aus eine gegebene Strecke AB unter einem Winkel α erscheint, ist der *Ortskreis*, der über der gegebenen Strecke als Sehne errichtet worden ist und den gegebenen Winkel α als Peripheriewinkel faßt (Abb.).
(Ellipse, Parabel und Hyperbel als geometrische Örter siehe Abschnitt „Kegelschnitte".)

GEOMETRISCHE ELEMENTARKONSTRUKTIONEN

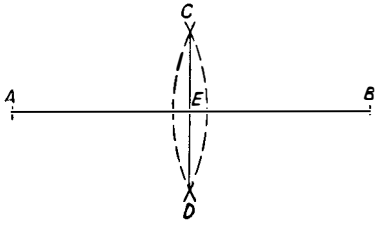
Strecke halbieren. *Aufgabe.* Eine gegebene Strecke AB ist zu halbieren (Abb.).

Ausführung. Man schlägt um A und um B je einen Kreis mit dem gleichen Radius und verbindet die Schnittpunkte C und D der beiden Kreise durch die Gerade CD.

Begründung. E ist ein Punkt der Mittelsenkrechten, also von A und B gleich weit entfernt.

Senkrechte errichten. *Aufgabe.* Es ist auf einer Geraden g im Punkt P die Senkrechte zu errichten bzw. in P der rechte Winkel anzutragen (Abb.).

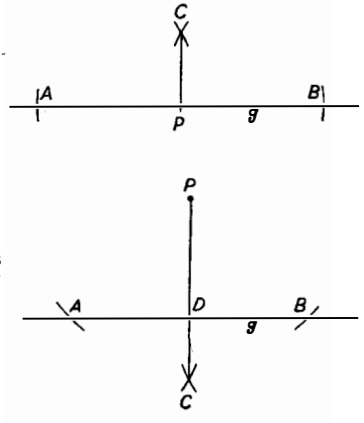
Ausführung. Man schlägt um P einen Kreis und erhält als dessen Schnittpunkte mit der Geraden g die Punkte A und B, die von P gleich weit entfernt sind. Um A und um B schlägt man je einen



links: Strecke halbieren

rechts: Senkrechte errichten

unten: Lot fällen



Kreis mit gleichem Radius, der aber größer als der Radius des Kreises um P sein muß, und verbindet einen der Schnittpunkte C dieser Kreise mit P.

Begründung. Die Gerade CP ist Mittelsenkrechte im gleichschenkligen Dreieck mit der Basis AB.

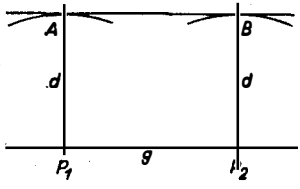
Lot fällen. *Aufgabe.* Es ist von einem gegebenen Punkt P das Lot auf die Gerade g zu fällen (Abb.).

Ausführung. Man schlägt um P einen Kreis, der die Gerade g in den Punkten A und B schneidet. Um A und um B schlägt man je einen Kreis mit dem gleichen Radius und verbindet den Schnittpunkt C dieser beiden Kreise mit P. Der Schnittpunkt dieser Strecke CP mit der Geraden g sei D. PD ist das gesuchte Lot.

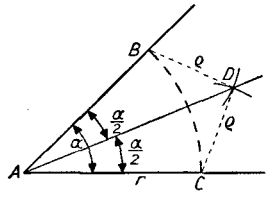
Begründung. D ist ein Punkt der Mittelsenkrechten PC.

Parallele ziehen. *Aufgabe.* Es ist zu einer Geraden g eine Parallele im Abstande d zu ziehen; es gibt stets zwei derartige Parallelen (Abb.).

Ausführung. Man errichtet in zwei beliebigen Punkten P_1 und P_2 der Geraden g die Senkrechte, schlägt um P_1 und um P_2 je einen Kreis mit dem Radius d und verbindet die Schnittpunkte A und B dieser Kreise mit den Senkrechten miteinander. Die Gerade durch A und B ist eine der gesuchten Parallelen zu g. Die andere liegt dazu spiegelbildlich.



Parallele ziehen



Winkel halbieren

Begründung. Eine Gerade ist durch 2 Punkte eindeutig bestimmt. Da A und B den gegebenen Abstand d haben, trifft dies auch auf alle anderen Punkte der Geraden zu.

Winkel halbieren. *Aufgabe.* Ein gegebener Winkel α ist zu halbieren (Abb.).

Ausführung. Man schlägt um den Scheitelpunkt A des Winkels einen Kreis mit einem beliebigen Radius r. Um die Schnittpunkte B und C dieses Kreises mit den Schenkeln des Winkels α schlägt man je einen Kreis mit dem beliebigen Radius ϱ und verbindet einen der Schnittpunkte D dieser beiden Kreise mit A. Die Strecke AD halbiert den Winkel α.

Begründung. Die Dreiecke ABC und ACD stimmen in den 3 Seiten überein, sind also kongruent, entsprechende Winkel sind mithin gleich groß (vgl. den Abschnitt über das Dreieck).

LÄNGEN-, FLÄCHEN-, KÖRPER- UND WINKELMESSUNG

Längenmessung. Die Maßeinheit für die *Längen*messung ist das *Meter*. Die Längen von *geraden* Strecken werden gemessen oder berechnet. Ein mit besonderer (Nonius-) Skala versehener Meterstab ermöglicht das Ablesen bis zu $^1/_{10}$ mm genau. Für genaue Messungen in der Praxis (Metallverarbeitung) dienen Schiebelehre (Genauigkeit $^1/_{10}$ mm) und Mikrometerschraube (Genauigkeit $^1/_{100}$ mm).
Schwieriger ist das Messen und Berechnen der Längen *gekrümmter* Kurven oder Kurvenstücke. Das Berechnen derartiger Längen ist eine Aufgabe der Integralrechnung (Bestimmung der Länge von sog. rektifizierbaren Kurvenstücken). Um sie auf dem Zeichenblatt zu messen, benutzt man am besten einen mechanischen Linienmesser, das *Kurvimeter*, dessen Fahrstift an der zu messenden Kurve entlanggeführt wird.

Flächenmessung. Die Maßeinheit für den Flächeninhalt einer beliebigen Fläche ist das *Quadratmeter* (m^2). Die Flächeninhalte von geradlinig begrenzten ebenen Flächen, sog. *Vielecken*, werden, sofern es sich um *regelmäßige* Vielecke handelt, nach bestimmten einfachen Gesetzen berechnet. *Unregelmäßige* Vielecke werden in geeigneter Weise, z. B. durch Diagonalen, in Dreiecke bzw. Trapeze zerlegt; ihr Flächeninhalt ist dann gleich der Summe der Flächeninhalte aller so entstandenen Teilflächen. Das Berechnen der Flächeninhalte von ebenen (und beliebigen) krummlinig begrenzten Flächen ist eine Aufgabe der Integralrechnung (bzw. der Maßtheorie). Solche Flächeninhalte werden praktisch durch Umfahren längs ihres Umfanges mit einem mechanischen Meßgerät, dem *Planimeter*, bestimmt.

Körpermessung. Die Maßeinheit für den Rauminhalt (das Volumen) eines beliebigen Körpers ist das *Kubikmeter* (m^3). Für die Berechnung eines Rauminhaltes gilt sinngemäß dasselbe, was zur Berechnung des Flächeninhaltes gesagt wurde.

Winkelmessung. Die Winkelmessung erfolgt in Grad- oder in Bogenmaß. Das *Gradmaß* beruht auf der Teilung des Vollwinkels in 360°. Ein (Alt-) Grad (1°) wird entweder dezimal unterteilt oder sexagesimal in 60 (Alt-) Minuten (60′), 1′ in 60 (Alt-) Sekunden (60″). Daneben ist die Einteilung des Vollwinkels in 400^g (Neugrad, Gon) gebräuchlich; sie wird vor allem im Vermessungswesen viel benutzt.
Das Bogenmaß eines Winkels ist die Maßzahl der Länge des zum Winkel α gehörenden Bogens auf einem Kreise mit dem Radius $r = 1$ oder das Verhältnis der Bogenlänge zur Länge des Kreisradius. Bezeichnet man das Bogenmaß mit arc α (lat. *arcus*, Bogen), so gilt: arc $360° = 2\pi$,

$$\operatorname{arc}\alpha^\circ = \frac{2\pi\cdot\alpha^\circ}{360^\circ} = \frac{\pi}{180^\circ}\cdot\alpha^\circ = \frac{\pi\cdot\alpha'}{180\cdot 60'} = \frac{\pi\cdot\alpha''}{180\cdot 3600''};$$ also z. B. $\operatorname{arc} 1^\circ = \frac{\pi}{180^\circ}\cdot 1^\circ \approx 0{,}02$.

Im Vermessungswesen ist es wichtig, den Winkel ϱ zu kennen, dessen Bogenmaß 1 ist:

$$\operatorname{arc}\varrho = 1 = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \varrho \text{ und danach:}$$

$$\varrho = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ\,17'\,45'' \text{ oder}$$

$$\varrho = \frac{180 \cdot 3\,600''}{\pi} \approx 206\,265'' = 57^\circ\,17'\,45''$$

Vgl. Abschnitt „Maßeinheiten für Winkel".

III. Berühmte Lehrsätze und Probleme

GRUNDLEGENDE LEHRSÄTZE DER GEOMETRIE

Satz des Thales. Der Peripheriewinkel im Halbkreis ist ein rechter.

Satz des Euklid. Im rechtwinkligen Dreieck ist das Quadrat über einer Kathete flächeninhaltsgleich dem Rechteck aus der Hypotenuse und der Projektion dieser Kathete auf die Hypotenuse: $a^2 = c \cdot p$.

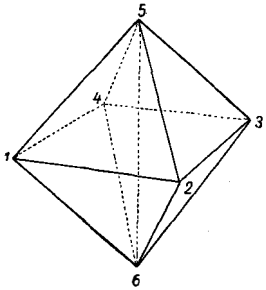
Satz des Pythagoras. Im rechtwinkligen Dreieck ist das Hypotenusenquadrat flächeninhaltsgleich der Summe der Kathetenquadrate: $c^2 = a^2 + b^2$.

Heronische Formel. Ein Dreieck mit den Seiten a, b, c hat, wenn $s = \frac{1}{2}(a + b + c)$ gesetzt wird, den Flächeninhalt $F = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$.

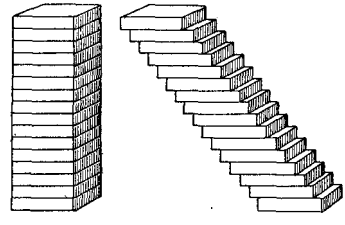
Eulerscher Satz. Bei jedem Vielflächner (Polyeder) ist die Summe der Anzahl der Ecken und Flächen um 2 größer als die Anzahl der Kanten:

Beim Oktaeder z. B. ist (Abb.):

die Anzahl der Ecken	$E = 6$, die Anzahl der Kanten $K = 12$,
die Anzahl der Flächen	$F = 8$,
also:	$14 = E + F = K + 2 = 12 + 2$



Oktaeder (zum Eulerschen Satz)



Cavalierisches Prinzip

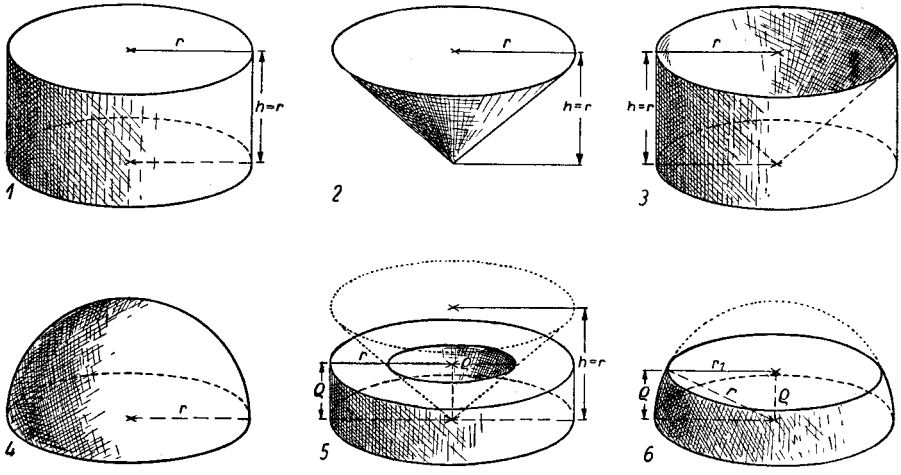
Cavalierisches Prinzip. Zwei Körper von gleicher Höhe und gleichem Inhalt der Grundflächen haben gleichen Rauminhalt, wenn in gleichem Abstand von den Grundflächen genommene Parallelschnitte gleiche Flächeninhalte haben.

Im Beispiel der Abbildung hat das gerade Prisma den gleichen Rauminhalt wie der Treppenkörper. Das bleibt auch so, wenn bei gleicher Gesamthöhe die Anzahl der Schichten beliebig zunimmt, ihre Dicke aber immer kleiner wird. Im Grenzfall geht der Treppenkörper in ein schiefes Prisma von gleicher Grundfläche und Höhe über, das auch den gleichen Rauminhalt hat.

Herleitung der Formel für den Rauminhalt der Kugel mit Hilfe des Satzes des Cavalieri (Abb.):

1. Ein gerader Kreiszylinder, dessen Höhe gleich dem Grundkreisradius ist, hat den Rauminhalt $Z = \pi r^2 \cdot r = \pi r^3$.
2. Ein gerader Kreiskegel, dessen Höhe gleich dem Grundkreisradius ist, der also den Rauminhalt $K = \frac{1}{3}\pi r^3 \cdot r = \frac{1}{3}\pi r^3$ hat, wird aus dem Kreiszylinder Z ausgebohrt.

3. Es entsteht ein kegelförmig ausgebohrter Zylinder vom Rauminhalt $Z - K = \frac{2}{3}\pi r^3$.
4. Behauptung: Dieser kegelförmig ausgebohrte Zylinder hat nach dem Satz von Cavalieri den gleichen Rauminhalt wie eine Halbkugel H vom Radius r, $H = \frac{2}{3}\pi r^3$.
5. und 6. Beweis: Ein Parallelschnitt im Abstand ϱ von der Grundfläche schneidet $(Z-K)$ in einem Kreisring mit den Radien r und ϱ, also der Fläche $\pi(r^2 - \varrho^2)$, und die Halbkugel H in einem Kreis mit dem Radius $r_1 = \sqrt{r^2 - \varrho^2}$, also der gleichen Fläche $\pi(r^2-\varrho^2)$. Der Rauminhalt V der Kugel vom Radius r ist also $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

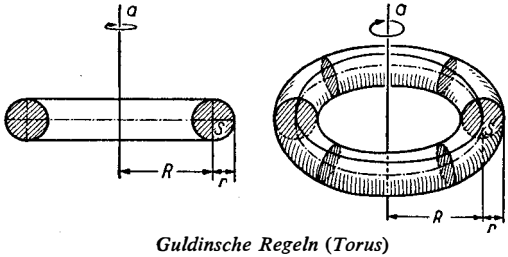


Rauminhalt der Kugel (nach dem Cavalierischen Prinzip)

Hieraus erhält man den Satz des *Archimedes*: Stehen Kegel, Halbkugel und Zylinder von gleicher Höhe über gleicher Grundfläche, so verhalten sich ihre Rauminhalte wie 1:2:3.

Guldinsche Regeln. a) Die Oberfläche eines Drehkörpers ist gleich dem Produkt aus der Länge der den Drehkörper erzeugenden Linie und der Länge des Weges ihres Schwerpunktes.

b) Der Inhalt eines Drehkörpers ist gleich dem Produkt aus dem Inhalt der erzeugenden Fläche und der Länge des Weges ihres Schwerpunktes.



Guldinsche Regeln (Torus)

Die Abbildung zeigt die Erzeugung eines *Torus* oder *zylindrischen Ringes*. Man zeichne in der Ebene einen Kreis mit dem Radius r; sodann lasse man die Ebene um eine den Kreis weder berührende noch schneidende Achse a rotieren, die vom Kreismittelpunkt S den Abstand R habe. Ist insbesondere $r = R$, so entsteht der *Wulst*. Nach den Guldinschen Regeln berechnet man Oberfläche und Rauminhalt des so erzeugten Torus:

a) Die erzeugende Linie ist ein Kreis, hat also die Länge $2\pi r$; ihr Schwerpunkt S ist ihr Mittelpunkt, der sich auf einem Kreis mit dem Radius R bewegt; also hat die Oberfläche des Torus den Flächeninhalt:

$$O = 2\pi r \cdot 2\pi R = 4\pi^2 rR.$$

b) Die erzeugende Fläche ist eine Kreisscheibe, ihr Inhalt ist πr^2; der Schwerpunkt durchläuft wiederum einen Kreis mit dem Radius R. Also gilt für den Rauminhalt des Drehkörpers:

$$V = \pi r^2 \cdot 2\pi R = 2\pi^2 r^2 R.$$

Newton-Simpsonsche Regel. Ein Körperstumpf von der Höhe h hat den Rauminhalt

$$V = \frac{h}{6}(G + g + 4M).$$

Dabei bezeichnen G den Inhalt der Grundfläche, g den Inhalt der Deckfläche und M den Inhalt der Mittelfläche (Abb.).
Im Beispiel der Abbildung eines Kegelstumpfes gilt:

$$G = \pi R^2, \quad g = \pi r^2,$$

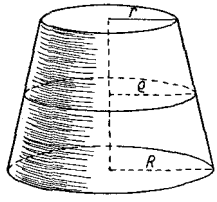
$$M = \pi \varrho^2 = \frac{\pi}{4}(R + r)^2,$$

$$4M = \pi(R^2 + 2Rr + r^2);$$

also:

$$V = \frac{h}{6}(\pi R^2 + \pi r^2 + \pi R^2 + \pi r^2 + 2\pi rR)$$

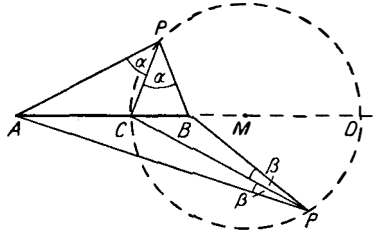
$$= \frac{\pi h}{3}(R^2 + r^2 + rR).$$



Kegelstumpf

Kreis des Apollonius. Teilt man eine Strecke AB harmonisch (d. h. innen und außen im gleichen Verhältnis), so bildet die Verbindungsstrecke der beiden Teilungspunkte, nämlich CD, den Durchmesser eines Kreises, von dessen Peripheriepunkten aus die beiden Teilstrecken von AB, nämlich AC und CB, jeweils unter gleich großen Winkeln gesehen werden, $\sphericalangle APC = \sphericalangle BPC$ (Abb.). AB ist das „harmonische Mittel" zu AC und AD; denn es gilt die Beziehung

$$\frac{1}{AB} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{AC} + \frac{1}{AD}\right).$$



Kreis des Apollonius

DIE DREI KLASSISCHEN PROBLEME DER ANTIKEN GEOMETRIE

Alle drei Probleme sollten nur mit Hilfe von Zirkel und Lineal gelöst werden. Daß dies *grundsätzlich nicht möglich ist*, ergibt sich unmittelbar aus dem *Galois-Theorie* (nach *E. Galois*, 1811 bis 1832) genannten Teilgebiet der modernen Algebra. Es gibt eine Anzahl von Näherungsmethoden, die zu angenäherten Lösungen der Probleme führen.

Quadratur des Kreises. Die Verwandlung eines Kreises in ein Quadrat von gleichem Flächeninhalt führt auf die Konstruktion der Zahl π. Die Lösung dieser Aufgabe ist unmöglich, da π, die bei der Berechnung des Flächeninhalts $F = \pi \cdot r^2$ maßgebende Zahl, keiner algebraischen Gleichung genügt, d. h. transzendent ist.

Dreiteilung (Trisektion) des Winkels. Die Teilung des Winkels in drei gleiche Teile ist ebenfalls im allgemeinen mit Zirkel und Lineal nicht lösbar. Es gibt eine Anzahl von Näherungsmethoden.

Verdoppelung des Würfels. Dieses sogenannte Delische Problem der Kubusverdoppelung verlangt, einen Würfel zu finden, dessen Rauminhalt doppelt so groß wie der eines gegebenen Würfels ist. Diese Aufgabe führt auf eine Gleichung 3. Grades; sie war deshalb für die Griechen, die nicht mit Kubikwurzeln rechneten, auch arithmetisch unlösbar. Ist a die Seitenlänge des gegebenen, x die Seitenlänge des gesuchten Würfels, so lautet die Gleichung

$$2a^3 = x^3,$$

$$\text{somit} \quad x = \sqrt[3]{2a^3} = a \cdot \sqrt[3]{2}.$$

IV. Ebene Flächen

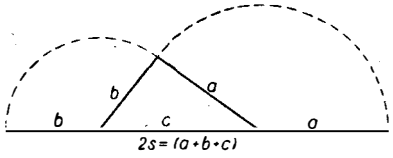
DAS DREIECK

Allgemeines. Ein *ebenes Dreieck* ist eine geschlossene Fläche, die von drei Strecken, den *Seiten* des Dreiecks, begrenzt wird. Es entsteht, wenn drei nicht auf einer Geraden liegende Punkte einer Ebene, die Ecken des Dreiecks, geradlinig verbunden werden. Für das ebene Dreieck gelten folgende Sätze und Festsetzungen:

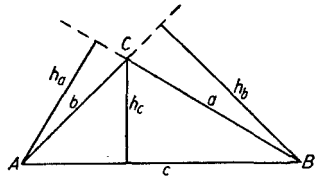
1. Die Länge des Umfangs ist $U = a + b + c$ (Summe der drei Seitenlängen; Abb.); halber Umfang

$$s = \frac{a+b+c}{2}.$$

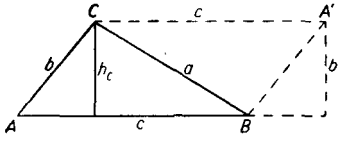
2. Die Summe der Längen von zwei Seiten ist größer als die Länge der dritten Seite; $a + b > c$. Die Differenz der Längen von zwei Seiten ist kleiner als die Länge der dritten Seite; $a - b < c$.



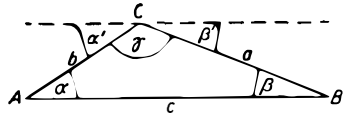
Umfang des Dreiecks



Die drei Höhen des Dreiecks

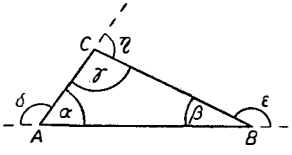


Flächeninhalt des Dreiecks



Innenwinkel

3. Unter *Höhe* (h_a, h_b, h_c) versteht man den Abstand einer Ecke (A, B, C) von ihrer Gegenseite (a, b, c) bzw. deren Verlängerung (Abb.).



Außenwinkel

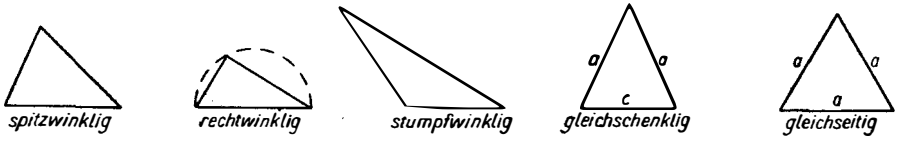
4. Der *Flächeninhalt* beträgt $F = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h_a = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h_b = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h_c$ (je als Hälfte eines Parallelogramms aufzufassen; Abb.).

5. *Innenwinkel* des Dreiecks sind die Winkel α, β, γ (Abb.). Ihre *Winkelsumme* beträgt zwei Rechte: $(\alpha + \beta + \gamma) = \alpha' + \gamma + \beta' = 2R = 180°$. ($\alpha'$ bzw. β' sind als Wechselwinkel an der Parallele zu c durch C gleich α bzw. β.) Sind zwei Innenwinkel, z. B. α und β, bekannt, so kann der dritte sofort berechnet werden: $\gamma = 2R - (\alpha + \beta)$.

6. *Außenwinkel* des Dreiecks sind die Winkel δ, ε, η. Es ist $\delta = \beta + \gamma$, $\varepsilon = \alpha + \gamma$, $\eta = \alpha + \beta$; jeder Außenwinkel ist gleich der Summe der beiden ihm nicht anliegenden Innenwinkel. Daraus ergibt sich, daß die Summe der Außenwinkel doppelt so groß wie die Summe der Innenwinkel ist, also $4R = 360°$ beträgt (Abb.).

7. Der längeren Seite eines Dreiecks liegt der größere Winkel gegenüber.

Formen des Dreiecks

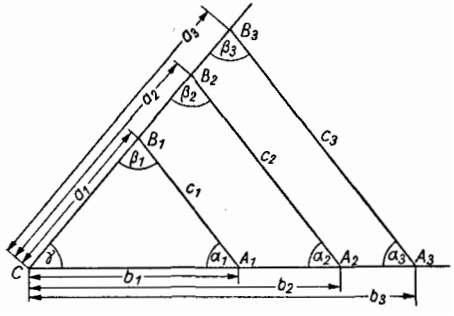


Bezeichnungen für verschiedene Dreieckformen

Kongruenz und Ähnlichkeit. *Kongruente Dreiecke.* Kongruente Dreiecke (Zeichen $\cong$) decken sich in allen Seiten und Winkeln. Sie werden daher auch *deckungsgleich* genannt. Kongruente Dreiecke sind form- und inhaltsgleich. Zum Nachweis der Kongruenz genügt es, die Gleichheit von 3 voneinander unabhängigen Stücken festzustellen, nämlich von

a) den drei Seiten oder
b) zwei Seiten und dem eingeschlossenen Winkel oder
c) zwei Seiten und dem Gegenwinkel der größeren Seite oder
d) einer Seite und den beiden anliegenden Winkeln oder
e) einer Seite, einem anliegenden und dem gegenüberliegenden Winkel.

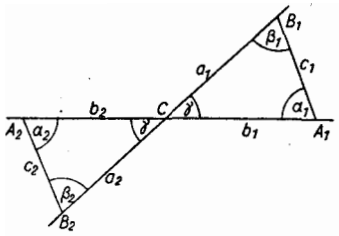
Ähnliche Dreiecke. Ähnliche Dreiecke sind form-, aber nicht inhaltsgleich. Sie entstehen durch Parallelverschiebung der Seiten eines Dreiecks. Ihre Winkel sind gleich, und entsprechende Seiten stehen zueinander im gleichen Verhältnis. So sind z. B. (Abb.):



Ähnliche Dreiecke

$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$
$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$

$a_1 : b_1 = a_2 : b_2 = a_3 : b_3$
$a_1 : a_2 = b_1 : b_2 = c_1 : c_3$
$a_1 : a_3 = b_1 : b_3 = c_1 : c_3$ usf.



Ähnliche Dreiecke

Unter dem *Verhältnis zweier Strecken* versteht man den Quotienten ihrer Maßzahlen. So stehen zwei Strecken von 3 m und 5 m Länge im Verhältnis $3:5 = \frac{3}{5}$. Bei ähnlichen Dreiecken müssen also die Seiten des einen mit den entsprechenden Seiten des anderen den gleichen Quotienten ergeben. Zum Nachweis der Ähnlichkeit genügt es festzustellen, daß gleich sind entweder

a) alle drei Seitenverhältnisse oder

b) zwei Seitenverhältnisse und der von diesen Seiten eingeschlossene Winkel oder

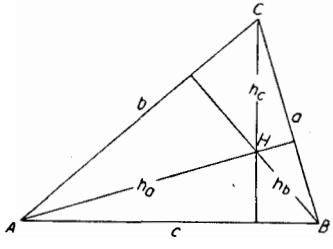
c) zwei Seitenverhältnisse und der Gegenwinkel der größeren dieser Seiten oder

d) zwei gleichliegende Winkel (in diesem Falle sind notwendigerweise auch die dritten Winkel einander gleich).

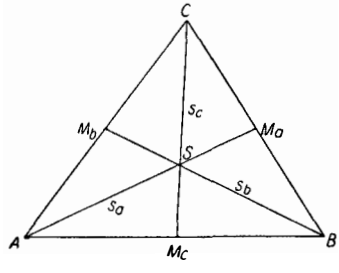
Vier merkwürdige Punkte des Dreiecks. Je in *einem* Punkte schneiden sich jeweils folgende Linien im Dreieck:

1. Die drei Höhen (Abb.).

2. Die drei Seitenhalbierenden, auch *Mittel-* oder *Schwerlinien* genannt. Ihr Schnittpunkt heißt *Schwerpunkt S* (bzw. Massenmittelpunkt) des Dreiecks. Er teilt die Mittellinien im Verhältnis 2 : 1, jeweils von der betreffenden Ecke aus gerechnet (Abb.).



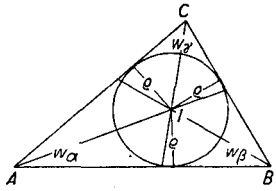
Schnittpunkt der Höhen



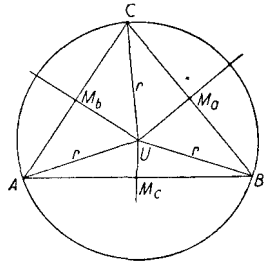
Schnittpunkt der Seitenhalbierenden

3. Die drei Mittelsenkrechten. Ihr Schnittpunkt *U* ist der Mittelpunkt des Kreises, auf dessen Peripherie (Umfangslinie) die 3 Ecken des Dreiecks liegen. Dieser Kreis wird der *Umkreis* des Dreiecks genannt (Abb.).

4. Die drei Winkelhalbierenden. Ihr Schnittpunkt I ist der Mittelpunkt des dem Dreieck einbeschriebenen Kreises, *Inkreis* des Dreiecks genannt, zu dem alle Dreieckseiten Tangenten sind (Abb.).



Schnittpunkt der Winkelhalbierenden



Schnittpunkt der Mittelsenkrechten

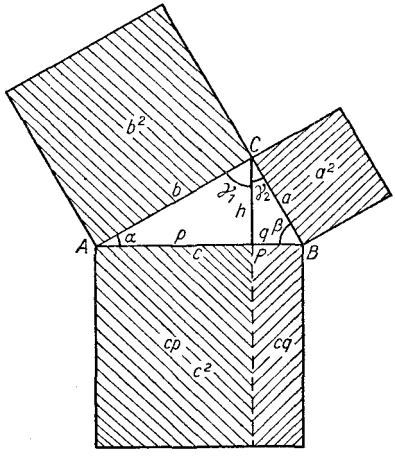
Das rechtwinklige Dreieck. Im rechtwinkligen Dreieck nennt man die dem rechten Winkel anliegenden Seiten *Katheten*, die Gegenseite *Hypotenuse*. Diese ist stets die längste Seite im rechtwinkligen Dreieck.

Der *Lehrsatz des Pythagoras* stellt folgende Beziehung zwischen der Hypotenuse und den beiden Katheten fest (Abb.):

Das Quadrat über der Hypotenuse ist flächeninhaltsgleich der Summe der Quadrate über den beiden Katheten:

$$c^2 = a^2 + b^2.$$

Zum *Beweise* zieht man von C die zur Hypotenuse c gehörende Höhe h, die c in die Abschnitte p und q teilt und deren Verlängerung das Hypotenusenquadrat in zwei Rechtecke mit den Seiten c, p und c, q zerlegt. Jedes dieser Rechtecke ist dem angrenzenden Kathetenquadrat flächeninhaltsgleich: $cp = b^2$; $cq = a^2$, denn durch die Höhe h ist das rechtwinklige Dreieck in zwei Dreiecke zerlegt, die untereinander und mit dem ursprünglichen Dreieck winkelgleich ($\alpha + \beta = 90°$, $\alpha + \gamma_1 = 90°$, also $\beta = \gamma_1$; $\gamma_1 + \alpha = 90°$, $\gamma_1 + \gamma_2 = 90°$, also $\alpha = \gamma_2$) und daher ähnlich sind. Sie haben demnach auch gleiche Seitenverhältnisse:



Lehrsatz des Pythagoras

$$c : a = a : q, \text{ also } cq = a^2$$

$$\text{und } c : b = b : p, \text{ also } cp = b^2,$$

c^2 ist aber gleich $cq + cp$, also ist $c^2 = a^2 + b^2$.

Sind zwei Seiten im rechtwinkligen Dreieck bekannt, so kann die dritte Seite berechnet werden, denn es ist:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad b = \sqrt{c^2 - a^2}; \quad a = \sqrt{c^2 - b^2}.$$

Pythagoreische Zahlen nennt man drei natürliche Zahlen, die in der Beziehung $a^2 + b^2 = c^2$ zueinander stehen, z. B.

3, 4, 5; denn $9 + 16 = 25$;

5, 12, 13; denn $25 + 144 = 169$;

6, 8, 10; denn $36 + 64 = 100$;

10, 24, 26; denn $100 + 576 = 676$.

Der Sonderfall des pythagoreischen Lehrsatzes für die Längen $a = 3$, $b = 4$, $c = 5$ war schon den alten Ägyptern und Babyloniern bekannt.

Der Höhensatz besagt, daß im rechtwinkligen Dreieck das Quadrat über der Höhe flächeninhaltsgleich dem Rechteck aus den Hypotenusenabschnitten ist. Im rechtwinkligen Dreieck ABC gilt ja nach den Sätzen des Pythagoras und des Euklid:

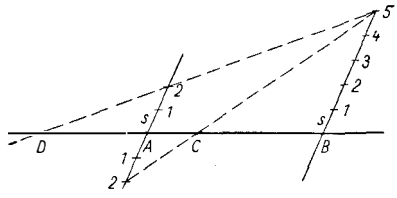
$$h^2 = b^2 - p^2 = cp - p^2 = p(c - p) = p \cdot q.$$

DIE STRECKENTEILUNG

Allgemeines. Die Konstruktion ähnlicher Dreiecke ermöglicht, eine gegebene Strecke in einem bestimmten Verhältnis zu teilen. Es werde die Strecke AB im Verhältnis 2 : 5 geteilt (Abb.):

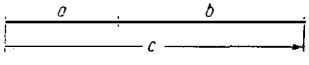
$$\frac{CA}{CB} = -\frac{2}{5}; \quad \frac{DA}{DB} = +\frac{2}{5}.$$

Ausführung. Durch die Endpunkte A und B der gegebenen Strecke werden zwei Parallelen gezogen; auf der einen wird von B aus fünfmal die beliebige Strecke s abgetragen, auf der anderen von A aus nach beiden Seiten je zweimal dieselbe Strecke s. Verbindet man dann, wie die Figur zeigt, so teilen nach den Sätzen über ähnliche Dreiecke die Punkte C und D die Strecke AB *innen* und *außen* im Verhältnis 2:5, d. h. es ist $AC : CB = DA : DB$.



Streckenteilung

Der Goldene Schnitt. Man versteht unter dem Goldenen Schnitt eine solche Teilung einer Strecke c, daß sich die kleinere Teilstrecke a zur größeren b so verhält wie die größere Teilstrecke b zur ganzen Strecke c, d. h. entsprechend der Proportion $a : b = b : c$.
Die größere Teilstrecke b ist somit die *mittlere Proportionale* (oder „das *geometrische Mittel*") von a und c. Man nennt diese Teilung auch *stetig* (Abb.).



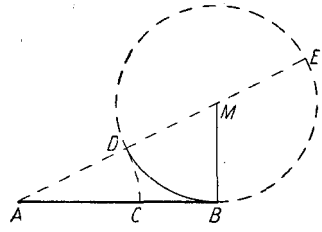
Stetige Teilung, $a : b = b : c$

Die einfachste Möglichkeit zur Teilung einer Strecke nach dem Goldenen Schnitt ergibt sich aus der nebenstehenden Abbildung. Hier ist die gegebene Strecke AB Tangente an einen Kreis, dessen Durchmesser gleich AB ist. Von A ist eine Sekante durch den Kreismittelpunkt gezogen, die den Kreis in D und E schneidet.
Dann ist nach dem Tangentensatz

$$AD \cdot AE = AB^2$$

oder

$$AB : AE = AD : AB.$$



Teilung der Strecke AB nach dem Goldenen Schnitt

Nach Konstruktion gilt nun $AD = AC$ und $AB = DE$; nach dem Satze von der korrespondierenden Subtraktion gilt also $AB : (AE - DE) = AC : (AB - AC)$ oder $AB : AC = AC : CB$, d. h. aber: Punkt C teilt die Strecke AB nach dem Goldenen Schnitt.

Rechnerische Lösung. Bezeichnet man auf einem *Meterstabe*, der nach dem Goldenen Schnitt geteilt ist, den größeren Teilabschnitt mit x, so gilt die Proportion (Abb.):

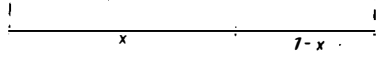
$$1 : x = x : (1 - x).$$

Hieraus folgt die Produktengleichung

$$x^2 = 1 \cdot (1 - x),$$

hieraus die quadratische Normalgleichung

$$x^2 + x - 1 = 0,$$



Rechnerische Lösung

hieraus die Lösung:

$$x_{1,2} = -0{,}5 \pm \sqrt{\frac{1}{4} + 1} = -0{,}5 \pm \sqrt{\frac{5}{4}} = -0{,}5 \pm \frac{\sqrt{5}}{2}$$

$$x_{1,2} = -0{,}5 \pm \frac{2{,}236\ldots}{2} = -0{,}5 \pm 1{,}118\ldots$$

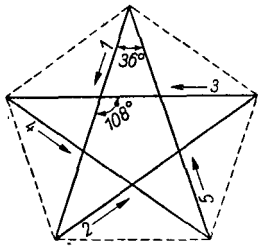
Der negative Wert $x_2 = -0{,}5 - 1{,}118$ hat geometrisch keine Bedeutung. Es bleibt

$$x_1 = x = -0{,}5 + 1{,}118 = 0{,}618.$$

Der Meterstab ist also an der Stelle 61,8 cm nach dem Goldenen Schnitt geteilt.

Die Teilung einer Strecke nach dem Goldenen Schnitt ist ein berühmtes Problem der Geometrie und hat besonders in der *Kunst* eine große Rolle gespielt. Sie wurde auch das „Göttliche Verhältnis" (divina proportio) genannt, da diese Proportion auf das Auge eine wohltuende Wirkung ausübt, so

daß man sie als „Spiegelung der göttlichen Ordnung" empfand. Man beschäftigte sich im Altertum mit ihr im Zusammenhang mit dem regelmäßigen Fünfstern, auch „Pentagramm" genannt, der durch Querverbindung der Ecken des regelmäßigen Fünfecks entsteht und dem man magische Kräfte zuschrieb (Abb.). Aus ihm ist der Goldene Schnitt abzuleiten.



Pentagramm (Drudenfuß; Goethe, Faust I), aus freier Hand in einem Zuge zu zeichnen

DAS VIERECK

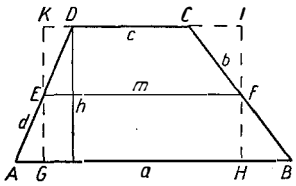
Ein *Viereck* ist eine von vier Strecken (Seiten) begrenzte ebene Fläche. Die Summe der Innenwinkel beträgt 360°. Man unterscheidet *regelmäßige* Vierecke oder *Quadrate* und *unregelmäßige* Vierecke.

Vierecke, deren Ecken auf einem Kreis, dem *Umkreis*, liegen, nennt man *Kreis-* oder *Sehnenvierecke*, da ihre Seiten Sehnen des Umkreises sind. Vierecke, deren Seiten Tangenten an einen Kreis, den *Inkreis*, sind, heißen *Tangentenvierecke*. Jedes Viereck kann durch eine Diagonale, d. h. eine geradlinige Verbindung von zwei nicht benachbarten Ecken, in zwei Teildreiecke zerlegt werden; dann ist der Flächeninhalt des Vierecks gleich der Summe der Flächeninhalte der beiden Teildreiecke.

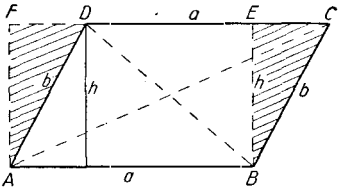
Trapez. Das Trapez ist ein Viereck mit *einem* Paar paralleler Seiten (*a*, *c*), *Grundlinien* genannt (Abb.). Die beiden anderen Seiten (*b*, *d*) heißen *Schenkel*. Sind diese gleich lang, so heißt das Trapez *gleichschenklig*. Die durch den Mittelpunkt der Höhe *h* gelegte Parallele zu den Grundlinien ist die *Mittellinie* $m = \frac{a + c}{2}$.

Der *Umfang* ist $U = a + b + c + d$.

Der *Flächeninhalt* ist $F = m \cdot h$; das Trapez läßt sich in ein flächeninhaltsgleiches Rechteck mit den Seiten *m* und *h* verwandeln, wobei $\triangle BHF \cong \triangle FCI$ und $\triangle AGE \cong \triangle EKD$, da diese Dreiecke jeweils winkel- und seitengleich sind.



Trapez



Parallelogramm

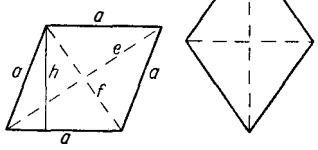
Parallelogramm. Das Parallelogramm ist ein Viereck mit *zwei* Paaren paralleler Gegenseiten. Je zwei einander gegenüberliegende Seiten sind gleich lang. Die Verbindungslinien der gegenüberliegenden Ecken, *Diagonalen*, halbieren sich in ihrem Schnittpunkt und zerlegen das Parallelogramm in je zwei Dreiecke, die in einer Seite und den beiden anliegenden Winkeln übereinstimmen und deshalb kongruent sind: $\triangle ABD \cong \triangle CBD$ und $\triangle BAC \cong \triangle DAC$.

Im Parallelogramm ergänzen sich *Winkel* an benachbarten Ecken zu 180°. Winkel an gegenüberliegenden Ecken sind einander gleich (Abb.).

Der *Umfang* ist $U = 2 \cdot a + 2 \cdot b$.

Der *Flächeninhalt* ist $F = a \cdot h$; das Parallelogramm läßt sich in ein flächeninhaltsgleiches Rechteck *ABEF* mit gleicher Grundlinie *a* und Höhe *h* verwandeln, wobei $\triangle AFD \cong \triangle BEC$, da diese Dreiecke winkel- und seitengleich sind.

Parallelogramme von der gleichen Grundlinie und Höhe sind flächeninhaltsgleich. Den kleinsten Umfang von allen diesen Parallelogrammen hat das zugehörige Rechteck.



Rhombus oder Raute

Rhombus oder Raute. Der Rhombus oder die Raute ist ein Parallelogramm mit gleichlangen Seiten. Seine Diagonalen halbieren die Winkel und stehen senkrecht aufeinander (Abb.).

Umfang $U = 4 \cdot a$ *Flächeninhalt* $F = a \cdot h$ oder $F = \frac{1}{2} e \cdot f$.

Rechteck. Das Rechteck ist ein Parallelogramm mit rechten Winkeln.

Umfang $U = 2 \cdot a + 2 \cdot b$ *Flächeninhalt* $F = a \cdot b$ (wobei $b = h$).

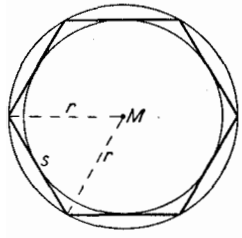
Quadrat. Das Quadrat ist ein Rechteck mit gleich langen Seiten.

Umfang $U = 4 \cdot a$ *Flächeninhalt* $F = a^2$.

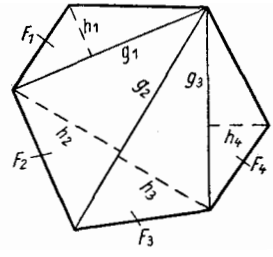
DAS VIELECK

Ein *Vieleck* (*Polygon*), genauer *n-Eck*, ist eine von n Strecken begrenzte ebene Fläche (n ist dabei eine natürliche Zahl). Es hat n Ecken und n (Innen-)Winkel, deren Summe $(2n - 4)\,R$ beträgt. Wählt man insbesondere $n = 4$, so erhält man ein Viereck.

Regelmäßige Vielecke. Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß ihre Seiten sämtlich gleich lang und ihre Winkel sämtlich gleich groß sind. Ihre Ecken liegen auf einem Kreis, dem *Umkreis*. Um dessen Mittelpunkt kann man einen zweiten Kreis, den *Inkreis*, schlagen, für den alle Vieleckseiten Tangenten sind (Abb.).
Beim *regelmäßigen Sechseck* ist die Seitenlänge gleich dem Radius des Umkreises, $s = r$, also ist der Umfang $U = 6r$. Seinen Flächeninhalt berechnet man als Summe der Inhalte der 6 Teildreiecke, deren Seiten alle gleich r sind.
In ähnlicher Weise berechnet man den *Flächeninhalt aller regelmäßigen Vielecke* als Summe der Flächeninhalte von gleichschenkligen Teildreiecken, deren Basis gleich einer Vieleckseite ist und deren Spitzen im Mittelpunkt des Vielecks liegen.



Regelmäßiges Vieleck



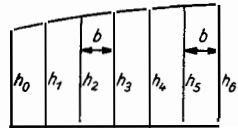
Unregelmäßiges Vieleck

Man kann so den Flächeninhalt und den Umfang eines jeden Kreises durch die Flächeninhalte bzw. Umfänge von Vielecken annähern, die dem Kreis ein- oder umbeschrieben sind.

Unregelmäßige Vielecke. Um den Flächeninhalt eines *unregelmäßigen* Vielecks zu berechnen, zerlegt man es in einzelne Dreiecke, deren Flächeninhalt jeweils aus Grundlinie und Höhe berechnet wird (Abb.).

Flächeninhalt $F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$

$$F_1 = \frac{h_1 g_1}{2}\,;\quad F_2 = \frac{h_2 g_2}{2}\,;\quad F_3 = \frac{h_3 g_2}{2}\,;\quad F_4 = \frac{h_4 g_2}{2}\,.$$



Trapezregel

Beliebige Flächen. Die Berechnung des Inhalts einer beliebigen Fläche F erfolgt nach der *Trapezregel*. Man teile die Fläche F durch eine Schar paralleler Geraden in eine hinreichend große Anzahl von Streifen gleicher Breite b ein. Je zwei aufeinanderfolgende Schnittpunkte der Geraden mit der *Randkurve* der Fläche F verbinde man geradlinig.
Man erhält so an Stelle der Randkurve einen Eckenzug (Polygonzug), an Stelle der Fläche F ein Vieleck, das von der Schar paralleler Geraden in trapezförmige Streifen gleicher Breite b zerlegt wird. Der Flächeninhalt von F wird dann annäherungsweise durch die Summe der Flächeninhalte dieser trapezförmigen Streifen angegeben; die Annäherung ist um so genauer, je schmaler die Streifen sind, je enger sich also der Eckenzug an die Randkurve anschmiegt (Abb.).
Der Flächeninhalt von F kann annäherungsweise z. B. durch die sog. *Trapezregel* angegeben werden; diese lautet, falls man eine Zerlegung in sechs Streifen mit den Seitenlängen $h_1, h_2, h_3, \ldots, h_6$ vorgenommen hat:

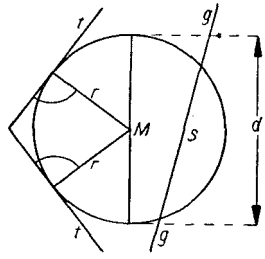
$$F \approx b\left(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + \frac{h_0}{2} + \frac{h_6}{2}\right).$$

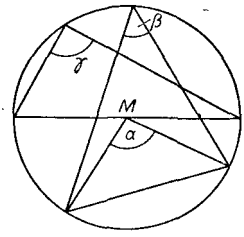
DER KREIS

Allgemeines. Der Kreis ist der *geometrische Ort* für alle Punkte, die von einem festen Punkte (M) den gleichen Abstand (r) haben.

M heißt *Mittelpunkt* (Zentrum) des Kreises, dessen Umfang U auch *Peripherie* genannt wird (Abb.). Der Abstand r heißt *Radius* (lat., Strahl). Ein *Kreisbogen* ist ein beliebiges Stück des Umfangs.

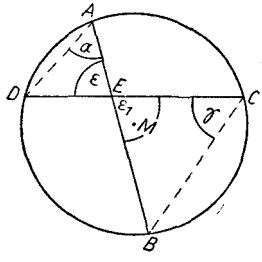
Eine *Sekante* (g) ist eine Gerade, die zwei Punkte mit einem Kreise gemeinsam hat; das innerhalb der Kreisfläche gelegene Stück der Sekante heißt *Sehne* (s).
Der *Durchmesser* (d) eines Kreises ist eine Sehne, die durch den Mittelpunkt geht, $d = 2r$.
Eine *Tangente* (t) ist eine Gerade, die nur einen Punkt mit dem Kreise gemeinsam hat. Auf ihr steht der Radius in diesem Berührungspunkt senkrecht.





Bezeichnungen am Kreis
- r *Radius*
- d *Durchmesser*
- s *Sehne*
- g *Sekante*
- t *Tangente*
- α *Zentriwinkel*
- β *Peripheriewinkel*
- γ *Peripheriewinkel über dem Durchmesser*

Ein Winkel, dessen Scheitelpunkt mit dem Mittelpunkt eines Kreises zusammenfällt und dessen Schenkel Radien sind, heißt *Zentriwinkel* (α). Ein Winkel, dessen Scheitelpunkt auf dem Kreisumfang liegt und dessen Schenkel Sehnen sind, heißt *Peripheriewinkel* (β).



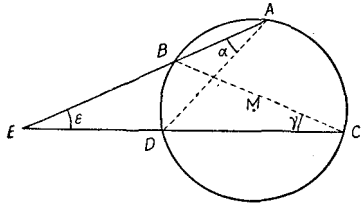
Sehnensatz

Lehrsätze. *Satz vom Peripheriewinkel.* Der Peripheriewinkel ist gleich dem halben Zentriwinkel, der mit ihm über demselben Kreisbogen steht. Zu gleichen Bögen gleicher Kreise gehören gleiche Sehnen und gleiche Peripherie- bzw. Zentriwinkel.

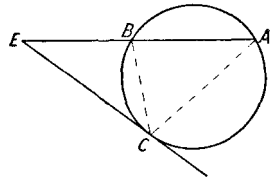
Satz des Thales. Alle Peripheriewinkel über einem Halbkreis sind rechte Winkel, da der dazugehörige Zentriwinkel ein gestreckter ist, nämlich der vom Durchmesser selbst gebildete.

Sehnensatz. Schneiden sich zwei Sehnen innerhalb eines Kreises, so ist das Produkt aus den Abschnitten der einen Sehne gleich dem Produkt aus den Abschnitten der anderen Sehne (Abb.). Beweis: $\triangle AED \sim \triangle CEB$, da sie in den Winkeln ($\alpha = \gamma$ als Peripheriewinkel über demselben Bogen DB; $\varepsilon = \varepsilon_1$ als Scheitelwinkel) übereinstimmen. Demnach $EA : ED = EC : EB$; also $EA \cdot EB = ED \cdot EC$.

Sekantensatz. Schneiden sich zwei Sekanten außerhalb eines Kreises, so ist das Produkt aus den beiden vom Schnittpunkt aus gerechneten Sekantenabschnitten für beide Sekanten gleich (Abb.). Beweis: $\triangle AED \sim \triangle CEB$, da sie in den Winkeln (ε ist ihnen gemeinsam; $\alpha = \gamma$ als Peripheriewinkel über demselben Bogen BD) übereinstimmen. Demnach $EA : ED = EC : EB$; also $EA \cdot EB = EC \cdot ED$.



Sekantensatz



Tangentensatz

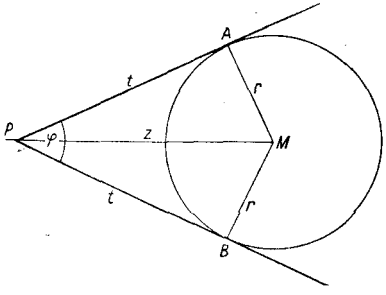
Tangentensatz (Sonderfall des Sekantensatzes). Schneiden sich eine Sekante und eine Tangente außerhalb eines Kreises, so ist der Tangentenabschnitt die mittlere Proportionale zwischen den beiden von dem Schnittpunkt aus gerechneten Sekantenabschnitten (Abb.). Beweis: Es ist $EA : EC = EC : EB$ als Sonderfall des Sekantensatzes, wenn eine Sekante zur Tangente geworden ist; daraus folgt

$$EA \cdot EB = \overline{EC}^2 \quad \text{oder} \quad EC = \sqrt{EA \cdot EB}.$$

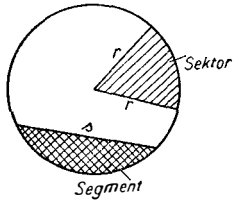
Zwei Tangenten an einen Kreis. Legt man von einem Punkte P außerhalb eines Kreises die Tangenten an einen Kreis, so sind die Tangentenabschnitte t einander gleich, und die Zentrale z

halbiert den Winkel φ zwischen den Tangenten (Abb.). Beweis: $\triangle PAM \cong \triangle PMB$, denn sie sind rechtwinklig und stimmen in den Seiten $PM = z$ und $BM = AM = r$ überein; sie stimmen also als kongruente Dreiecke in allen Stücken überein.

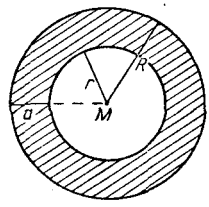
Umfang und Fläche. *Die Kreisfläche.* Ein Stück einer Kreisfläche, das von zwei Radien und einem Bogen begrenzt wird, heißt *Kreisausschnitt* oder *Sektor*; wird ein Stück einer Kreisfläche aber von einer Sehne und einem Bogen begrenzt, so heißt es *Kreisabschnitt* oder *Segment* (Abb.). Man nennt Kreise *konzentrisch*, wenn sie denselben Mittelpunkt haben. Die Fläche zwischen zwei konzentrischen Kreisen mit verschiedenen Radien heißt *Kreisring*; ihr Flächeninhalt ist gleich der Differenz der Flächeninhalte der beiden Kreisflächen (Abb.).



Zwei Tangenten an einen Kreis



Bezeichnungen an der Kreisfläche



Kreisring; $a = R - r$

Kreisumfang. Mit dem griechischen Buchstaben π (sprich: pi) bezeichnet man das konstante Verhältnis des Umfangs eines Kreises zum Durchmesser, $\pi = \frac{U}{d}$. Den Umfang eines Kreises kann man näherungsweise bestimmen, indem man ihn als Mittelwert zwischen dem Umfang eines dem Kreis einbeschriebenen und dem Umfang eines ihm umbeschriebenen regelmäßigen Vielecks auffaßt. Die Bestimmung erfolgt um so genauer, je kleiner die Seitenlängen der ein- und umbeschriebenen Vielecke sind. Der Kreisumfang ist der *Grenzwert*, dem die Umfänge der ein- und der umbeschriebenen Vielecke zustreben, wenn man ihre Seitenlängen immer kleiner bzw. die Anzahl ihrer Ecken immer größer werden läßt (Abb.).

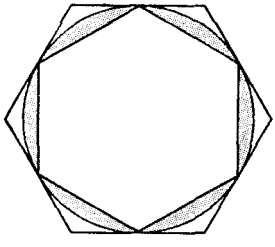
Eine auf dieser Überlegung beruhende Rechnung ergibt

$$U = d \cdot 3{,}141\,59\ldots \quad \text{oder}$$

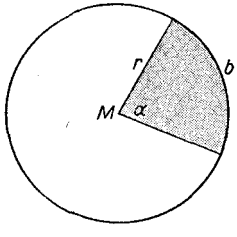
$$\frac{U}{d} = \pi = 3{,}141\,59\ldots \approx 3\,\frac{1}{7}.$$

Der Umfang eines Kreises ist also, da π ein konstanter Wert ist, nur von seinem Durchmesser ($d = 2r$) abhängig:

Kreisumfang $U = 2\pi r$.



Kreis mit einbeschriebenem und umbeschriebenem Vieleck



Flächeninhalt eines Kreissektors

Kreisinhalt. In ähnlicher Art kann man den Flächeninhalt F eines Kreises durch die Summe der Flächeninhalte der Dreiecksflächen approximieren, in die man ein ein- oder umbeschriebenes regelmäßiges Vieleck durch Verbindung seiner Ecken mit dem Mittelpunkt zerlegen kann. Der Flächeninhalt des Kreises ist also der Grenzwert, dem die Summe der Flächeninhalte der genannten Dreiecke zustrebt, wenn man die Seitenlängen immer kleiner bzw. die Anzahl der Ecken immer größer werden läßt. Bezeichnet man mit g die Längen der Grundseiten dieser Dreiecke, mit h ihre Höhen, so wird $F = n \cdot \frac{g \cdot h}{2} = \frac{1}{2} n \cdot g \cdot h$ zu $F = \frac{U \cdot r}{2}$. Da aber $U = 2\pi r$ ist, ergibt sich $F = \frac{2\pi r}{2} \cdot r$.

Flächeninhalt des Kreises $F = \pi r^2$.

Kreissektor. Der Flächeninhalt F eines Sektors (Ausschnitts) eines Kreises mit dem Radius r und die Länge des dazugehörenden Bogens werden durch Vergleich mit dem Vollkreis berechnet (Abb.).

Die Bogenlänge b erhält man durch den zu ihr gehörenden Zentriwinkel. Zu einem Vollwinkel von 360° gehört als Bogen der ganze Kreisumfang $2\pi r$, bei einem Winkel von 1° beträgt der zugehörige Bogen den 360. Teil:

$$b = \frac{2\pi r}{360°} \cdot 1°,$$

bei einem Winkel α ist die *Bogenlänge des Kreissektors*

$$b = \frac{2\pi r}{360°} \cdot \alpha.$$

Insbesondere haben die Winkel von 90°, 180°, 270°, 360° die Bogenmaße

$$\frac{1}{2}\pi r,\ \pi r,\ \frac{3}{2}\pi r,\ 2\pi r.$$

Eine entsprechende Überlegung ergibt:

$$F = \frac{\pi r^2}{360°} \cdot \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi r}{360°} \cdot \alpha r = \frac{1}{2} br$$

Flächeninhalt des Kreissektors $F = \frac{\alpha}{360°} \cdot \pi r^2$.

Aus der Zahl π abgeleitete Werte

$2\pi = 6{,}283$	$\pi : 4 = 0{,}785\,4$	$\pi^2 = 9{,}86960$
$4\pi = 12{,}566$	$\pi : 90 = 0{,}034\,91$	$1 : \pi^2 = 0{,}101\,32$
$\pi : 2 = 1{,}5708$	$\pi : 180 = 0{,}017\,45$	$\pi^2 : 4 = 2{,}46740$
$\pi : 3 = 1{,}0472$	$1 : \pi = 0{,}318\,31$	$\lg \pi = 0{,}4971499$

FLÄCHENBERECHNUNG

(Übersicht)

Fläche	Umfang	Flächeninhalt	Bezeichnungen
Quadrat	$4s$	s^2	s Seitenlänge
Rechteck	$2(g + h)$	$g \cdot h$	g Grundlinie, h Höhe
Dreieck	$a + b + c$	$\frac{g \cdot h}{2}$	g Grundlinie, h Höhe, a, b, c Seitenlängen
Trapez	$a + b + c + d$	$\frac{G + g}{2} \cdot h$	G große Grundlinie, g kleine Grundlinie, a, b, c, d Seitenlängen
Kreis	$2\pi r$	πr^2	r Halbmesser
	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d Durchmesser
Kreisring	—	$\pi(R^2 - r^2)$	R großer Halbmesser, r kleiner Halbmesser
Ellipse	$\approx \pi \cdot \frac{D + d}{2}$	$\frac{\pi}{4} \cdot D \cdot d$	D große Achse, d kleine Achse

V. Winkelfunktionen

DEFINITION IM RECHTWINKLIGEN DREIECK

Allgemeines. Die trigonometrischen (oder Winkel-) Funktionen stellen Beziehungen zwischen Winkeln und Seiten eines Dreiecks her und ermöglichen deren wechselseitige Berechnung, meist mit Hilfe von Logarithmen. Ist das zu untersuchende Dreieck schiefwinklig, so kann man es durch

das Einzeichnen einer Höhe in zwei rechtwinklige zerlegen. In allen rechtwinkligen Dreiecken, die einen spitzen Winkel gemeinsam haben und daher ähnlich sind, sind die Verhältnisse entsprechender Seiten gleich, z. B. $a : c = a_1 : c_1$ (Abb.).
Diese Seiten*verhältnisse* haben für jeden spitzen Winkel einen bestimmten Wert, der unabhängig ist von der Länge der *einzelnen* Seiten.

Sinus, Kosinus, Tangens, Kotangens. Die Seitenverhältnisse ändern ihren Wert nur bei sich verändernden Winkel. Sie sind von seiner Größe abhängig, sind also eine „*Funktion*" des Winkels. Man bezeichnet die verschiedenen Seitenverhältnisse nach der Lage der Dreieckseiten zu dem betreffenden Winkel:

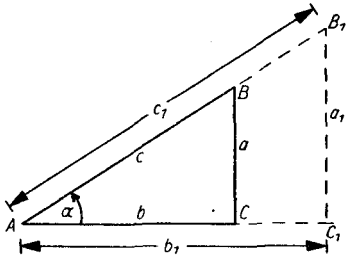
Das Verhältnis $\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$ heißt Sinus des Winkels; $\frac{a}{c} = \sin\alpha$

Das Verhältnis $\frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$ heißt Kosinus des Winkels; $\frac{b}{c} = \cos\alpha$

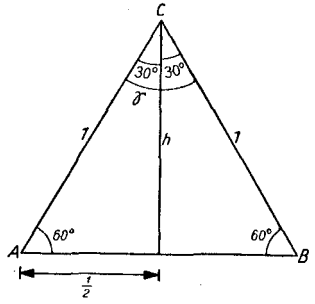
Das Verhältnis $\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$ heißt Tangens des Winkels; $\frac{a}{b} = \tan\alpha$

Das Verhältnis $\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$ heißt Kotangens des Winkels; $\frac{b}{a} = \cot\alpha$

Die Winkelfunktionen sind als Verhältniszahlen *unbenannte Zahlen*, und zwar sind Sinus und Kosinus stets *echte Brüche*, da die Hypotenuse stets größer ist als eine der Katheten. Dagegen schwankt die Größe von tan und cot zwischen 0 und $+\infty$.



Winkelfunktionen am rechtwinkligen Dreieck



Winkelfunktionen am gleichseitigen Dreieck

Sonderfälle. In einigen Sonderfällen des Winkels α lassen sich die Werte der Winkelfunktionen leicht berechnen (Abb.). Fällt man im gleichseitigen Dreieck mit der Seitenlänge 1 von C die Höhe auf die gegenüberliegende Seite, so ist in den beiden dadurch entstandenen kongruenten, rechtwinkligen Dreiecken z. B. die Gegenkathete zu dem Winkel $\frac{\gamma}{2}$ (= 30°) halb so groß wie die Seite des ursprünglichen Dreiecks, also $\frac{1}{2}$; $\sin 30° = \frac{1}{2} : 1 = \frac{1}{2}$. Da die Ankathete des Winkels $\frac{\gamma}{2}$ nach dem Lehrsatz des Pythagoras $h = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$ ist, so ergibt sich $\cos 30° = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$. Im allgemeinen ist jedoch die Berechnung von Werten der Winkelfunktionen nur dadurch möglich, daß man die Winkelfunktionen in unendliche Reihen entwickelt.

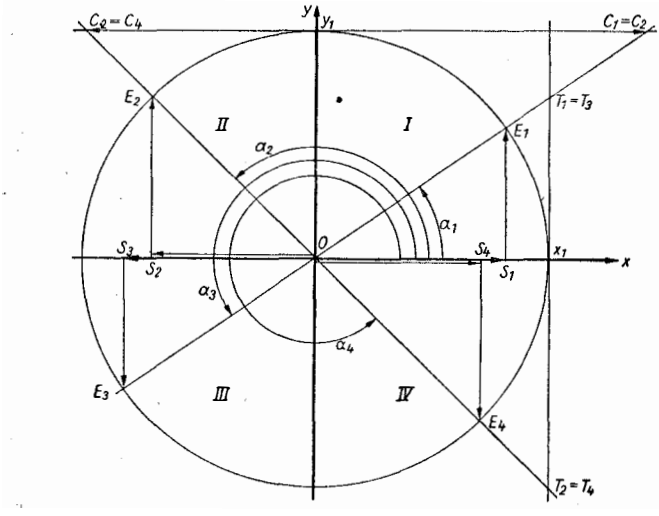
DEFINITION AM EINHEITSKREIS

Erläuterung. Um den Begriff der Winkelfunktionen (sin, cos, tan und cot) auch auf Winkel anwenden zu können, die über 90° hinausgehen und daher nicht im rechtwinkligen Dreieck vorkommen, bedient man sich des *Einheitskreises*, d. h. des Kreises mit dem Radius $r = 1$, der um den Mittelpunkt O eines x-y-Koordinatensystems geschlagen werde (Abb.). Die Länge einer jeden Strecke, die in der Zeichnung über den Rand des Kreises hinausgeht, ist auch größer als 1 und umgekehrt. Aus der Zeichnung ist zu ersehen, daß die Winkel α_1, α_2, α_3, α_4 sämtlich ihren Scheitel im Mittelpunkt O

des Einheitskreises und einen Schenkel gemeinsam haben, der die Nullrichtung bestimmt, die mit der $+x$-Achse zusammenfällt. Der zweite freie Schenkel, der den Einheitskreis in einem Punkt E schneidet, bestimmt die Größe des Winkels α.

Liegt OE_1 im I. Quadranten, so hat α_1 einen Wert zwischen 0° und 90°,
Liegt OE_2 im II. Quadranten, so hat α_2 einen Wert zwischen 90° und 180°,
Liegt OE_3 im III. Quadranten, so hat α_3 einen Wert zwischen 180° und 270°,
Liegt OE_4 im IV. Quadranten, so hat α_4 einen Wert zwischen 270° und 360°.

Sinus. Die Funktion $\sin\alpha$ ist die mit Vorzeichen genommene Länge der Projektion des Radius OE auf die y-Achse oder der mit Vorzeichen genommene Abstand ES des Punktes E von der x-Achse.



Definition der trigonometrischen Funktionen am Einheitskreis

Man entnimmt der Figur: $\sin\alpha_1 = S_1E_1$, $\sin\alpha_2 = S_2E_2$, $\sin\alpha_3 = -S_3E_3$, $\sin\alpha_4 = -S_4E_4$. Die Funktion $\sin\alpha$ ist also für Winkel im ersten und zweiten Quadranten positiv, für Winkel im dritten und vierten Quadranten negativ, da die Projektionen im letzteren Fall auf die negative y-Achse fallen. Unmittelbar aus der Figur ergibt sich z. B.:

$\sin 90° = 1$;

$\sin 0° = \sin 180° = \sin 360° = 0$;

$\sin 270° = -1$.

Kosinus. Die Funktion $\cos\alpha$ ist die mit Vorzeichen genommene Länge der Projektion OS des Radius OE des Winkels α auf die x-Achse oder der mit Vorzeichen genommene Abstand des Punktes E von der y-Achse. Man entnimmt der Figur: $\cos\alpha_1 = OS_1$, $\cos\alpha_2 = -OS_2$, $\cos\alpha_3 = -OS_3$, $\cos\alpha_4 = OS_4$. Die Funktion $\cos\alpha$ ist also für Winkel im ersten und vierten Quadranten positiv, für Winkel im zweiten und dritten Quadranten negativ, da die Projektionen im letzteren Fall auf die negative x-Achse fallen. Unmittelbar aus der Figur ergibt sich z. B.:

$$\cos 0° = \cos 360° = 1; \quad \cos 90° = \cos 270° = 0; \quad \cos 180° = -1.$$

Tangens. Um die Funktion $\tan\alpha$ für beliebige Winkel α definieren zu können, denken wir uns die y-Achse parallel bis zum Schnittpunkt X_1 des Einheitskreises mit der positiven x-Achse verschoben. Die Verlängerungen der Radien OE schneiden diese Tangente in den Punkten T_1 bzw. T_2. Die Funktion $\tan\alpha$ ist der mit Vorzeichen genommene Abstand des Punktes T_1 bzw. T_2 von der x-Achse. Man entnimmt der Figur: $\tan\alpha_1 = X_1T_1$, $\tan\alpha_2 = -X_1T_2$, $\tan\alpha_3 = X_1T_1$, $\tan\alpha_4 = -X_1T_2$. Die Funktion $\tan\alpha$ ist also für Winkel im ersten und dritten Quadranten positiv, für Winkel im zweiten und vierten Quadranten negativ. Ferner ist $\tan\alpha_1 = \tan\alpha_3$; $\tan\alpha_2 = \tan\alpha_4$. Unmittelbar aus der Figur ergibt sich:

$$\tan 0° = \tan 180° = \tan 360° = 0; \quad \tan 45° = \tan 225° = 1; \quad \tan 135° = \tan 315° = -1,$$

während für $\alpha = 90°$ oder $\alpha = 270°$ die Funktion $\tan\alpha$ nicht definiert ist (Radius und Tangente verlaufen hier parallel, schneiden sich also im Endlichen nicht).

Kotangens. Um die Funktion $\cot\alpha$ für beliebige Winkel α definieren zu können, denken wir uns die x-Achse parallel bis zum Schnittpunkt Y_1 des Einheitskreises mit der positiven y-Achse verschoben. Die Verlängerungen der Radien OE schneiden diese Tangente in den Punkten C_1 bzw. C_2. Die Funktion $\cot\alpha$ ist der mit Vorzeichen genommene Abstand der Punkte C_1 bzw. C_2 von der y-Achse. Man entnimmt der Figur: $\cot\alpha_1 = Y_1C_1$, $\cot\alpha_2 = -Y_1C_2$, $\cot\alpha_3 = Y_1C_1$, $\cot\alpha_4 = -Y_1C_2$. Die Funktion $\cot\alpha$ ist also für Winkel im ersten und dritten Quadranten positiv, für Winkel im zweiten und vierten Quadranten negativ. Ferner ist $\cot\alpha_1 = \cot\alpha_3$; $\cot\alpha_2 = \cot\alpha_4$. Unmittelbar aus der Figur ergibt sich:

$$\cot 90° = \cot 270° = 0; \quad \cot 45° = \cot 225° = 1; \quad \cot 135° = \cot 315° = 1,$$

während für $\alpha = 0°, 180°, 360°$ die Funktion $\cot\alpha$ nicht definiert ist (Radius und Tangente verlaufen hier parallel, schneiden sich also im Endlichen nicht).
Für Winkel α im I. Quadranten stimmen diese Festsetzungen mit den Definitionen im rechtwinkligen Dreieck überein.

Im Dreieck OS_1E_1 gilt $\sin\alpha_1 = \frac{S_1E_1}{OE_1} = S_1E_1$, weil $OE_1 = 1$;

$$\cos\alpha_1 = \frac{OS_1}{OE_1} = OS_1, \text{ weil } OE_1 = 1;$$

im Dreieck OX_1T_1 gilt $\tan\alpha_1 = \frac{X_1T_1}{OX_1} = X_1T_1$, weil $OX_1 = 1$;

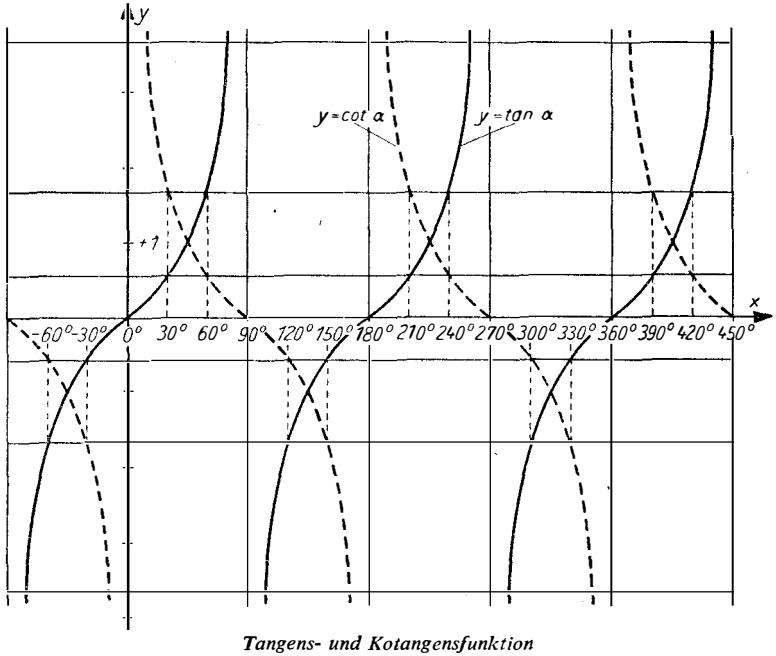
im Dreieck OC_1Y_1 gilt $\cot\alpha_1 = \frac{Y_1C_1}{OY_1} = Y_1C_1$, weil $OY_1 = 1$.

Vorzeichentabelle

Quadrant	I	II	III	IV
$\sin\alpha$	+	+	−	−
$\cos\alpha$	+	−	−	+
$\tan\alpha$	+	−	+	−
$\cot\alpha$	+	−	+	−

Verlauf der Winkelfunktionen. Man erkennt am Einheitskreis, daß die Funktionen $\sin\alpha$ und $\cos\alpha$ nach Vergrößerung des Winkels α um 360° oder ganzzahlige Vielfache davon dieselben Werte wie für α annehmen; z. B. ist

$$\sin(\alpha_1 + 360°) = \sin\alpha_1, \qquad \cos(\alpha_2 + 360°) = \cos\alpha_2.$$

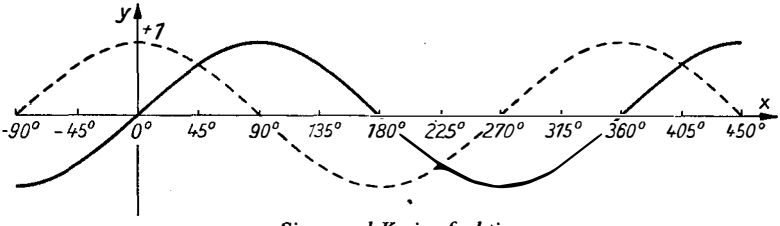


Tangens- und Kotangensfunktion

Die Funktionen $\tan\alpha$ und $\cot\alpha$ nehmen dagegen schon nach einer Vergrößerung von α um 180° (oder ganzzahlige Vielfache davon) dieselben Werte wie für α wieder an, z. B.

$$\tan\alpha_3 = \tan(\alpha_1 + 180°) = \tan\alpha_1, \qquad \cot\alpha_4 = \cot(\alpha_2 + 180°) = \cot\alpha_2.$$

Solche Funktionen heißen *periodisch*, und der Wert 360° (oder 2π im Bogenmaß) heißt die *Periode* der Funktionen $\sin\alpha$ oder $\cos\alpha$; die Funktionen $\tan\alpha$ und $\cot\alpha$ haben dagegen die Periode 180° (oder π im Bogenmaß).



Sinus- und Kosinusfunktion

An dem Verlauf der trigonometrischen Funktionen erkennt man ihre *Periodizität* deutlich (Abb.). Diese Kurven sind auf folgende Weise entstanden: Auf einer Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems wurden die Winkel α aufgetragen, auf der dazu senkrechten Achse dagegen die Werte der Winkelfunktionen, so wie man sie etwa am Einheitskreis mit dem Steckzirkel abgreift. Als Einheit auf der x-Achse gilt der Winkel, dessen Bogenmaß 1 ist. Er hat, in Gradmaß gemessen, auf Sekunden abgerundet die Größe 57° 17′ 45″. Man sieht, daß $\sin\alpha$ und $\cos\alpha$ Werte zwischen -1 und $+1$ haben, während $\tan\alpha$ und $\cot\alpha$ über jeden endlichen Wert wachsen und also jeden Wert zwischen $+\infty$ und $-\infty$ annehmen können.

Trigonometrische Tafel

Gr.	sin	cos	tan	cot	
0	0,000	1,000	0,000	∞	90
1	0,017	1,000	0,017	57,29	89
2	0,035	0,999	0,035	28,64	88
3	0,052	0,999	0,052	19,08	87
4	0,070	0,998	0,070	14,30	86
5	0,087	0,996	0,087	11,43	85
6	0,105	0,995	0,105	9,514	84
7	0,122	0,993	0,123	8,144	83
8	0,139	0,990	0,141	7,115	82
9	0,156	0,988	0,158	6,314	81
10	0,174	0,985	0,176	5,671	80
11	0,191	0,982	0,194	5,145	79
12	0,208	0,978	0,213	4,705	78
13	0,225	0,974	0,231	4,331	77
14	0,242	0,970	0,249	4,011	76
15	0,259	0,966	0,268	3,732	75
16	0,276	0,961	0,287	3,487	74
17	0,292	0,956	0,306	3,271	73
18	0,309	0,951	0,325	3,078	72
19	0,326	0,946	0,344	2,904	71
20	0,342	0,940	0,364	2,747	70
21	0,358	0,934	0,384	2,605	69
22	0,375	0,927	0,404	2,475	68
	cos	sin	cot	tan	Gr.

Gr.	sin	cos	tan	cot	
23	0,391	0,921	0,424	2,356	67
24	0,407	0,914	0,445	2,246	66
25	0,423	0,906	0,466	2,145	65
26	0,438	0,899	0,488	2,050	64
27	0,454	0,891	0,510	1,963	63
28	0,469	0,883	0,532	1,881	62
29	0,485	0,875	0,554	1,804	61
30	0,500	0,866	0,577	1,732	60
31	0,515	0,857	0,601	1,664	59
32	0,530	0,848	0,625	1,600	58
33	0,545	0,839	0,649	1,540	57
34	0,559	0,829	0,675	1,483	56
35	0,574	0,819	0,700	1,428	55
36	0,588	0,809	0,727	1,376	54
37	0,602	0,799	0,754	1,327	53
38	0,616	0,788	0,781	1,280	52
39	0,629	0,777	0,810	1,235	51
40	0,643	0,766	0,839	1,192	50
41	0,656	0,755	0,869	1,150	49
42	0,669	0,743	0,900	1,111	48
43	0,682	0,731	0,933	1,072	47
44	0,695	0,719	0,966	1,036	46
45	0,707	0,707	1,000	1,000	45
	cos	sin	cot	tan	Gr.

Anwendung. Sinus (sin), Kosinus (cos), Tangens (tan), Kotangens (cot) von 0 bis 45° lies von oben nach unten, Gradzahlen (Gr.) stehen links; sin, cos, tan, cot von 45 bis 90° lies von unten nach oben, Gradzahlen stehen rechts.
Die Tabelle enthält nur die Werte für die Winkel zwischen 0° und 90°. Das reicht aus, da diese Zahlenwerte — wie die Definition der trigonometrischen Funktionen am Einheitskreis lehrt — auch bei den Winkeln zwischen 90° und 360° wieder auftreten, und zwar mit positivem bzw. negativem Vorzeichen, je nachdem, in welchem Quadranten der Winkel liegt. Das richtige Vorzeichen ist jeweils der Vorzeichentabelle zu entnehmen.

Beispiele: $\sin 70° = \sin 110° = 0{,}940$;
$\sin 250° = \sin 290° = -\sin 70° = -0{,}940$;
$\cos 70° = \cos 290° = 0{,}342$;
$\cos 110° = \cos 250° = -\cos 70° = -0{,}342$;
$\tan 70° = \tan 250° = 2{,}747$;
$\tan 110° = \tan 290° = -\tan 70° = -2{,}747$;
$\cot 70° = \cot 250° = 0{,}364$;
$\cot 110° = \cot 290° = -\cot 70° = -0{,}364$.

Goniometrische Beziehungen. Am Einheitskreis lassen sich, zum Teil unmittelbar, die folgenden wichtigen Beziehungen vorzeichenrichtig für alle Quadranten ableiten:

1. $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$ 2. $\dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \cot\alpha$ 3. $\tan\alpha \cdot \cot\alpha = 1$

4. $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$ (Satz des Pythagoras der Trigonometrie)

Additionstheoreme:

5. $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$
6. $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$
7. $\tan(\alpha \pm \beta) = \dfrac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\alpha\tan\beta}$
8. $\cot(\alpha \pm \beta) = \dfrac{\cot\alpha\cot\beta \mp 1}{\cot\beta \pm \cot\alpha}$

Bei doppelten Vorzeichen $\pm$ zählen auf beiden Seiten jeweils entweder nur die oberen oder nur die unteren Vorzeichen.

BEZIEHUNGEN IM SCHIEFWINKLIGEN DREIECK

Sinus-, Kosinus-, Tangens-, Halbwinkelsatz. Folgende Sätze vermitteln Beziehungen zwischen Seiten und Winkeln im Dreieck:

Sinussatz: In jedem Dreieck verhalten sich die Längen der Seiten (a, b, c) wie die Sinuswerte ihrer Gegenwinkel (α, β, γ):
$a : b : c = \sin\alpha : \sin\beta : \sin\gamma$
oder $a : b = \sin\alpha : \sin\beta$; $a : c = \sin\alpha : \sin\gamma$; $b : c = \sin\beta : \sin\gamma$.

Kosinussatz: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos\alpha$; $b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos\beta$;
$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos\gamma$.

Tangenssatz: $\dfrac{a+b}{a-b} = \dfrac{\tan\frac{1}{2}(\alpha+\beta)}{\tan\frac{1}{2}(\alpha-\beta)}$, $\dfrac{b+c}{b-c} = \dfrac{\tan\frac{1}{2}(\beta+\gamma)}{\tan\frac{1}{2}(\beta-\gamma)}$, $\dfrac{c+a}{c-a} = \dfrac{\tan\frac{1}{2}(\gamma+\alpha)}{\tan\frac{1}{2}(\gamma-\alpha)}$.

Halbwinkelsatz: $\tan\dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}}$, $\tan\dfrac{\beta}{2} = \sqrt{\dfrac{(s-c)(s-a)}{s(s-b)}}$, $\tan\dfrac{\gamma}{2} = \sqrt{\dfrac{(s-a)(s-b)}{s(s-c)}}$,
wobei $2s = a + b + c$.

Flächeninhalt. Für den Flächeninhalt des Dreiecks stehen folgende Formeln zur Verfügung:

$$F = \frac{a \cdot h_a}{2} = \frac{b \cdot h_b}{2} = \frac{c \cdot h_c}{2},$$

$$F = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)},\ 2s = a + b + c \text{ (Heronische Formel)},$$

$$F = \frac{1}{2} bc \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2} ca \cdot \sin\beta = \frac{1}{2} ab \cdot \sin\gamma,$$

$$F = \frac{c^2}{2} \cdot \frac{\sin\alpha \sin\beta}{\sin\gamma} = \frac{a^2}{2} \cdot \frac{\sin\beta \sin\gamma}{\sin\alpha} = \frac{b^2}{2} \cdot \frac{\sin\gamma \sin\alpha}{\sin\beta},$$

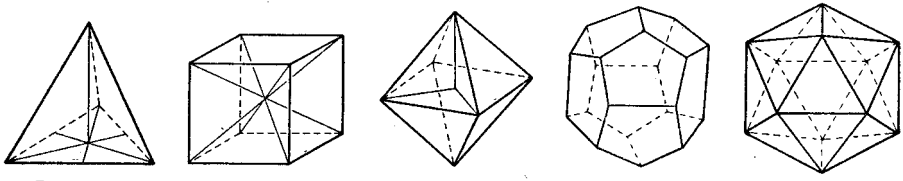
$F = 2r^2 \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma$, wobei r der Radius des Umkreises ist.

VI. Geometrische Körper

Ein allseitig von ebenen oder gekrümmten Flächenstücken begrenzter Teil des (dreidimensionalen) Raumes heißt ein *Körper*; ihm kommen Länge, Breite und Höhe zu. Der Flächeninhalt seiner Oberfläche (kurz seine Oberfläche genannt) ist gleich der Summe der Flächeninhalte der Begrenzungsflächen. Körper, die nur von ebenen Flächen begrenzt werden, heißen *Vielflächner* oder *Polyeder*; zu ihnen gehören als Spezialfälle die *regelmäßigen* (auch „platonisch" genannten) Körper (Kristalle).

DIE FÜNF REGELMÄSSIGEN KÖRPER

Regelmäßige Körper (Polyeder) heißen diejenigen Polyeder, die von kongruenten regelmäßigen Vielecken (Polygonen) begrenzt werden.
Es gibt nur fünf regelmäßige Körper (Abb.).



Die fünf regelmäßigen Körper

1. *Tetraeder*
   (*Vierflach*), *begrenzt von vier gleichseitigen Dreiecken*
2. *Würfel*
   (*Hexaeder = Sechsflach*), *begrenzt von sechs Quadraten*
3. *Oktaeder*
   (*Achtflach*), *begrenzt von acht gleichseitigen Dreiecken*
4. *Dodekaeder* (*Pentagondodekaeder*)
   (*Zwölfflach*), *begrenzt von 12 regelmäßigen Fünfecken*
5. *Ikosaeder*
   (*Zwanzigflach*), *begrenzt von 20 gleichseitigen Dreiecken*

Die Anzahl der regelmäßigen Körper („platonische" Körper) ist beschränkt, weil ihre begrenzenden Flächen besondere Bedingungen erfüllen müssen. Diese besagen: An jeder Ecke des Körpers müssen entweder drei, vier oder fünf regelmäßige Dreiecke, drei regelmäßige Vierecke oder drei regelmäßige Fünfecke zusammenstoßen. Ferner muß die Summe der Polygonwinkel (Winkel zwischen zwei Kanten) an jeder Körperecke kleiner als 2π (360°) sein.

WEITERE WICHTIGE KÖRPER

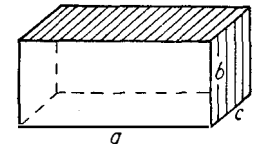
Würfel. Der *Würfel* wird von 6 ebenen, gleich großen Quadraten begrenzt. Er ist ein Sonderfall des Quaders.

Oberfläche $O = 6a^2$ *Volumen* $V = a^3$

Quader. Der *Quader* wird von sechs paarweise kongruenten Rechtecken begrenzt. Er ist ein Sonderfall des Prismas (Abb.).

Oberfläche $O = 2(ab + ac + bc)$ *Volumen* $V = a \cdot b \cdot c$

Prisma. Das *Prisma* wird von zwei parallelen kongruenten Vielecken, den *Grund-* oder *Endflächen*, und mehreren Parallelogrammen, den *Seitenflächen*, begrenzt, deren Anzahl der Anzahl der Seiten der Endflächen entspricht. Stehen die Seitenflächen senkrecht auf den Endflächen, so heißt das Prisma *gerade* (oder rechtwinklig), sonst heißt es *schief*. Die Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der beiden Grundflächen nennt man *Achse*, den Abstand der beiden Grundflächen *Höhe* des Prismas. Beim geraden Prisma steht die Achse senkrecht auf den Grundflächen; ihre Länge ist gleich der Höhe des Prismas (Abb.).
Haben die beiden Grundflächen die Form von Parallelogrammen, so heißt diese Sonderform des Prismas *Parallelflach* (Parallelepipedon); sind alle Begrenzungsflächen Rechtecke (insbesondere Quadrate), so spricht man von einem Quader (Würfel).



Quader

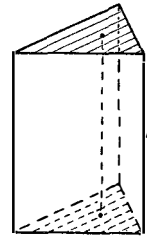
Oberfläche = Summe der Einzelflächen

Volumen = Grundfläche · Höhe $(V = G \cdot h)$.

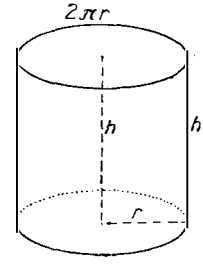
Zylinder. Der *Zylinder* ist ein Körper, der von zwei kongruenten, krummlinig begrenzten ebenen Flächen als Grundflächen und einer *Mantelfläche* begrenzt wird. Die Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten (Schwerpunkten) der beiden Grundflächen nennt man seine *Achse*, den Abstand der beiden Grundflächen seine *Höhe*. Sind die Grundflächen Kreisflächen, so nennt man den Zylinder bei zu den Grundflächen senkrechter Achse einen *geraden Kreis-* (*Dreh-*) *Zylinder* oder eine *Walze* (Abb.). Um den Flächeninhalt des *Mantels* zu berechnen, denkt man ihn abgerollt als Rechteck, dessen Seiten gleich dem Kreisumfang und der Höhe des Zylinders sind. Also sind beim geraden Kreiszylinder:

Oberfläche $O = 2\pi r^2 + 2\pi r \cdot h = 2\pi r \cdot (r + h)$

Volumen $V = \pi r^2 \cdot h$.

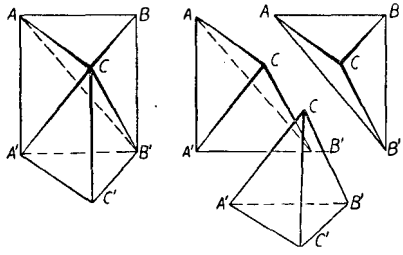


Dreiseitiges gerades Prisma

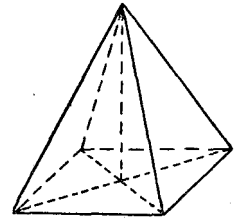


Gerader Kreiszylinder

Pyramide. Die *Pyramide* wird begrenzt von einem beliebigen Vieleck als *Grundfläche* und mehreren Dreiecken als *Seitenflächen*, die in einer gemeinsamen *Spitze* endigen und deren Anzahl gleich der Seitenanzahl der Grundfläche ist. Die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt (Schwerpunkt) der Grundfläche und der Spitze nennt man *Achse*. Steht die Achse senkrecht auf der Grundfläche, so heißt die Pyramide *gerade*, sonst heißt sie *schief*. Der Abstand der Spitze von der Grundfläche heißt *Höhe*. Bei der geraden Pyramide fällt die Höhenlinie, längs deren die Höhe gemessen wird, mit der Achse zusammen; bei schiefen Pyramiden aber kann sie auch außerhalb der Pyramide liegen. (Entsprechendes gilt für Prisma, Zylinder, Kegel.) Da man das (gerade) dreiseitige Prisma durch Diagonalflächen in drei inhaltsgleiche Pyramiden zerlegen kann (Abb.), kommt man für den Rauminhalt der Pyramide zu der allgemeinen Formel (Abb.) $V = \frac{1}{3} G \cdot h$, d. h., der Rauminhalt einer Pyramide ist immer $\frac{1}{3}$ des Rauminhalts des Prismas von gleicher Grundfläche und Höhe.



Zerlegung eines dreiseitigen Prismas in drei Pyramiden gleichen Rauminhalts


Gerade Pyramide mit quadratischer Grundfläche

Oberfläche = Summe der Einzelflächen

Volumen = $\frac{1}{3}$ Grundfläche · Höhe

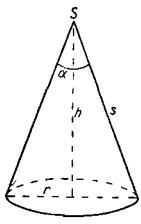
Beispiel: Die Kante eines Tetraeders habe die Länge a. Dann ist die Flächenhöhe h Höhe im gleichseitigen Dreieck, und es ist $h = \frac{a}{2}\sqrt{3}$. Für den Inhalt der *Oberfläche* O erhält man

also $O = 4 \cdot \frac{a^2}{4} \sqrt{3} = a^2 \sqrt{3}$. Die Raumhöhe H ergibt sich als Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Hypotenuse a und dessen andere Kathete $\frac{2}{3} h$ sind:

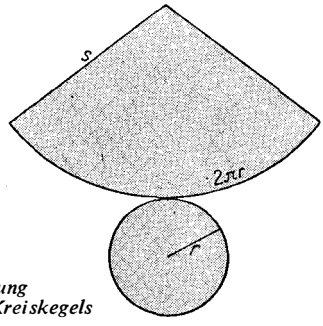
$$H = \sqrt{a^2 - \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{a}{2} \sqrt{3}\right)^2} = \frac{a}{3} \sqrt{6}.$$

Danach ist der *Rauminhalt* V des Tetraeders: $V = \frac{1}{3} \cdot \frac{a^2}{4} \sqrt{3} \cdot \frac{a}{3} \sqrt{6} = \frac{a^3}{12} \sqrt{2}$.

Kegel. Ein *Kegel* ist ein Körper, der von einem krummlinig begrenzten ebenen Flächenstück als Grundfläche und einer Mantelfläche begrenzt wird. Er entsteht, wenn sich eine durch einen festen Punkt S gehende gerade Linie (die *Erzeugende*) längs einer gekrümmten Linie (der *Leitlinie*) bewegt. Die Verbindungslinie der Spitze S mit dem Mittelpunkt (Schwerpunkt) der Grundfläche heißt *Achse*; jede geradlinige Verbindung von S mit einem Punkt der Begrenzung der Grundfläche heißt *Seiten-* oder *Mantellinie* (s). Ist die Grundfläche eine Kreisfläche, so spricht man von einem geraden oder schiefen Kreiskegel, je nachdem, ob die Achse zur Grundfläche senkrecht ist oder nicht. Der gerade Kreiskegel kann auch durch Drehung eines rechtwinkligen Dreiecks um eine Kathete erzeugt werden. Der Winkel, den die Seitenlinien in einem durch die Achse gelegten Längsschnitt miteinander bilden, heißt *Öffnungswinkel* (α) des Kegels. Je nach seiner Größe unterscheidet man *spitzwinklige*, *rechtwinklige* und *stumpfwinklige* Kegel.



Gerader Kreiskegel



Abwicklung eines geraden Kreiskegels

Die Seitenlänge s des *Kegelmantels* (M) eines geraden Kreiskegels läßt sich als Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks berechnen, das sie mit dem Radius der Grundfläche und der Höhe des Kegels bildet (Abb.):

$$s = \sqrt{r^2 + h^2}.$$

Die Fläche des Mantels M ergibt nach dem Abrollen einen Kreissektor, ihr Inhalt wird also nach der Formel $F = \frac{1}{2} b\varrho$ berechnet. Hierbei ist $b = 2\pi r$ und $\varrho = s$; es ergibt sich also $M = \pi r s$. Die *Oberfläche des Kegels* setzt sich aus Grundfläche und Mantel zusammen (Abb.). Sein *Rauminhalt* verhält sich zu dem des Zylinders von gleicher Grundfläche und Höhe wie der Rauminhalt der Pyramide zu dem des entsprechenden Prismas.

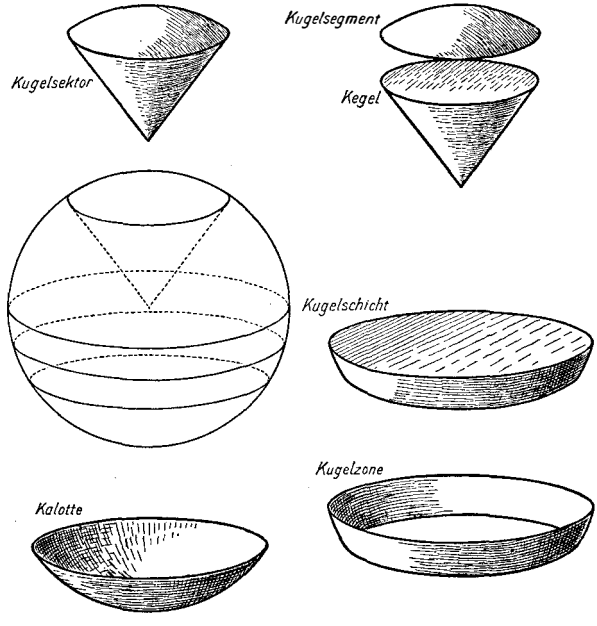
Oberfläche

$$O = \pi r^2 + \pi r s = \pi r \cdot (r + s);$$

Volumen

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 \cdot h.$$

Kugel. Die *Kugel* ist ein Körper, der dadurch charakterisiert ist, daß alle Punkte seiner Oberfläche vom Mittelpunkt gleich weit entfernt sind. Diese



Bezeichnung der Kugelteile

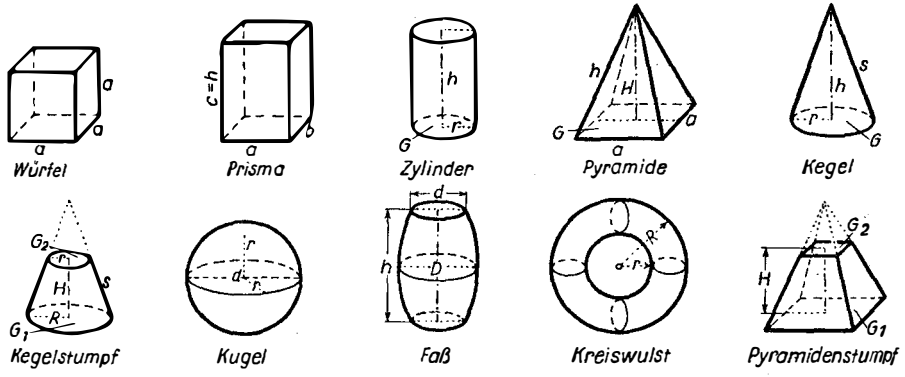
Entfernung ist der Radius (oder Halbmesser) der Kugel, die doppelte Entfernung ihr Durchmesser. Jeder durch eine Kugel gelegte ebene Schnitt schneidet die Kugeloberfläche in einem Kreis; alle durch den Mittelpunkt gelegten Schnittebenen ergeben *größte Kreise*, auch Groß- oder Hauptkreise genannt. Alle übrigen Schnittkreise heißen *Kleinkreise*, da ihre Radien kleiner als der Kugelradius sind. Das durch eine Ebene abgeschnittene und abgegrenzte Kugelstück heißt Kugelabschnitt oder *Kugelsegment*; den dazu gehörenden Teil der Kugeloberfläche nennt man *Kalotte* (Kugelkappe, -haube, seltener -schale). Ein Kugelausschnitt oder *Kugelsektor* entsteht, wenn der Kugelradius den Umfang eines Schnittkreises umfährt. Er setzt sich zusammen aus einem Kugelsegment und einem Kegel, dessen Spitze im Mittelpunkt der Kugel liegt. Zwischen zwei parallelen Schnittebenen liegt die *Kugelschicht*, ihre Oberfläche auf der Kugel heißt *Kugelzone* (Abb.).

Inhalt O der Kugeloberfläche und *Rauminhalt V* der Kugel sind:

$$O = 4\pi r^2 \qquad V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Verbindet man zwei bzw. drei Punkte der Kugeloberfläche durch größte Kreise, so entsteht ein *Kugelzweieck* bzw. ein *Kugeldreieck*. Diese Gebilde sind in der *sphärischen Trigonometrie*, der Lehre von der Anwendung der Winkelfunktionen auf Berechnungen auf der Kugeloberfläche, von Bedeutung; man denke etwa an die Himmelskunde oder an die mathematische Geographie (See- und Luftfahrt.) Die *kürzeste* Verbindung zwischen zwei Punkten der Kugeloberfläche ist der kleinere Bogen des Großkreises durch die beiden Punkte; er entspricht der *Strecke* in der Ebene.

Körperberechnung



Die einfachsten Körper

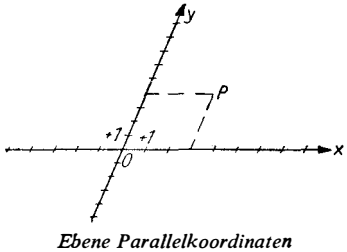
Körper	Oberfläche	Rauminhalt	Bezeichnungen
Würfel	$6a^2$	a^3	a Würfelkante
rechteckiges (gerades) Prisma	$2(ab + ac + bc)$ $= 2a(b + c) + 2bc$	$a \cdot b \cdot c$	a, b, c Kanten (statt c oft auch h, da c hier die Höhe des Körpers)
(gerader Kreis-) Zylinder	$2\pi rh + 2\pi r^2$ $= 2\pi r(h + r)$	$\pi r^2 h$	r Radius; h Höhe
(regelmäßige gerade) Pyramide (in der Zeichnung vierseitig)	$G + \frac{ah}{2} \cdot n$	$\frac{G \cdot H}{3}$	G Grundfläche; a Grundkante; h Höhe der Seitenflächen; n Anzahl der (kongruenten) Seitendreiecke; H Höhe der Pyramide

Körper	Oberfläche	Rauminhalt	Bezeichnungen
(gerader Kreis-) Kegel	$\pi r^2 + \pi rs = \pi r(r+s)$	$\frac{Gh}{3}\left[=\frac{\pi r^2 h}{3}\right]$	r Radius des Grundkreises; s Seitenlänge (des Mantels); G Grundfläche; h Höhe des Kegels
(gerader) Pyramidenstumpf (in der Zeichnung vierseitig)	$G_1 + G_2 +$ Seitenflächen	$\frac{H}{3}(G_1 + \sqrt{G_1 \cdot G_2} + G_2)$	G_1 große Grundfläche; G_2 kleine Grund- (Deck-) Fläche; H Höhe des Pyramidenstumpfes
(gerader Kreis-) Kegelstumpf	$G_1 + G_2 + \pi(R+r)s$ $= \pi[R^2 + s(R+r) + r^2]$	$\frac{\pi H}{3}(R^2 + Rr + r^2)$	G_1 große Grundfläche mit Radius R; G_2 kleine Grundfläche mit Radius r; s Seitenlinie des Mantels; H Höhe des Kegelstumpfes
Kugel	$4\pi r^2$	$\frac{4}{3}\pi r^3$	r Radius
Kreiswulst (zylindrischer Ring)	$\pi^2(R^2 - r^2)$	$\frac{\pi^2}{4}(R+r)(R-r)^2$	R äußerer Radius; r innerer Radius
Faß	—	$\frac{\pi h}{12}(2D^2 + d^2)$ (Näherungswert)	h Höhe des Fasses; d Durchmesser der Endfläche(n); D Durchmesser in der Faßmitte

VII. Koordinatensysteme

Koordinatensysteme sind Anordnungen, die es gestatten, die Lage von Punkten gegenüber einer Grundfigur durch Angabe von je zwei oder mehreren in ihrer Reihenfolge festgelegten Zahlen, den *Koordinaten*, zu kennzeichnen. Sie ermöglichen es, die Lage geometrischer Gebilde in der Ebene und im Raum zu bestimmen; sie dienen ferner der zeichnerischen Veranschaulichung von durch algebraische Gleichungen ausgedrückten Sachverhalten.

Neben anderen Koordinatensystemen sind vor allem Parallel- und Polarkoordinatensysteme gebräuchlich; letztere werden im Raum als sphärische oder Kugelkoordinaten bezeichnet.



Ebene Parallelkoordinaten

EBENE KOORDINATENSYSTEME

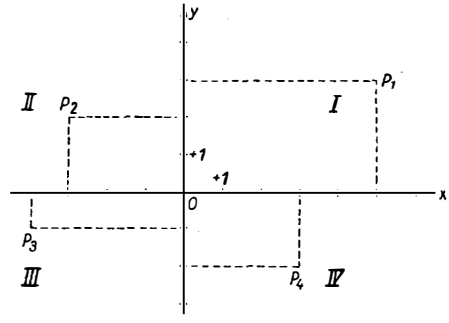
Wählt man als Grundfigur zwei einander in ihren Nullpunkten schneidende Zahlengeraden, so erhält man ein ebenes *Parallelkoordinatensystem*. Man nennt die beiden Geraden die *Koordinatenachsen*, ihren Schnittpunkt den *Nullpunkt* oder *Ursprung* des Systems. Eine der beiden Geraden wird gewöhnlich als x- oder *Abszissenachse*, die andere als y- oder *Ordinatenachse* bezeichnet.

Parallelkoordinaten. Die *Parallelkoordinaten* eines Punktes P der Ebene sind die beiden Zahlen, die den Schnittpunkten der beiden achsenparallelen Geraden durch P mit den Achsen entsprechen; zu ihrer Bestimmung hat man also nur P durch die beiden Parallelen auf die Achsen zu projizieren und dort die Koordinaten abzulesen.

Die Koordinaten des Punktes P in der Abbildung sind $x = 3$, $y = 4$; dafür schreibt man $P(3; 4)$.

Kartesische Koordinaten. In den meisten Untersuchungen werden *rechtwinklige* Parallelkoordinaten angewandt. Sie werden nach *Descartes* (1596 bis 1650), der sie in der von ihm in wesentlichen Teilen

begründeten analytischen Geometrie gebrauchte, auch *kartesische* Koordinaten genannt. Zugrunde liegen zwei aufeinander senkrecht stehende Achsen, von denen die eine *horizontal* (waagerecht) verläuft (Abb.). Diese heißt *Abszissen-* oder *x-Achse*, die *vertikale* (senkrechte) heißt *Ordinaten-* oder *y-Achse*. Diese beiden Koordinatenachsen teilen die Ebene in 4 gleiche Felder, *Quadranten* genannt. Der vom Nullpunkt aus nach rechts gehende Teil der Abszissenachse und der nach oben gerichtete Teil der Ordinatenachse heißen *positiv*, die jeweils entgegengesetzt gerichteten Teile *negativ*. Jeder Punkt der Ebene wird durch seine mit Vorzeichen genommenen Abstände von den beiden Achsen gekennzeichnet, also durch zwei Zahlenwerte, die man auf den Achsen ablesen kann. Diese Zahlen heißen die *Koordinaten* des Punktes. Umgekehrt entspricht jedem Zahlenpaar ein Punkt der Ebene. Im übertragenen Sinne wird das rechtwinklige ebene Koordinatensystem auch in der Gaußschen Zahlenebene verwandt (vgl. diese).

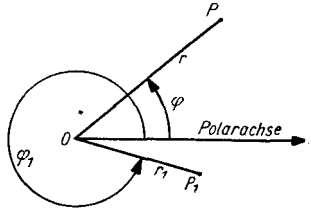


Kartesische Koordinaten

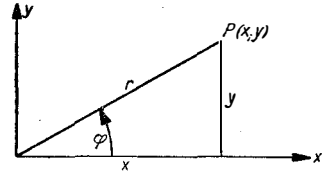
In der Figur sind folgende Punkte eingezeichnet:

im I. Quadranten $P_1(+5;+3)$ durch $x_1 = +5,\ y_1 = +3$
im II. Quadranten $P_2(-3;+2)$ durch $x_2 = -3,\ y_2 = +2$
im III. Quadranten $P_3(-4;-1)$ durch $x_3 = -4,\ y_3 = -1$
im IV. Quadranten $P_4(+3;-2)$ durch $x_4 = +3,\ y_4 = -2$

Polarkoordinaten. *Ebenen Polarkoordinaten* liegen ein fester Punkt *O*, der *Nullpunkt* oder *Pol*, und eine feste Achse, die *Polachse*, zugrunde. Zur Bestimmung der Polarkoordinaten eines Punktes *P* der Ebene verbinde man *P* geradlinig mit dem Pol. Diese geradlinige Verbindung wird *Leitstrahl* oder *Radiusvektor* von *P* genannt. Dann ist die Lage von *P* eindeutig bestimmt durch die Länge *r* des Leitstrahls und den Winkel φ, *Polarwinkel* oder *Azimut* genannt, den der Leitstrahl mit der Polarachse bildet. φ und *r* sind die Polarkoordinaten des Punktes *P*, φ_1 und r_1 die Polarkoordinaten des Punktes P_1 (Abb.). Zu verschiedenen Punkten gehören also verschiedene Paare *r*, φ von Polarkoordinaten. Umgekehrt gehört zu jedem Paar von Zahlen *r*, φ genau ein Punkt der Ebene. Punkte, deren Polarwinkel sich um 360° oder ganzzahlige Vielfache davon unterscheiden, werden als identisch angesehen.



Polarkoordinaten



Beziehungen zwischen Polarkoordinaten und kartesischen Koordinaten

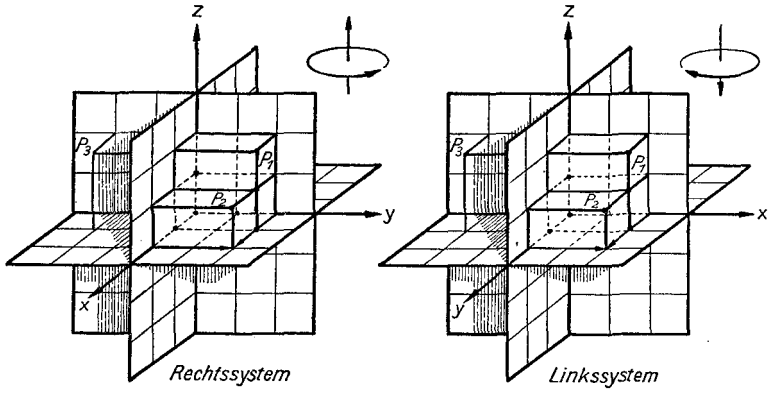
Mit Hilfe der Winkelfunktionen kann man von den Polarkoordinaten zu kartesischen Koordinaten übergehen und umgekehrt; es bestehen, wie die Abbildung zeigt, folgende Beziehungen:

$$x = r\cos\varphi$$
$$y = r\sin\varphi$$

PARALLELKOORDINATENSYSTEME IM RAUME

Parallelkoordinatensysteme des Raumes besitzen drei nicht in einer Ebene liegende *Achsen*, die sich im *Nullpunkt* schneiden, die *x*-, die *y*- und die *z*-Achse. Bei rechtwinkligen Parallelkoordinaten stehen sie paarweise senkrecht aufeinander. Legt man durch je zwei Achsen eine Ebene, so erhält man drei sich schneidende Ebenen, *Koordinatenebenen* genannt. Die Projektionen jedes Raumpunktes auf jede dieser drei Ebenen ergeben seine drei *Raumkoordinaten*, durch die seine Lage im Raum eindeutig bestimmt ist (Abb.).

Denkt man sich eine technische Rechtsschraube so gedreht, daß die $+x$-Achse auf dem kürzesten Wege in die $+y$-Achse übergeht, und rückt man dabei die Schraube in Richtung der $+z$-Achse vor, so spricht man von einem *Rechtssystem*; rückt dagegen die Schraube in Richtung der $-z$-Achse vor, so spricht man von einem *Linkssystem*. In der Mathematik verwendet man i. allg. ein Rechtssystem (in der Geodäsie dagegen ein Linkssystem).



Rechtwinklige Parallelkoordinaten im Raum

In den beiden Abbildungen sind drei Punkte jeweils in gleicher Lage dargestellt, im Rechtssystem:

$P_1(+1;+2;+2)$ durch $x_1 = +1,\ y_1 = +2,\ z_1 = +2,$
$P_2(+2;+2;+1)$ durch $x_2 = +2,\ y_2 = +2,\ z_2 = +1,$
$P_3(+1;-2;+2)$ durch $x_3 = +1,\ y_3 = -2,\ z_3 = +2;$

im Linkssystem:

$P_1(+2;+1;+2)$ durch $x_1 = +2,\ y_1 = +1,\ z_1 = +2,$
$P_2(+2;+2;+1)$ durch $x_2 = +2,\ y_2 = +2,\ z_2 = +1,$
$P_3(-2;+1;+2)$ durch $x_3 = -2,\ y_3 = +1,\ z_3 = +2.$

ZYLINDER- UND RÄUMLICHE POLARKOORDINATEN

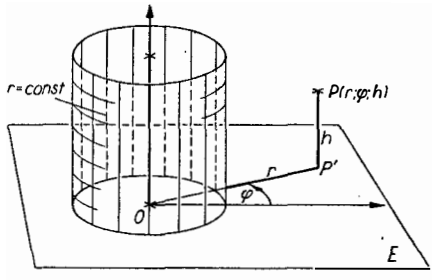
Entsprechend der Charakterisierung der Lage eines Punktes in der Ebene durch ebene Polarkoordinaten kann man die Lage eines Punktes im Raum in ähnlicher Weise in Systemen von Zylinderkoordinaten bzw. räumlichen Polarkoordinaten beschreiben.

Zylinderkoordinaten. Zugrundegelegt werden eine beliebige Ebene E im Raum, in ihr ein System von ebenen Polarkoordinaten. Ferner sei festgelegt, auf welcher der beiden Seiten der Ebene Raumpunkte positiv genommene Abstände von dieser Ebene haben sollen. Die Lage eines beliebigen Punktes P im Raum kann dann durch folgende drei als *Zylinderkoordinaten* von P bezeichnete Größen eindeutig beschrieben werden: durch die beiden Polarkoordinaten r und φ der Projektion P' von P auf die zugrunde gelegte Ebene und den Abstand h des Punktes P von dieser Ebene, der mit positivem oder negativem Vorzeichen zu versehen ist, je nachdem, ob P auf der als positiv angenommenen Seite der Ebene liegt oder nicht. Die Lage von Raumpunkten wird also eindeutig charakterisiert durch die drei Zylinderkoordinaten

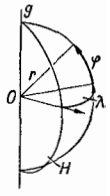
r Radiusvektor
φ Polarwinkel
h Höhe

Die Bezeichnung „Zylinderkoordinaten" rührt daher, daß alle Punkte mit konstanter Koordinate r (Koordinaten φ und h variabel) auf einem (bei unbeschränktem h) unendlich langen Zylinder vom Radius r liegen (Abb.). Die Zylinderoberfläche ist charakterisiert durch die Gleichung $r = \text{const}$.

Räumliche Polarkoordinaten. Zugrunde gelegt werden ein beliebiger Punkt O im Raum, eine durch diesen Punkt verlaufende Gerade g und eine von der Geraden g begrenzte Halbebene H. Ferner sei festgelegt, welche Seite der Halbebene H als positiv angesehen werden soll. Die Lage eines beliebigen Punktes P im Raum kann dann durch folgende drei als *räumliche Polarkoordinaten* von P bezeichnete Größen eindeutig beschrieben werden (Abb.): 1. durch den (auch *Radiusvektor* oder *Leitstrahl* genannten) Radius r der Kugel mit dem Mittelpunkt O, auf der P liegt; 2. durch die geographische Länge λ von P, d. h. den Winkel, den die Ebene H und die durch die Gerade g und den Punkt P festgelegte Ebene einschließen; 3. durch die geographische Breite φ von P, d. h. den Winkel, den der Leitstrahl mit der durch O verlaufenden zu g senkrechten Ebene einschließt. Die Winkel λ und φ werden dabei bei Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn als positiv, bei Drehung im Uhrzeigersinn als negativ angesehen.



Zylinderkoordinaten



Räumliche Polarkoordinaten

Der Punkt O heißt der *Anfang* oder *Pol*, die Gerade g die *Achse*, die Ebene H die *Anfangsebene* und die dazu senkrechte durch den Pol verlaufende Ebene die *Äquatorebene* des räumlichen Polarkoordinatensystems.
In diesem System wird die Lage von Raumpunkten eindeutig bestimmt durch die drei räumlichen Polarkoordinaten

r Radiusvektor

λ geographische Länge

φ geographische Breite

VIII. Aus der analytischen Geometrie

In der analytischen Geometrie werden die Eigenschaften und Zusammenhänge geometrischer Gebilde unter Zuhilfenahme der Algebra *rechnerisch* erfaßt.

Die Hauptaufgaben der analytischen Geometrie sind:

1. geometrische Gebilde und Beziehungen zwischen ihnen durch *Zahlen* und *Gleichungen* zu charakterisieren, insbesondere zu gegebenen geometrischen Gebilden die Gleichungen zu suchen (als Beispiel s. Kegelschnitte, Hauptachsengleichung der Ellipse, Scheitelgleichung der Parabel),
2. *neue allgemeine Eigenschaften* der geometrischen Gebilde durch die analytische Behandlung *aufzudecken* (als Beispiel s. Kegelschnitte, Asymptoten der Hyperbel),
3. umgekehrt die geometrische Aussage, die *Bilder* gegebener algebraischer Gleichungen zu bestimmen.

Je nachdem, ob die Lage und die Beziehungen der Gebilde in der Ebene oder im Raum untersucht werden sollen, benutzt man ein ebenes oder ein räumliches Koordinatensystem und unterscheidet danach die *analytische Geometrie der Ebene* von der *des Raumes*.

DIE BILDER VON GLEICHUNGEN MIT ZWEI UNBEKANNTEN

Die allgemeine Form einer Gleichung 1. Grades mit zwei Unbekannten lautet $ax + by + c = 0$. Faßt man x und y als rechtwinklige Koordinaten auf, so hat jede derartige Gleichung in der Ebene eine Gerade als Bild. Jede Gleichung 2. Grades ergibt einen *Kegelschnitt*. Die Kreisgleichung insbesondere lautet $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$ oder, wenn der Kreismittelpunkt mit dem Ursprung des Koordinatensystems zusammenfällt, $x^2 + y^2 = r^2$. Zur Auflösung eines Systems von zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten zeichne man die Bilder der beiden Gleichungen; die Koordinaten der Schnittpunkte sind dann die Lösungen des Systems.

Das Bild einer linearen Gleichnng mit zwei Unbekannten. Betrachtet man zunächst die Gleichung

$$y = mx \text{ z. B. } y = \frac{4}{3}x$$

$$\text{oder } \frac{y}{x} = m \text{ bzw. } \frac{y}{x} = \frac{4}{3}.$$

Danach sollen die y- und die x-Koordinaten für alle gesuchten Punkte das gleiche konstante Verhältnis m bzw. $\frac{4}{3}$ haben. Faßt man x und y als Gegenkathete bzw. Ankathete eines rechtwinkligen Dreiecks auf, dessen eine Ecke in den Koordinatenanfangspunkt fällt, so liegen diese Punkte auf einer Geraden durch den Koordinatenanfangspunkt, die die x-Achse unter einem bestimmten Winkel α schneidet; dieser wird bestimmt durch

$$\tan\alpha = m \text{ bzw. } \tan\alpha = \frac{4}{3} = 1{,}333\ldots, \quad \alpha = 53°\,7'\,48''.$$

Lautet dagegen die gegebene Gleichung

$$y = mx + n \text{ bzw. } y = \frac{4}{3}x + 2,$$

so ist zur y-Koordinate jedes Punktes der Geraden $y = mx$ bzw. $y = \frac{4}{3}x$ der konstante Betrag $+n$ bzw. $+2$ zu addieren. Die Gerade $y = mx$ bzw. $y = \frac{4}{3}x$ wird also in Richtung der $+y$-Achse um $+n$ bzw. $+2$ parallel verschoben (Abb.).

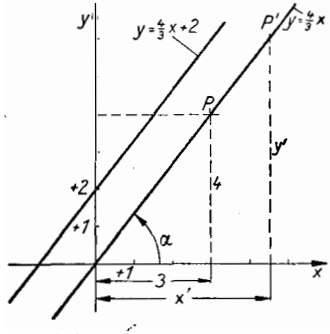


Bild der Gleichung $y = mx + n$

Die allgemeine Form einer linearen Gleichung mit zwei Unbekannten

$$ax + by + c = 0$$

läßt sich stets in die Form $y = mx + n$ überführen, wenn b von Null verschieden ist:

$$y = -\frac{a}{b}x - \frac{c}{b}, \qquad b \neq 0$$

$$m = -\frac{a}{b}, \qquad n = -\frac{c}{b}.$$

Wenn b Null ist, kann nicht zugleich a Null sein (sonst müßte auch $c = 0$ sein). Man erhält dann

$$ax + c = 0, \qquad x = -\frac{c}{a},$$

d. h., die x-Koordinaten aller gesuchten Punkte haben den konstanten Wert $-\frac{c}{a}$. Die Punkte liegen also auf einer Parallelen im Abstande $-\frac{c}{a}$ zur y-Achse.

Ist dagegen $a = 0$, also nicht zugleich $b = 0$, so erhalten wir

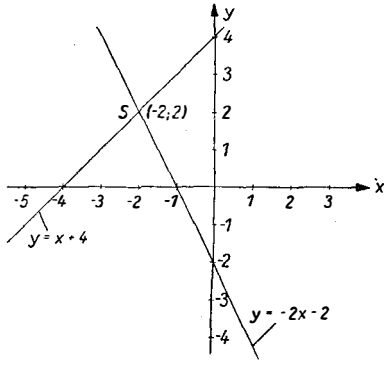
$$by + c = 0, \qquad y = -\frac{c}{b},$$

d. h., die y-Koordinaten aller Punkte haben den konstanten Wert $-\frac{c}{b}$. Die Punkte liegen also auf einer Parallelen zur x-Achse im Abstande $-\frac{c}{b}$.

Das Bild einer linearen Gleichung mit zwei Unbekannten ist stets eine Gerade, deren Lage im Koordinatensystem von den Koeffizienten der gegebenen Gleichung abhängt.

Graphische Lösung. Ein System von zwei linearen Gleichungen mit zwei Unbekannten kann man graphisch (zeichnerisch) auf folgende Weise lösen: Man zeichne die beiden Geraden, die jeweils das Bild einer der beiden linearen Gleichungen sind, in ein x-y-Koordinatensystem ein. Dann sind zwei Fälle zu unterscheiden. 1. Die beiden Geraden haben einen Schnittpunkt. Die Koordinaten x und y dieses beiden Geraden gemeinsamen Punktes müssen die beiden linearen Gleichungen er-

füllen und sind somit Lösungen des linearen Gleichungssystems. 2. Die beiden Geraden verlaufen parallel. Dann gibt es keinen Schnittpunkt, und das Gleichungssystem ist *nicht auflösbar.*
Die Abbildung enthält die Bilder der beiden Gleichungen $y = x + 4$, $y = -2x - 2$. Man entnimmt der Zeichnung, daß $x = -2$, $y = 2$ die Koordinaten des Schnittpunktes S sind und damit die Lösungen des Gleichungssystems $y = x + 4$, $y = -2x - 2$.



Graphische Lösung linearer Gleichungssysteme

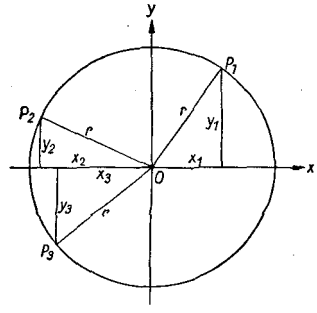


Bild der Gleichung $x^2 + y^2 = r^2$

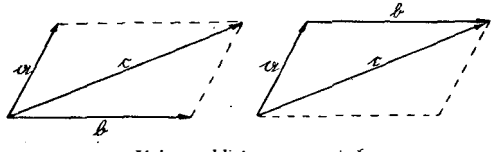
Das Bild der quadratischen Gleichung $x^2 + y^2 = r^2$. In der Gleichung $x^2 + y^2 = r^2$ ist r irgendeine positive, konstante Zahl. Nach dem Lehrsatz des Pythagoras ist aber

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

der Abstand des gesuchten Punktes P vom Koordinatenanfangspunkte. Ist dieser Abstand immer gleich r, so müssen die Punkte P auf dem Umfang des Kreises um den Koordinatenanfangspunkt mit dem Radius r liegen (Abb.).

AUS DER VEKTORRECHNUNG

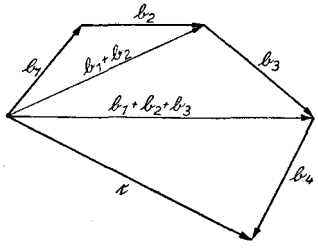
Vektor und Skalar. *Vektoren* sind gerichtete Größen; sie werden durch Angabe ihrer Größe (*Länge*) und ihrer *Richtung* festgelegt. Vektoren werden durch deutsche Buchstaben $\mathfrak{a}, \mathfrak{b}, \ldots$, ihre Länge, die auch *absoluter Betrag* des betreffenden Vektors genannt wird, durch $|\mathfrak{a}|, |\mathfrak{b}|, \ldots$ bezeichnet; zeichnerisch werden sie durch *Pfeile* dargestellt, deren Länge und Richtung der Länge und Richtung der dargestellten Vektoren entsprechen. Man nennt einen Vektor *frei*, wenn es nicht auf die Lage seines Anfangspunktes im Raum ankommt; andernfalls heißt er *gebunden.* Zwei (freie) Vektoren heißen *gleich*, wenn sie gleiche Richtung und Länge haben. Einen Vektor mit der Länge Eins nennt man einen *Einheitsvektor.* Vektoren sind z. B. Verschiebungen um bestimmte Strecken in bestimmte Richtungen; auch zahlreiche physikalische Begriffe, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, sind Vektoren.
Im Gegensatz zu Vektoren bezeichnet man Größen, die durch ein einziges Merkmal, eine *Zahl*, bestimmt sind, als *Skalare* (von *Skala*); z. B. sind Abstände, Winkel, Masse, Temperaturen Skalare.
Die Verwendung von Vektoren bietet viele Vorteile, weil für das Rechnen mit Vektoren einfache Rechenregeln gelten, die weitgehend den Regeln für das Rechnen mit Zahlen entsprechen und es gestatten, zahlreiche Aussagen und Überlegungen unabhängig von einem Koordinatensystem zu machen.



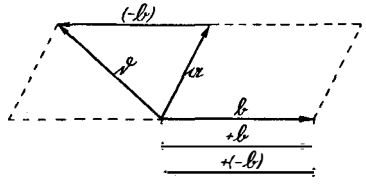
Vektoraddition, $\mathfrak{c} = \mathfrak{a} + \mathfrak{b}$

Die Addition von Vektoren. Die Summe zweier Vektoren $\mathfrak{a}, \mathfrak{b}$ wird definiert als die Diagonale $\mathfrak{c}$ des aus $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$ gebildeten Parallelogramms, die durch den gemeinsamen Anfangspunkt der gegebenen Vektoren geht.
Das Kräfteparallelogramm ist ein Beispiel der Addition von Vektoren: die Resultante ist die Summe der Komponenten (Abb.).

In der Technik, besonders der Statik, wird die rechte der beiden Darstellungen bevorzugt. Sie läßt sich leichter auf mehrere Summanden erweitern (Abb.).
Der Vektor $-\mathfrak{b}$ hat dieselbe Größe, aber entgegengesetzte Richtung wie der Vektor $+\mathfrak{b}$. *Die Subtraktion von Vektoren* ist damit ein Sonderfall der Addition (Abb.).



Vektoraddition
$\mathfrak{c} = \mathfrak{b}_1 + \mathfrak{b}_2 + \mathfrak{b}_3 + \mathfrak{b}_4$



Vektorsubtraktion
$\mathfrak{d} = \mathfrak{a} - \mathfrak{b}$

Die Multiplikation von Vektoren. Das Produkt eines Vektors $\mathfrak{a}$ mit einer (reellen) Zahl t wird definiert als der Vektor $t \cdot \mathfrak{a}$; die Richtung von $t \cdot \mathfrak{a}$ stimmt mit der von $\mathfrak{a}$ überein, wenn t positiv ist, während $t \cdot \mathfrak{a}$ bei negativem t zu $\mathfrak{a}$ entgegengesetzt gerichtet ist. Die Länge $|t \cdot \mathfrak{a}|$ von $t \cdot \mathfrak{a}$ ist das t-fache der Länge von $\mathfrak{a}$:

$$|t \cdot \mathfrak{a}| = |t| \cdot |\mathfrak{a}|.$$

Zum Beispiel hat der Vektor $2 \cdot \mathfrak{a}$ die gleiche Richtung wie der Vektor $\mathfrak{a}$, aber die doppelte Länge, während der Vektor $(-2) \cdot \mathfrak{a}$ die zur Richtung von $\mathfrak{a}$ entgegengesetzte Richtung bei ebenfalls verdoppelter Länge hat:

$$|(-2) \cdot \mathfrak{a}| = |(-2)| \cdot |\mathfrak{a}| = 2 \cdot |\mathfrak{a}|.$$

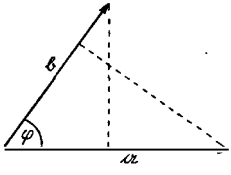
Skalares Produkt. Das *innere* oder *skalare Produkt* zweier Vektoren wird definiert als:

$$(\mathfrak{a}, \mathfrak{b}) = |\mathfrak{a}| \cdot |\mathfrak{b}| \cdot \cos \varphi.$$

Dabei ist φ der Winkel zwischen den Vektoren $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$ (Abb.). Laut Definition ist $(\mathfrak{a}, \mathfrak{b})$ kein Vektor, sondern eine Zahl (Skalar). Es gilt das kommutative Gesetz:

$$(\mathfrak{a}, \mathfrak{b}) = (\mathfrak{b}, \mathfrak{a}).$$

Während von zwei Zahlen, deren Produkt Null ist, mindestens eine gleich Null sein muß, kann das innere Produkt zweier Vektoren verschwinden, ohne daß einer der beiden Vektoren gleich Null ist. Dieser Sachverhalt tritt ein, wenn die beiden Vektoren aufeinander senkrecht stehen, denn dann ist $\varphi = 90°$, also $\cos \varphi = 0$. Umgekehrt kann man aus dem Verschwinden des inneren Produktes zweier Vektoren schließen, daß sie aufeinander senkrecht stehen, sofern nicht einer der beiden Vektoren der Nullvektor ist.
Die physikalische Bedeutung des inneren Produktes wird an folgender Aussage ersichtlich:
Erfährt ein Körper längs einer geradlinigen Strecke s durch eine Kraft $\mathfrak{k}$, deren Richtung mit s den Winkel φ einschließt, eine Verschiebung $\mathfrak{s}$, so ist die verrichtete Arbeit



Das skalare Produkt

$$A = (\mathfrak{k}, \mathfrak{s}) = |\mathfrak{k}| \cdot |\mathfrak{s}| \cdot \cos \varphi = k \cdot s \cdot \cos \varphi.$$

Vektorielles Produkt. Das *äußere* oder *vektorielle Produkt* zweier Vektoren $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$,

$$[\mathfrak{a}, \mathfrak{b}] = \mathfrak{c}$$

(gesprochen: Vektorprodukt aus $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$), wird definiert als ein Vektor, der senkrecht auf der durch $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$ aufgespannten Ebene steht, wobei $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$ in dieser Reihenfolge ein Rechtssystem bilden; die Länge $|\mathfrak{c}|$ von $\mathfrak{c}$ soll gleich dem Flächeninhalt des von den Vektoren $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$ gebildeten Parallelogramms sein.

$$|\mathfrak{c}| = |\mathfrak{a}| \cdot |\mathfrak{b}| \cdot \sin \varphi.$$

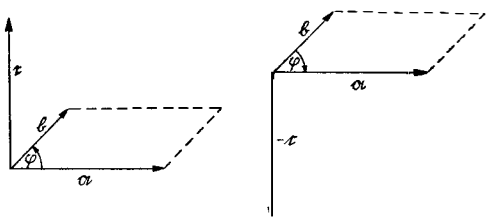
Die Abbildung zeigt, daß für das vektorielle Produkt das kommutative Gesetz nicht gilt:

$$[\mathfrak{b}, \mathfrak{a}] = -\mathfrak{c} = -[\mathfrak{a}, \mathfrak{b}].$$

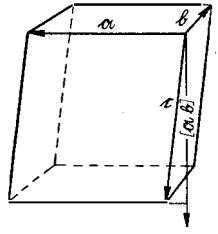
Beispiel: Das statische Moment einer Kraft $\mathfrak{k}$ in bezug auf einen Punkt P ist

$$\mathfrak{m} = [\mathfrak{r}, \mathfrak{k}],$$

wenn die Kraft $\mathfrak{k}$ im Abstand $\mathfrak{r}$ vom Punkte P an einem Körper angreift.



Das vektorielle Produkt $[\mathfrak{a}, \mathfrak{b}] = \mathfrak{c}$, *aber* $[\mathfrak{b}, \mathfrak{a}] = -\mathfrak{c}$.



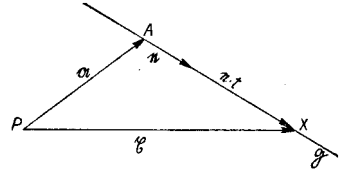
Das Raumprodukt

Spatprodukt. Das *Raumprodukt* oder *Spatprodukt* $(\mathfrak{a}, \mathfrak{b}, \mathfrak{c})$ dreier Vektoren ist das Volumen des Parallelflachs, dessen Kanten $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$ und $\mathfrak{c}$ sind (Abb.):

$$(\mathfrak{a}, \mathfrak{b}, \mathfrak{c}) = ([\mathfrak{a}, \mathfrak{b}], \mathfrak{c}) = (\mathfrak{a}, [\mathfrak{b}, \mathfrak{c}]) = ([\mathfrak{c}, \mathfrak{a}], \mathfrak{b}).$$

Vektorielle Darstellung der Geraden. Man gelangt auf folgendem Wege zu einer vektoriellen Darstellung einer Geraden, die unabhängig vom gewählten Koordinatensystem in Ebene und Raum in gleicher Weise gültig ist (Abb.): P sei ein beliebiger nicht auf der Geraden g gelegener Punkt der Ebene oder des Raumes, A ein beliebiger Punkt der Geraden; $\mathfrak{a}$ sei der Radiusvektor, der von P nach A führt, $\mathfrak{e}$ der im Punkte A angreifende Einheitsvektor längs der Geraden g. Man erhält dann den Vektor $\mathfrak{x}$, der von P zu einem beliebigen Punkt X von g führt, entsprechend der Definition der Summe von Vektoren, indem man zum Vektor $\mathfrak{a}$ ein geeignetes positives oder negatives Vielfaches $t \cdot \mathfrak{e}$ des Vektors $\mathfrak{e}$ addiert:

$$\mathfrak{x} = \mathfrak{a} + t \cdot \mathfrak{e}.$$



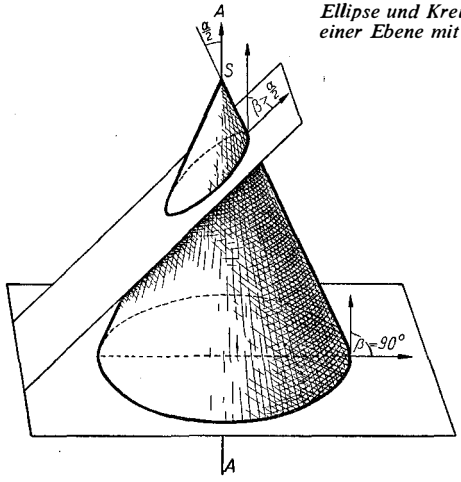
Vektorielle Darstellung einer Geraden

Durch geeignete Wahl des *Parameters* t kann jeder beliebige Punkt der Geraden g erfaßt werden; die Vektorgleichung $\mathfrak{x} = \mathfrak{a} + t \cdot \mathfrak{e}$ liefert also eine vektorielle Darstellung einer Geraden.

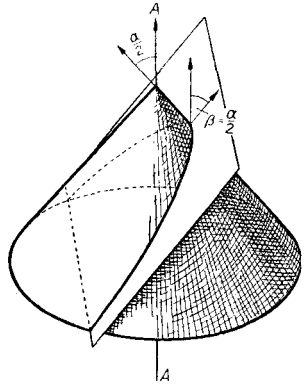
IX. Kegelschnitte

Die Kegelschnitte sind *Kurven*, die durch den Schnitt einer Ebene mit dem Mantel eines geraden Kreiskegels bzw. Doppelkegels entstehen (Abb.). Die Form der Kurve hängt von dem Winkel β ab, den die Schnittebene mit der Achse A des Kegels bildet, bzw. von dem Verhältnis dieses Winkels zum (halben) Öffnungswinkel $\frac{\alpha}{2}$ des Kegels.

Liegt die schneidende Ebene senkrecht zur Kegelachse, $\beta = 90°$, so entsteht als Schnittkurve ein *Kreis*; liegt sie parallel zu einer Seitenlinie des Kegels, $\beta = \frac{\alpha}{2}$, so entsteht eine *Parabel* und insbesondere eine *Halbgerade* (*Strahl*), wenn die Schnittebene durch eine Seitenlinie des Kegels verläuft (Schnittebene wird *Tangential-*, Berührungsebene). Ist der Winkel zwischen Schnittebene und Achse dagegen größer als der halbe Öffnungswinkel und kleiner als ein rechter $\left(\beta > \frac{\alpha}{2}\right)$, so entsteht eine *Ellipse*; ist er kleiner als der halbe Öffnungswinkel $\left(\beta < \frac{\alpha}{2}\right)$, so ergibt sich ein *Hyperbelast*. Handelt es sich um einen Doppelkegel, so entstehen *beide* Äste der Hyperbel.



Ellipse und Kreis als Schnitt einer Ebene mit einem Kegel



Parabel als Schnitt einer Ebene mit einem Kegel

DIE ELLIPSE

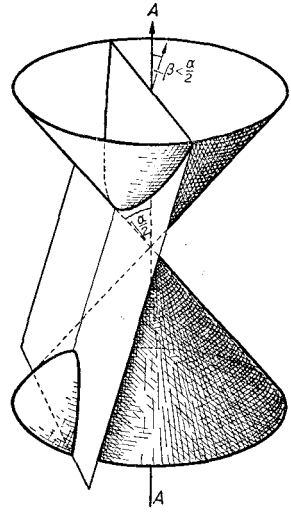
Allgemeines. Die Ellipse ist der geometrische Ort für alle Punkte, für die die Summe der Abstände von zwei festen Punkten F_1 und F_2, den *Brennpunkten* der Ellipse, stets denselben Wert hat (Abb.):

$$P_1F_1 + P_2F_2 = 2a$$

$$N_1F_1 + N_2F_2 = 2a \text{ usw.}$$

Man bezeichnet die geradlinigen Verbindungen der Brennpunkte mit Punkten der Ellipse als *Leit-* oder *Fahrstrahlen.* Der Durchmesser der Ellipse, der durch die beiden Brennpunkte verläuft, heißt *Hauptachse.* Ihre Länge ist $2a$, ist also gleich der konstanten Summe der Längen der beiden Fahrstrahlen. Die *Hauptachse* stellt den größten Durchmesser der Ellipse dar. Der kleinste Durchmesser, die *Nebenachse* $N_1N_2 = 2b$, schneidet die Hauptachse rechtwinklig in deren Mittelpunkt M; $MH_1 = MH_2 = a$, $MN_1 = MN_2 = b$. Die Entfernung der Brennpunkte vom Mittelpunkt heißt *lineare Exzentrizität*; $e = MF_1 = MF_2$; $e^2 = a^2 - b^2$, da $F_1N_1 = F_2N_1 = a$. Die Punkte H_1, H_2 heißen *Hauptscheitel*, die Punkte N_1, N_2 heißen *Nebenscheitel.* Nähern sich die Brennpunkte einander, so wird die Nebenachse länger, die Ellipse kreisförmiger.

Fallen die beiden Brennpunkte (mit M) zusammen, so haben Haupt- und Nebenachse gleiche Länge: die Ellipse ist in einen Kreis übergegangen.



Hyperbel als Schnitt einer Ebene mit einem Doppelkegel

Aus obiger Definition der Ellipse ergibt sich deren *mechanische* Konstruktion (Gärtnerkonstruktion): Eine an zwei Punkten (F_1 und F_2) befestigte Schnur von der jeweils gewünschten Länge ($2a$) wird durch einen Stift gespannt und dieser dabei um die beiden Punkte herumgeführt.

Hauptachsengleichung der Ellipse. Legt man durch die Haupt- und die Nebenachse der Ellipse ein rechtwinkliges Koordinatensystem, so gilt für die Koordinaten jedes Ellipsenpunktes:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Denkt man sich nämlich die Ellipse in Richtung der y-Achse auf das $\frac{a}{b}$fache gestreckt, d. h., setzt man:

$$y \cdot \frac{a}{b} = y',$$

so haben die verschobenen Nebenscheitel N_1', N_2' den Abstand $b \cdot \frac{a}{b} = a$ vom Nullpunkt, die Ellipse ist also zum Kreis geworden. Sie hat dann die Gleichung

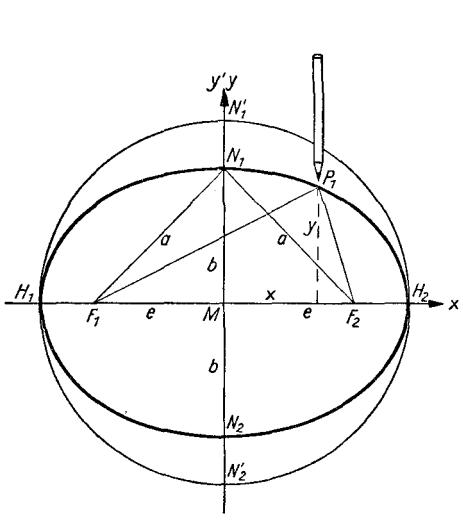
$$x^2 + y'^2 = a^2 \quad \text{oder}$$

$$x^2 + y^2 \frac{a^2}{b^2} = a^2$$

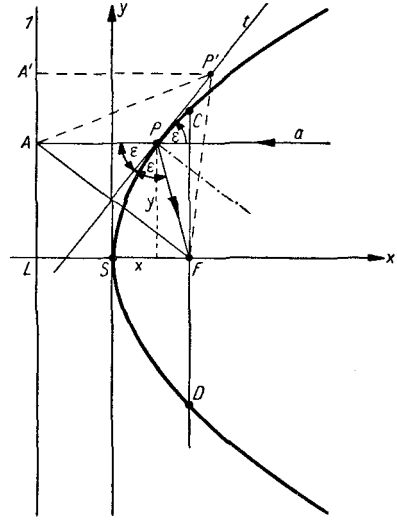
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

DIE PARABEL

Allgemeines. Die Parabel ist der geometrische Ort für alle Punkte, die von einem festen Punkte F, dem *Brennpunkt*, und einer festen Geraden l, der Leitlinie, jeweils den gleichen Abstand haben (Abb.): $PA = PF$; $SL = SF$ usw.



Ellipse



Parabel

Die Verbindungslinien der einzelnen Parabelpunkte mit dem Brennpunkt bzw. die Lote von den jeweiligen Parabelpunkten auf die Leitlinie heißen *Brenn-* bzw. *Leitstrahlen.* Der in seiner Verlängerung durch F gehende Leitstrahl LS ist die *Achse* der Parabel; sie schneidet die Parabel im *Scheitelpunkte* S, der die Strecke LF halbiert. Die in F auf der Achse senkrecht stehende Sehne $CD = 2p$ nennt man den *Parameter*, $p = LF = CF = DF$; $SF = SL = \frac{p}{2}$.

Parabolischer Spiegel. Das Dreieck AFP der Parabelfigur ist gleichschenklig. Die Mittelsenkrechte t zu AF geht also durch P. Für jeden von P verschiedenen Punkt P' auf t gilt $P'A = P'F$. Da aber $P'A > P'A'$, kann nach der Definition der Parabel keiner dieser Punkte P' ein Parabelpunkt sein, d. h., t ist die Tangente in P an die Parabel.
Zugleich sieht man, daß die drei bei P eingezeichneten Winkel ε einander gleich sind, mit anderen Worten, daß der achsenparallele Strahl a mit der Tangente t in P (und damit auch mit dem Einfallslote) den gleichen Winkel einschließt wie der Brennstrahl PF. Deshalb sind bei *parabolisch gekrümmten Spiegeln*, in deren Brennpunkt eine Lichtquelle angebracht ist, alle reflektierten Lichtstrahlen achsenparallel. Die Fläche eines parabolischen Spiegels entsteht, wenn die Parabel um die x-Achse rotiert.

Scheitelgleichung der Parabel. Legt man ein Koordinatensystem derart, daß die x-Achse mit der Parabelachse zusammenfällt und die y-Achse Tangente im Scheitelpunkt ist, so gilt für jeden Parabelpunkt

$$y^2 = 2px.$$

Nach der Definition soll ja sein $\overline{FP}^2 = \overline{AP}^2$, oder

$$\left(\frac{p}{2} - x\right)^2 + y^2 = \left(\frac{p}{2} + x\right)^2$$

$$\frac{p^2}{4} - px + x^2 + y^2 = \frac{p^2}{4} + px + x^2$$

$$y^2 = 2px.$$

DIE HYPERBEL

Allgemeines. Die *Hyperbel* ist der geometrische Ort für alle Punkte, für die die Differenz der Abstände von zwei festen Punkten F_1 und F_2, den *Brennpunkten* der Hyperbel, stets denselben Wert hat (Abb.):

$$F_1P - F_2P = 2a$$

$$F_1H_1 - F_2H_1 = 2a \quad \text{usw.}$$

Wie bei der Ellipse bezeichnet man die geradlinigen Verbindungen der Brennpunkte mit Punkten der Hyperbel als *Leit-* oder *Fahrstrahlen*.
Die Verbindungsgerade der beiden Brennpunkte heißt *Hauptachse*, ihre Schnittpunkte mit der Hyperbel heißen *Scheitelpunkte* H_1, H_2 der Hyperbel. Die Verbindungsstrecke der beiden Scheitelpunkte H_1H_2 hat die Länge $2a$, ist also gleich der Differenz der Längen der beiden Fahrstrahlen. Der Beweis folgt aus der Definitionsgleichung für die Scheitelpunkte $H_2F_1 - H_2F_2 = 2a$; da die Entfernungen der Scheitelpunkte von dem dazugehörenden Brennpunkt gleich sind, ist

$$H_2F_1 - H_2F_2 = H_2F_1 - H_1F_1 = H_1H_2 = 2a.$$

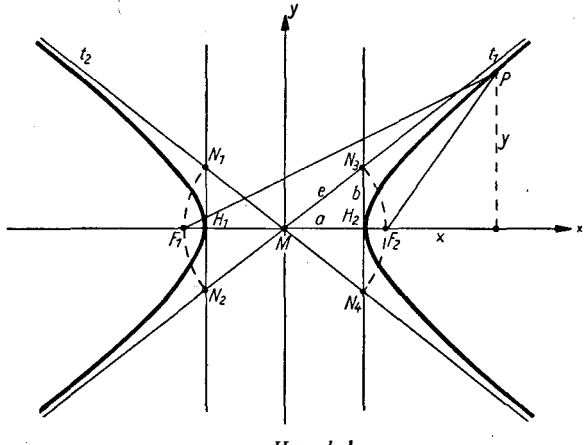
Die Nebenachse $2b$ wird erhalten, indem man um M einen Kreisbogen mit dem Radius $MF_1 = MF_2 = e$ schlägt. Er schneidet auf den Tangenten in den Scheitelpunkten die Strecken $N_1N_2 = 2b$ und $N_3N_4 = 2b$ ab; e heißt wieder *lineare Exzentrizität*. Aus einem der entstandenen rechtwinkligen Dreiecke, etwa aus MH_1N_1, folgt dann:

$$a^2 + b^2 = e^2.$$

Die Hyperbel besteht *aus zwei getrennten Ästen*, die beide ins Unendliche verlaufen.

Hauptachsengleichung der Hyperbel. Legt man, wie die Abbildung zeigt, ein Koordinatensystem derart, daß seine x-Achse mit der Hauptachse der Hyperbel und sein Nullpunkt mit ihrem Mittelpunkt zusammenfallen, dann gilt für jeden Hyperbelpunkt

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$



Hyperbel

Die Asymptoten der Hyperbel. Man formt die Hauptachsengleichung der Hyperbel um:

$$\frac{y^2}{x^2} = \frac{b^2}{a^2} - \frac{b^2}{x^2} = \frac{b^2}{a^2}\left(1 - \frac{a^2}{x^2}\right)$$

$$\frac{y}{x} = \pm\frac{b}{a}\sqrt{1 - \frac{a^2}{x^2}}.$$

Mit wachsendem (fallendem) x nimmt auch y zu (ab), während $\frac{a^2}{x^2}$ immer kleiner wird und dabei stets positiv bleibt. Das bedeutet nach der letzten Gleichung: Wenn sich ein Punkt auf einem der Äste der Hyperbel von ihrem Mittelpunkt entfernt, so bleibt das Verhältnis $\frac{x}{y}$ seiner Koordinaten stets endlich; es nähert sich dabei immer mehr einem der Grenzwerte $\pm\frac{b}{a}$, bleibt aber, abgesehen vom Vorzeichen (dem absoluten Betrag nach), stets kleiner als diese.

$\frac{y}{x} = \pm \frac{b}{a}$ sind die Gleichungen der beiden Geraden durch die Punkte N_2, M, N_3 bzw. N_1, M, N_4. An diese beiden Geraden schmiegt sich die Hyperbel immer mehr an, ohne sie im Endlichen zu berühren. Solche Geraden nennt man *Asymptoten*. Die Hyperbel hat zwei Asymptoten t_1 und t_2, die mit Hilfe der Nebenachse $2b$ leicht zu konstruieren sind und die Gestalt der Hyperbel bestimmen.

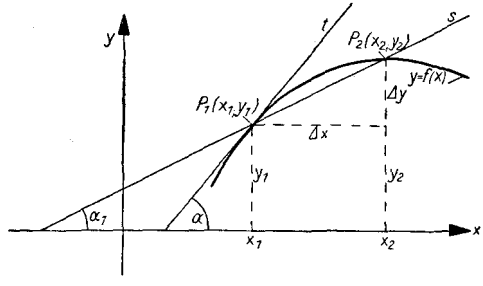
Die genaue Kenntnis der Kegelschnitte ist besonders für die Astronomie wichtig, da die Himmelskörper sich näherungsweise auf diesen Kurven bewegen. Die Bahnen aller Planeten sind Ellipsen, die Bahnen der Kometen Parabeln oder Ellipsen mit sehr großer Brennweite. Das gilt auch für künstliche Erdsatelliten und künstliche Planeten.

X. Grundbegriffe der Infinitesimalrechnung

Der *Infinitesimalrechnung*, d. h. der Rechnung mit beliebig klein werdenden Größen, liegen neben den Begriffen der Zahl und der Funktion vor allem zwei eng miteinander zusammenhängende Grenzwertbildungen zugrunde: der *Differentialquotient* (auch *Ableitung* genannt) und das *Integral*. Dementsprechend gliedert sich die Infinitesimalrechnung in *Differentialrechnung* und *Integralrechnung*. Die systematische Differential- und Integralrechnung wurde geschaffen, als der enge Zusammenhang zwischen den Begriffen des Differentialquotienten und des Integrals erkannt und zur Grundlage neuer methodischer Rechenverfahren gemacht wurde. Dies gelang unabhängig voneinander dem englischen Gelehrten *Isaac Newton* (1643 bis 1727) und dem deutschen Philosophen *Wilhelm Leibniz* (1646 bis 1716), der die auch heute noch in der Infinitesimalrechnung gebräuchlichen Symbole einführte. Der der Infinitesimalrechnung zugrunde liegende Funktionsbegriff umfaßt alle Funktionen, die sich durch Funktionsgleichungen $y = f(x)$ darstellen lassen und deren Bilder anschaulich erfaßbare Kurven sind.

DIFFERENTIALRECHNUNG

Differenzenquotient und Differentialquotient. Als historischer Ursprung der Differentialrechnung kann das *Tangentenproblem*, an eine gegebene Kurve in einem gegebenen Punkt die Tangente zu legen, angesehen werden. Unter geeigneten Voraussetzungen über die Funktion $y = f(x)$, deren Bild die Kurve ist, kann die Tangente durch einen Grenzübergang gewonnen werden. Man legt zunächst durch zwei nicht weit voneinander entfernt liegende Kurvenpunkte P_1 und P_2 mit den Koordinaten x_1, y_1 und x_2, y_2 die Sekante und rückt dann den Punkt P_2 immer näher an P_1 heran. Bei diesem Vorgang nähert sich der Steigungswinkel α_1 der Sekante (der sich aus der Beziehung $\tan\alpha_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ errechnen läßt) immer mehr dem Winkel α, und die Strecken $y_2 - y_1$ und $x_2 - x_1$ werden immer kleiner. Schließlich gehen P_2 in den Punkt P_1 und die Sekante in die Tangente im Punkte P_1 über; diese bildet mit der x-Achse den *Steigungswinkel* α.



Differenzenquotient und Differentialquotient

Während die Differenzen unendlich klein werden, strebt ihr Quotient, der *Differenzenquotient*, bei dem Grenzübergang von P_2 nach P_1 unter geeigneten Voraussetzungen über $y = f(x)$ gegen einen konstanten Wert, der gleich $\tan\alpha$ ist. Dieser Grenzwert heißt *Richtungskoeffizient* oder *Steigung* der Tangente oder auch Steigung der Kurve im Punkt P_1. Er wird auch *Differentialquotient* oder *Ableitung* der Funktion $y = f(x)$ im Punkte P_1 genannt und durch eins der folgenden Symbole bezeichnet:

$$y',\ f'(x),\ \frac{dy}{dx},\ \frac{df(x)}{dx}.$$

(lies z. B. $\frac{dy}{dx}$ als „dy nach dx“).

Verwendet man für die Differenzen $y_2 - y_1$ und $x_2 - x_1$ die üblichen Abkürzungen Δy bzw. Δx (lies: delta y bzw. delta x), so wird der Differentialquotient oder die Ableitung einer Funktion $y = f(x)$ an der Stelle P_1 also durch die folgende Limes-Gleichung definiert:

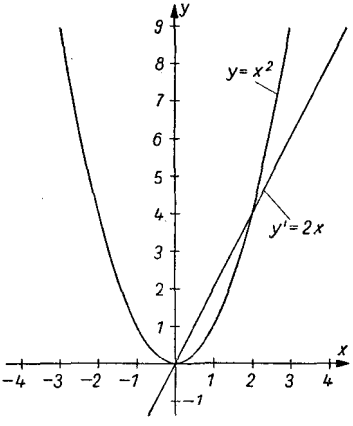
$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Es ist dabei unwesentlich, wie die Annäherung von P_2 an P_1 bzw. von Δx an Null erfolgt; für jede mögliche Annäherung ergibt sich derselbe Grenzwert (Abb.).

Man hüte sich davor, z. B. $\frac{dy}{dx}$ als einen Quotienten im gewöhnlichen Sinne aufzufassen; $\frac{dy}{dx}$ ist vielmehr als *Grenzwert* eines Quotienten, des Differenzenquotienten, anzusehen, für den in bestimmten Fällen die Schreibweise $\frac{dy}{dx}$ zweckmäßig ist. Besitzt eine Funktion $y = f(x)$ an einem Punkte P mit den Koordinaten x, y einen Differentialquotienten, so sagt man, die Funktion $y = f(x)$ sei dort *differenzierbar*. Dabei genügt die Angabe der x-Koordinate des Punktes P, da durch sie die y-Koordinate von P mitbestimmt ist. In diesem Falle spricht man von der *Differenzierbarkeit* einer Funktion $y = f(x)$ an der Stelle x.

Die Funktion $y = f(x)$ heißt differenzierbar in ihrem gesamten Definitionsbereich bzw. in einem Teil davon, wenn sie an jeder Stelle x des Definitionsbereichs bzw. des betreffenden Teilbereichs differenzierbar ist.

Im allgemeinen ist der Wert des Differentialquotienten der Funktion $y = f(x)$ von der Lage der Stelle x, an der er bestimmt werden soll, abhängig. Er ist also wiederum eine Funktion der unabhängigen Veränderlichen x und wird daher auch die *abgeleitete Funktion* oder *Ableitung* von $y = f(x)$ genannt. Diese Feststellung rechtfertigt die Verwendung der oben eingeführten Symbole $f'(x)$ und $\frac{df(x)}{dx}$ für den Differentialquotienten, die bereits dessen Abhängigkeit von der unabhängigen Veränderlichen x ausdrücken.



Normalparabel $y = x^2$ und ihre Ableitung

Die Differentialrechnung untersucht nun, unter welchen Voraussetzungen eine Funktion in einem Punkt einen Differentialquotienten hat (*differenzierbar* ist), wie er berechnet werden kann und welche Schlüsse man aus seinem Wert über das Verhalten der Funktion ziehen kann. Man braucht die Funktion also nur in der Umgebung einer Stelle („im Kleinen") zu kennen, um Aussagen über ihren Gesamtverlauf machen zu können. Der Vorgang der Berechnung eines Differentialquotienten heißt *differenzieren* oder *Differentiation.*

Man darf jedoch nicht annehmen, daß jede Funktion differenzierbar ist. Es gibt vielmehr Funktionen, die an keiner Stelle ihres Definitionsbereiches einen Differentialquotienten besitzen, und andere, die an bestimmten Stellen nicht differenzierbar sind. Andererseits gibt es Funktionen, deren Differentialquotienten an gewissen Stellen nicht eindeutig bestimmt sind, die also an gewissen Stellen mehr als einen Differentialquotienten haben, deren Werte von Art und Richtung der Annäherung abhängig sind.

Die Differentialquotienten einiger spezieller Funktionen. *Die Funktion* $f(x) = a$. Die Funktion $y = f(x) = a$ = const hat als Bild eine Parallele zur x-Achse, der Steigungswinkel α ist also in jedem beliebigen Kurvenpunkte gleich Null; demzufolge verschwindet auch $\tan \alpha$, die Steigung oder der Differentialquotient, in jedem Punkte. Diese auf Grund geometrischer Überlegungen erschlossene Aussage kann auch analytisch erhalten werden: Der Differenzenquotient ist $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{a-a}{\Delta x} = 0$. Dasselbe muß auch für den Differentialquotienten gelten, und es ergibt sich die Regel, daß die Ableitung einer Konstanten gleich Null ist:

$$y = f(x) = a$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{da}{dx} = 0.$$

Die Funktion $f(x) = x^2$. Diese einfachste quadratische Funktion hat als Bild eine Parabel, die sog. *Normalparabel.* Für zwei beliebige Stellen x_1 und x_2 gilt unter Verwendung einer binomischen Formel:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{x_2^2 - x_1^2}{x_2 - x_1} = \frac{(x_2 - x_1)(x_2 + x_1)}{x_2 - x_1} = x_2 + x_1$$

Soll der Differentialquotient an der beliebigen Stelle x_1 ermittelt werden, so hat man den Grenzübergang $\Delta x \to 0$ oder, was dasselbe ist, $x_2 \to x_1$ auszuführen und erhält:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{x_2 \to x_1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \lim_{x_2 \to x_1} (x_2 + x_1) = 2x_1$$

Diese Überlegung ist nicht nur an der Stelle x_1, sondern an jeder beliebigen Stelle x gültig, die Funktion hat die Ableitung $y' = 2x$ (Abb.):

$$y = f(x) = x^2$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{d(x^2)}{dx} = 2x.$$

Die Funktion $y = x^n$. Diese Funktion hat, wie man ähnlich nachweisen kann, für beliebiges n folgenden Differentialquotienten:

$$y = f(x) = x^n$$

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{d(x^n)}{dx} = n \cdot x^{n-1}$$

Für $n = 2$ ergibt sich, wie eben gezeigt, $y' = 2x$, für $y = x^3$ ergibt sich $y' = 3x^2$ usw.

Die Funktion $y = |x|$. Ein Beispiel einer Funktion, die an einer Stelle keinen eindeutig bestimmten Differentialquotienten hat, ist die folgendermaßen erklärte Funktion:

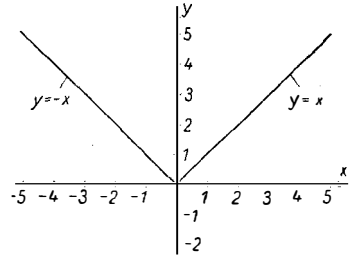
$$y = \begin{cases} x, \text{ wenn } x = 0 \text{ oder } x > 0 \\ -x, \text{ wenn } x = 0 \text{ oder } x < 0 \end{cases}$$

Insbesondere ist im Nullpunkt $y = f(0) = 0$. Laut Definition des absoluten Betrages kann diese Funktion auch durch die Gleichung $y = |x|$ erklärt werden.
Ihr Bild besteht aus zwei vom Nullpunkt ausgehenden Strahlen, die mit der positiven x-Achse einen Winkel von 45° bzw. von 135° einschließen (Abb.). Gefragt ist nach der Differenzierbarkeit an der Stelle $x = 0$. Wird zunächst eine Annäherung von rechts, also von positiven x-Werten her an die Stelle $x = 0$ betrachtet, so lautet der zugehörige Differenzenquotient

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{x - 0}{x - 0} = 1$$

da $y_1 = x_1 = 0$ ist und $y_2 = x_2 = x$ gesetzt wurde. Demzufolge ist bei Annäherung an den Nullpunkt von positiven x-Werten her:

$$\frac{dy}{dx} = 1.$$



Die Funktion $y = |x|$

Bei Annäherung von links, also von negativen x-Werten her ist

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{-x - 0}{x - 0} = -1,$$

da wiederum $x_1 = y_1 = 0$ ist und $x_2 = -y_2 = x$ gesetzt wurde. Also ist bei Annäherung an den Nullpunkt von negativen x-Werten her:

$$\frac{dy}{dx} = -1.$$

Der Differentialquotient der betrachteten Funktion ist an der Stelle $x = 0$ also nicht eindeutig bestimmt, sondern hat den Wert $+1$ oder -1, je nachdem, ob die Annäherung von rechts oder links erfolgt. Die Funktion ist im Nullpunkt nicht differenzierbar.

Differentiationsregeln. Im folgenden seien $f(x)$ und $g(x)$ stets zwei differenzierbare Funktionen und a eine beliebige, von Null verschiedene Konstante. Dann sind die Summe und die Differenz, das Produkt und der Quotient dieser Funktionen wieder differenzierbare Funktionen: die jeweiligen Differentialquotienten errechnen sich nach folgenden Regeln, auf deren Herleitung hier verzichtet wird.

Konstanter Faktor. Ein konstanter Faktor darf vor das Differentiationszeichen gezogen werden; es ist z. B.:

$$\frac{d(4x^2)}{dx} = \frac{4\,dx^2}{dx} = 4 \cdot (2x) = 8x.$$

Allgemein gilt:

$$\frac{d[a\,f(x)]}{dx} = \frac{a \cdot d\,f(x)}{dx}.$$

Summe. Der Differentialquotient einer Summe ist gleich der Summe der Differentialquotienten der Summanden, d. h., eine Summe wird gliedweise differenziert; z. B. ist

$$\frac{d(x^2+x)}{dx} = \frac{dx^2}{dx} + \frac{dx}{dx} = 2x+1.$$

Allgemein gilt:

$$\frac{d[f(x)+g(x)]}{dx} = \frac{df(x)}{dx} + \frac{dg(x)}{dx}.$$

Produkt. Der Differentialquotient eines Produktes $y = f(x) \cdot g(x)$ wird folgendermaßen berechnet: Man bildet den Differentialquotienten des ersten Faktors und multipliziert ihn mit dem zweiten Faktor; zu diesem Produkt addiert man den Differentialquotienten des zweiten Faktors, multipliziert mit dem ersten:

$$\frac{d[f(x)\cdot g(x)]}{dx} = \frac{df(x)}{dx}\cdot g(x) + \frac{dg(x)}{dx}\cdot f(x).$$

Quotient. Der Differentialquotient eines Quotienten $y = \frac{f(x)}{g(x)}$ wird folgendermaßen berechnet: Man bildet den Differentialquotienten des Zählers und multipliziert ihn mit dem Nenner; von diesem Produkt subtrahiert man den Differentialquotienten des Nenners, multipliziert mit dem Zähler; diese Differenz dividiert man schließlich durch das Quadrat des Nenners:

$$\frac{d\left[\frac{f(x)}{g(x)}\right]}{dx} = \frac{\frac{df(x)}{dx}\cdot g(x) - \frac{dg(x)}{dx}\cdot f(x)}{[g(x)]^2},$$

wobei $g(x) \neq 0$ sein muß.

Als Beispiel diene der Quotient $\frac{f(x)}{g(x)}$ der Funktionen $f(x) = x^2 + x + 1$ und $g(x) = x + 1$. Den Differentialquotienten berechnet man unter Benutzung der genannten Regeln:

$$\frac{f(x)}{g(x)} = \frac{x^2+x+1}{x+1},$$

$$\frac{d\frac{x^2+x+1}{x+1}}{dx} = \frac{(x+1)\frac{d(x^2+x+1)}{dx} - (x^2+x+1)\frac{d(x+1)}{dx}}{(x+1)^2}$$

$$= \frac{(x+1)(2x+1) - (x^2+x+1)\cdot 1}{(x+1)^2}$$

$$= \frac{2x^2+2x+x+1-x^2-x-1}{(x+1)^2} = \frac{x(x+2)}{(x+1)^2}$$

Anwendungsbeispiele. Die angegebenen Differentiationsregeln gestatten es z. B., den Differentialquotienten eines Polynoms oder auch eines Quotienten aus zwei Polynomen, einer sog. *rationalen Funktion*, zu bestimmen. Die Ableitungen sind wiederum Polynome bzw. rationale Funktionen, die ihrerseits erneut differenziert werden können.

Für andere spezielle Funktionen ist das Vorhandensein des Differentialquotienten leicht nachzuweisen, so z. B. für die trigonometrischen Funktionen, die Logarithmusfunktion, die Exponentialfunktion u. a.; in der folgenden Tabelle werden die Ableitungen der wichtigsten Funktionen angegeben.

Differentialquotienten der wichtigsten Funktionen

Funktion	Differentialquotient
$y = c$	$\frac{dy}{dx} = 0$
$y = x^n$	$\frac{dy}{dx} = nx^{n-1}$
$y = \sin x$	$\frac{dy}{dx} = \cos x$
$y = \cos x$	$\frac{dy}{dx} = -\sin x$
$y = \tan x$	$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x} = 1 + \tan^2 x$

Funktion	Differentialquotient
$y = \cot x$	$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{\sin^2 x} = -1 - \cot^2 x$
$y = \arcsin x$	$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$y = \arccos x$	$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$y = \arctan x$	$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{1+x^2}$
$y = \operatorname{arccot} x$	$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{1+x^2}$
$y = a^x$	$\frac{dy}{dx} = a^x \ln a$
$y = e^x$	$\frac{dy}{dx} = e^x$
$y = \lg x$	$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{x} \lg e$
$y = \ln x$	$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{x}$

Differentialquotienten höherer Ordnung. Man erkennt an dem Beispiel der Differentiation rationaler Funktionen, daß es differenzierbare Funktionen gibt, deren Ableitungen (Differentialquotienten) wiederum differenzierbar sind. Man gelangt so zu dem Begriff der *zweiten Ableitung* oder des *zweiten Differentialquotienten*, auch Differentialquotient zweiter Ordnung genannt, einer Funktion $y = f(x)$ als des Differentialquotienten des Differentialquotienten von $f(x)$, die gewöhnlich mit einem der Symbole

$$\frac{d^2y}{dx^2}, \quad \frac{d^2f(x)}{dx^2} \quad f''(x), \quad y''$$

(gesprochen: z. B. $\frac{d^2y}{dx^2}$ als „de zwei Ypsilon nach dx Quadrat" oder $f''(x)$ als „eff zwei Strich von x" usw.) bezeichnet wird. Zum Beispiel findet man die zweite Ableitung der Funktion

$$y = x^2 + x + 1$$

indem man die erste Ableitung bildet:

$$y' = 2x + 1$$

und diese wiederum differenziert:

$$(y')' = y'' = 2.$$

Entsprechend kann man zu Differentialquotienten höherer als zweiter Ordnung aufsteigen, z. B. zu Differentialquotienten dritter, vierter oder allgemein n-ter Ordnung, in Zeichen $\frac{d^3y}{dx^3}, \frac{d^4y}{dx^4}, \ldots, \frac{d^ny}{dx^n}$ bzw. $y''', y'''', \ldots, y^{(n)}$. Dabei ist in jedem Fall zu prüfen, ob die betrachtete Funktion überhaupt derartige Differentialquotienten besitzt.

INTEGRALRECHNUNG

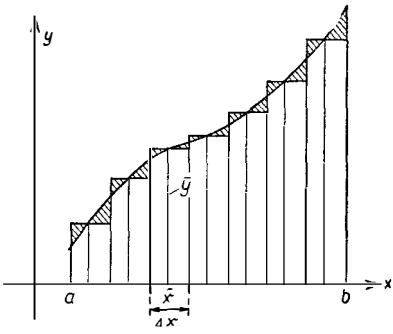
Das bestimmte Integral. Als historischer Ursprung der Integralrechnung kann das Problem angesehen werden, den Flächeninhalt eines krummlinig begrenzten ebenen Flächenstückes auszumessen. Verfeinerte Betrachtungen lösten den Integralbegriff von der ursprünglichen anschaulichen Vorstellung des Flächeninhaltes und führten zu einer nur auf dem Zahlbegriff beruhenden analytischen Fassung.

Ist eine Funktion $y = f(x)$ in einem kartesischen Koordinatensystem graphisch dargestellt, so kann das Grundintervall auf der x-Achse von $x = a$ bis $x = b$, auf dem die Funktion $F(x)$ erklärt ist, in kleine Teilintervalle der Länge Δx zerlegt werden (Abb.). Unter geeigneten Voraussetzungen über $f(x)$ gehört zu jedem Δx ein mittlerer Wert $\bar{y} = f(\bar{x})$, für den $f(\bar{x})\,\Delta x$ den Flächeninhalt des schmalen Streifens zwischen x-Achse und Kurve angibt. Je kleiner Δx wird, um so weniger ist der Mittelwert $f(\bar{x})$ von dem Funktionswert $f(x)$ verschieden.

Wird Δx immer kleiner, d. h. die Anzahl der Streifen immer größer, so konvergieren die Summen der Flächeninhalte $f(\bar{x})\,\Delta x$ aller schmalen Streifen gegen einen Grenzwert, den man das *bestimmte Integral von* $f(x)$ *über das Intervall* $a \ldots b$ nennt und mit

$$F = \int_a^b f(x)\,dx \quad \text{[lies: Integral von } a \text{ bis } b \text{ über } f(x)\,dx\text{]}$$

bezeichnet; F stellt den Inhalt des Flächenstückes zwischen x-Achse und Kurve von $x = a$ bis $x = b$ dar. Die Funktion $y = f(x)$ heißt in diesem Fall *integrierbar* über das Intervall von a bis b; a und b heißen *Integrationsgrenzen*, und zwar a die untere, b die obere Integrationsgrenze.



Bestimmtes Integral als Flächeninhalt

Durch einen derartigen Grenzprozeß kann man z. B. die Länge eines Kurvenstückes, den Flächeninhalt eines krummlinig begrenzten ebenen Flächenstückes, das Volumen oder den Flächeninhalt der Oberfläche eines durch eine geschlossene gekrümmte Fläche begrenzten Raumteils (Körpers) berechnen. Der Vorgang der Berechnung eines Integrals heißt *integrieren* oder *Integration*. Im Gegensatz zur Differenzierbarkeit ist die Integrierbarkeit eine Eigenschaft „im Großen": Für die in der Integralrechnung vorkommenden Grenzprozesse muß die Funktion bzw. das zu untersuchende Gebilde als *Ganzes* bekannt sein.

Einige Eigenschaften des bestimmten Integrals. Die Funktionen $f(x)$ und $g(x)$ seien über das Intervall von a bis b integrierbar und m eine beliebige von Null verschiedene Konstante. Dann sind die Summe und die Differenz $f(x) \pm g(x)$ sowie das Produkt $m \cdot f(x)$ bzw. $m \cdot g(x)$ wiederum über das Intervall von a bis b integrierbare Funktionen; die zugehörigen bestimmten Integrale errechnen sich nach folgenden Regeln, die hier ohne Herleitung angegeben werden.

Summe (Differenz). Das bestimmte Integral einer Summe (Differenz) ist gleich der Summe (Differenz) der bestimmten Integrale der Summanden, d. h., eine Summe (Differenz) wird gliedweise integriert. Es gilt also:

$$\int_a^b [f(x) \pm g(x)]\,dx = \int_a^b f(x)\,dx \pm \int_a^b g(x)\,dx.$$

Produkt. Das bestimmte Integral des Produktes $m \cdot f(x)$ ist gleich dem m-fachen des bestimmten Integrals von $f(x)$, d. h., ein konstanter Faktor darf vor das Integrationszeichen gezogen werden:

$$\int_a^b [m \cdot f(x)]\,dx = m \cdot \int_a^b f(x)\,dx.$$

Teilintervalle. Ist eine Funktion $y = f(x)$ über das Intervall von a bis b integrierbar, so ist sie auch über jedes Teilintervall von α bis β integrierbar. Wird insbesondere das Intervall von a bis b durch eine Anzahl von Teilpunkten $a_1, a_2, \ldots, a_n$ in endlich viele Teilintervalle zerlegt, die in ihrer Gesamtheit gerade das Intervall von a bis b überdecken, ohne sich gegenseitig zu überlappen, so ist das Integral von a bis b über $y = f(x)$ gerade gleich der Summe der Integrale über die Teilintervalle:

$$\int_a^b f(x)\,dx = \int_a^{a_1} f(x)\,dx + \int_{a_1}^{a_2} f(x)\,dx + \cdots + \int_{a_n}^b f(x)\,dx.$$

Integrierbarkeit. Ist eine Funktion in allen Punkten eines Intervalls von a bis b differenzierbar, so ist sie auch *integrierbar* über dieses Intervall. Doch ist die Gesamtheit der über ein Intervall integrierbaren Funktionen wesentlich umfassender als die Gesamtheit der dort differenzierbaren Funktionen. So sind alle Funktionen, deren Bilder in einem Koordinatensystem anschaulich erfaßbare Kurven ergeben, integrierbar; das gilt auch dann, wenn die Bildkurven Spitzen, wie $y = |x|$ für $x = 0$, oder Sprünge, sog. *Unstetigkeitsstellen*, aufweisen.

Obwohl es möglich ist, für weite Klassen von Funktionen die Integrierbarkeit nachzuweisen, können dieser Nachweis und die Berechnung des bestimmten Integrals in zahlreichen Fällen beträchtliche Schwierigkeiten bereiten; die Berechnung eines bestimmten Integrals ist häufig nur auf iterativem Wege durch ein geeignetes Näherungsverfahren möglich. Ein Beispiel eines solchen Näherungsverfahrens ist die *Trapezregel*.

Der hier eingeführte Integralbegriff geht auf Bernhard *Riemann* (1826 bis 1866) zurück; allgemeinere, den Riemannschen umfassende Integralbegriffe wurden z. B. von *Stieltjes* oder *Perron* aufgestellt.

Das unbestimmte Integral. Der enge Zusammenhang zwischen Differential- und Integralrechnung zeigt sich darin, daß mit Hilfe des Integralbegriffs auch das Problem, die Differentiation umzukehren, gelöst werden kann: Formal wird zu einer gegebenen Funktion $f(x)$ eine Funktion $F(x)$, *Stammfunktion* oder *unbestimmtes Integral* von $f(x)$ genannt, gesucht, deren Ableitung die gegebene Funktion $f(x)$ ist:

$$F(x) = \int f(x)\,dx, \quad \frac{dF(x)}{dx} = f(x).$$

Da die Ableitung einer Konstanten gleich Null ist, ist dieses Problem nicht eindeutig lösbar: Wenn überhaupt, so gibt es zu einer Funktion $f(x)$ unendlich viele Stammfunktionen, die sich voneinander durch additive Konstanten unterscheiden. Ist also $F(x)$ eine Stammfunktion von $f(x)$, so ist auch

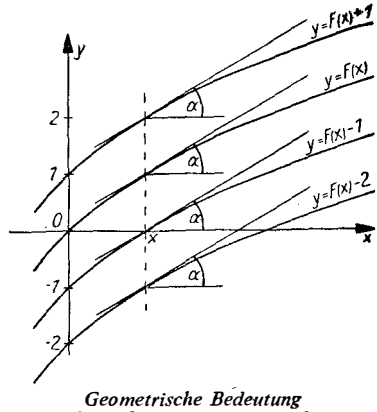
$$G(x) = F(x) + C$$

mit einer beliebigen Konstanten C eine solche Funktion, weil $G'(x) = F'(x) = f(x)$ ist.

Geometrische Bedeutung des unbestimmten Integrals. Geometrisch bedeutet das Problem, zu einer gegebenen Funktion $f(x)$ eine Stammfunktion $F(x)$ zu bestimmen: Es ist eine Funktion $F(x)$ zu suchen, deren Steigung an jeder Stelle x vorgegeben ist; die Richtung der Tangente in jedem Punkt an die zugehörige Kurve ist also bekannt, die Kurve selbst ist zu bestimmen.

Dies ist nicht eindeutig möglich; es gibt vielmehr unendlich viele derartige Kurven (eine *Kurvenschar*), die sämtlich von gleicher Gestalt sind; insbesondere stimmen sie an jeder Stelle x in ihren Steigungen überein und können daher durch Verschiebungen in Richtung der y-Achse ineinander übergeführt werden (Abb.).

Wenn also die Steigung einer Kurve für jeden Wert x ihres Definitionsbereichs gegeben ist, so ist die Kurve selbst dadurch nur bis auf eine additive Konstante bestimmt, die eine Verschiebung in Richtung der y-Achse bewirkt. Dem entspricht die Tatsache, daß das unbestimmte Integral ebenfalls nur bis auf eine solche Konstante festgelegt ist.



Geometrische Bedeutung des unbestimmten Integrals

Zusammenhang zwischen unbestimmtem und bestimmtem Integral. Der Wert des bestimmten Integrals $\int_a^b f(x)\,dx$ einer Funktion $y = f(x)$ ist von den Integrationsgrenzen a und b abhängig; werden a und b fest gewählt, so hat das bestimmte Integral einen genau definierten, konstanten Wert. Nimmt man dagegen z. B. die obere Integrationsgrenze als variabel in dem Intervall von $x = a$ bis $x = b$ an und bezeichnet sie mit x, so ist der Wert des Integrals $\int_a^x f(x)\,dx$ eine Funktion seiner oberen Grenze x; diese Funktion werde mit $F(x)$ bezeichnet:

$$F(x) = \int_a^x f(x)\,dx.$$

Sie gibt für jeden Wert der Variablen x den Inhalt des Flächenstückes zwischen x-Achse und Kurve $y = f(x)$ an, das von den Ordinaten a und x begrenzt wird.

Die Integralrechnung beweist nun, daß diese Funktion $F(x)$ in allen wichtigen Fällen eine Stammfunktion oder ein unbestimmtes Integral von $f(x)$ ist. Unter bestimmten Voraussetzungen ist es also möglich, mit Hilfe des bestimmten Integrals einer Funktion $f(x)$ eine Stammfunktion $F(x)$ anzugeben. Mit dieser Angabe ist insbesondere der Nachweis gelungen, daß Stammfunktionen der Funktion $f(x)$ überhaupt existieren. Jede weitere Stammfunktion $G(x)$ von $f(x)$ kann aus $F(x)$ durch Addition einer geeigneten Konstanten gewonnen werden:

$$G(x) = F(x) + C = \int f(x)\,dx + C.$$

Durch Fortlassen der unteren und oberen Integrationsgrenzen und der Konstanten C ergibt sich hieraus die bereits angegebene Bezeichnung $\int f(x)\,dx$ für das unbestimmte Integral; doch hat man zu beachten, daß das Symbol $\int f(x)\,dx$ immer nur ein unbestimmtes Integral von $f(x)$ bedeutet.

Erwähnt sei noch, daß bestimmte und unbestimmte Integration einander nicht bedingen. Es kann durchaus vorkommen, daß eine Funktion die eine, aber nicht die andere Eigenschaft hat. In der Integralrechnung wird nämlich gezeigt, daß es Funktionen gibt, die ein bestimmtes Integral, aber

keine unbestimmten Integrale haben, umgekehrt gibt es auch Funktionen mit Stammfunktion, die nicht integrierbar sind.

Berechnung von unbestimmten Integralen. Eine Möglichkeit zur Berechnung von unbestimmten Integralen ergibt sich unmittelbar aus der Definition des unbestimmten Integrals durch die Umkehrung der bekannten Differentiationsformeln. Aus der *Differentiationsformel* $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ erhält man die *Integrationsformel* $F(x) = \int f(x)\,dx + C$.
Das Ergebnis einer jeden solchen unbestimmten Integration kann durch Differentiation kontrolliert werden; es muß sich dabei entsprechend der Definition des unbestimmten Integrals wiederum die Ausgangsfunktion ergeben. Man erkennt auch sofort, daß die Stammfunktion einer Summe von Funktionen gleich der Summe der Stammfunktionen der einzelnen Funktionen ist.

Stammfunktion der Potenzfunktion. Für $F(x) = x^{n+1} + C$ ist die Ableitung $F'(x) = (n+1)\cdot x^n$, für $F(x) = \frac{1}{n+1}\cdot x^{n+1} + C$ ist sie $F'(x) = x^n$. Hieraus ergibt sich durch Umkehrung die Stammfunktion der Potenzfunktion $y = x^n$:

$$f(x) = x^n$$
$$F(x) = \int f(x)\,dx = \int x^n dx = \frac{1}{n+1}\cdot x^{n+1} + C.$$

Dies gilt für alle Potenzfunktionen $y = x^n$ mit $n \neq -1$; im letzteren Falle würde der Nenner des Quotienten $\frac{1}{n+1}$ verschwinden.

Stammfunktion eines Polynoms. Es ist nun möglich, die Stammfunktion eines Polynoms, auch ganze rationale Funktion genannt, anzugeben. Ist z. B.

$$f(x) = 3x^2 + 4x + 5,$$

so ist

$$F(x) = \int f(x)\,dx = x^3 + 2x^2 + 5x + C.$$

Dieses Ergebnis kann durch Differentiation kontrolliert werden. Es ist tatsächlich

$$\frac{dF(x)}{dx} = 3x^2 + 2\cdot 2x + 5 = 3x^2 + 4x + 5 = f(x).$$

Das Polynom

$$y = a_n x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \cdots + a_1 x + a_0$$

n-ten Grades hat als Stammfunktion

$$F(x) = \int (a_n x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \cdots + a_1 x + a_0)\,dx$$
$$= \frac{a_n}{n+1}x^{n+1} + \frac{a_{n-1}}{n}x^n + \cdots + \frac{a_1}{2}x^2 + a_0 x + C.$$

Das ist wiederum ein Polynom, das gegenüber dem ursprünglichen einen um Eins erhöhten Grad hat.
An anderen Verfahren zum Berechnen von unbestimmten Integralen seien die *partielle Integration* und die *Integration durch Substitution* hier nur genannt.
Die Stammfunktionen häufig vorkommender Funktionen sind in folgender Tabelle angegeben.

Integrale häufig vorkommender Funktionen

$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C,\ (n \neq -1)$	$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C$
$\int \sin x\,dx = -\cos x + C$	$\int \frac{dx}{\sqrt{1+x^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2+1}) + C$
$\int \cos x\,dx = \sin x + C$	$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \ln(x + \sqrt{x^2-1}) + C,\ (\lvert x\rvert > 1)$
$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \tan x + C$	$\int e^x dx = e^x + C$
$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\cot x + C$	$\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + C$
$\int \frac{dx}{1+x^2} = \arctan x + C$	$\int \frac{dx}{x} = \ln\lvert x\rvert + C$
$\int \frac{dx}{1-x^2} = \frac{1}{2}\ln\frac{1+x}{1-x} + C,\ (\lvert x\rvert < 1)$	

Der Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung. Es sei das Integral $\int_a^b f(x)\,dx$ zu berechnen. $F(x)$ sei eine Stammfunktion von $f(x)$. Dann sagt der *Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung* aus:
Das bestimmte Integral der Funktion $f(x)$ zwischen den Integrationsgrenzen a und b wird durch die Differenz $F(b) - F(a)$ der Werte der Stammfunktion $F(x)$ an den Integrationsgrenzen angegeben:

$$\int_a^b f(x)\,dx = F(b) - F(a).$$

Ist z. B. $f(x) = x^2$, also $F(x) = \frac{1}{3}x^3$, so ist

$$\int_0^1 x^2 dx = \frac{1}{3}\cdot 1 - \frac{1}{3}\cdot 0 = \frac{1}{3}.$$

Weiteres Beispiel: Wegen $\int \cos x\,dx = \sin x$ ist

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos x\,dx = \sin\frac{\pi}{2} - \sin 0 = 1 - 0 = 1.$$

Der Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung besagt also, daß man bei Kenntnis der unbestimmten Integrale einer Funktion deren bestimmte Integrale angeben kann. Da es für weite Klassen von Funktionen Verfahren gibt, ihre unbestimmten Integrale aufzufinden, kommt diesem Satz große praktische Bedeutung für die Berechnung bestimmter Integrale zu. Die Differential- und die Integralrechnung sind für die Technik und für die Naturwissenschaften, besonders für die theoretische Physik und die Astronomie, unentbehrlich; denn sie ermöglichen es, z. B. durch die Untersuchung von Größen während eines sehr kleinen Zeitraumes deren allgemeines Verhalten genau zu berechnen, z. B. bei der Bestimmung der Bahnen der Kometen oder künstlicher Erdsatelliten.
Differential- und Integralrechnung haben damit dem Menschen die Mittel gegeben, die funktionalen Zusammenhänge in der Natur begrifflich und zahlenmäßig zu erfassen und in der Technik anzuwenden. Die Mathematik wird dadurch nicht nur zu einer wichtigen Grundlage der Naturwissenschaft, sondern auch der Technik und der Wirtschaft.

XI. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
seit 2000 bis 200 u. Z.	Bis ins zweite Jahrtausend reichen die erhalten gebliebenen mathematischen Keilschrifttafeln zurück, die eine erstaunliche Höhe der *babylonischen* Mathematik erkennen lassen: Sexagesimales Zahlensystem, Lückenzeichen (= Null), Quadrat-, Kubik-, Quadratwurzel-, Reziproken- und Multiplikationstafeln, mehrere Gleichungen mit mehreren Unbekannten, arithmetische Reihen, Summenbildung von Quadratzahlen, arithmetische und geometrische Mittel, quadratische und kubische Gleichungen, Zins- und Zinseszinsrechnung, pythagoreischer Lehrsatz, Thalessatz, 3 für π, trigonometrischer Kotangens als Böschungswert.
1700	Aus dieser Zeit etwa stammen die erhalten gebliebenen Dokumente der *altägyptischen* Mathematik: Moskauer Papyrus, Papyrus Rhind, eine Lederrolle u. a. Zur Lösung praktischer Aufgaben bei Landvermessung und im Wirtschaftsleben werden lineare Gleichungen, arithmetische und geometrische Reihen beherrscht. Richtig wird der Pyramidenstumpf berechnet, π durch 3 oder besser $\frac{\pi}{4}$ durch $\left(\frac{8}{9}\right)^2$ angenähert, im Bauwesen als Vorstufe der darstellenden Geometrie Risse und quadratische Netze verwendet. Die Rechenverfahren beruhen auf fortgesetzter Verdoppelung und Halbierung, die Bruchrechnung wird mit Stammbrüchen vorgenommen.
1100	Früheste Dokumente der *chinesischen* Mathematik, deren Quellen mit Bestimmtheit noch weiter zurück, wahrscheinlich im 3. Jahrtausend liegen. Es sind überliefert trigonometrisch-astronomische Verfahren, Annäherung 3 für π, pythagoreisches Dreieck mit dem Verhältnis der Seitenlängen 3 : 4 : 5, Behandlung linearer Gleichungen, Theorie magischer Quadrate.
800	Früheste Dokumente der *indischen* Mathematik, deren Vorlagen wahrscheinlich noch weiter zurückreichen. Sie enthalten geometrische Flächenverwandlungen, den pythagoreischen Lehrsatz, rein quadratische Gleichungen, geometrisch-arithmetische Mittelwertbildungen.

7.—4. Jh. Griechische Philosophen (*Thales* von Milet, *Hippokrates* von Chios, *Pythagoras* von Samos, *Demokritos* von Abdera u. a.) gestalten den aus Babylonien und Ägypten übernommenen mathematischen Erfahrungsschatz um zu einer auf Definitionen und Beweisen beruhenden selbständigen Wissenschaft. Der materialistische Philosoph *Demokritos* fand auf Grund seiner atomistischen Denkweise die Volumina von Pyramide und Kegel. Die religiöse und politisch-reaktionäre Sekte der *Pythagoreer* treibt Zahlenmystik, stößt dabei auf zahlentheoretische Probleme, u. a. auf die Inkommensurabilität bei Strecken und Zahlen.

5. u. 4. Jh. Die klassische griechische Mathematik nimmt durch das Wirken von *Eudoxos* von Knidos, *Theaitetos* u. a. wegen der Schwierigkeiten mit den irrationalen Größen die Wendung zur geometrischen Algebra; d. h. rechnerische und algebraische Probleme, wie lineare und quadratische Gleichungen, werden geometrisch, durch Konstruktion, gelöst. Durch den Einfluß der idealistischen Philosophie, insbesondere der Schule *Platons*, auf die Mathematik entfremdet sich die Mathematik von der Praxis.

um 300 Der alexandrinische Mathematiker *Euklid* gibt mit den „Elementen" unter Verwendung früherer Teildarstellungen eine vorzügliche systematische Zusammenfassung der damaligen mathematischen Kenntnisse, allerdings ohne jeden Bezug auf die Anwendungen.

3. Jh. Höhepunkt der antiken Mathematik. *Archimedes* aus Syrakus (etwa 287 bis 212) erkennt die unbeschränkte Fortsetzbarkeit der Zahlenreihe, liefert sehr gute Näherungen für π, berechnet krummlinige begrenzte Flächen, indem er infinitesimale Betrachtungen unter Anknüpfung an Demokritos anstellt, und wendet die Mathematik auf physikalische Probleme an. *Apollonios* von Perge (etwa 262 bis 190) faßt frühere und eigene weitreichende Ergebnisse über Kegelschnitte in den „Konika" zusammen.

u. Z.

um 100 Wahrscheinlich um diese Zeit verfaßt *Heron* von Alexandria eine Vielzahl von Schriften zur praktischen Mathematik. Darin werden rechnerische Verfahren dargelegt sowie u. a. kubische Gleichungen behandelt.

um 130 Der hellenistische Astronom, Mathematiker und Geograph *Ptolemaios* faßt im „Almagest" die astronomischen Kenntnisse der Antike zusammen. Dazu gehören ebene und sphärische Trigonometrie, die in Form der Sehnentrigonometrie behandelt werden.

um 250 In der „Arithmetik" des *Diophantos* von Alexandria werden u. a. unbestimmte Gleichungen höheren Grades behandelt; es finden sich Anfänge einer algebraischen Symbolik.

415 Mit der Ermordung der Mathematikerin *Hypatia* durch christliche Fanatiker erlischt die alexandrinische Mathematikerschule.

um 500 Der indische Mathematiker und Astronom *Aryabhata* behandelt astronomische Probleme mit Kettenbrüchen und berechnet trigonometrische Tafeln.

um 630 Der Inder *Brahmagupta* behandelt u. a. ganzzahlige Lösungen unbestimmter Gleichungen, Sehnenvierecke.

7. Jh. Seit dem 7. Jh. ist in *Indien* das dezimale Positionssystem verbürgt, später kam das Lückenzeichen O, die Null, hinzu. Zum erstenmal treten negative Zahlen auf. Die indische Mathematik ist gekennzeichnet durch algebraisches und algorithmisches Denken. Zugleich wird eine hochstehende Trigonometrie durchgebildet, u. a. werden im 10. Jh. die Funktionen Sinus und Kosinus in allen 4 Quadranten betrachtet, noch später Sinussatz und Kosinussatz angedeutet und die Leibnizreihe für $\frac{\pi}{4}$ aufgestellt.

um 250 Die Rechenbücher des chinesischen Mathematikers *Liu Hui* werden verfaßt und sind seit dem 11. Jh. im Druck zugänglich.

7. Jh. *Chinesische* Mathematiker behandeln kubische Gleichungen und stellen gute Näherungen für π auf.

12. u. 13. Jh. Seit dem 12. Jh. ist in *China* die Kugelrechenmaschine, der Suan-pan, in häufigem Gebrauch. Mitte des 13. Jh. werden Gleichungen nach Art des Hornerschen Schemas aufgelöst, insbesondere von *Li Yeh*. Andere Mathematiker beschäftigen sich mit trigonometrischen Problemen, der Summierung von Quadratzahlen und stoßen bis zum Pascalschen Dreieck vor.

um 800 Das indische Positionssystem hat sich längs der Karawanenwege bis ins *arabische* Kulturgebiet ausgebreitet. *Al-Ḫwârazmî* schreibt eine „Aufgabensammlung für Kaufleute und Testamentsvollstrecker", gibt Näherungen für π an, löst rechnerisch quadratische Gleichungen und stellt Rechentafeln für astronomische Zwecke auf.

um 900 Die Hauptwerke der griechischen und indischen Mathematik sind ins *Arabische* übersetzt. Auf dieser Grundlage wird von arabisch schreibenden Gelehrten, die hauptsächlich aus Syrien, Iran und Mittelasien stammen, eine außerordentlich hochstehende Mathematik entwickelt.

um 1000 *Abû Kamil, Abû'l Wafâ* und *Al-Karaği* haben die Algebra bis zur Theorie der unbestimmten quadratischen Probleme gefördert. Später, um 1100, gibt *Al-Ḥajjâmî* eine Einteilung der kubischen Gleichungen und ihre Lösung durch Kegelschnitte. Durch Abû'l Wafâ, *Al-Bîrûnî* u. a. wird eine Sinus-Trigonometrie aufgebaut, werden Sinus- und Kosinussatz gefunden, systematische Darstellungen der Trigonometrie geschrieben und die trigonometrischen Tafeln bis zur Genauigkeit von 8 Dezimalen berechnet, bei *Ulûğ Beg* (Anfang 15. Jh.) sogar bis zur 15. Dezimale.

nach 1100 Über Spanien, Sizilien und auf Grund des Handels mit dem Nahen Osten gelangen unter vielen Erfindungen und geistigen Schätzen auch mathematische Kenntnisse nach *Europa*, wo nur ganz elementare Mathematik betrieben worden war, etwa Rechnen auf dem Abakus, Berechnung beweglicher Kirchenfeste. *Leonardo Fibonacci* von Pisa (gest. um 1250) verfaßt erste Darstellungen der Mathematik, z. B. über das Abakus-Rechnen.

15. u. 16. Jh. Durch die Entwicklung des Frühkapitalismus in Europa treten starke gesellschaftliche Anforderungen an die Mathematik auf. Die zunehmende Hochseeschiffahrt erzwingt die Durchbildung der Trigonometrie. Der deutsche Mathematiker *J. Regiomontan* (1436 bis 1476) gibt in den „5 Büchern über alle Arten von Dreiecken" eine geschlossene Darstellung der ebenen und der sphärischen Trigonometrie. Gleichzeitig werden genaue trigonometrische Tafeln von ihm und anderen Astronomen berechnet. Der Übergang zur Geldwirtschaft erfordert steigende Rechenkenntnisse. Überall in den Städten lehren Rechenmeister kaufmännisches Rechnen und die Rechenkunst. Das schriftliche Ziffernrechnen setzt sich gegen das Abakus-Rechnen durch. Von den deutschen Rechenmeistern ist durch seine Bücher am bekanntesten *Adam Ries* (1492 bis 1559) geworden, der in Annaberg, einem der Zentren des europäischen Silberbergbaues, wirkte. Die Rechenmeister gehen nach und nach dazu über, spezielle mathematische Abkürzungen zu benutzen und bezeichnen sich als Cossisten. 1464 tritt zum erstenmal der Multiplikationspunkt auf, 1481 die Zeichen + und −, 1525 erscheint der Wurzelhaken im Druck, 1557 das Gleichheitszeichen =. Die Entwicklung des Geschützwesens und des Festungsbaues sowie der bildenden und der darstellenden Kunst führt zu den Grundkenntnissen der darstellenden Geometrie. So verfassen *Leonardo da Vinci* (1452 bis 1519) und *A. Dürer* (1471 bis 1528) Lehrbücher der Perspektive. — Auf Grund des vertieften Interesses an Mathematik werden die antiken mathematischen Autoren neu herausgegeben und studiert.

1535 Der italienische Rechenmeister *N. Tartaglia* findet die rechnerische Auflösung der kubischen Gleichung. Auch *Sc. del Ferro* hatte sie schon um 1500 gefunden, aber nicht veröffentlicht. Tartaglia übergibt seine Lösung dem venezianischen Professor *G. Cardano* zu treuen Händen. Dieser mißbraucht das Vertrauen und veröffentlicht Tartaglias Verfahren in der „Ars magna" (1545) zusammen mit der von seinem Schüler *L. Ferrari* gefundenen Lösung der Gleichung 4. Grades und mit eigenen Untersuchungen über komplexe Zahlen.

1544 Das bedeutende Werk „Arithmetica integra" des Deutschen *M. Stifel* (1487? bis 1567) erscheint: es enthält u. a. die Grundgedanken des logarithmischen Rechnens.

1591 Der französische Gelehrte *Fr. Vieta* (1540 bis 1603) benutzt durchgängig Buchstaben zur Bezeichnung bekannter und unbekannter Zahlengrößen.

um 1600 Der Schweizer Mechaniker *J. Bürgi* (1552 bis 1632) berechnet die erste Logarithmentafel; seine „Progreßtabulen" erscheinen aber erst 1620. Inzwischen haben der Schotte *J. Neper* (1550 bis 1617) und der Engländer *H. Briggs* (1561 bis 1630) andere, ausführlichere Logarithmentafeln berechnet und publiziert. — Gleichzeitig propagiert der Niederländer *S. Stevin* (1548 bis 1620), der führend am Freiheitskampf gegen die Spanier beteiligt ist, den Übergang zu Dezimalbrüchen, die sich aber erst nach und nach durchsetzen.

um 1630 Der französische Jurist *P. de Fermat* (1601 bis 1665) beschäftigt sich mit Zahlentheorie und Flächenberechnungen, treibt analytische Geometrie und leistet wichtige Vorarbeiten zur späteren Differentialrechnung.

1635 Der italienische Gelehrte *B. Cavalieri* (1598? bis 1647) veröffentlicht seine Theorie der Indivisibeln, eine Vorstufe der Integralrechnung, die u. a. auch an *J. Keplers* Volumenberechnungen von Rotationskörpern von 1615 anknüpft.

1637 Der französische Philosoph *René Descartes* (1596 bis 1650) veröffentlicht die „Abhandlung über die Methode". Darin ist die „Geometrie" enthalten, eine Darlegung der Methode der analytischen Geometrie, die auf der Verschmelzung von Geometrie

und Algebra beruht. Nach seinem Vorbild bezeichnet man heute die unbekannten Größen mit den letzten Buchstaben des Alphabets.

1638 Während sich der italienische Naturwissenschaftler und Mathematiker *G. Galilei* (1564 bis 1642) in der Gefangenschaft der Inquisition befindet, erscheinen seine „Gespräche und mathematischen Demonstrationen" in den Niederlanden. Sie bilden wegen der Verschmelzung mathematischer Methoden mit physikalischen Problemen (Fallgesetz, Mechanik, Festigkeitslehre, Dynamik) einen der wichtigsten Marksteine bei der Herausbildung der klassischen Physik.

1640 Der französische Philosoph, Mathematiker und Physiker *B. Pascal* (1623 bis 1662) schreibt eine bedeutende Abhandlung über Kegelschnitte. Der französische Ingenieur *G. Desargues* (1591 bis 1661) entwickelt die Grundgedanken der projektiven Geometrie.

1642 *B. Pascal* konstruiert eine mechanische Rechenmaschine. Spätere mathematische Arbeiten enthalten infinitesimale Untersuchungen, darunter das charakteristische Dreieck bei einer Kurventangente. Er formuliert das Prinzip der vollständigen Induktion.

1654 *B. Pascal* und *P. Fermat* korrespondieren über die Grundgesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung.

1657 Der niederländische Physiker und Mathematiker *Chr. Huygens* (1629 bis 1695) konstruiert eine Pendeluhr. Seine Untersuchungen führen die Arbeiten von *Galilei* zur mathematischen Physik weiter. In der Mathematik liefert er bedeutsame Beiträge zur Quadratur von Kurven sowie zur Wahrscheinlichkeitsrechnung.

1656 Der englische Mathematiker *J. Wallis* (1616 bis 1703) veröffentlicht die „Arithmetik der unendlich kleinen Größen", in der wesentliche Ergebnisse zur späteren Integralrechnung und Reihenlehre dargelegt werden.

1665/66 Der große englische Naturforscher *Isaac Newton* (1643 bis 1727) entwickelt die ersten Vorstellungen seiner Fluxionsrechnung, d. h. der Differentialrechnung, die allerdings erst später veröffentlicht werden. Mit ihrer Hilfe gewinnt er die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung aus dem von ihm aufgestellten allgemeinen Gravitationsgesetz. 1687 erscheinen seine „Mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft", in denen diese Ergebnisse dargelegt werden und die Mechanik axiomatisch aufgebaut wird. Darin wird auch das erste Variationsproblem der Mathematikgeschichte behandelt. Newton wendet seit 1669 die Reihenentwicklung systematisch an, z. B. auf die Quadraturen von Kurven. 1707 erscheint ein schon früher verfaßtes Lehrbuch der Algebra, das u. a. Untersuchungen über Potenzsummen enthält.

1672—1676 In dieser Zeit seines Aufenthaltes in Paris konstruiert der deutsche Philosoph *G. W. Leibniz* (1646 bis 1716) eine Rechenmaschine, 1674 erfindet er die Staffelwalze. Unabhängig von Newton entwickelt er die Grundmethoden und Bezeichnungsweisen der Differential- und Integralrechnung, die er 1684—1686 veröffentlicht. Er prägt das Wort Differentialrechnung und die Bezeichnungen d, dx, $\int$.

1691/92 Der Schweizer Mathematiker *Joh. Bernoulli* (1697 bis 1748) verfaßt unter Benutzung der Leibnizschen Bezeichnungsweisen systematische Darstellungen der Differential- und Integralrechnung, prägt das Wort Integral. Auf dieser Grundlage gibt der französische Adelige *L'Hospital* 1696 ein erstes Lehrbuch des „Rechnens mit unendlich kleinen Größen" heraus.

1693 *Leibniz* gebraucht zur Auflösung von linearen Gleichungssystemen determinantenähnliche Ausdrücke. Er beschäftigt sich mit Axiomatik und Grundgedanken der Topologie und der Gruppentheorie.

1697 Im wissenschaftlichen Streit behandeln *Johann* und *Jakob Bernoulli* (1655 bis 1705) das Problem der Brachistochrone, ein Variationsproblem. 1701 veröffentlicht Jak. Bernoulli zusammenhängende Ergebnisse zur Variationsrechnung.

1713 Postum erscheint die „Ars Conjectandi" von *Jak. Bernoulli*, eine Darstellung der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die u. a. das Gesetz der großen Zahl enthält. Im Anhang sind seine Beiträge zur Reihenlehre zusammengefaßt.

1715 Der englische Mathematiker *B. Taylor* (1685 bis 1731) veröffentlicht eine Darstellung der Reihenlehre.

um 1720 *Johann*, *Nikolaus* und *Daniel Bernoulli*, *J. Riccati* u. a. durchforschen die elementar integrierbaren gewöhnlichen Differentialgleichungen und studieren die ersten partiellen Differentialgleichungen.

1738 *Daniel Bernoulli* (1700 bis 1782) veröffentlicht eine bedeutende Arbeit zur mathematischen Behandlung der Hydrodynamik.

1739 *D'Alembert* (1717 bis 1783), seit 1751 ein führender Mitarbeiter an der Großen Französischen Enzyklopädie, behandelt die Dynamik, formuliert u. a. das d'Alembertsche Prinzip. Später beschäftigt er sich mit der exakten Fassung des Grenzüberganges und behandelt Differentialgleichungen.

1747 Der französische Astronom und Mathematiker *P. L. M. de Maupertuis* (1698 bis 1759) formuliert das Prinzip der kleinsten Wirkung, faßt es allerdings idealistisch, als teleologisches Prinzip auf.

1748 Mit der „Introductio", der „Einführung in die Analysis der unendlich kleinen Größen", beginnt der geniale Schweizer Mathematiker *Leonhard Euler* (1707 bis 1783) eine Reihe bedeutsamer Lehrbücher der höheren Mathematik zu publizieren. Euler, der 31 Jahre lang an der Petersburger Akademie wirkte, war schrittmachend auf fast allen Gebieten der Mathematik, in Zahlentheorie, Reihenlehre, Infinitesimalrechnung, Differentialgleichungen, Variationsrechnung, und hat viele Bezeichnungen der modernen Mathematik, z. B. e, i, $f(x)$, eingeführt.

1755 Der Franzose *J. L. Lagrange* (1736 bis 1813) entwickelt einen Kalkül zur Variationsrechnung und findet die Differentialgleichung der Minimalflächen. Mit seinen späteren Arbeiten zu allen Gebieten der höheren Analysis, zur Algebra, zur theoretischen Astronomie, z. B. zum Dreikörperproblem und zur formalen Durchbildung der Mechanik, reiht sich Lagrange unter die bedeutendsten Mathematiker überhaupt ein. Während der Großen Französischen Revolution ist Lagrange führend an der Einführung des metrischen Maß- und Gewichtssystems beteiligt.

1794 Der französische Mathematiker *G. Monge* (1746 bis 1818) veröffentlicht einen schon früher ausgearbeiteten systematischen Lehrgang der darstellenden Geometrie, die damit als geschlossene Disziplin vorliegt. Monge ist führend an dem Sieg der bürgerlichen Revolution in Frankreich beteiligt. 1795 wird in Paris maßgeblich durch seine Initiative die École Polytechnique, die erste Technische Hochschule, gegründet.

1796 *Carl Friedrich Gauß* (1777 bis 1855) macht als Student in Göttingen neunzehnjährig die Entdeckung, daß sich auch das regelmäßige 17-Eck mit Zirkel und Lineal konstruieren läßt. Daraufhin wendet er sich endgültig der Mathematik zu.

1797 Der dänische Mathematiker *K. Wessel* (1745 bis 1818) führt erstmals ein Diagramm zur Veranschaulichung der komplexen Zahlen ein, die indessen erst durch die Autorität von Gauß in der Mathematik volle Anerkennung finden.

1799 *Gauß* liefert den ersten einwandfreien Beweis des Fundamentalsatzes der Algebra; in der Folgezeit findet er noch andere, davon unabhängige Beweise. Er gewinnt umfassende Kenntnisse zur Theorie der elliptischen Funktionen, die 25 Jahre später durch *N. H. Abel* und den deutschen Mathematiker *C. G. J. Jacobi* (1804 bis 1851) neu gefunden werden. Er beschäftigt sich mit nichteuklidischer Geometrie, ohne die weitreichenden Ergebnisse je zu publizieren.

1801 Die „Arithmetischen Untersuchungen" von *Gauß* erscheinen. Sie enthalten tiefgreifende zahlentheoretische Ergebnisse und begründen eine neue Auffassung des Zahlbegriffs.

1810 Der französische Mathematiker *J. B. J. Fourier* veröffentlicht Ergebnisse über trigonometrische Reihen. 1822 legt er die mathematische Theorie der Wärmeleitung dar.

1812 Der französische Mathematiker und Astronom *P. S. Laplace* (1749 bis 1827) veröffentlicht seine „Theorie der Wahrscheinlichkeiten". Von ihm stammen weiter wichtige Untersuchungen zur Theorie der partiellen Differentialgleichungen.

1817 Der böhmische Philosoph und Mathematiker *B. Bolzano* (1781 bis 1848) gibt als erster eine strenge Fassung des Stetigkeitsbegriffes. In den 1847 erschienenen „Paradoxien des Unendlichen" erkennt er, daß eine Teilmenge einer unendlichen Menge mit der ganzen Menge gleichmächtig sein kann. Von ihm stammt das erste Beispiel einer einem ganzen Intervall stetigen, aber dort nirgends differenzierbaren Funktion.

1821 Eines der Hauptwerke des überaus bedeutenden französischen Mathematikers und Physikers *A. L. Cauchy* (1789 bis 1857) erscheint, der „Cours d'Analyse". Er gibt eine strenge Begründung der Grenzübergänge, baut eine systematische Theorie der Funktionen komplexer Variabler auf und liefert wichtige Beiträge zur Algebra.

1822 Der französische Mathematiker *J.-V. Poncelet* (1788 bis 1867) veröffentlicht eine systematische Darstellung der projektiven Geometrie.

1824 Der norwegische Mathematiker *N. H. Abel* (1802 bis 1829) beweist die Unmöglichkeit, die allgemeine Gleichung 5. Grades durch Radikale aufzulösen.

1827 *Gauß'* Untersuchungen zur Differentialgeometrie erscheinen.

1829 Der russische Mathematiker *N. Lobatschewski* (1793 bis 1856) veröffentlicht als erster eine nichteuklidische Geometrie.

1830 Der geniale französische Mathematiker *E. Galois* (1811 bis 1832) schreibt eine grundlegende Abhandlung über die Bedingungen der Auflösbarkeit algebraischer Gleichungen durch Radikale und begründet damit die nach ihm benannte Theorie.

1832 Der ungarische Mathematiker *J. Bolyai* (1802 bis 1860) veröffentlicht unabhängig von seinen Vorgängern eine nichteuklidische Geometrie.

1836 Der russische Mathematiker *M. Ostrogradski* (1801 bis 1862) gibt die Umwandlung mehrfacher Integrale an.

1839 *Gauß* begründet die Potentialtheorie als selbständige mathematische Disziplin.

1843 Der irische Mathematiker *W. Hamilton* (1805 bis 1865) veröffentlicht seine Theorie der Quaternionen.

1845 Der russische Mathematiker *P. Tschebyschew* (1821 bis 1894) läßt ein Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung erscheinen, das die weitere Entwicklung dieser mathematischen Richtung wesentlich gefördert hat. Von ihm stammen ferner wichtige Arbeiten zur Approximation von Funktionen durch Reihen, zur Primzahlverteilung und zur Zahlentheorie.

1846 Der russische Mathematiker *K. J. Bunjakowski* (1804 bis 1889) veröffentlicht eine mathematische Theorie der Wahrscheinlichkeiten und wendet die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Statistik (insbesondere Versicherungs- und Bevölkerungsstatistik) an.

1847 Der deutsche Mathematiker und bedeutende Algebraiker *E. E. Kummer* (1810 bis 1893) prägt den Begriff Ideal.

1854 Der englische Mathematiker *G. Boole* (1815 bis 1869) veröffentlicht ein Werk, das die Grundlagen der mathematischen Logik schafft.

1855 *C. F. Gauß*, der „princeps mathematicorum", stirbt am 23. Februar. Er hat alle Gebiete der Mathematik wesentlich befruchtet. Er war zugleich ein bedeutender Geodät (Methode der kleinsten Quadrate), Astronom (Störungsrechnung) und Physiker (Untersuchungen des Erdmagnetismus, zusammen mit *W. Weber* Konstruktion des ersten elektromagnetischen Telegraphen).

1856 Der englische Mathematiker *A. Cayley* (1821 bis 1825) begründet den Matrizenkalkül im Zusammenhang mit der Theorie der Invarianten.

1861 Der hervorragende deutsche Mathematiker *B. Riemann* (1826 bis 1866) entwickelt den mathematischen Apparat der quadratischen Differentialformen, der später für die allgemeine Relativitätstheorie von entscheidender Bedeutung wurde. Damit führt er frühere Arbeiten fort. Riemann hat auf alle Gebiete der Mathematik befruchtend gewirkt, insbesondere auch in der Funktionentheorie (Riemannsche Fläche) und der analytischen Zahlentheorie (Riemannsche Zetafunktion).

1870 Der französische Mathematiker *C. Jordan* (1838 bis 1922) veröffentlicht ein Buch über Substitutionentheorie und algebraische Gleichungen, das, anknüpfend an *E. Galois* u. a., eine durchgearbeitete Theorie der Permutationsgruppen enthält.

1872 Der deutsche Mathematiker *F. Klein* (1849 bis 1925) weist im sog. Erlanger Programm der Gruppentheorie eine zentrale Rolle bei der Ordnung der verschiedenen Geometrien zu. Von ihm stammen weiter fundamentale Arbeiten zur Funktionentheorie.

1873 Der französische Mathematiker *Ch. Hermite* (1822 bis 1901) beweist die Transzendenz der Zahl *e*.

1874 Der deutsche Mathematiker *G. Cantor* (1845 bis 1918) beginnt mit einer Serie von Abhandlungen über die Mannigfaltigkeitslehre, in denen insbesondere die Theorien der Punktmengen und der transfinitiven Zahlen entwickelt werden. Er wird jedoch von seinen Zeitgenossen scharf angegriffen; heute besitzt die Mengenlehre eine zentrale Stellung in der Mathematik.

1879 Der deutsche Mathematiker *K. Weierstraß* (1815 bis 1897) dehnt auf der von ihm gegebenen Basis der Potenzreihenentwicklung für die Theorie der analytischen Funktionen die Theorie auch auf analytische Funktionen mehrerer komplexer Variabler aus. Von ihm stammen ferner, mit bis dahin unerreichter Strenge, grundlegende Arbeiten zur Variationsrechnung, Differentialgeometrie und Theorie der Elementarteiler.

1882 Der deutsche Mathematiker *F. Lindemann* (1852 bis 1939) beweist die Transzendenz der Zahl π und damit die Unmöglichkeit der Kreisquadratur mit Zirkel und Lineal.

1884 Der russische Mathematiker *A. M. Ljapunow* (1857 bis 1918) veröffentlicht erstmals zur Gleichgewichtstheorie rotierender Flüssigkeiten. Spätere Untersuchungen betreffen auch die Wahrscheinlichkeitstheorie.

1887	Der italienische Mathematiker *V. Volterra* (1860 bis 1940) veröffentlicht seine ersten Arbeiten zur Funktionalanalysis und wird einer ihrer Begründer. Von ihm stammt Grundlegendes zur Theorie der Differential-, Integral- und Integrodifferentialgleichungen. — Der deutsche Mathematiker *L. Kronecker* (1823 bis 1891) gibt bedeutende Beiträge zur Algebra und zur Zahlentheorie.
1888	Der deutsche Mathematiker *R. Dedekind* (1831 bis 1916) gibt einen strengen Aufbau der Theorie der Irrationalzahlen. — Der norwegische Mathematiker *S. Lie* (1842 bis 1899) entwickelt die Theorie der stetigen Transformationsgruppen.
1889	Der italienische Mathematiker *G. Peano* (1858 bis 1932) formuliert die nach ihm benannten 5 Axiome des Aufbaues des Systems der natürlichen Zahlen.
1895	Der französische Mathematiker und Philosoph *H. Poincaré* (1854 bis 1912) liefert wesentliche Beiträge zur Topologie (Analysis situs). Von ihm stammen ferner wichtige Arbeiten über Himmelsmechanik. Er verfehlt jedoch seiner idealistischen Grundeinstellung wegen den entscheidenden Schritt zur Relativitätstheorie, der von *A. Einstein* 1905 getan wurde.
1897	Der deutsche Mathematiker *D. Hilbert* (1862 bis 1945) entwickelt die Theorie der algebraischen Zahlkörper. Weitere richtungweisende Arbeiten betreffen die Grundlagen der Geometrie, die mathematische Logik, die Theorie der Integralgleichungen, die Zahlentheorie.
1901	Die italienischen Mathematiker *G. Ricci* (1853 bis 1925) und *Levi-Civita* (1873 bis 1941) schaffen den Tensorkalkül.
1903	Der schwedische Mathematiker *E. I. Fredholm* (1866 bis 1927) veröffentlicht wichtige Arbeiten über die Theorie der Integralgleichungen.
1906	Der französische Mathematiker *M. Fréchet* (geb. 1878) liefert bedeutende Beiträge zur Theorie der abstrakten Räume.
1911—1915	Die russisch-sowjetischen Mathematiker *D. F. Egorow* (1869 bis 1931) und *N. N. Lusin* (1883 bis 1950) veröffentlichen ihre für die Theorie der Funktionen einer reellen Veränderlichen grundlegenden Untersuchungen.
1920	Auf Anregung von *W. A. Steklow* (1864 bis 1926) wird in Moskau das „Mathematisch-Physikalische Forschungsinstitut" der sowjetischen Akademie der Wissenschaften gegründet, das sich zu einem der führenden mathematischen Forschungszentren der Erde entwickelt hat.
1923	Der polnische Mathematiker *St. Banach* (1892 bis 1945) liefert bedeutende Beiträge zur Maßtheorie.
1920—1930	Vollständige Strukturumwandlung der Algebra (*Emmy Noether*, *E. Artin* u. a.): Mengentheoretische Methoden finden ihren Eingang und führen zur mengentheoretischen Begründung der Algebra. Abstrakte Gruppentheorie, Körpertheorie, Ringtheorie usw. werden zu selbständigen mathematischen Disziplinen.
1933	Auf Grund vieler bedeutender Arbeiten gelingt dem sowjetischen Mathematiker *A. Kolmogorow* (geb. 1903) die axiomatische Begründung der modernen Wahrscheinlichkeitsrechnung. Er stellt den Zusammenhang mit der Mengenlehre und der Theorie der reellen Funktionen her.
1936/37	Der sowjetische Mathematiker *I. M. Winigradow* (geb. 1891) beweist die schwache Goldbachsche Vermutung, ein zentrales Problem der analytischen Zahlentheorie.
1943—1945	Bau und Fertigstellung des ersten universalen elektronischen *Ziffernrechengerätes* mit hoher Rechengeschwindigkeit an der Universität von Pennsylvanien (USA). Dieses Gerät trägt den Namen ENIAC (Electrical Numerical Integrator And Computer); es enthält etwa 20000 Elektronenröhren.
1945—1950	Gewaltige Entwicklung der Gruppentheorie, hauptsächlich der Theorie der auflösbaren und nilpotenten Gruppen, insbesondere durch die sowjetischen Mathematiker *A. G. Kurosch* und *S. N. Tschernikow*.
ab 1948	Begründung der *Kybernetik*, der Wissenschaft von der Steuerung, Übermittlung und Kontrolle von Prozessen sowohl bei lebenden Organismen als auch bei Maschinen. Die Kybernetik vereint Erkenntnisse verschiedenster Disziplinen: der Mathematik, der Neurophysiologie, des Maschinenbaus, der Elektronik, und sie findet ihre bedeutsamste Anwendung in Theorie und Praxis der modernen elektronischen Rechenmaschinen.
1954	Erste maschinelle *Sprachübersetzung* aus dem Russischen ins Englische mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine in der Sowjetunion.
1960/61	Entzifferung der mathematischen *Maya-Handschriften* mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine an der Sibirischen Akademie der Wissenschaften.

ZEIT

INHALTSÜBERSICHT

I. *Zeitmaße und Zeitmessung* 106
Zeit und Zeitmaß 106
Der Tag 106
Ephemeridenzeit 107
Der Monat 109
Finsternisperioden 109
Das Jahr 109
Einheits- oder Zonenzeiten 111
II. *Zeitextreme* 114
III. *Kalender* 115
Die historischen Kalenderformen ... 115
Ewiger Kalender 118
Berechnung des Osterfestes 120
Alte deutsche Monatsnamen 121
Die Monatsnamen der Französischen Revolution 124
IV. *Wichtige Jahreszahlen* 124

I. Zeitmaße und Zeitmessung

ZEIT UND ZEITMAß

Raum und Zeit sind die beiden Existenzformen der sich bewegenden Materie. Der Begriff des Raumes bringt das Nebeneinanderbestehen, die Entfernung, die Ausdehnung und die gegenseitige Lage der materiellen Objekte zum Ausdruck. Der Begriff der Zeit hat die Aufeinanderfolge und die Dauer der objektiven Prozesse zum Inhalt.
Um Zeitabschnitte miteinander vergleichen zu können, benötigt man ein bestimmtes Zeitmaß. Die menschliche Zeitempfindung ist dazu nicht geeignet. Verschiedene Menschen empfinden die Zeitdauer eines Vorganges als verschieden lang, je nach ihrer Stimmung, ihrem Interesse, ihrem psychischen Zustand u. ä. Als Zeitmaß kann nur ein objektiver Vorgang dienen, der zwei Bedingungen erfüllt: Er muß mit unveränderlicher Geschwindigkeit erfolgen, und er muß periodisch sein, d. h. — wie die Bewegungen auf einem Kreis — immer wieder zum Ausgangspunkt zurückführen.
Eine derartige und für uns zum Messen der Zeit geeignete Bewegung, die wir in der Natur kennen, ist die Drehung der Erde um ihre eigene Achse. Sie lag bis vor kurzem unserer gesamten Zeitrechnung zugrunde.

DER TAG

Die Dauer einer vollen Erdumdrehung heißt *Tag*. *Stunden*, *Minuten* und *Sekunden* sind willkürliche Unterteilungen, von denen die Stunde bereits im babylonischen Kulturbereich gebräuchlich war, während Minuten und Sekunden später nach Analogie der Teilung des Bogengrades eingeführt wurden.
Die Definition des Tages ist auf zweierlei Art möglich, je nachdem, ob man die Drehung der Erde in bezug auf den Fixsternhimmel oder die Sonne betrachtet. Im ersten Fall hat man den *Sterntag*, geteilt in 24 Stunden *Sternzeit*, im zweiten Falle den *Sonnentag* mit 24 Stunden *Sonnenzeit*.

Der Sterntag. Die Kenntnis der Sternzeit ist für gewisse Aufgaben der Astronomie und der Nautik erforderlich. Dabei ist zu beachten, daß die unmittelbare Beobachtung von zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen ein und desselben Fixsterns noch nicht die genaue Länge des Sterntages liefert. Infolge der *Aberration* unterliegt der scheinbare (beobachtbare) Ort des Sterns kleinen Verschiebungen. Man hat deshalb den Sterntag definiert als die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen des *Frühlingspunktes*. Dieser kann zwar nicht direkt beobachtet werden, aber sein Abstand von einem beliebigen beobachtbaren Stern läßt sich stets genau berechnen.
Da der Frühlingspunkt eine stetige Verschiebung in Richtung der scheinbaren täglichen Drehung des Himmels erleidet, die sog. *Präzession*, die gegenwärtig (1962) 50″,2702 im Jahr beträgt, so entspricht ein Sterntag nicht genau einer Drehung der Erde um 360°, sondern nur um $360° - \frac{50'',27}{365{,}24} =$ 359° 59′ 59″,863. Die gleiche Präzession wird noch durch periodische, von der jeweiligen Bahnlage des Mondes abhängige Störungen, die *Nutation*, überlagert. Man hat daher noch zwischen dem mittleren Sterntag und dem wahren Sterntag zu unterscheiden. Der mittlere Sterntag ist die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen des vom Einfluß der Nutation befreiten Frühlingspunktes. Der wahre Sterntag wird durch die Meridiandurchgänge des wirklichen, mit der Nutation behafteten Frühlingspunktes bestimmt. Der mittlere Sterntag hat praktisch konstante Länge, der wahre kann bis zu ±0,01 Sekunde vom mittleren abweichen. Durch Summierung dieser

kleinen Unterschiede kann der Anfang des wahren vom Anfang des mittleren Sterntages bis zu ± 1,2 Sekunden abweichen.

Der Sonnentag. Die bürgerliche und auch — von Spezialgebieten abgesehen — die astronomische Zeitrechnung bedient sich der Sonnenzeit. Der wahre Sonnentag ist definiert als die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen der Sonne. Da die Sonne in einem Jahr scheinbar einmal die Ekliptik in der Richtung von West nach Ost (entgegen der scheinbaren täglichen Bewegung) durchläuft, so legt sie täglich fast einen Grad $\left(\frac{360°}{365^1/_4}\right)$ zurück. Die Erde muß sich also nach einer vollen Drehung um 360° noch fast 1° weiterdrehen, bis ein und derselbe Beobachtungsort die Sonne wieder im Meridian hat. Da 24 Stunden gleich 1440 Minuten sind, so erfordert eine zusätzliche Drehung um $1° \frac{1440 \text{ Min.}}{360} = 4$ Minuten. Der Sonnentag ist also rund 4 Minuten länger als der Sterntag.

Die wahre Sonne ist aber als Zeitmesser ungeeignet, da sie die Bedingung der unveränderlichen Geschwindigkeit nicht erfüllt. Wegen der Exzentrizität der Erdbahn bewegt sich die Erde und damit scheinbar die Sonne im Perihel schneller als im Aphel, 1°,019 gegen 0°,954 am Tag; außerdem sind wegen der Neigung des Äquators gegen die Ekliptik die Zeiten zwischen zwei Meridiandurchgängen um die Zeit der Sonnenwenden im Mittel 0,7 Minuten länger als zur Zeit der Tagundnachtgleichen. Man hat deshalb eine *fiktive mittlere Sonne* eingeführt, die auf dem *Äquator* (statt auf der *Ekliptik*) mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ihren scheinbaren jährlichen Umlauf in der Weise vollzieht, daß ihre *Rektaszension* stets mit der mittleren Länge der Sonne in der Ekliptik übereinstimmt.

Der mittlere Sonnentag ist die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kulminationen dieser fiktiven mittleren Sonne. Die Sekunde (s), die nach der Verordnung vom 14. 8. 1958 die gesetzliche Grundeinheit ist, ist der 86400. Teil des mittleren Sonnentages.

Beziehung zwischen Sterntag und Sonnentag. Die Zeitdifferenz zwischen mittlerem Stern- und mittlerem Sonnentag von knapp 4 Minuten summiert sich im Ablauf eines tropischen Jahres auf genau einen Tag: 365,2422 Sonnentage sind 366,2422 Sterntage. Infolgedessen sind 24 Stunden mittlere Sonnenzeit gleich $24^h\ 3^m\ 56^s,56$ mittlere Sternzeit bzw. 24 Stunden mittlere Sternzeit gleich $23^h\ 56^m\ 4^s,09$ mittlere Sonnenzeit.

Beziehung zwischen mittlerem und wahrem Sonnentag, Zeitgleichung. Infolge des ungleichförmigen Laufs der wahren Sonne schwankt die Zeit zwischen zwei ihrer Meridiandurchgänge zwischen $23^h\ 59^m\ 38^s,7$ und $24^h\ 0^m\ 30^s,0$. Durch die Summierung dieser Abweichungen kann die wahre Sonne der mittleren um über 16 Minuten vorauseilen bzw. um mehr als 14 Minuten hinter ihr zurückbleiben. Der Unterschied zwischen den Meridiandurchgängen der wahren und der mittleren Sonne, also die Differenz zwischen wahrer und mittlerer Sonnenzeit ist die *Zeitgleichung*. Sie wird heute nach Übereinkunft *im Sinne wahre Sonnenzeit minus mittlere Sonnenzeit* gebildet. Positive Werte bedeuten, daß die wahre Sonne vor dem mittleren Mittag kulminiert und umgekehrt.

Durchschnittliche Werte der Zeitgleichung

	min		min		min
1. Januar	− 3,2	1. Mai	+ 2,9	1. September	− 0,3
1. Februar	− 13,6	1. Juni	+ 2,5	1. Oktober	+ 10,0
1. März	− 12,6	1. Juli	− 3,5	1. November	+ 16,3
1. April	− 4,2	1. August	− 6,3	1. Dezember	+ 11,2

EPHEMERIDENZEIT

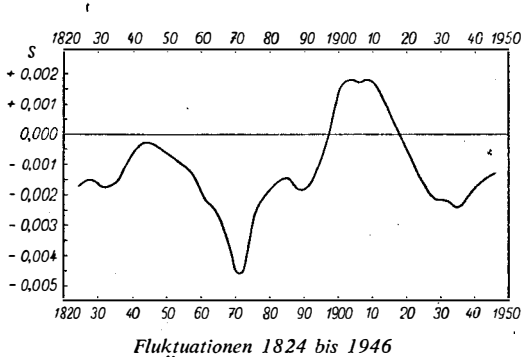
Auch die mittlere Sonnenzeit ist noch kein streng gleichförmiges Zeitmaß. Durch die Reibung der von Mond und Sonne verursachten Flutwelle an den Küsten der Weltmeere wird Rotationsenergie verbraucht, so daß die Geschwindigkeit der Erddrehung langsam abnimmt, die Tageslänge also zunimmt. Gegenwärtig nimmt die Länge des mittleren Sonnentages in einem Jahrhundert um 0,00164 Sekunden zu.

Betrachtet man die Erde als Uhr, die uns über die beobachtete Sternzeit die mittlere Sonnenzeit liefert, so geht diese Uhr also in zunehmendem Maße nach. Gegenüber einer wirklich gleichmäßig gehenden Uhr, deren Tageslänge dem mittleren Sonnentag von Anfang 1900 entspricht, wird die Erduhr im Jahre 2000 bereits 30 Sekunden nachgehen (wegen der Summierung der kleinen zunehmenden Differenzen des mittleren Sonnentages gegenüber einem streng gleichbleibenden Tag).

Eine streng gleichförmige Zeit ist die sog. *Inertialzeit* oder *Newtonsche* Zeit. Sie liegt den Berechnungen des Laufs von Sonne, Mond und Planeten zugrunde, die in den *Ephemeriden* dieser Gestirne publiziert werden. Da die Beobachtungen dieser Gestirne aber auf die von der Inertialzeit ab-

weichende mittlere Sonnenzeit bezogen wurden, traten Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung auf, die nicht in der Theorie, sondern in dem fehlerhaften Zeitmaß begründet waren. Es entstand daher die Notwendigkeit, eine der an sich unbeobachtbaren Inertialzeit möglichst nahekommende Zeit zu definieren, die als praktisch gleichförmig ablaufend betrachtet werden kann. Das ist die seit 1960 in den astronomischen Jahrbüchern eingeführte *Ephemeridenzeit*. Sie ist nicht mehr auf die veränderliche Rotation der Erde bezogen, sondern auf die säkular praktisch unveränderlichen mittleren Bahnbewegungen der Planeten. Zu ihrer Kontrolle können *Quarzuhren* und *Moleküluhren* herangezogen werden, die in ihren besten Ausführungen nur noch Fehler von 3 bzw. 0,0001 Sekunden im Jahrhundert geben.

Genaue Beobachtungen der Mondbewegung und in neuerer Zeit Vergleiche der astronomisch bestimmten Zeit mit den Zeitangaben von Quarzuhren haben noch die Existenz von zusätzlichen Schwankungen der Erdrotation, sog. Fluktuationen, enthüllt. Diese Fluktuationen können die Tageslänge um etwa 0,005 Sekunde gegenüber dem Mittelwert ändern. Die „Uhrstände" der Erduhr können durch Summierung dieser Abweichungen zusätzliche Fehler bis zu 47 Sekunden (1962) gegenüber den von der Gezeitenreibung allein verursachten erreichen. Sie lassen sich im Gegensatz zu der stetigen Änderung durch die Flutreibung nicht vorausberechnen, sondern müssen nachträglich aus Mondbeobachtungen und Zeitvergleichungen mit Quarz- oder Molekülуhren bestimmt werden.



Fluktuationen 1824 bis 1946
Jahresmittel des Überschusses der Tageslänge über einen Durchschnittswert, der sich aus der Berücksichtigung der gleichmäßig verlangsamten Erdrotation allein ergibt

Die Grundlage der bürgerlichen Zeitrechnung und auch der astronomischen Beobachtung bleibt nach wie vor der mittlere Sonnentag und die ihm entsprechende Sekunde. Nur für den Vergleich der berechneten mit den beobachteten Planetenbewegungen und für die Erwartung astronomischer Ereignisse (z.B. Finsternisse) muß die Korrektur der Erduhr, die Differenz zwischen Ephemeridenzeit und mittlerer Sonnenzeit (ΔT), bekannt sein. Die folgende Tabelle gibt diese Differenz im ersten Teil mit Einschluß der Fluktuationen für die jüngste Vergangenheit, im zweiten Teil unter Außerachtlassung der Fluktuation, deren Einfluß wahrscheinlich eine Minute nicht wesentlich überschreiten wird, für vergangene und zukünftige Jahrhunderte.

Abweichungen ΔT der mittleren Sonnenzeit von der gleichförmig fortschreitenden Ephemeridenzeit

(ΔT positiv: Erduhr geht nach; mittlere Sonnenzeit $+ \Delta T =$ Ephemeridenzeit)

Jahr Jahresmitte	ΔT Sekunden	Jahr Jahresmitte	ΔT Sekunden	Jahr Jahresmitte	ΔT Sekunden
1905.5	+ 3,3	1925.5	+ 22,6	1945.5	+ 26,6
1910.5	+ 10,3	1930.5	+ 23,2	1950.5	+ 29,4
1915.5	+ 16,4	1935.5	+ 23,6	1955.5	+ 31,6
1920.5	+ 20,5	1940.5	+ 24,3	1960.5	+ 34

Jahr Jahresanfang	ΔT	Jahr Jahresanfang	ΔT	Jahr Jahresanfang	ΔT
− 2000	+ 11h 52m 38s	0	+ 2h 37m 42s	2000	+ 0h 2m 7s[1]
− 1500	+ 8h 56m 27s	500	+ 1h 21m 22s	2500	+ 0h 25m 36s
− 1000	+ 6h 25m 15s	1000	+ 0h 29m 59s	3000	+ 1h 14m 4s
− 500	+ 4h 18m 59s	1500	+ 0h 3m 34s		

[1] Der Überschuß von 97 Sekunden über die von der Verlangsamung der Erdrotation allein verursachten Zunahme von ΔT rührt von Korrekturen her, durch die Uhrstand und Länge des mittleren Sonnentages für 1900 verbessert werden mußten.

DER MONAT

Die Mondphasen haben frühzeitig als Zeitmaß gedient. Babylonier und Araber berechneten nach ihnen die Länge des Jahres (Mondjahr).

Synodischer Monat:	Zeit von Vollmond zu Vollmond	$29^d\ 12^h\ 44^m\ 3^s$
Siderischer Monat:	Zeit bis zur Rückkehr des Mondes zu demselben Fixstern	$27^d\ 7^h\ 43^m\ 11^s$
Tropischer Monat:	Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen des Mondes durch den Frühlingspunkt	$27^d\ 7^h\ 43^m\ 4^s$
Drakonitischer Monat:	Zeit zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch den aufsteigenden Knoten der Mondbahn	$27^d\ 5^h\ 5^m\ 36^s$
Anomalistischer Monat:	Zeit zwischen zwei Erdnähen des Mondes	$27^d\ 13^h\ 18^m\ 33^s$
Sonnenmonat:	$^1/_{12}$ des mittleren Sonnenjahres	$30^d\ 10^h\ 29^m\ 4^s$

d: *dies* (lat., Tag); *h*: *hora* (lat., Stunde); m: Minute; s: Sekunde

Diese Zeiten sind mittlere Werte. Die wirklichen Monatslängen können wegen der Bahnstörungen um mehrere Stunden abweichen.
Das Jahr ist zwar nicht ein ganzzahliges Vielfaches von Mondumläufen, doch ergeben 235 synodische Monate nahezu 19 volle tropische Jahre, den *Metonschen Zyklus*. Die Einteilung der *bürgerlichen Monate* (Januar bis Dezember) fußt auf dem *Sonnenmonat*, ihre verschiedene Länge (28 bis 31 Tage) ist historisch bedingt. Letzteres gilt auch von der *Woche* als dem Zeitraum von 7 Tagen.

FINSTERNISPERIODEN

Das Auftreten von Finsternissen wird durch die Stellung des Mondes zur Sonne und zur Ebene der scheinbaren Sonnenbahn (Ekliptik) bedingt.
Sonnenfinsternisse können nur bei Neumond, Mondfinsternisse nur bei Vollmond eintreten. Als weitere Bedingung kommt hinzu, daß sich der Mond nahe der Ekliptik, also in der Nähe eines seiner Bahnknoten befinden muß, da nur dann sein Schatten die Erde berühren (bei Sonnenfinsternissen) oder er selbst in den Erdschatten eintreten kann (bei Mondfinsternissen).
Wenn also eine Finsternis eingetreten war, so wird sie sich unter ähnlichen Bedingungen wiederholen, wenn nach Ablauf einer gewissen Anzahl synodischer Monate der Mond wieder nahe seinem Bahnknoten steht, wenn also gleichzeitig eine gewisse Anzahl ganzer drakonitischer Monate vergangen ist. Das ist nach Ablauf von 223 synodischen und 242 drakonitischen Monaten der Fall:

$223 \cdot 29{,}5306$ Tage $= 6585{,}322$ Tage $=$ 18 Jahre 10 bzw. 11 Tage
$242 \cdot 27{,}2122$ Tage $= 6585{,}357$ Tage $=$ 18 Jahre 10 bzw. 11 Tage.

Diese Periode ist der sog. *Saros*, der schon den Babyloniern bekannt war und mit dessen Hilfe *Thales* von Milet die totale Sonnenfinsternis vom 28. Mai 585 v.u.Z. richtig vorhersagte.
Da zwischen den beiden Perioden der synodischen und der drakonitischen Monate ein Unterschied von etwa $^1/_{30}$ Tag besteht, wird jede folgende Finsternis etwas gegen die vorhergehende verschoben. Die Finsternisse treten deshalb in Serien auf, die stets mit kleinen partiellen Finsternissen beginnen, die von Saros zu Saros größer werden, dann längere Zeit als totale Finsternisse erscheinen und schließlich mit immer kleiner werdenden partiellen Finsternissen auslaufen.
Da bei Mondfinsternissen der Mond näher am Knoten stehen muß als bei Sonnenfinsternissen, sind die Serien der Mondfinsternisse nur etwa 800 Jahre lang gegenüber etwa 1200 Jahren der Sonnenfinsternisserien. Die ersteren umfassen etwa 12 partielle, 19 totale und wieder 12 partielle, die letzteren etwa 11 partielle, 44 zentrale (total oder ringförmig) und wieder 11 partielle Finsternisse.

DAS JAHR

Das Jahr ist der Zeitraum, in dem die Sonne einen scheinbaren Umlauf um den Himmel vollendet. Diesen Zeitraum berechnete man ursprünglich nach dem leichter beobachtbaren Mond, später direkt nach dem Sonnenlauf. Das freie Mondjahr umfaßt als Summe von 12 Mondumläufen, von Vollmond zu Vollmond gerechnet, nur 354 Tage. Um die Übereinstimmung mit dem Ablauf der Jahreszeiten zu erreichen, wurde nach Bedarf oder nach einer festen Regel (Metonscher Zyklus) aller 2 bis 3 Jahre ein 13. Monat eingeschaltet (gebundenes Mondjahr).

Das astronomische Jahr. Das astronomische Jahr wird auf drei verschiedene Weisen bestimmt:

a) als *siderisches* Jahr (Sternjahr). Das ist die Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch denselben Punkt der Ekliptik, also die genaue Umlaufzeit der Erde um die Sonne:

$365^d\ 6^h\ 9^m\ 9^s$ oder 365,2564 Tage;

b) als *tropisches* Jahr, die Grundlage unserer Zeitrechnung. Das ist die Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Da der Frühlingspunkt jährlich um 50,2 Bogensekunden auf der Ekliptik im entgegengesetzten Sinne der Sonnenbewegung wandert, erreicht ihn die Sonne noch vor Vollendung ihres genauen Umlaufs. Daher hat das tropische Jahr nur

$365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s$ oder 365,2422 Tage;

c) als *anomalistisches* Jahr. Das ist die Zeit zwischen 2 Durchgängen der Erde durch den sonnennächsten Punkt der Erdbahn. Da dieser Punkt auf der Ekliptik jährlich um durchschnittlich 11,5 Bogensekunden vorrückt, ist das anomalistische Jahr ein wenig größer als das siderische, nämlich

$365^d\ 6^h\ 13^m\ 53^s$ oder 365,2596 Tage.

Diese Jahreslängen sind *säkular* (langsam, nicht periodisch, in sehr langen Zeiträumen) veränderlich. Das tropische Jahr nimmt gegenwärtig um 0,00000614 Tage im Jahrhundert ab, das siderische und das anomalistische Jahr nehmen 0,00000011 bzw. 0,00000304 Tage im Jahrhundert zu.
Ein sehr großer, wegen der säkularen Störungen aber nicht exakt berechenbarer Zeitabschnitt ist das *Große (Platonische) Jahr*. Es ist gleich der Umlaufszeit des Frühlingspunktes um die Ekliptik oder der Umlaufszeit des Himmelspols bzw. der verlängerten Erdachse um den Pol der Ekliptik. Es ist damit gleich der Periode der Präzession und etwa 26000 Sonnenjahre lang.

Das Kalenderjahr. Dem astronomischen Jahr steht das *Kalenderjahr* (das bürgerliche Jahr) gegenüber, das richtig zu bemessen eine der Hauptaufgaben war, um deren Lösung sich die Sternkundigen der alten Kulturvölker bemühten. Die Schwierigkeit liegt darin, daß das Sonnenjahr nicht ein Vielfaches von ganzen Tagen ist. Das Jahr der *Ägypter* wies ursprünglich 365 Tage auf, war also um 6 Stunden zu kurz. Sie fügten darum seit der Mitte des 3. Jahrhunderts v. u. Z. in jedem 4. Jahre einen Schalttag ein. *Cäsar* übernahm diese Methode in dem nach ihm benannten „Julianischen Kalender", dessen Jahr ($365^d\ 6^h$) um 11 Minuten zu lang war, ein Fehler, der sich im 16. Jahrhundert bereits zu 10 Tagen summiert hatte. Der heute noch gültige, von *Papst Gregor XIII.* eingeführte „Gregorianische Kalender" vom Jahre 1582, der diesen Fehler ausglich, läßt die Schalttage in jedem vollen Jahrhundert, außer in den durch 400 ohne Rest teilbaren, ausfallen. Das Gregorianische Jahr ($365^d\ 5^h\ 49^m\ 12^s$ oder 365,242 5 Tage) ist nur 26 Sekunden oder 0,000 3 Tage länger als das tropische Jahr. Dieser Unterschied wächst erst in mehr als 3000 Jahren zu einem vollen Tag an.

Astronomische Länge der Jahreszeiten

(auf der nördlichen Erdhalbkugel)

Frühling	92 Tage 19 Stunden
Sommer	93 Tage 15 Stunden
Herbst	89 Tage 20 Stunden
Winter	89 Tage 0 Stunden

Der Wechsel der Jahreszeiten ist bedingt durch die gleichgerichtete schiefe Stellung der Erdachse zur Bahnebene der Erde. Die Länge der Jahreszeiten hängt ab von der wechselnden Entfernung der Erde zur Sonne. Größere Nähe hat rascheren Umlauf zur Folge. Im (nördl.) Herbst und Winter ist die Erde der Sonne näher als im Frühling und Sommer. Die Länge der Jahreszeiten wechselt im Ablauf eines Platonischen Jahres.

Sonnenaufgang und Sonnenuntergang

für den Schnittpunkt des 15. Grades östl. Länge mit dem 51. Grade nördl. Breite (d. i. nahe Görlitz)

(Anfang und Ende des Monats, mitteleuropäische Zeit, MEZ)

Monat	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang
Januar	8.03···7.39	16.04···16.49
Februar	7.38···6.48	16.51···17.39
März	6.46···5.40	17.40···18.30
April	5.37···4.36	18.32···19.19
Mai	4.35···3.52	19.21···20.03
Juni	3.51···3.49	20.04···20.18
Juli	3.49···4.23	20.18···19.48
August	4.24···5.11	19.47···18.49
September	5.12···5.57	18.46···17.42
Oktober	5.59···6.49	17.39···16.37
November	6.51···7.39	16.36···15.58
Dezember	7.40···8.03	15.57···16.03

Für Orte westlich (bzw. östlich) des 15°-Meridians geht die Sonne um 4 Minuten je 1° später (bzw. früher) auf. Im Norden Deutschlands geht im Winter die Sonne später auf und früher unter als im Süden; im Sommer ist es umgekehrt.

EINHEITS- ODER ZONENZEITEN

Alle Orte, die auf demselben *Meridian* liegen, haben dieselbe *Ortszeit*. Der Zeitunterschied von Meridian zu Meridian beträgt je Längengrad 4^m. Der Ortszeitunterschied zweier Orte errechnet sich aus dem Produkt: Unterschied der geographischen Längen beider Orte (in Grad) mal 4^m. Um zu einer praktischen Zeitrechnung zu kommen, hat man größere Ländergebiete zusammengefaßt und in ihnen *Einheits-* oder *Zonenzeiten* eingeführt. Diese rechnen vom Nullmeridian, der durch Greenwich (bei London) geht, nach Ost (+) oder West (−) und unterscheiden sich in ganzen und halben Stunden von der Greenwicher Ortszeit. Die *Greenwicher Ortszeit* wird als *Weltzeit* (WZ) oder *westeuropäische Zeit* (WEZ) bezeichnet. Eine der Zonenzeiten ist die *mitteleuropäische Zeit* (MEZ); sie geht der *westeuropäischen Zeit* um eine Stunde voraus.
Für einzelne Länder sind Abweichungen von meist $+1^h$ möglich, da sie für die Sommermonate oder auch für das ganze Jahr die sog. Sommerzeit benutzen, was in den astronomischen Jahrbüchern nicht besonders vermerkt wird. (Siehe Übersicht auf S. 112.)

Wie spät ist es anderswo? Es ist folgende Frage gestellt: An einem Ort A beträgt die Uhrzeit t. Wie spät ist es zur gleichen Zeit an einem anderen Ort B? Diese Frage läßt sich mit Hilfe der vorstehenden Tabelle beantworten. Aus Spalte 3 sind die Staaten zu entnehmen, in denen die in Spalte 2 angegebenen Zonenzeiten gelten, wenn es in Greenwich 12^h ist. Man suche sich die zum Ort A gehörende Zonenzeit T_A und die zum Ort B gehörende Zonenzeit T_B heraus, bilde die Differenz $T_B - T_A$ und addiere diese zu t.

Beispiele:

a) In Portugal (A) ist es (t) 5^h. Wie spät ist es in Helsinki (Finnland) (B)?
$T_A = 0^h\,0^m$, $T_B = 2^h\,0^m$, $T_B - T_A = 2^h - 0^h = 2^h$, in Helsinki also $t + 2^h = 5^h + 2^h = 7^h$.

b) In Leipzig (A, $T_A = 1^h$) ist es $18^h\,10^m$. Dann ist es in Afghanistan (B, $T_B = 4^h\,30^m$):
$t + (T_B - T_A) = 18^h\,10^m + (4^h\,30^m - 1^h) = 18^h\,10^m + 3^h\,30^m = 21^h\,40^m$.

c) In Iran (A, $T_A = 3^h\,30^m$) ist es $11^h\,30^m$. Dann ist es in Tripolis (B, $T_B = 1^h$):
$11^h30^m + (1^h - 3^h\,30^m) = 11^h\,30^m + (-2^h\,30^m) = 11^h\,30^m - 2^h\,30^m = 9^h$.

d) In Gibraltar (A, $T_A = 0^h$) ist es 13^h. Dann ist es in Perú (B, $T_B = -5^h$):
$13^h + (-5^h - 0^h) = 13^h - 5^h = 8^h$.

e) Auf den Aleuten ist es 12^h ($T_A = -11^h$). Dann ist es in Venezuela ($T_B = -4^h\,30^m$):
$12^h + [-4^h\,30^m - (-11^h)] = 12^h + (-4^h\,30^m + 11^h) = 12^h + 6^h\,30^m = 18^h\,30^m$.

f) In der Türkei ($T_A = +2^h$) ist es 19^h. Dann ist es in Chile ($T_B = -5^h$):
$19^h + (-5^h - 2^h) = 19^h - 7^h = 12^h$.

Ist das Ergebnis der Rechnung größer als 24, so sind von diesem Ergebnis 24 Stunden abzuziehen, der Rest gibt die gewünschte Uhrzeit an, die nun aber schon auf den folgenden Tag fällt. Ist das Ergebnis kleiner als 0, so muß man die gefundene Stundenzahl von 24 Stunden abziehen; der Rest gibt die gewünschte Uhrzeit, die aber an dem gefragten Ort noch auf den eben vergangenen Tag fällt.

Beispiele:

a) In Finnland ist es am 13. Juli 3^h. Dann ist es in Kolumbien $3^h + (-5^h - 2^h) = -4^h$, also $24 - 4 = 20^h$ am 12. Juli.

b) In der Schweiz ist es am 2. September 19^h. Dann ist es in Irian Barat $19^h + (9^h\,30^m - 1^h) = 27^h\,30^m$, also $27^h\,30^m - 24^h = 3^h\,30^m$ am 3. September.

c) Auf Djawa war es am 1. Januar 1955 4^h. Dann war es auf Madeira $4^h + (-1^h - 7^h\,30^m) = -4^h\,30^m$, also $24^h - 4^h\,30^m = 19^h\,30^m$ am 31. Dezember 1954.

Die Datumsgrenze. Die Datumsgrenze ist eine nach internationaler Übereinkunft festgelegte Linie, bei deren Überschreiten Datum und Wochentag geändert werden müssen. Man hat den 180. Meridian (ö. L. und w. L.), den *Gegenmeridian von Greenwich*, dazu gewählt, weil auf ihm die vom Nullmeridian in Greenwich nach O und W wachsenden Zeitdifferenzen je 12 Std. betragen. In Nordostsibirien, an den Fidschi- und Samoainseln weicht die Datumsgrenze aus wirtschaftlichen Gründen von der Meridianlinie ab. In der Schiffahrt wird daher auf der Fahrt aus dem Bereich ö. L. in den Bereich w. L. die Zeit dort für 24 Stunden „*angehalten*", indem das momentane Datum nach seinem Ablauf noch einmal gezählt wird (der 1. Januar bleibt für weitere 24 Stunden der 1. Januar); auf der Fahrt aus dem Bereich w. L. dagegen wird die Zeit um 24 Stunden „*vorgerückt*", auf den 1. Januar 24^h folgt unmittelbar der 3. Januar 0^h. So wird bei einer Reise über die Datumsgrenze scheinbar entweder ein Tag gewonnen oder ein Tag verloren.

Weltzeit und Zonenzeiten. Die folgende Übersicht führt in
Spalte 3 die wichtigsten zur gleichen Zeitzone gehörenden Staaten und Gebiete auf;
Spalte 2 zeigt an, um wieviel Stunden und Minuten die Zeit innerhalb der jeweiligen Zone gegenüber Greenwich später (+) oder früher (−) liegt;
Spalte 1 gibt Auskunft über die Uhrzeit in den verschiedenen Staaten und Landesteilen der Erde, wenn es in Greenwich 12^h ist.

1	2	3
Uhrzeit	später als in Greenwich (+) früher als in Greenwich (−)	Staaten
12^h	0	(*Westeuropäische Zeit, Weltzeit*) Großbritannien und Irland, Portugal, Spanien, Gibraltar, Marokko, Algerien
13^h	+ 1^h 0^m	(*Mitteleuropäische Zeit*) Norwegen, Schweden, Dänemark, Niederlande, Frankreich, Belgien, Luxemburg, Deutsche Demokratische Republik, Westdeutschland, Österreich, Ungarn, Schweiz, Italien, ČSSR, Jugoslawien, Libyen, Tunesien, Kongo (westl. Teil)
14^h	+ 2^h 0^m	(*Osteuropäische Zeit*) Finnland, Polen, Bulgarien, Rumänien, Griechenland, Türkei, Zypern, Israel, Jordanien, VAR Ägypten, Sudan, Kongo (östl. Teil), Rep. Südafrika
15^h	+ 3^h 0^m	Sowjetunion Zone westlich von 40° östl. Länge (Moskauer Zeit), Irak, Äthiopien, Somalia, Kenia, Tanganjika, Uganda, Madagaskar
15^h 30^m	+ 3^h 30^m	Iran
16^h	+ 4^h 0^m	Sowjetunion Zone von 40° bis $52^1/_2$° östl. Länge
16^h 30^m	+ 4^h 30^m	Afghanistan, Pakistan (westl. Teil)
17^h 30^m	+ 5^h 30^m	Indien, Ceylon
18^h	+ 6^h 0^m	Sowjetunion Zone VI [Tobolsk], Pakistan (östl. Teil)
18^h 30^m	+ 6^h 30^m	Burma, Nordsumatera
19^h	+ 7^h 0^m	(*Südchinesische Küstenzeit*) Südküste von China, Thailand, Südsumatera, Sowjetunion Zone VII [Nowosibirsk]
19^h 30^m	+ 7^h 30^m	Malaiische Föderation, Singapur, Kalimantan, Bali, Djawa, Lombok
20^h	+ 8^h 0^m	(*Chinesische Küstenzeit*) Ostküste von China, Philippinen, Sulawesi, Westaustralien, Nordborneo, Timor, Sowjetunion Zone VIII [Irkutsk]
21^h	+ 9^h 0^m	(*Mittlere Japanzeit*) Japan, Mandschurei, Korea, Sowjetunion Zone IX [Jakutsk]
21^h 30^m	+ 9^h 30^m	(*Südaustralische Zeit*) Südaustralien, Irian Barat
22^h	+ 10^h 0^m	(*Ostaustralische Zeit*) Victoria, Neusüdwales, Queensland, Tasmanien, Neuguinea (östl. Teil), Sowjetunion Zone X [Chaborowsk]
23^h	+ 11^h 0^m	Sowjetunion Zone XI [Magadan]
24^h(0^h)	+ 12^h 0^m	Neuseeland, Sowjetunion Zone XII [Petropawlowsk]
1^h	− 11^h 0^m	Alaska (westlich von 162° westl. Länge), Aleuten, Samoa
2^h	− 10^h 0^m	Alaska (westlich von Prinz-Williams-Sund bis 162° westl. Länge), Hawaii (Sandwichinseln)
3^h	− 9^h 0^m	Alaska (nördlich von Cross-Sund bis Prinz-Williams-Sund)
4^h	− 8^h 0^m	(*Pacific Standard Time*) Vereinigte Staaten (pazifische Küste), Britisch-Kolumbien, Alaska (südlich von Cross-Sund)
5^h	− 7^h 0^m	(*Mountain Standard Time*) Gebirgszone von Kanada und den Vereinigten Staaten, nördliches Mexiko
6^h	− 6^h 0^m	(*Central Standard Time*) Zentralzone von Kanada und den Vereinigten Staaten, Mexiko (mit Ausnahme des nördlichen Teils)
7^h	− 5^h 0^m	(*Eastern Standard Time*) Kanada (zwischen 68° und 92° westl. Länge), Vereinigte Staaten (östliche Zone), Panamá, Perú, Ecuador, Westbrasilien, Kolumbien, Chile
7^h 30^m	− 4^h 30^m	Venezuela
8^h	− 4^h 0^m	(*Intercolonial Standard Time*) Mittelbrasilien, Kanada (östlich von 68° westl. Länge), Paraguay, Bolivien
8^h 30^m	− 3^h 30^m	Labrador, Surinam
9^h	− 3^h 0^m	Ostbrasilien, Uruguay, Argentinien, Grönland (Westküste)
10^h	− 2^h 0^m	Azoren, Kapverdische Inseln, Grönland (Scoresbysund)
11^h	− 1^h 0^m	Island, Madeira, Kanarische Inseln

Ortszeit und mitteleuropäische Zeit (MEZ). Die wahre Ortszeit (wahre Zeit, WaZ) ergibt sich durch den Zeitpunkt des Meridiandurchgangs der wahren Sonne an einem bestimmten Ort und wird von einer richtig aufgestellten Sonnenuhr angezeigt, während die mittlere Ortszeit durch die Kulmination der mittleren Sonne bestimmt wird. Für alle Orte im Bereich der mitteleuropäischen Zeit (MEZ) gilt einheitlich die mittlere Ortszeit des 15. Meridians ö. L. In allen auf diesem Meridian liegenden Orten fällt die MEZ genau mit der mittleren Ortszeit zusammen. In allen westlich vom 15. Meridian liegenden Orten weicht die mittlere Ortszeit von der MEZ in dem Sinne ab, daß die MEZ um den jeweiligen Zeitwert (Längenunterschied in Graden × 4 Minuten) vor der für den betreffenden Ort gültigen Ortszeit liegt (in der folgenden Übersicht mit + gekennzeichnet). Bei allen Orten, die östlich von 15° ö. L. liegen, weicht die Ortszeit von der MEZ in dem Sinne ab, daß die MEZ um den jeweiligen Zeitwert hinter der für den betreffenden Ort gültigen Ortszeit zurücksteht (in der folgenden Übersicht mit − gekennzeichnet). Beispielsweise ist für Leipzig der Zeitwert + 10,5 Min. angegeben; das bedeutet, daß zum Zeitpunkt 12^h MEZ diese Zeit gegenüber der mittleren Ortszeit um 10,5 Min. voraus ist. Entsprechend dem Stande der mittleren Sonne ist es in Leipzig dann erst $11^h\,49{,}5^m$ mittlere Ortszeit. Die in der Tabelle aufgeführten Zeitwerte ermöglichen die Berechnung der mittleren Abweichung der Ortszeit für den betreffenden Ort.

Unterschiede zwischen Ortszeit und mitteleuropäischer Zeit (MEZ) in Minuten für einige Städte Mitteleuropas

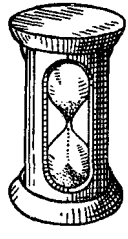
\+ bedeutet: MEZ geht der Ortszeit um soviel Minuten voraus
− bedeutet: MEZ geht der Ortszeit um soviel Minuten nach

Aachen	+ 35,7	Graz	− 1,8	Nürnberg	+ 15,7
Augsburg	+ 16,4	Halle (Saale)	+ 12,2	Poznań	− 7,6
Berlin	+ 6,3	Hamburg	+ 20,1	Prag (Praha)	+ 2,3
Bonn	+ 31,6	Hannover	+ 21,0	Rostock	+ 11,4
Braunschweig	+ 17,8	Innsbruck	+ 14,6	Saarbrücken	+ 32,0
Bremen	+ 24,8	Kaiserslautern	+ 28,9	Schwerin	+ 14,3
Darmstadt	+ 25,4	Karl-Marx-Stadt	+ 8,3	Stralsund	+ 7,6
Dortmund	+ 30,1	Karlsruhe	+ 26,4	Stuttgart	+ 23,3
Dresden	+ 5,1	Kassel	+ 22,1	Warschau	− 24,2
Erfurt	+ 15,8	Kiel	+ 19,4	Weimar	+ 14,7
Essen	+ 31,9	Köln	+ 32,1	Wien	− 5,3
Frankfurt (Main)	+ 25,2	Leipzig	+ 10,5	Wiesbaden	+ 27,0
Frankfurt (Oder)	+ 1,8	Lübeck	+ 17,2	Wroclaw	− 8,2
Görlitz	+ 0,0	Magdeburg	+ 13,4	Würzburg	+ 20,3
Göttingen	+ 20,2	München	+ 13,6		

Altertümliche und moderne Uhren. Zu den ältesten Uhren zählen die Wasseruhr, die Sanduhr und die Sonnenuhr.

1. Die *Wasseruhr*, schon den Ägyptern und Babyloniern bekannt, war im Altertum in verschiedenen, z. T. sehr kunstvollen Konstruktionen weit verbreitet. Alle Konstruktionen beruhten auf dem gleichen Prinzip wie die Sanduhren: In regelmäßigen Abständen tropft Wasser aus einem Gefäß in ein zweites, dessen Wasserstand an einer Skale abgelesen wird.

2. Die *Sanduhr*, auch Stundenglas genannt, ist vermutlich erst eine mittelalterliche Erfindung. Sie ist heute noch als Eieruhr im Gebrauch, wohl auch in Krankenhäusern als Hilfsinstrument beim Zählen der Pulsschläge je Minute.



Sanduhr

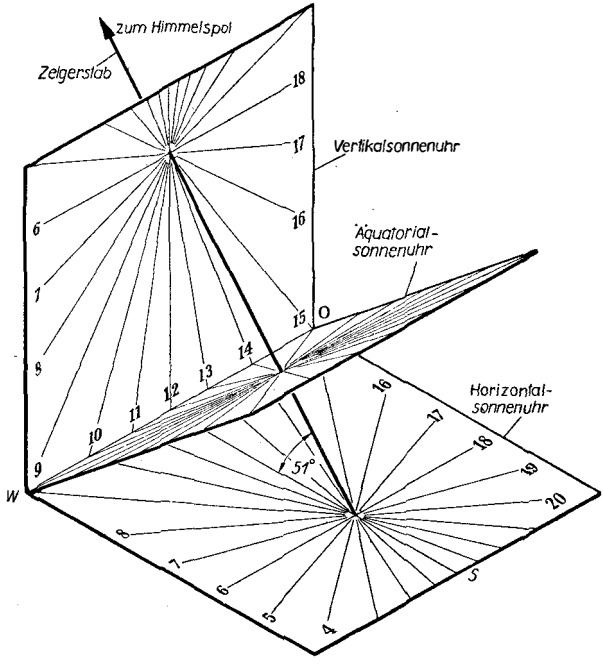
3. Die *Sonnenuhr* bestimmt die wahre Sonnenzeit eines Ortes aus der Richtung des Sonnenschattens. Ein schattenwerfender Stab wird parallel zur Erdachse (oder — was dasselbe ist — zur Himmelsachse) befestigt, so daß er nach dem (Nord-)Pole des Himmels (d. h. ungefähr nach dem Polarstern) zeigt. Dann ist der Winkel, den er mit der horizontalen Ebene bildet, gleich der geographischen Breite (φ) seines Ortes. — Siehe Abb. auf S. 114.

Das Zifferblatt der Sonnenuhr liegt

entweder senkrecht zu dem Stabe (Äquatorialsonnenuhr)
oder horizontal (Horizontalsonnenuhr)
oder lotrecht in Ost-West-Richtung (Vertikalsonnenuhr).

Aus der von einer Sonnenuhr angegebenen wahren Sonnenzeit kann man mit Hilfe der Zeitgleichung die mittlere Ortszeit errechnen.

4. Zu den *modernsten* und *genauesten* Uhren gehört die *Quarzuhr*. Sie dient zum Messen astronomischer Abläufe, u. a. zur Kontrolle der Konstanz der Erdumdrehung, von der man annimmt, daß sie sich in einem Jahrhundert um ungefähr 1 Sekunde verlangsamt. — Die Quarzuhr hat, selbst bei industrieller Fertigung, nur eine Abweichung von 1 Sekunde in drei Jahren. Die Atom- bzw. Moleküluhren übertreffen die Genauigkeit der Quarzuhren noch um das 10- bis 100fache.



Sonnenuhr (für 51° nördl. Breite)

II. Zeitextreme

Geologisches Alter der *Erde* seit dem Beginn des Erkaltens (nach radioaktiven Messungen): je nach der Methode 2 bis 5 Milliarden Jahre.
Halbwertszeiten radioaktiver Elemente (Zeit, in der die Hälfte einer gegebenen Menge radioaktiv zerfällt):

238 *Uran*	4,5 Milliarden Jahre
Radium	etwa 1600 Jahre
Polonium	etwa 140 Tage.

Erstes Auftreten des *Menschen*: vor etwa 500000 Jahren.
Aufnahme eines *Filmbildes* (bei 1000 Bildern in 1 Minute): 0,06 s.
Dauer eines *Blitzes* (gemessen mit bewegter Kamera): rd. $^1/_{1000}$ s.
Kürzeste *Zeitdehneraufnahmen* (mit elektrischen Funken): rd. $^1/_{3\,000\,000}$ s.
Aufleuchten eines *Bildpunktes* in *Fernsehröhren*: rd. $^1/_{4\,000\,000}$ s.
Dauer einer *Kurzschlußspannung* (Wanderwelle) auf elektrischen Leitungen (mit Elektronenstrahlen gemessen): rd. $^1/_{5\,000\,000}$ s.
Leuchtdauer eines *Atoms* (an schnell fliegenden Atomen [Kanalstrahlen] gemessen): rd. $^1/_{10000000}$ s.

III. Kalender

DIE HISTORISCHEN KALENDERFORMEN

Kalender der	Gültigkeitsdauer	Grundlagen für die Kalenderberechnung	Schaltverfahren
Ägypter	seit dem 5. Jahrtausend v. u. Z.	reines Sonnenjahr zu 365 Tagen	keine Schaltung; der Jahresanfang durchläuft in rund 1460 Jahren das ganze Jahr
	seit 238 v. u. Z.	reines Sonnenjahr zu $365^1/_4$ Tagen	alle 4 Jahre ein Schalttag
Babylonier	bis zum 6. Jh. v. u. Z.	Mondjahr zu 354 Tagen; 12 Mon., abwechselnd 30 und 29 Tage	bei Abweichung vom Sonnenstand willkürlich einen Monat eingeschaltet
	vom 6. Jh. an	desgleichen	zyklische, auf Rechnung beruhende Schaltungsweise
Griechen	seit dem 7. Jh. v. u. Z.	Mond-Sonnen-Jahr zu 12 und 13 Monaten	unbekannt
	seit 594 v. u. Z. (Solon)	desgleichen	Trieteris[1], 2 Sonnenjahre = 25 Mondmonate, Fehler in Jahreslänge von 4 Tagen
	408 bis 355 v. u. Z. (Eudoxos)	desgleichen	Oktaeteris, 8 Sonnenjahre = 99 Mondmonate; 5 Jahre mit 12, 3 Jahre mit 13 Monaten
	seit 433 v. u. Z. (Meton)	desgleichen	19jähriger Zyklus zu 235 Mondmonaten (125 zu 30, 110 zu 29 Tagen); 12 Jahre mit 12 Monaten, 7 Jahre mit 13 Monaten, Jahreslänge 365.263, Monatslänge 29.532 Tage
	seit 330 v. u. Z. (Kalippos)	desgleichen	4 Metonzyklen weniger 1 Tag; 76 Jahre mit 940 Monaten; Jahreslänge 365.250, Monatslänge (499 Monate zu 30, 441 Monate zu 29 Tagen) 29.531 Tage

[1] Trieteris = διὰ τρίτου ἔτους = tertio quoque anno, bedeutet ein Jahr ums andere, also 1., 3., 5. usw. Jahr und damit einen zweijährigen Zyklus.

DIE HISTORISCHEN KALENDERFORMEN (Fortsetzung von S. 115)

Kalender der	Gültigkeitsdauer	Grundlagen für die Kalenderberechnung	Schaltverfahren
Römer	6. und 5. Jh. v. u. Z. und auch später	Mondjahr zu 10, später zu 12 Monaten	unregelmäßig und nach Belieben
	seit 46 v. u. Z. (Julius Cäsar, Julianischer Kalender); bis 8 v. u. Z. mehrfach fehlerhafte Schaltungen, in diesem Jahre unter Augustus wieder in Ordnung gebracht und seitdem ununterbrochen im Gebrauch bis 1582; in den griech.-orth. Ländern bis 1923	reines Sonnenjahr zu 365 bzw. 366 Tagen	jedes 4. Jahr ein Schalttag eingelegt
Mohammedaner im allgemeinen	seit dem 16. Juli 622 (Hedschra)	reines Mondjahr zu 354 bzw. 355 Tagen	30jähriger Zyklus mit 19 Jahren zu 354 Tagen[1] und 11 Jahren mit 355 Tagen; Monatslänge 29.5307 Tage
Türken	vor dem mohammedanischen Kalender	reines Mondjahr zu 354 Tagen	8jähriger Zyklus, davon das 2., 5. und 7. Jahr zu 355 Tagen
	seit 1677	reines Sonnenjahr	ähnlich dem Julianischen Kalender
	seit 1927: Gregor. Kalender	—	—
Juden	bis gegen Beginn u. Z.	Mond-Sonnen-Jahr	im Bedarfsfall ein ganzer Monat eingeschaltet
	spätere Reform (Zeitpunkt unbestimmt, vielleicht Rabbi Samuel 383)	Mond-Sonnen-Jahr	Monate abwechselnd 29 und 30 Tage; Jahreslängen verschieden, in einem 19jährigen Zyklus wird 7mal ein ganzer Monat zugeschaltet
Inder	Zeit des Weda	Mond-Sonnen-Jahr	ursprünglich nur Mondjahr, aber durch willkürliche Schaltung mit der Sonne in Einklang gebracht; 1 Jahr = 360 Tage
	Zeit des Siddhânta (4. bis 6. Jh.)	desgl. 60jähr. (5 Jupiterumläufe) und 12jähr. (1 Umlauf) Jupiterzyklus	Rechnung nach Sonnenmonaten; Länge durch den Aufenthalt der Sonne in einem Tierkreiszeichen bestimmt

Chinesen und Japaner	vorhistorisch	Jahr zu 360 Tagen	von je 19 Jahren 12 Gemeinjahre zu 12 und 7 Schaltjahre zu 13 Mon.; Jahresanfang veränderlich zwischen 20. Jan. und 19. Febr. des Gregorianischen Kalenders
	um 2258(?) v. u. Z.	später Mond-Sonnen-Jahr	
Japaner	seit 1873: Gregor. Kalender	–	
altgerman. Völker im allgemeinen	bis zur Einführung des Christentums	unvollkommenes Mond-Sonnen-Jahr	mangelhafte Schaltweise durch ganze Mondmonate nach Bedarf. Die Feste lehnen sich an Neu- und Vollmond an. Festlegung der Hauptjahrespunkte durch Azimutbeobachtungen der Sonne an festen Steinmarken
Isländer und Norweger		Jahr zu 364 Tagen, beruhend auf der 7tägigen Woche	6 Winter- und 6 Sommermonate zu 30 Tagen, im 3. Sommermonat 4 Ergänzungstage; 5mal in 28 Jahren eine Schaltwoche im 3. Sommermonat; dadurch Ausgleich des Fehlers gegen Julian. Jahr
Neuzeit	*Gregorianischer Kalender* (Papst Gregor XIII.): in den kath. Ländern seit 15. Okt. 1582; im protestant. Deutschland seit 1. März 1700, England 1752, Schweden 1753, Japan 1873, Bulgarien 1916, UdSSR 1918 (erneute Verordnung 1923), Rumänien 1919, Griechenl. 1923, Türkei 1927	reines Sonnenjahr zu 365 bzw. 366 Tagen	jedes 4. Jahr zu 366 Tagen, mit Ausnahme der durch 400 nicht ohne Rest teilbaren Jahrhunderte. Dadurch Jahreslänge von 365 Tagen 5 Stdn. 49 Min. 12 Sek. um 26 Sek. größer als die jetzige Jahreslänge (365 Tage 5 Stdn. 48 Min. 46 Sek.)
	Neuer oriental. Kalender (für Griech.-Orthodoxe) 14. Okt. 1923 von der griech.-orth. Kirche angenommen	desgleichen	jedes 4. Jahr zu 366 Tagen; von den Säkularjahren sind die durch 9 mit dem Rest 2 oder 6 teilbaren Schaltjahre. Dadurch Jahreslänge von 365 Tagen 5 Stdn. 48 Min. 48 Sek., d. i. nur um 2 Sek. größer als die jetzige Jahreslänge. Abweichung vom Greg. Kalender erstmals im Jahre 2800, das im neuen oriental. Kalender kein Schaltjahr ist (nächstes Säkularschaltjahr 2900)

[1] Der mohammedanische Kalender schaltet 11mal einen Tag, keinen Monat zu!

EWIGER KALENDER

(nach *Theodor Wagner*)

Tabelle I
Tage

Tabelle II
Monate (Januar und Februar für Schaltjahre *kursiv* gedruckt)

Tage	Januar, Oktober	*Januar*, April, Juli	Februar, März, November	*Februar*, August	Mai	Juni	September, Dezember
Sonntag 1 8 15 22 29	6	5	2	1	7	3	4
Montag 2 9 16 23 30	7	6	3	2	1	4	5
Dienstag 3 10 17 24 31	1	7	4	3	2	5	6
Mittwoch 4 11 18 25	2	h	5	4	3	6	7
Donnerstag 5 12 19 26	3	2	6	5	4	7	1
Freitag 6 13 20 27	4	3	7	6	5	1	2
Sonnabend 7 14 21 28	5	4	1	7	6	2	3

Tabelle IV
Jahrhunderte

julianisch	0	*1*	2	3	*4*	5	*6*
	7	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*
	14	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
	21	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	*27*
gregorianisch					15	*16*	—
	17	—	18	—	19	*20*	—
	21	—	22	—	23	*24*	—
	25	—	26	—	27	*28*	—
	29	—	30	—	31	*32*	—

Tabelle III Jahre im Jahrhundert

0	6	—	17	23	*28*	34	—	45	51	*56*	62	—	73	79	*84*	90	—
1	7	*12*	18	—	29	35	*40*	46	—	57	63	*68*	74	—	85	91	*96*
2	—	13	19	*24*	30	—	41	47	*52*	58	—	69	75	*80*	86	—	97
3	*8*	14	—	25	31	*36*	42	—	53	59	*64*	70	—	81	87	*92*	98
—	9	15	*20*	26	—	37	43	*48*	54	—	65	71	*76*	82	—	93	99
4	10	—	21	27	*32*	38	—	49	55	*60*	66	—	77	83	*88*	94	
5	11	*16*	22	—	33	39	*44*	50	—	61	67	*72*	78	—	89	95	

Tabelle V

7	6	5	4	3	2	1
1	7	6	5	4	3	2
2	1	7	6	5	4	3
3	2	1	7	6	5	4
4	3	2	1	7	6	5
5	4	3	2	1	7	6
6	5	4	3	2	1	7

Die Benutzung wird am besten durch einige Beispiele erläutert:

1. Beispiel: Welcher Wochentag war der 24. Mai 1543?
Man suche die Zahl 24 in der Tabelle I auf und gehe in der betreffenden Reihe nach rechts bis zu der Spalte für den Monat in der Tabelle II. Dort steht die Zahl 2. Nun suche man in Tabelle III die Zahl 43 — das sind die beiden letzten Stellen der Jahreszahl 1543 — und gehe in der betreffenden Reihe nach rechts bis zu derjenigen Spalte der Tabelle V, über der in Tabelle IV die julianische Zahl 15 — das sind die beiden ersten Stellen der Jahreszahl 1543 — steht. Dort findet man die Zahl 3. Die Summe der beiden ermittelten Zahlen 2 + 3 (= 5) ergibt in Tabelle I den gesuchten Wochentag. Der 24. Mai 1543 war ein Donnerstag.

2. Beispiel: Welcher Wochentag war der 5. Mai 1818?
1818 ist ein Jahr, das nach der Gregorianischen Kalenderreform liegt. Hier muß die zweite Zahl in der mit „gregorianisch" bezeichneten Zahlengruppe der Tabelle IV gesucht werden. Es ergibt sich für die erste Zahl in Tabelle II die Zahl 4, für die zweite Zahl in Tabelle V die Zahl 6, also für Tabelle I die Zahl 10. Der 5. Mai 1818 war ein Dienstag.

3. Beispiel: Welcher Wochentag war der 12. Februar 1908?
1908 war ein Schaltjahr. Bei Schaltjahren sind in Tabelle II die Zahlen für die Monate Januar und Februar den Spalten zu entnehmen, über denen die beiden Monatsnamen kursiv (schräg) gedruckt sind, also der 2. und 4. Spalte. Auch die Schaltjahre selbst sind in den Tabellen III und IV durch Kursivdruck angegeben. In Tabelle III sind es alle durch 4 teilbaren Jahre (also die Zahlen 4, 8, 12, 16 usw.), in Tabelle IV unter „julianisch" sämtliche, unter „gregorianisch" nur die Zahlen 16, 20, 24, 28 und 32 — das sind die durch 400 teilbaren vollen Jahrhundertzahlen 1600, 2000, 2400, 2800, 3200. (Nach dem Julianischen Kalender [Kalender alten Stils] sind alle vollen Jahrhunderte Schaltjahre, nach dem Gregorianischen Kalender [Kalender neuen Stils] nur die eben genannten.)

Die gesuchten Zahlen sind demnach in Tabelle II die Zahl 5 und in Tabelle V die Zahl 6, also für Tabelle I die Zahl 11. Der 12. Februar 1908 war ein Mittwoch.

4. Beispiel: Welcher Wochentag war der 1. Januar 1900?

Nach dem Gregorianischen Kalender war das Jahr kein Schaltjahr. Aus Tabelle II ergibt sich die Zahl 6, aus Tabelle V die Zahl 3, demnach für die Tabelle I die Zahl 9. Der 1. Januar 1900 war ein Montag.

Für Länder mit dem Julianischen Kalender war das Jahr 1900 ein Schaltjahr. In diesem Falle ergibt sich aus Tabelle II die Zahl 5, aus Tabelle V die Zahl 2, für Tabelle I somit die Zahl 7. Für diese Länder war der 1. Januar 1900 ein Sonnabend.

Wieviel Tage liegen zwischen zwei Daten?

Monate	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Januar	—	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334
Februar	334	—	28	59	89	120	150	181	212	242	273	303
März	306	337	—	31	61	92	122	153	184	214	245	275
April	275	306	334	—	30	61	91	122	153	183	214	244
Mai	245	276	304	335	—	31	61	92	123	153	184	214
Juni	214	245	273	304	334	—	30	61	92	122	153	183
Juli	184	215	243	274	304	335	—	31	62	92	123	153
August	153	184	212	243	273	304	334	—	31	61	92	122
September	122	153	181	212	242	273	303	334	—	30	61	91
Oktober	92	123	151	182	212	243	273	304	335	—	31	61
November	61	92	120	151	181	212	242	273	304	334	—	30
Dezember	31	62	90	121	151	182	212	243	274	304	335	—

1. *Gleiche Monatstage.* Wieviel Tage liegen zwischen 21. März und 21. September? Man suche in der Monatsspalte links den Monat März auf und gehe in der waagerechten Reihe nach rechts bis Sept. Dort findet man als die gesuchte Zahl 184.

2. *Verschiedene Monatstage.* Man bestimme die Anzahl der Tage wie für gleiche Monatstage und zähle den Unterschied zum gesuchten Datum zu oder ziehe ihn ab. Zwischen 21. März und 29. Sept. liegen demnach 184 + 8 = 192 Tage.

Bei Schaltjahren ist ein Tag hinzuzurechnen, wenn der 29. Februar in den gesuchten Zeitraum fällt.

Der wievielte Tag des Jahres ist ein bestimmtes Datum?

Tage	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354

Fortsetzung auf S. 120

Fortsetzung von S. 119

Tage	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	(60)	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Bei Schaltjahren erhöhen sich die für Daten ab 1. März angegebenen Zahlen je um 1.
Beispiele: Der 1. März des Schaltjahres 1908 war nicht der 60. (wie z. B. der 1. März 1907), sondern der 61. Tag, der 31. Dez. 1908 nicht der 365., sondern der 366. Tag des Jahres.

BERECHNUNG DES OSTERFESTES

Das Osterfest läßt sich nach folgender Formel berechnen: Man dividiert die Jahreszahl (J) durch 4, wobei ein etwaiger Rest unberücksichtigt bleibt, und erhält so die Zahl $q = \frac{J}{4}$; nun dividiert man

$J : 19$, bleibt Rest a,

$(M - 11a) : 30$, bleibt Rest b,

$(J + q + b - D) : 7$, bleibt Rest c.

Dann ist der $(28 + b - c)$-te, für Zahlen über 31 der $(28 + b - c - 31)$-te März bzw. April Ostersonntag. D und M sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Zeitraum	D	M	Zeitraum	D	M
1582···1699	10	202[1]	2100···2199	14	204[1]
1700···1799	11	203	2200···2299	15	205[1]
1800···1899	12	203	2300···2399	16	206
1900 ··2099	13	204[1]			

[1] Ergibt sich $b = 29$ oder $= 28$, so ist im ersten Falle mit $b = 28$, im zweiten mit $b = 27$ weiterzurechnen.

Beispiele: $J = 1951$. Dann sind: $q = 487$; $a = 13$; $b = 1$; $c = 4$. Ostersonntag ist der $(28 + 1 - 4)$-te $= 25$. März. $J = 1954$. Dann sind: $q = 488$; $a = 16$; $b = 28$ zu ersetzen durch $b = 27$; $c = 6$. Ostersonntag ist der $(28 + 27 - 6 - 31)$-te $= 18$. April.

Ostern und Pfingsten in den Jahren 1935/1965

Jahr	Ostern	Pfingsten	Jahr	Ostern	Pfingsten	Jahr	Ostern	Pfingsten
1935	21. April	9. Juni	1945	1. April	20. Mai	1955	10. April	29. Mai
1936	12. April	31. Mai	1946	21. April	9. Juni	1956	1. April	20. Mai
1937	28. März	16. Mai	1947	6. April	25. Mai	1957	21. April	9. Juni
1938	17. April	5. Juni	1948	28. März	16. Mai	1958	6. April	25. Mai
1939	9. April	28. Mai	1949	17. April	5. Juni	1959	29. März	17. Mai
1940	24. März	12. Mai	1950	9. April	28. Mai	1960	17. April	5. Juni
1941	13. April	1. Juni	1951	25. März	13. Mai	1961	2. April	21. Mai
1942	5. April	24. Mai	1952	13. April	1. Juni	1962	22. April	10. Juni
1943	25. April	13. Juni	1953	5. April	24. Mai	1963	14. April	2. Juni
1944	9. April	28. Mai	1954	18. April	6. Juni	1964	29. März	17. Mai
						1965	18. April	6. Juni

ALTE DEUTSCHE MONATSNAMEN

Deutsch	Lateinisch	Deutsch	Lateinisch
Hartung oder Schneemond	Januar (Jänner)	Heuert oder Heumond	Juli
Hornung	Februar (Feber)	Ernting oder Erntemond	August
Lenzing oder Lenzmond	März	Scheiding oder Herbstmond	September
Ostermond	April	Gilbhard oder Weinmond	Oktober
Maien oder Wonnemond	Mai	Nebelung oder Windmond	November
Brachet, Brachmond, Linding	Juni	Jul oder Julmond	Dezember

DIE MONATSNAMEN DER FRANZÖSISCHEN REVOLUTION

(In Geltung vom 22. September 1792 bis 31. Dezember 1805)

Französisch	Lateinisch
Pluviôse (Regenmonat)	Januar/Februar
Ventôse (Windmonat)	Februar/März
Germinal (Keimmonat)	März/April
Floréal (Blütenmonat)	April/Mai
Prairial (Wiesenmonat)	Mai/Juni
Messidor (Erntemonat)	Juni/Juli
Thermidor (Hitzemonat)	Juli/August
Fructidor (Fruchtmonat)	August/September
Vendémaire (Weinlesemonat)	September/Oktober
Brumaire (Nebelmonat)	Oktober/November
Frimaire (Frostmonat)	November/Dezember
Nivose (Schneemonat)	Dezember/Januar

Die Jahreszählung begann mit dem 1. Vendémaire = 22. September

IV. Wichtige Jahreszahlen

(Geschichte des Kalenders s. S. 115)

v. u. Z.

um 3000 Die *Cheopspyramide* wird erbaut. Ihre Ausrichtung nach den Himmelsrichtungen macht bei den *Ägyptern* die Kenntnis der Mittagslinie wahrscheinlich.

um 2600 In *China* ist der senkrechte Schattenstab bekannt.

um 1500 *Thutmosis III.* errichtet in Heliopolis die sog. Nadeln der Kleopatra (1877 u. Z. nach London gebracht), die als Schattenwerfer dienen und Tageszeit, Jahreszeit und Sonnenwendpunkte angeben.

1400 Älteste Wasseruhren bei den *Ägyptern.*

776 Beginn der Zeit(be)rechnung der *Griechen* nach Olympiaden.

um 640 Öffentliche Wasseruhren in *Assyrien.*

um 380 *Platon* erfindet eine Wasseruhr mit Wecker.

um 270 *Ktesibios* stellt Wasseruhren mit beweglichen Figuren her.

um 50 *Andronikos* von Kyrrhestes errichtet in Athen den „Turm der Winde" als Wasseruhr mit Sonnenuhren nach den 8 Himmelsrichtungen, das berühmteste Uhrenwerk der Griechen.

u. Z.

525 Der Mönch *Dionysius Exiguus* datiert erstmalig die Zeitrechnung nach Christi Geburt.

622	Beginn der *mohammedanischen* Zeitrechnung (Hedschra).
um 675	In *Newcastle* (Cumberland) entsteht die älteste angelsächsische Sonnenuhr.
um 822	In *Fulda* älteste deutsche Sonnenuhr.
um 1120	Erste Räderuhren.
um 1240	Der „Jüngling mit der Sonnenuhr" wird am *Straßburger Münster* genau nach den Himmelsrichtungen aufgestellt.
1304	Erste Räderuhr in Erfurt.
1336	*Mailand* erhält eine schlagende Turmuhr.
1344	*Jacopo de Dondi* erbaut in Padua eine Räderuhr mit Schlagwerk.
1448	Aufstellung der Süduhr am Stefansdom zu *Wien*.
1451	*G. Peuerbach* (Purbach) erfindet die Klappsonnenuhr mit waagerechtem Zifferblatt und Kompaß; sie befindet sich jetzt im Tiroler Landesmuseum in Innsbruck.
1494	*Leonardo da Vinci* skizziert erste Uhr mit Pendel.
um 1500	*Joh. Stabius* berechnet die Sonnenuhr an der St.-Lorenz-Kirche zu Nürnberg; sie wurde nach seinem Tode erbaut (um 1530).
um 1511	Der Nürnberger Handwerker *P. Henlein* (um 1480 bis 1542) konstruiert eine Taschenuhr (nach 1550 „Nürnberger Eier").
1582	Einführung des *Gregorianischen* Kalenders in katholischen Ländern.
1583	*Galileo Galilei* macht auf die Zeitengleichheit der Pendelschwingungen aufmerksam (Isochronismus).
1641	Galileis Sohn entwirft (nach Angaben seines Vaters) eine Räderuhr mit Pendel.
1656	Der niederländische Physiker *Chr. Huygens* (1629 bis 1695) vollendet die erste Pendeluhr.
nach 1680	Minutenzeiger für Uhren aller Art.
ab 1704	Lagersteine für Uhren (*N. Fatio de Duiller*, Schweiz).
1721	*Graham* erfindet das Quecksilber-Kompensationspendel.
1735	Der Engländer *J. Harrison* konstruiert das erste für die Seeschiffahrt geeignete Chronometer und erhält dafür als Preis 1758 5000 und 1764 nochmals 10000 Pfund vom englischen Parlament.
1770	Erste Uhr mit automatischem Aufzug (*Perrelet*, Schweiz).
ab 1800	Sekundenzeiger für Taschenuhren.
1829	Die ersten elektromagnetisch angetriebenen Uhrzeiger (Nebenuhr).
1845	*F. A. Lange* begründet die deutsche Präzisionsuhrenindustrie in Glashütte.
1860	Erste elektromagnetisch angetriebene Pendeluhr.
nach 1910	Aufkommen der Armbanduhren.
1923	Erste automatische Armbanduhr.
1925	Erste Synchronuhr.
1933/34	Die deutschen Physiker *Scheibe* und *Adelsberger* konstruieren die elektrische Quarzuhr. Der Gangfehler beträgt umgerechnet in etwa 30 Jahren 1 Sekunde.
1947	Erste Atomuhr (USA), theoretisch etwa zehnmal genauer als die Quarzuhr.
1952	Erste bruchsichere Zugfeder für tragbare Uhren (*Straumann*, Schweiz).
1953	Erste elektrische Armbanduhr (*Lip*, Frankreich; im Handel erst ab 1959).
1957	Erste elektronische Armbanduhr (*Laco*, WD; 1959 noch nicht im Handel).
1957	Erste elektrische Armbanduhr im Handel (*Hamilton*, USA).
1958	Etalon-Molekularuhr, UdSSR; genauester Zeitmesser der Welt, jährlicher Fehler unter 1 millionstel Sekunde.
1958	Die Sekunde (s) wird als gesetzliche Grundeinheit festgelegt.

MAßEINHEITEN

INHALTSÜBERSICHT

I. *Was heißt „messen"?* 123
II. *Die physikalisch-technischen Einheiten* 123
Die sechs Grundeinheiten 123
Die gesetzlichen Vorsätze 124
Bemerkungen zur Tafel der gesetzlichen Einheiten 124
Tafel der gesetzlichen Maßeinheiten 127
Umrechnungstafeln für Maßeinheiten der Arbeit, der Leistung, des Druckes 132
III. *Besondere Maßeinheiten* 132
Längenmaße 132
Flächenmaße 135
Raummaße 137
Massemaße 139
Maßeinheiten einiger Staaten der Gegenwart 142
Maßeinheiten einiger früherer deutscher Länder 144
Winkelmaße 144
Sonstige Maßeinheiten 146
IV. *Maßzahlen aus Natur und Technik* ... 148
Längen 148
Höhen 149
Tiefen 150
V. *Wissenschaftler, nach denen Maßeinheiten benannt sind* 151
VI. *Wichtige Jahreszahlen* 152

I. Was heißt „messen"?

Eine Größe *messen* heißt angeben, wie oft eine andere Größe derselben Art, die als *Maßeinheit* gilt, in ihr enthalten ist.
Die Maßeinheiten werden auf gewisse Grundeinheiten zurückgeführt. Diese bilden zusammen mit den abgeleiteten Einheiten ein *Maßsystem.*
In Wissenschaft und Technik wurden und werden zum Teil auch heute noch mehrere Maßsysteme nebeneinander benutzt, so das Physikalische Maßsystem einmal als Zentimeter-Gramm-Sekunden-(CGS-)System oder Absolutes Maßsystem und einmal als Meter-Kilogramm-Sekunden-(MKS-) System oder Giorgisches Maßsystem, ferner das Technische Maßsystem mit den Grundeinheiten Meter, Kraft (in Kilopond) und Sekunde, das elektrostatische CGS-System, das elektromagnetische CGS-System und das Praktische Maßsystem der Elektrotechnik.
Um eine Beseitigung der Vielzahl von Maßsystemen hat sich die 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im Jahre 1954 in Paris unter Teilnahme der Vertreter von 32 der Meterkonvention angehörenden Staaten bemüht. Ihre Entschließung hat das Ziel, das Physikalische Maßsystem und das Technische Maßsystem zu einem *System der physikalisch-technischen Einheiten* zu vereinigen.
Auf Grund dieser Empfehlung sind für die Deutsche Demokratische Republik durch die *Verordnung über die physikalisch-technischen Einheiten* vom 14. August 1958 (Gesetzblatt I, Nr. 58, S. 647/49) sechs Grundeinheiten (Länge, Masse, Zeit, elektrische Stromstärke, Temperatur, Lichtstärke) festgelegt worden. Die *Anordnung über die Tafel der gesetzlichen Einheiten* vom 31. Oktober 1958 (Sonderdruck Nr. 289 des Gesetzblattes der DDR vom 15. Dezember 1958) enthält die zu benutzenden Einheiten in einer Tabelle mit Kurzzeichen, Definitionen, Beziehungen zu den Grundeinheiten, besonderen Bestimmungen sowie die gesetzlichen Vorsätze. Das gesetzliche Maßsystem ist in der Deutschen Demokratischen Republik im Schulunterricht, in der Presse, im Rundfunk, in Vorschriftenwerken und Berichten, in der Lehre an Hochschulen, in wissenschaftlichen Veröffentlichungen sowie in Technik und Wirtschaft anzuwenden. Nur in der Atom- und in der Kernphysik, in der Spektroskopie, in der Astronomie sowie in der See- und in der Luftfahrt dürfen andere als die gesetzlichen Einheiten benutzt werden.

II. Die physikalisch-technischen Einheiten

DIE SECHS GRUNDEINHEITEN

physikalische Größe	Grundeinheit	Kurzzeichen
Länge	das Meter	m
Masse	das Kilogramm	kg
Zeit	die Sekunde	s
elektrische Stromstärke	das Ampere	A
Temperatur	der Grad Kelvin	°K
Lichtstärke	die Candela	cd

DIE GESETZLICHEN VORSÄTZE

Vorsatz			Beispiel		
Name	Kurzzeichen	Bedeutung in Zehnerpotenzen	Name	Kurzzeichen	Zusammenhang
Tera	T	10^{12}	Teravolt	TV	1 TV = 10^{12} V
Giga	G	10^{9}	Gigawatt	GW	1 GW = 10^{9} W
Mega	M	10^{6}	Megapond	Mp	1 Mp = 10^{6} p
Kilo	k	10^{3}	Kilometer	km	1 km = 10^{3} m
Hekto	h	10^{2}	Hektoliter	hl	1 hl = 10^{2} *l*
Deka	da	10	Dekagramm	dag	1 dag = 10 g
Dezi	d	10^{-1}	Dezitonne	dt	1 dt = 10^{-1} t
Zenti	c	10^{-2}	Zentigramm	cg	1 cg = 10^{-2} g
Milli	m	10^{-3}	Milliliter	ml	1 ml = 10^{-3} *l*
Mikro	µ	10^{-6}	Mikrometer	µm	1 µm = 10^{-6} m
Nano	n	10^{-9}	Nanometer	nm	1 nm = 10^{-9} m
Pico	p	10^{-12}	Picofarad	pF	1 pF = 10^{-12} F

Ein gesetzlicher Vorsatz darf niemals für sich allein stehen, sondern nur in Verbindung mit einer darauffolgenden Maßeinheit. Auch darf jeweils nur ein Vorsatz verwendet werden. Die Grundeinheit der Masse, das Kilogramm, stellt eine Besonderheit dar, weil in ihr bereits ein Vorsatz enthalten ist und die dezimalen Vielfachen und Teile nicht von der Grundeinheit selbst, sondern von ihrem tausendsten Teil, dem Gramm, zu bilden sind.

BEMERKUNGEN ZUR TAFEL DER GESETZLICHEN EINHEITEN

Im folgenden wird der Leser auf einige wichtige Einzelheiten aufmerksam gemacht, die sich teils unmittelbar, teils mittelbar aus dem Inhalt der nachfolgenden Tafel der gesetzlichen Einheiten ergeben.

1. Die als Längenmaße häufig noch anzutreffenden Zeichen µ (Mikron, My) für ein tausendstel Millimeter und mµ (Millimikron, Millimy) für ein millionstel Millimeter sind nicht mehr zulässig und dürfen nicht verwendet werden. Sie sind durch gesetzliche Längeneinheiten unter Benutzung eines gesetzlichen Vorsatzes des Meters zu ersetzen, z. B. durch das Mikrometer (µm) oder durch das Nanometer (nm). Dabei entsprechen einander 1 µ und 1 µm = 10^{-6} m, 1 mµ und 1 nm = 10^{-9} m.

2. Das Ångström (Å oder AE) ist keine gesetzliche Längeneinheit. Es kann ersetzt werden durch das Nanometer (nm). Dabei entsprechen einander 1 Å und 0,1 nm = 10^{-10} m. Die Seemeile (sm) dagegen ist in die Tafel der gesetzlichen Einheiten aufgenommen, ist jedoch nur für die Angabe von Entfernungen oder Wegstrecken in der Luftfahrt und in der Seefahrt zulässig. Es ist 1 sm = 1852 m.

3. Bei den Flächeneinheiten sind die Kurzzeichen qmm, qcm, qdm, qm, qkm für Quadratmillimeter, Quadratzentimeter, Quadratdezimeter, Quadratmeter, Quadratkilometer unzulässig. Die gesetzlichen Kurzzeichen für diese Maßeinheiten sind mm^2, cm^2, dm^2, m^2, km^2.

4. Weitere gesetzliche Flächenmaße sind das Ar (a) und das Hektar (ha). Sie sind für die Landwirtschaft von Bedeutung. Es ist 1 a = 100 m^2 und 1 ha = 100 a = 10000 m^2. Vielfache und Teile dieser Flächeneinheiten dürfen nicht durch einen Vorsatz gebildet werden.

5. Bei den Volumeneinheiten sind die Kurzzeichen cmm, ccm, cdm, cbm für Kubikmillimeter, Kubikzentimeter, Kubikdezimeter, Kubikmeter nicht zulässig. Die gesetzlichen Kurzzeichen für diese Einheiten sind mm^3, cm^3, dm^3, m^3.

6. Der in Verbindung mit Gasmengen verwendete Ausdruck Normkubikmeter (Nm^3) für die Bezeichnung eines Kubikmeters des Gases im Normzustand, d. h. bei einer Temperatur von 0 °C und einem Druck von 760 Torr, ist nicht mehr zulässig. Der Hinweis auf den Normzustand kann dadurch erfolgen, daß man dem betreffenden Formelzeichen als Index den Buchstaben N beifügt. Ist z. B. das Volumen einer bestimmten Gasmenge im Normzustand 1,5 m^3, so schreibt man $V_N = 1{,}5\ m^3$.

7. Neben dem Kubikmeter ist das Liter (*l*) gesetzliche Volumeneinheit. Es ist bestimmt durch das Volumen von 1 kg reinen luftfreien Wassers bei seiner maximalen Dichte unter dem Druck von 1 atm. Zwischen Liter und Kubikmeter besteht die Beziehung $1\ l = 1{,}000028 \cdot 10^{-3}\ m^3$. Der Unterschied zwischen beiden Maßen ist so gering, daß man im allgemeinen das eine für das andere setzen kann.
In der Pharmazie, in der Medizin und in der Chemie ist man dazu übergegangen, Flüssigkeiten in Milliliter (ml) zu messen.

8. Der Grad wird als 90ster Teil des rechten Winkels erklärt, früher als 360ster Teil des Vollwinkels, der Neugrad (Gon) als 100ster Teil des rechten Winkels.
Unabhängig von der Gradteilung ist das Bogenmaß mit der Einheit Radiant (rad).

9. Das gelegentlich noch verwendete Zeichen γ (Gamma) für den millionsten Teil eines Grammes ist nicht mehr zulässig. Es ist durch eine gesetzliche Einheit der Masse zu ersetzen, z. B. durch das Mikrogramm (µg). Es entsprechen einander $1\,\gamma$ und $1\,\mu g = 10^{-6}$ g.

10. Gelegentlich trifft man noch den Doppelzentner (dz) als Maßeinheit für die Masse an. Nach den neuen gesetzlichen Bestimmungen ist diese Einheit nicht mehr zulässig, sie ist durch eine gesetzliche Einheit der Masse zu ersetzen, z. B. durch die Dezitonne (dt) oder durch das Kilogramm (kg). Es entsprechen einander 1 dz und 1 dt = 100 kg. Auch Zentner (Ztr.) und Pfund (℔) sind veraltete Einheiten der Masse, die heute weitgehend durch Gramm, Kilogramm bzw. Dezitonne umschrieben werden. Es entsprechen einander 1 ℔ und 500 g = 0,5 kg, 1 Ztr. und 50 kg = 0,5 dt.
Unzulässig ist es auch, tausend Tonnen mit Tt abzukürzen, da das Kurzzeichen Tt Teratonne (10^{12} t) bedeuten würde. Für 1000 t kann das Kurzzeichen kt (Kilotonne) verwendet werden.

11. Es ist streng zu unterscheiden zwischen den physikalischen Größen „Masse" und „Kraft". Massen werden gemessen in Kilogramm (kg), Gramm (g), Dekagramm (dag), Milligramm (mg) u. a. sowie in Tonnen (t). Kräfte werden gemessen in Newton (N), Dyn (dyn), Kilopond (kp) u. a.; 1 Newton ist die Kraft, die der Masse 1 kg die Beschleunigung 1 m/s² erteilt (1 N = 1 kg m/s²); das Dyn ist der 100000ste Teil des Newton (1 dyn = 10^{-5} N); das Kilopond (kp) ist die unseren irdischen Verhältnissen angepaßte Krafteinheit; sie erteilt der Masse 1 kg die Beschleunigung 9,81 m/s² (Erdbeschleunigung). Zwischen Kilopond und Newton besteht die Beziehung 1 kp ≈ 9,81 N.

12. Das Gewicht ist eine Kraft, und zwar diejenige, mit der ein Körper von der Erde angezogen wird. Das Gewicht eines Körpers ist vom Ort abhängig. Es ist an den Polen größer als am Äquator und in großer Höhe geringer als auf der Erdoberfläche. Auf dem Mond beträgt das Gewicht eines Körpers nur etwa ein Sechstel von dem auf der Erde. Die Maßeinheiten für Gewicht sind die gleichen wie die für Kraft: das Newton, das Dyn, das Kilopond u. a. Zur Charakterisierung eines Körpers ist das Gewicht weniger geeignet als die Masse, weil die Masse des Körpers überall konstant ist.

13. Den Größen „Masse" und „Gewicht" entsprechen die Größen „Dichte" und „Wichte" (früher spezifisches Gewicht). Die Dichte gibt die Masse je Volumeneinheit an und wird z. B. in g/cm³, kg/dm³ oder kg/m³ gemessen. Die Wichte gibt das Gewicht je Volumeneinheit an und wird z. B. in p/cm³ oder kp/dm³ gemessen. Heute kennzeichnet man einen Stoff in der Regel durch die Angabe seiner Dichte (meist in kg/dm³). Die Zahlenwerte für die Dichte und für die Wichte eines Körpers sind auf der Erdoberfläche praktisch gleich.

14. Da es beim Einkaufen von Lebensmitteln weniger auf das Gewicht, d. h. auf die Kraft ankommt, mit der die Ware von der Erde angezogen wird, als vielmehr auf deren Menge bzw. Masse, kann man ruhig weiter 1 kg Mehl oder 125 g Butter verlangen. Man sollte dann allerdings konsequent sein und das Wort Gewicht durch das Wort Masse ersetzen. Bei manchen mit „Gewicht" zusammengesetzten Ausdrücken wird eine derartige Umbenennung allerdings auf Schwierigkeiten stoßen, da es sich meist um Wörter handelt, die sich im allgemeinen Sprachgebrauch als festumrissene Begriffe eingebürgert haben, z. B. Gewichtszunahme, Papiergewicht, Gewichtsklasse, Geburtsgewicht, Perlengewicht, Atomgewicht, Molekulargewicht.

15. Die bei Wägungen benutzten, zur Bestimmung der Masse dienenden Vergleichsstücke werden Wägestücke genannt. Der Ausdruck „Gewichte" ist zu vermeiden.

16. Der „Druck" ist eine aus Kraft und Fläche zusammengesetzte Größe (Druck ist Kraft durch Fläche). Daher müssen als Maßbezeichnungen entsprechend zusammengesetzte Einheiten verwendet werden, z. B. Newton/Quadratmeter (N/m²), Kilopond/Quadratmeter (kp/m²), Pond/Quadratzentimeter (p/cm²). Weitere gesetzliche Einheiten des Druckes sind das Bar (bar), die technische Atmosphäre (at), die physikalische Atmosphäre (atm), das Torr (Torr). Dabei bestehen folgende Zusammenhänge: 1 bar = 10 N/m², 1 at = 1 kp/cm², 1 atm = 101 325 N/m², 1 Torr = $^1/_{760}$ atm.

17. Die Druckeinheit „Millimeter Quecksilbersäule" (mmQS) ist durch das Torr ersetzt. Es entsprechen einander 1 mmQS und 1 Torr = $^1/_{760}$ atm. Dagegen dürfen die Einheiten Meter Wassersäule (mWS), Zentimeter Wassersäule (cmWS) und Millimeter Wassersäule (mmWS) noch verwendet werden. Es ist 1 mWS = 0,1 at, 1 cmWS = 0,001 at und 1 mmWS = 0,0001 at.

18. Die in der Technik häufig benutzten Einheiten „atü" für „Atmosphären Überdruck" und „ata" für „Atmosphären absolut" sind nicht mehr zulässig, sie müssen durch die technische Atmosphäre (at) ausgedrückt werden. Statt 4 atü heißt es etwa „ein Überdruck von $p_ü = 4$ at", statt „5 ata" sagt man „ein absoluter Druck von $p_a = 5$ at".

19. Statische Größen sind im allgemeinen von der Kraft abgeleitet. Im Bauwesen interessiert das Gewicht, d. h. die Kraft, mit der z. B. eine gespeicherte Ware auf den Boden des Lagerraumes drückt. Es muß daher die zulässige Belastung in kp/m² oder in Mp/m² angegeben werden, nicht aber in kg/m² oder in t/m². Desgleichen mißt der Statiker die Zugfestigkeit oder die Druckfestigkeit, die beide als Kraft durch Fläche definiert sind, in kp/cm², nicht aber in kg/cm².

20. Auch die Arbeit ist eine von der Kraft hergeleitete Größe. Sie ist definiert als Kraft mal Weg und wird gemessen in Newtonmeter (Nm), wofür man auch Wattsekunde (Ws) oder Joule (J) setzen kann: 1 Nm = 1 Ws = 1 J. Weitere Einheiten der Arbeit sind das Erg (erg) und das Kilopondmeter (kpm). Es bestehen die Beziehungen 1 erg = 10^{-7} Nm und 1 kpm = 9,81 Nm. Es ist unzulässig, die Arbeit etwa in Meterkilogramm (mkg) zu messen.

21. Die Leistung ist definiert als Arbeit durch Zeit und wird gemessen in Watt (W); 1 W = 1 J/s = 1 Nm/s. Es sind auch alle Einheiten zulässig, die als Quotient aus einer Arbeits- und einer Zeiteinheit gebildet sind, z. B. das Kilopondmeter/Sekunde. Es besteht die Beziehung 1 kpm/s ≈ 9,81 W. Auch die Pferdestärke (PS) darf bis auf weiteres noch als Leistungseinheit verwendet werden; sie ist gleich 75 Kilopondmeter/Sekunde oder das 735,49875fache des Watt. Rundet man die letztere Zahl, so ergibt sich 735, nicht jedoch 736.

22. Das gesetzliche Kurzzeichen für die Zeiteinheit Sekunde ist s. Andere Kurzzeichen, z. B. sec, sind nicht mehr zulässig. Für Minute ist das gesetzliche Kurzzeichen min, für Stunde h (von lat. *hora*, Stunde), für Tag d (von lat. *dies*. Tag).
Eine Zeitangabe mit hochgesetzten Kurzzeichen bedeutet einen Zeitpunkt, also eine Uhrzeit, z. B. $13^{h}\,15^{min}\,26^{s}$; eine Zeitangabe mit den Kurzzeichen auf der Zeile bedeutet eine Zeitspanne, z. B. 13 h 15 min 26 s.

23. Temperaturen werden in Grad Kelvin (°K) oder in Grad Celsius (°C) gemessen. Das Kennzeichen der Temperaturskala ist stets mitzuführen und eng mit dem Gradzeichen zu verbinden, z. B. 20 °C, 300 °K, nicht aber mit dem Zahlenwert, etwa 20° C, 300° K. Differenzen von Temperaturen werden für beide Skalen durch das Zeichen grd ausgedrückt, also 20 °C ± 1 grd, 300° K ± 10 grd.

24. Die Bezeichnung Neue Kerze (NK) für die Einheit der Lichtstärke ist durch den Ausdruck Candela (cd, sprich Candẹla) ersetzt. Es entsprechen einander 1 NK und 1 cd.

25. Die Einheit der Leuchtdichte ist die Candela/Quadratmeter (cd/m²). Das 10000fache dieser Einheit, die Candela/Quadratzentimeter, wird als Stilb (sb) bezeichnet: 1 sb = 10000 cd/m² = 1 cd/cm². Das Apostilb (asb, 1 asb entsprach 1 sb/$10^{4}\,\pi$) ist nicht mehr zulässig.

26. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist das Lux (lx). Es ist nicht mehr zulässig, für das 10000fache des Lux das Phot (ph) zu benutzen (1 ph entsprach 10^{4} lx).

27. Die Einheit des magnetischen Flusses ist das Weber (Wb) oder die Voltsekunde (Vs, 1 Wb = 1 Vs). Die Bezeichnung Maxwell (M, Mx) für das 10^{-8}fache von 1 Wb (1 M entsprach 10^{-8} Wb) ist nicht mehr zulässig.

28. Die Einheit der magnetischen Induktion (magnetische Flußdichte) ist das Weber/Quadratmeter (Wb/m²) oder die Voltsekunde/Quadratmeter (Vs/m², 1 Wb/m² = 1 Vs/m²). Die Bezeichnung Gauß (G, Gs) für das 10^{-4}fache von 1 Wb/m² (1 G entsprach 10^{-4} Wb/m²) ist nicht mehr zulässig.

29. Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist das Ampere/Meter (A/m). Die Bezeichnung Oersted (O, Oe) für das $\frac{10^{3}}{4\pi}$ fache von 1A/m $\left(1\,\text{Oe entsprach } \frac{10^{3}}{4\pi}\,\text{A/m}\right)$ ist nicht mehr zulässig.

30. Kurzzeichen von Maßeinheiten sollen nur in Verbindung mit der Maßzahl verwendet werden, nicht aber im Text für sich allein. Man schreibt z. B. „Die Strecke ist 3 m lang", dagegen „Wieviel Meter lang ist die Strecke?", nicht aber „Wieviel m lang ist die Strecke?".

31. Zahlen aus mehr als drei Ziffern vor oder hinter dem Dezimalkomma dürfen vom Komma aus durch Zwischenräume in Gruppen zu je drei Ziffern geteilt werden. Zwischen die Gruppen darf jedoch kein Zeichen (Punkt, Komma) gesetzt werden. Man schreibt 3000000 Einwohner, 0,00000025 g. Handelt es sich bei großen Zahlen um Geldbeträge, so dürfen zur Verhinderung von Fälschungen Punkte gesetzt werden. Diese sind entbehrlich, wenn der Betrag in Worten wiederholt wird.

32. Im Zusammenhang mit der Verordnung über die physikalisch-technischen Einheiten ist auf die Gepflogenheit zu achten, daß Kurzzeichen von Maßeinheiten i. allg. in senkrechtstehenden (Antiqua-) Lettern zu setzen sind. Sie ist zweckmäßigerweise auch auf diejenigen Kurzzeichen von Einheiten und Vorsätzen anzuwenden, die Buchstaben des griechischen Alphabets sind, also 30 Ω, 25 µm.

33. Zum Unterschied von den Maßeinheiten werden Formelzeichen üblicherweise in Kursivdruck wiedergegeben. Unter Formelzeichen versteht man die Kurzzeichen für physikalisch-technische Größen, z. B. *m* für Masse, *t* für Zeit, *s* für Weglänge. Durch diese Handhabung läßt sich bereits am Schriftbild erkennen, ob mit dem Zeichen eine Formelgröße oder eine Maßeinheit gemeint ist. So bedeutet $m = 150$ t eine Masse von 150 Tonnen, $t = 30$ s eine Zeitspanne von 30 Sekunden, $s = 75$ m eine Wegstrecke von 75 Metern.

34. Schließlich sei noch auf die Notwendigkeit der Unterscheidung einiger mathematischer Zeichen hingewiesen. Oft wird mit dem Gleichheitszeichen Mißbrauch getrieben, indem man es dort verwendet, wo das Zeichen ≙ mit der Bedeutung „entspricht" stehen müßte. Will man z. B. zum Ausdruck bringen, daß bei der zeichnerischen Darstellung von Kräften der Strecke von 1 cm eine Kraft von 10 kp entspricht, so schreibt man 1 cm ≙ 10 kp. Die Schreibweise 1 cm = 10 kp ist falsch, denn hier stehen rechts und links vom Gleichheitszeichen ungleiche Größen.

35. Ferner ist zu unterscheiden zwischen den mathematischen Zeichen ~ für „ähnlich, proportional" und ≈ für „angenähert, rund, etwa". Das Zeichen für „ähnlich" wird z. B. in physikalischen Formeln verwendet. So läßt sich das Hookesche Gesetz, nach dem z. B. die elastische Verlängerung *s* einer Schraubenfeder der angreifenden Kraft *P* proportional ist, in der Form $P \sim s$ schreiben. Dagegen steht das Zeichen ≈ bei näherungsweise gelösten Rechnungen oder bei gerundeten Zahlen, z. B. $\pi \approx 3{,}14$ oder Erdradius $R \approx 6360$ km.

TAFEL DER GESETZLICHEN MAßEINHEITEN

Formelgröße	Maßeinheit: Benennung	Maßeinheit: Kurzzeichen	Zusammenhang	Definition der Grundeinheit
Länge	**Meter** Seemeile	**m** sm	1 sm = 1852 m	Das Meter ist der Abstand der Mittelstriche der auf dem Internationalen Meterprototyp angebrachten Strichgruppen bei der Gleichgewichtstemperatur zwischen Eis und reinem, luftgesättigtem Wasser unter dem Druck einer physikalischen Atmosphäre. Auf der XI. Generalkonferenz der Meterkonvention 1960 wurde beschlossen, das oben definierte Meter auf eine bestimmte Lichtwellenlänge zurückzuführen. Ein Meter entspricht danach 1650763,73 Wellenlängen der Orange-Linie des Krypton-Isotops 86 im Vakuum.
Fläche	Quadratmeter Ar Hektar	m^2 a ha	$1\ m^2 = 1\ m \cdot 1\ m$ $1\ a = 100\ m^2$ $1\ ha = 100\ a = 10000\ m^2$	
Volumen	Kubikmeter Liter	m^3 l	$1\ m^3 = 1\ m \cdot 1\ m \cdot 1\ m$ $1\ l = 1{,}000028 \cdot 10^{-3}\ m^3$	
ebener Winkel	Radiant rechter Winkel, Rechter Grad Minute Sekunde Neugrad, Gon Neuminute Neusekunde	rad ^{L} ° ' '' g c cc	$1^L = \frac{\pi}{2}$ rad $1° = 1^L/90$ $1' = 1°/60$ $1'' = 1'/60$ $1^g = \frac{1^L}{100}$ $1^c = 1^g/100$ $1^{cc} = 1^c/100$	
Raumwinkel	Steradiant	sr		
Zeit	**Sekunde** Minute Stunde Tag	**s** min h d	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86400 s	Die Sekunde ist der 31556925,9747te Teil des tropischen Jahres für 1900, Januar 0, 12 Uhr Ephemeridenzeit.
Frequenz	Hertz	Hz	$1\ Hz = 1\ s^{-1}$	
Geschwindigkeit	Meter/Sekunde Knoten	m/s kn	$1\ m/s = 1\ ms^{-1}$ 1 kn = 1 sm/h = 1,852 km/h	
Beschleunigung	Meter/Quadratsekunde	m/s^2	$1\ m/s^2 = 1\ ms^{-2}$	
Winkelgeschwindigkeit	Radiant/Sekunde	rad/s	$1\ rad/s = 1\ s^{-1}$	
Winkelbeschleunigung	Radiant/Quadratsekunde	rad/s^2	$1\ rad/s^2 = 1\ s^{-2}$	

Fortsetzung von S. 127

Formelgröße	Maßeinheit: Benennung	Maßeinheit: Kurzzeichen	Zusammenhang	Definition der Grundeinheit
Masse	**Kilogramm**	**kg**		Das Kilogramm ist die Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.
	Gramm	g	$1\ g = 10^{-3}\ kg$	
	Tonne	t	$1\ t = 10^{3}\ kg$	
	metrisches Karat	k	$1\ k = 2 \cdot 10^{-4}\ kg$	
Dichte	Kilogramm/Kubikmeter	kg/m^3	$1\ kg/m^3 = 1\ m^{-3}\ kg$	
Kraft	Newton	N	$1\ N = 1\ m\,kg\,s^{-2}$	
	Dyn	dyn	$1\ dyn = 10^{-5}\ N$	
	Kilopond	kp	$1\ kp = 9{,}80665\ N$	
	Pond	p	$1\ p = 10^{-3}\ kp$	
Druck	Newton/Quadratmeter	N/m^2	$1\ N/m^2 = 1\ m^{-1}\,kg\,s^{-2}$	Es dürfen auch folgende Bezeichnungen verwendet werden: Meter Wassersäule (mWS); $1\ mWS = {}^1/_{10}$ at Zentimeter Wassersäule (cmWS); $1\ cmWS = {}^1/_{1000}$ at Millimeter Wassersäule (mmWS); $1\ mmWS = {}^1/_{10000}$ at
	Bar	bar	$1\ bar = 10^5\ N/m^2 = 10^5\ m^{-1}\,kg\,s^{-2}$	
	technische Atmosphäre	at	$1\ at = 10^4\ kp/m^2 = 98066{,}5\ m^{-1}\,kg\,s^{-2}$	
	physikalische Atmosphäre	atm	$1\ atm = 101\,325\ N/m^2 = 101\,325\ m^{-1}\,kg\,s^{-2}$	
	Torr	Torr	$1\ Torr = 1/760\ atm = \frac{101\,325}{760}\ m^{-1}\,kg\,s^{-2}$	
dynamische Viskosität	Newtonsekunde/Quadratmeter	Ns/m^2	$Ns/m^2 = 1\ m^{-1}\,kg\,s^{-1}$	
	Poise	P	$1\ P = 10^{-1}\ Ns/m^2 = 10^{-1} m^{-1}\,kg\,s^{-1}$	
kinematische Viskosität	Quadratmeter/Sekunde	m^2/s	$1\ m^2/s = \frac{1\ Ns/m^2}{1\ kg/m^3} = 1\ m^2 s^{-1}$	
	Stokes	St	$1\ St = 10^{-4} m^2/s = 10^{-4} m^2 s^{-1}$	
Arbeit, Energie, Wärmemenge	Newtonmeter, Wattsekunde, Joule	Nm, Ws, J	$1\ Nm = 1\ Ws = 1\ J = 1\ m^2\,kg\,s^{-2}$	
	Erg	erg	$1\ erg = 10^{-7}\ Nm$	
	Kalorie	cal	$1\ cal = 4{,}1868\ Nm$	
Leistung	Newtonmeter/Sekunde, Watt	Nm/s, W	$1\ Nm/s = 1\ W = 1\ m^2\,kg\,s^{-3}$	Bis auf weiteres darf noch folgende Einheit verwendet werden: Pferdestärke (PS); $1\ PS = 735{,}49875\ W = 75\ kpm/s$
	Voltampere	VA	$1\ VA = 1\ W$ für elektrische Scheinleistungen	
	Var	var	$1\ var = 1\ W$ für elektrische Blindleistungen	

elektrische Stromstärke	**Ampere**	**A**		Das Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes durch zwei geradlinige, parallele, unendlich lange Leiter der relativen Permeabilität 1 und von vernachlässigbarem Querschnitt, die einen Abstand von 1 m haben und zwischen denen die durch den Strom elektrodynamisch hervorgerufene Kraft im leeren Raum je 1 m Länge der Doppelleitung $2 \cdot 10^{-7}$ m kgs^{-2} beträgt.
elektrische Spannung	Volt	V	1 V = 1 W/A = 1 m^{2}kgs^{-3}A^{-1}	
elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A = 1 m^{2}kgs^{-3}A^{-2}	
elektrischer Leitwert	Siemens	S	1 S = 1 A/V = 1 m^{-2}kg^{-1}s^{3}A^2	
Elektrizitätsmenge (elektrische Ladung)	Coulomb, Amperesekunde	C, As	1 C = 1 As = 1 sA	
elektrische Kapazität	Farad	F	1 F = 1 C/V = 1 m^{-2}kg^{-1}s^{4}A^2	
elektrische Verschiebung	Coulomb/Quadratmeter	C/m^2	1 C/m^2 = 1 m^{-2}sA	
elektrische Feldstärke	Volt/Meter	V/m	1 V/m = 1 mkgs^{-3}A^{-1}	
magnetischer Fluß	Weber, Voltsekunde	Wb, Vs	1 Wb = 1 Vs = 1 m^{2}kgs^{-2}A^{-1}	
Induktivität	Henry	H	1 H = 1 Wb/A = 1 m^{2}kgs^{-2}A^{-2}	
magnetische Induktion	Weber/Quadratmeter Voltsekunde/Quadratmeter	Wb/m^2 Vs/m^2	1 Wb/m^2 = 1 Vs/m^2 = 1 kgs^{-2}A^{-1}	
magnetische Feldstärke	Ampere/Meter	A/m	1 A/m = 1 m^{-1} A	
Kelvin-Temperatur	**Grad Kelvin**	**°K**	Bei der Angabe von Temperaturdifferenzen werden die Namen Grad Kelvin und Grad Celsius durch Grad, die Kurzzeichen °K und °C durch grd ersetzt. 0 °C = 273,15 °K	Der Grad Kelvin ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Kelvin-Temperatur des Tripelpunktes von reinem Wasser.
Celsius-Temperatur	Grad Celsius	°C		
Lichtstärke	**Candela**	**cd**		Die Candela ist die Lichtstärke, mit der ein Schwarzer Strahler bei der Temperatur des beim Druck einer physikalischen Atmosphäre erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet, wenn diese 1/600000 m^2 beträgt.
Leuchtdichte	Candela/Quadratmeter	cd/m^2	1 cd/m^2 = 1 m^{-2}cd	
	Stilb	sb	1 sb = 10^{-4} cd/m^2 = 1 cd/cm^2	
Lichtstrom	Lumen	lm	1 lm = 1 cdsr	
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	1 lx = 1 lm/m^2 = 1 m^{-2}cdsr	

Zusammenhang zwischen veralteten und gesetzlichen Einheiten

Größe	veraltet		neu bzw. gesetzlich		Zusammenhang	
	Einheit	Kurzzeichen	Einheit	Kurzzeichen	ersetze	durch
Länge	Mikron, My	μ	Mikrometer	μm	1 μ	1 μm = 10^{-6} m
	Millimikron	mμ	Nanometer	nm	1 mμ	1 nm = 10^{-9} m
	Ångström	Å	Nanometer	nm	1 Å	0,1 nm = 10^{-10} m
	Röntgeneinheit	X. E.	Picometer	pm	1 X. E.	0,100202 pm = $1{,}00202^{-13}$ m
Volumen für Gase	Normalkubikmeter	Nm^3	Kubikmeter	m^3	V = 1 Nm^3	V_N = 1 m^3
Volumen für Flüssigkeiten	Kubikzentimeter	cm^3	Milliliter	ml	1 cm^3	1 ml
Masse	Gamma	γ	Mikrogramm	μg	1 γ	1 μg = 10^{-6} g
	Doppelzentner	dz	Dezitonne	dt	1 dz	1 dt = 100 kg
	Zentner	Ztr.	Kilogramm	kg	1 Ztr.	50 kg = 0,5 dt
	Pfund	℔	Kilogramm	kg	1 ℔	0,5 kg = 500 g
Kraft	(Kraft-) Gramm	g	Pond	p	1 g	1 p
	(Kraft-) Kilogramm	kg	Kilopond	kp	1 kg	1 kp
	(Kraft-) Tonne	t	Megapond	Mp	1 t	1 Mp
	–	–	Newton	N	–	1 N = $\frac{1}{9{,}81}$ kp
Wichte	$\frac{\text{Kilogramm}}{\text{Kubikdezimeter}}$	$\frac{kg}{dm^3}$	$\frac{\text{Kilopond}}{\text{Kubikdezimeter}}$	$\frac{kp}{dm^3}$	1 $\frac{kg}{dm^3}$	1 $\frac{kp}{dm^3}$
Druck	$\frac{\text{Kilogramm}}{\text{Quadratmeter}}$	$\frac{kg}{m^2}$	$\frac{\text{Kilopond}}{\text{Quadratmeter}}$	$\frac{kp}{m^2}$	1 $\frac{kg}{m^2}$	1 $\frac{kp}{m^2}$
	–	–	$\frac{\text{Newton}}{\text{Quadratmeter}}$	$\frac{N}{m^2}$	–	1 $\frac{N}{m^2}$
	–	–	Bar	bar	–	1 bar = 10^5 N/m^2
	Millimeter Quecksilbersäule	mmQS	Torr	Torr	1 mm QS	1 Torr = $\frac{1}{760}$ atm
	Atmosphären Überdruck	atü	Atmosphäre, techn.	at	p = 1 atü	$p_ü$ = 1 at
	Atmosphären absolut	ata	Atmosphäre, techn.	at	p = 1 ata	p_a = 1 at

Zug-, Druckfestigkeit	$\frac{\text{Kilogramm}}{\text{Quadratzentimeter}}$	$\frac{kg}{cm^2}$	$\frac{\text{Kilopond}}{\text{Quadratzentimeter}}$	$\frac{kp}{cm^2}$	$1\ \frac{kg}{cm^2}$	$1\ \frac{kp}{cm^2}$
Arbeit	Meterkilogramm	mkg	Kilopondmeter	kpm	1 mkg	1 kpm
	–	–	Newtonmeter	Nm	–	$1\,Nm = 1\,J = 1\,Ws = \frac{1}{9{,}81}\,kpm$
magnet. Fluß	Maxwell	M	Weber	Wb	1 M	10^{-8} Wb
magnet. Induktion	Gauß	G	$\frac{\text{Weber}}{\text{Quadratmeter}}$	$\frac{Wb}{m^2}$	1 G	$10^{-4}\ Wb/m^2$
magnet. Feldstärke	Oersted	Oe	$\frac{\text{Ampere}}{\text{Meter}}$	$\frac{A}{m}$	1 Oe	$\frac{10^3}{4\pi}\ \frac{A}{m}$
Lichtstärke	Neue Kerze	NK	Candela	cd	1 NK	1 cd
Leuchtdichte	Apostilb	asb	Stilb	sb	1 asb	$\frac{1}{10^4\pi}$ sb
Beleuchtungsstärke	Phot	ph	Lux	lx	1 ph	10^4 lx

Veraltete und neue Kurzzeichen

Einheit, Begriff	Kurzzeichen veraltet	Kurzzeichen neu	Einheit, Begriff	Kurzzeichen veraltet	Kurzzeichen neu
Quadratkilometer	qkm	km^2	Sekunde (Zeit)	sec	s
Quadratmeter	qm	m^2	20 Grad Celsius	20° C	20 °C
Quadratdezimeter	qdm	dm^2	300 Grad Kelvin	300° K	300 °K
Quadratzentimeter	qcm	cm^2	Temperaturdifferenz für Celsius	20° C ± 1° C	20 °C ± 1 grd
Quadratmillimeter	qmm	mm^2	Temperaturdifferenz für Kelvin	300° K ± 10° K	300 °K ± 1 grd
Kubikmeter	cbm	m^3	große und kleine Zahlen	1.875.300	1 875 300
Kubikdezimeter	cdm	dm^3		3,141.592.65	3,141 592 65
Kubikzentimeter	ccm	cm^3	Formelzeichen	m, s, t	*m, s, t*
Kubikmillimeter	cmm	mm^3	Zeichen für „entspricht"	1 cm = 1 kp	1 cm ≙ 1 kp
			Zeichen für „angenähert"	$\pi = 3{,}14$	$\pi \approx 3{,}14$

UMRECHNUNGSTAFELN FÜR MAßEINHEITEN DER ARBEIT, DER LEISTUNG, DES DRUCKES

Maßeinheiten der Arbeit (bzw. der Energie)

	Nm (Ws, J, 10^7 erg)	kWh	kcal	kpm	PSh	MeV
1 Nm (Ws, J, 10^7 erg) ≙	1	$2{,}78 \cdot 10^{-5}$	$2{,}388 \cdot 10^{-4}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-1}$	$3{,}78 \cdot 10^{-7}$	$6{,}242 \cdot 10^{12}$
1 kWh ≙	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1	$8{,}6 \cdot 10^{2}$	$3{,}671 \cdot 10^{5}$	1,36	$2{,}247 \cdot 10^{17}$
1 kcal ≙	$4{,}1868 \cdot 10^{3}$	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	1	$4{,}269 \cdot 10^{2}$	$1{,}581 \cdot 10^{-3}$	$2{,}613 \cdot 10^{16}$
1 kpm ≙	9,80665	$2{,}724 \cdot 10^{-6}$	$2{,}343 \cdot 10^{-3}$	1	$3{,}704 \cdot 10^{-6}$	$6{,}121 \cdot 10^{13}$
1 PSh ≙	$2{,}648 \cdot 10^{6}$	$7{,}355 \cdot 10^{-1}$	$6{,}324 \cdot 10^{2}$	$2{,}7 \cdot 10^{5}$	1	$1{,}653 \cdot 10^{19}$
1 MeV ≙	$1{,}602 \cdot 10^{-13}$	$4{,}45 \cdot 10^{-18}$	$3{,}826 \cdot 10^{-17}$	$1{,}634 \cdot 10^{-14}$	$6{,}049 \cdot 10^{-20}$	1

Zum Beispiel 1 kpm ≙ $2{,}724 \cdot 10^{-6}$ kWh, 1 kWh ≙ $3{,}671 \cdot 10^{5}$ kpm, 1 kcal ≙ $4{,}1868 \cdot 10^{3}$ Nm = $4{,}1868 \cdot 10^{10}$ erg.

Maßeinheiten der Leistung

	kW (10^{10} erg/s)	kcal/s	kpm/s	PS
1 kW (10^{10} erg/s) ≙	1	$2{,}388 \cdot 10^{-1}$	$1{,}0197 \cdot 10^{2}$	1,36
1 kcal/s ≙	4,1868	1	$4{,}269 \cdot 10^{2}$	5,692
1 kpm/s ≙	$9{,}80665 \cdot 10^{-1}$	$2{,}343 \cdot 10^{-3}$	1	$1{,}333 \cdot 10^{-2}$
1 PS ≙	$7{,}355 \cdot 10^{-1}$	$1{,}757 \cdot 10^{-1}$	7,5 · 10	1

Zum Beispiel 1 PS ≙ 0,7355 kW, 1 kW ≙ 1,36 PS, 1 kpm/s ≙ 0,980665 kW = 0,980665 · 10^{10} erg/s.

Maßeinheiten des Druckes

	N/m²	bar (10^5 mbar)	at (kp/cm²)	atm	Torr
1 N/m² ≙	1	10^{-5}	$1{,}0197 \cdot 10^{-5}$	$9{,}869 \cdot 10^{-6}$	$7{,}5 \cdot 10^{-3}$
1 bar (10^5 mbar) ≙	10^{5}	1	1,0197	$9{,}869 \cdot 10^{-1}$	$7{,}5 \cdot 10^{2}$
1 at (kp/cm²) ≙	$9{,}80665 \cdot 10^{4}$	$9{,}80665 \cdot 10^{-1}$	1	$9{,}679 \cdot 10^{-1}$	$7{,}3556 \cdot 10^{2}$
1 atm ≙	$1{,}01325 \cdot 10^{5}$	1,01325	1,0332	1	$7{,}6 \cdot 10^{2}$
1 Torr ≙	$1{,}3332 \cdot 10^{2}$	$1{,}3332 \cdot 10^{-3}$	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	$1{,}316 \cdot 10^{-3}$	1

Zum Beispiel 1 atm ≙ 1,0332 at, 1 Torr ≙ 1,3332 mbar, 1 mbar ≙ $7{,}5 \cdot 10^{2}/10^{3}$ Torr = 0,75 Torr.

III. Besondere Maßeinheiten

LÄNGENMAßE

Metrische Längenmaße

	Tm	Gm	Mm	km	m
1 Tm (Terameter)	1	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}
1 Gm (Gigameter)	10^{-3}	1	10^{3}	10^{6}	10^{9}
1 Mm (Megameter)	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{3}	10^{6}
1 km (Kilometer)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{3}
1 m (Meter)	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

Metrische Längenmaße (Fortsetzung)

	m	cm	mm	µm	nm	pm
1 m (Meter)	1	10^{2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}
1 cm (Zentimeter)	10^{-2}	1	10	10^{4}	10^{7}	10^{10}
1 mm (Millimeter)	10^{-3}	10^{-2}	1	10^{3}	10^{6}	10^{9}
1 µm (Mikrometer)	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}	1	10^{3}	10^{6}
1 nm (Nanometer)	10^{-9}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{3}
1 pm (Picometer)	10^{-12}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

Kleine Maßeinheiten der Wellenlehre und der Spektroskopie

	mm	µm	nm	Å	pm	X.E.
1 mm (Millimeter)	1	10^{3}	10^{6}	10^{7}	10^{9}	10^{10}
1 µm (Mikrometer)	10^{-3}	1	10^{3}	10^{4}	10^{6}	10^{7}
1 nm (Nanometer)	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^{3}	10^{4}
1 Å (Ångströmeinheit)	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1	10^{2}	10^{3}
1 pm (Picometer)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	1	10
1 X.E. (Röntgeneinheit)	10^{-10}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-1}	1

Nichtmetrische Längenmaße

Die großen Einheiten der Astronomie

Astronomische Einheit	(AE)	mittlere Entfernung Erde—Sonne	1 AE = $1{,}495 \cdot 10^{8}$ km
Lichtjahr	(Lj)	Strecke, die das Licht in masselosem Raum in einem Jahr zurücklegt	1 Lj = 63275 AE = $9{,}4605 \cdot 10^{12}$ km = 0,3068 Pc
Parsek	(Pc)	Entfernung, von der aus der Erdbahnhalbmesser unter dem Winkel von 1″ erscheint (*Par*allaxen*sek*unde)	1 Pc = 3,2633 Lj = 206264,806 AE = $3{,}0872 \cdot 10^{13}$ km

Meilen

1 deutsche Landmeile	= 7500 m
1 geographische Meile = $^{1}/_{15}$ Äquatorgrad	= 7421,5 m
1 neue geographische Meile = 4 Seemeilen	= 7420,4385 m

Typographisches Maßsystem

Die Maßeinheit für typographische Schriftgrade ist der *Punkt*, ursprünglich $^{1}/_{72}$ französischer Zoll; seit 1876 ist ein Punkt gleich 0,3759 mm (1 Meter entspricht 2660 typographischen Punkten).

Name	Punktzahl	Schriftbild	Name	Punktzahl	Schriftbild
Diamant	4	Diamant	Cicero	12	Cicero
Perl	5	Perl			
Nonpareille	6	Nonpareille	Mittel	14	Mittel
Kolonel	7	Kolonel			
Petit	8	Petit	Tertia	16	Tertia
Borgis	9	Borgis			
Korpus (Garmond)	10	Korpus	Text	20	Text

Längenmaße im Seewesen

1 Seemeile (sm, deutsch)	= 1852 m	1 Knoten = 1 Seemeile in der Stunde	
1 nautical mile	= 1853,18 m	1 admiralty mile	= 1855,1 m
1 Faden = $^1/_{1000}$ Seemeile	= 1,85 m	1 fathom (Faden)	= 1,829 m
1 Kabellänge = $^1/_{10}$ Seemeile	= 185,00 m	1 cables length	= 120 fathoms = 219,46 m

Längenmaße in der Spinnerei

deutsch	1 Strang	= 10 Gebind	= 1000 Fäden = 1000 m
englisch Baumwolle	1 Strähn (hank)	= 840 Yard	= 768 m
Kammgarn	1 Strähn (hank)	= 560 Yard	= 512 m
Flachs	1 Gebind	= 300 Yard	= 274 m
Streichgarn	1 Strähn (skin)	= 256 Yard	= 234 m

Britisch-amerikanische Längenmaße

1 line (Linie) = 1‴ = $^1/_{12}$ in.	=	0,212 mm
1 inch (Zoll), in. bei 20 °C = 1″	=	25,4000 mm (1 mm = 0,039″)
1 foot (Fuß), ft. = 1′ = 12 ins.	=	30,48 cm (1 m = 3,281 ft.)
1 yard (Elle), yd. = 36 ins.	=	91,44 cm (1 m = 1,094 yd.)
1 chain (Kette) = 22 yds.	=	20,1166 m
1 statute mile = 1760 yds. (Landmeile)	=	1609,34 m (1 km = 0,6214 stat. mile)

Russische Längenmaße (zaristisches Rußland)

1 linija (‴)	=	10	totschka	=	2,54	mm (1 mm = 0,39‴)
1 djum (Zoll; ″)	=	10	linija	=	2,54	cm (1 cm = 0,39″)
1 werschok	=	4,445 cm (1 m		=	22,497	werschok)
1 fut (Fuß) = 12 djum	=	30,48 cm (1 m		=	3,281	ft)
1 arschin (Elle) = 16 werschok	=	71,18 cm (1 m		=	1,405	arschin)
1 sashen (Klafter) = 7 fut	=	2,133 m (1 m		=	0,4688	sashen)
1 werst = 500 sashen	=	1066,8 m (1 km		=	0,93738	werst)
1 Meile = 7 werst	=	7467,8 m				

Veraltete nichtmetrische Längenmaße

Preußische Maße

	Linie	Zoll	Fuß	Klafter	Rute	cm bzw. m
Linie	1	$^1/_{12}$	$^1/_{144}$			0,218 cm
Zoll	12	1	$^1/_{12}$			2,615 cm
Fuß	144	12	1		$^1/_{12}$	31,385 cm
Elle	306	25$^1/_2$				66,69 cm
Klafter	864	72	6	1	$^1/_2$	1,883 m
Rute	1728	144	12	2	1	3,766 m
Meile			24000	4000	2000	7532,48 m

Bergwerksmaße

Land	Maß	m
Preußen	1 Lachter = 80 Zoll = 6$^2/_3$ Fuß	2,0924
Sachsen	1 Lachter = 7 Fuß	1,9823
	1 Oberbergamts-Normallachter	1,9615
	1 Freiberger Lachter	1,9616 bis 2,0048
Österreich	1 Berglachter	1,960 oder 1,8967
Süddeutschland	1 Stabel (Salzbergbau) = 300 Wiener Klafter	568,95

Antike Längenmaße

Land	Maß	m	
ägyptisch (1000 v. u. Z.)	meh nesut (kgl. Elle)	≈ 52	cm
	meh scherer (geringe Elle)	≈ 45	cm
babylonisch (2000 v. u. Z.)	Fuß	26,45	cm
	Elle	49,59	cm
	Nippur Elle	51,72	cm
griechisch	1 stadion = 6 plethra	184,97	m
	1 plethron (Furche) = 100 Fuß	30,83	m
	1 orgygia (Klafter) = 6 Fuß	1,85	m
	1 pechys (Elle) = $1^1/_2$ Fuß	46	cm
	1 pus (Fuß) = 16 daktyloi	30,83	cm
	1 palaiste (Handbreite) = 4 daktyloi	7,71	cm
	1 daktylos (Fingerbreite)	1,93	cm
hebräisch	1 kibberath (Sabbatweg) = 2000 Ellen	1000	m
	1 ammah (Elle) = 2 sereth	49,5	cm
	1 sereth (Spanne) = 3 tephach	24,75	cm
	1 tephach	8,25	cm
	1 etzba (Fingerbreite)	2,06	cm
römisch	1 iter pedestre (Tagereise)	28,725	km
	1 milium (Meile) = 1000 passus	1479	m
	1 passus (Doppelschritt) = 5 Fuß	1,48	m
	1 pes (Fuß) = 4 palmae	29,57	cm
	1 palma (Handbreite)	7,4	cm
	1 cubitus (Elle) = $1^1/_2$ Fuß = 24 digiti	44,36	cm
	1 digitus (Fingerbreite)	1,85	cm
arabisch (um 800 u. Z.)	schwarze Elle des Kalifen Al-Mamum (zur Gradmessung)	51,96	cm

FLÄCHENMAßE

Metrische Flächenmaße

	km^2	ha	a	m^2	dm^2	cm^2	mm^2
1 km^2	1	10^2	10^4	10^6	10^8	10^{10}	10^{12}
1 ha (Hektar)	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6	10^8	10^{10}
1 a (Ar)	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6	10^8
1 m^2	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6
1 dm^2	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4
1 cm^3	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2
1 mm^2	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1

Papierformate (nach TGL 0-476)

Als Standard der DDR gelten die Formatreihen A, B und C. Die Reihe A ist die Vorzugsreihe für alle *unabhängigen* Formate. Alle Formate entsprechen dem Verhältnis von Seite zu Diagonale in einem Quadrat, d. i. $1 : \sqrt{2}$. Die benachbarten Formate einer Formatreihe gehen stets durch Verdoppeln bzw. Halbieren hervor. Durch 6maliges Falzen des Grundformates A 0 erhält man A 6, das Postkartenformat. Die Zusatzreihen B und C gelten für *abhängige* Papiergrößen, wie Briefhüllen, Hefter, Mappen u. a.

Die Grundformate der Reihen sind

A	B	C
841 × 1189 mm	1000 × 1414 mm	917 × 1297 mm

Formatreihe A

A 0	841 × 1189 mm	Vierfachbogen	A 5	148 × 210 mm	Blatt
A 1	594 × 841 mm	Doppelbogen	A 6	105 × 148 mm	Halbblatt
A 2	420 × 594 mm	Bogen	A 7	74 × 105 mm	Viertelblatt
A 3	297 × 420 mm	Halbbogen	A 8	52 × 74 mm	Achtelblatt
A 4	210 × 297 mm	Viertelbogen			

Anwendung (nach TGL 7444)

Briefbogen und Rechnungen (A 4)	21 × 29,7 cm
Mitteilungen und kleine Rechnungen (A 5)	21 × 14,8 cm
Postkarten und Geschäftskarten (A 6)	14,8 × 10,5 cm
Besuchskarten (A 7)	10,5 × 7,4 cm
Briefumschläge (C 6)	16,2 × 11,4 cm

Buchformate (nach TGL 3282)

Vom 1. 1. 1961 an sind in der Deutschen Demokratischen Republik für die graphische Industrie die folgenden Buchformate verbindlich, bei denen von der Größe des Rohbogens ausgegangen wird.

Format-Kurzzeichen	Buchblock Breite × Höhe in mm	Rohbogen Breite × Höhe in mm
L 4	200 × 300	620 × *860*, *860* × 1240
L 5	187 × 270	560 × *770*, *770* × 1120
L 6	167 × 240	*690* × 1000, 1000 × *1380*
L 6 N	165 × 230	*680* × 900, 900 × *1360*
L 7	147 × 215	*610* × 900, 900 × *1220*
L 7 S	125 × 215	*520* × 900, 900 × *1040*
L 7 N	142 × 200	*600* × 840, 840 × *1200*
L 7 N S	125 × 200	*520* × 840, 840 × *1040*
L 8 S	120 × 190	*500* × 800, 800 × *1000*
L 8 N S	110 × 180	*460* × 760, 760 × *920*
L 9 S	103 × 165	700 × *860*, *860* × 1400
L 9	103 × 145	620 × *860*, *860* × 1240

In der 1. Spalte schräggedruckte Formate sind zu bevorzugen. In der 3. Spalte schräggedruckte Abmessung bedeutet die Querrichtung des Papiers.

Nichtmetrische Flächenmaße

Britisch-amerikanische Flächenmaße

1 square inch (sq. in., Quadratzoll)	6,45159	cm^2
1 square foot (sq. ft., Quadratfuß) = 144 sq. ins.	0,092903	m^2
1 square yard (sq. yd.) = 9 sq. ft. = 1296 sq. ins.	0,836126	m^2
1 square pole (perche) = 30,25 sq. yds.	25,293	m^2
1 square chain = 4356 sq. ft.	404,68	m^2
1 road (fardingdeal)	10,1171	a
1 acre of land = 4 roads	40,4684	a
1 yard of land = 30 acres	1,2141	ha
1 mile of land (square mile)	2,59	km^2
1 township (USA)	93,296	km^2

Russische Flächenmaße (zaristisches Rußland)

1 Quadratsashen	4,5523	m^2
1 Deßjatine = 2400 Quadratsashen (1 ha = 0,9153 Deßjatine)	1,0925	ha
1 Lotstelle = 1 Tschetwert = $^1/_2$ Deßjatine	0,5462	ha

Veraltete nichtmetrische Flächenmaße

Preußische Flächenmaße

1 Quadratlinie	1 □‴	.....	4,7504	mm²
1 Quadratzoll	1 □″	= 144 □‴	6,8406	cm²
1 Quadratfuß	1 □′	= 144 □″	0,0985	m²
1 Quadratrute	1 □°	= 144 □′	14,1843	m²
1 Viertel		= 45 □°	628,2917	m²
1 Morgen		= 180 □°	2553,1668	m²
1 Quadratmeile		.....	56,738255	km²

Ländliche deutsche Flächenmaße

Acker	Sachsen	55,34 a	Morgen	Mecklenburg-Schwerin	65,53 a
	Sa.-Altenburg	64,43 a		Preußen	25,53 a
	Sa.-Weimar	28,50 a		Sachsen	27,67 a
Hufe, sächs.	Sachsen	19,92 a	Tagewerk	Baden	36,00 a
Hufe, fränk.	Sachsen	23,91 a		Bayern	34,07 a
Joch	Oldenburg	43,38 a	Tonne	Mecklenburg	50,03 a
Joch, Kataster	Oldenburg	56,55 a			
	Österreich	57,55 a			
	Tirol	35,97 a			

Antike Flächenmaße

ägyptisch	1 arura = 10000 große Quadratellen	57,56	a
babylonisch	1 sar	35,285	m²
	1 iku = 100 sar	35,285	a
	1 bur = 18 iku	6,351	ha
griechisch	1 plethron = 10000 Quadratfuß	9,5	a
römisch	1 pes quadratus (Quadratfuß)	8,746	dm²
	1 scripulum = 100 Quadratfuß	8,746	m²
	1 actus simplex = 480 Quadratfuß	41,98	m²
	1 actus quadratus = 30 acti simplices	12,59	a
	1 jugerum (Joch) = 2 acti quadrati = 28800 Quadratfuß	25,19	a
	1 centuria = 200 jugera	50,38	ha

RAUMMAßE

Metrische Raummaße

Raummaße

	km^3	m^3	dm^3	cm^3	mm^3
1 km^3	1	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}
1 m^3	10^{-9}	1	10^3	10^6	10^9
1 dm^3	10^{-12}	10^{-3}	1	10^3	10^6
1 cm^3	10^{-15}	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3
1 mm^3	10^{-18}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

Hohlmaße

	hl	*l*	dl	cl	ml
1 hl (Hektoliter)	1	10^2	10^3	10^4	10^5
1 *l* (Liter)	10^{-2}	1	10	10^2	10^3
1 dl (Deziliter)	10^{-3}	10^{-1}	1	10	10^2
1 cl (Zentiliter)	10^{-4}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
1 ml (Milliliter)	10^{-5}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1

Raummaße in der Forst- (Holz-) Wirtschaft

1 Festmeter (fm) = 1 m³ feste Holzmasse (ohne Zwischenraum), z. B. Stammholz, Derbstangen, Grubenholz

1 Raummeter (rm) = 1 m³ geschichtetes Holz (mit unvermeidbaren Zwischenräumen), z. B. Faserholz, Schichtnutzderbholz, Brennderbholz

Umrechnungswerte

1 fm Rohnutzholz mit Rinde	= 0,91 fm ohne Rinde
1 rm Scheitholz	= 0,7 bis 0,8 fm
1 rm Brennderbholz mit Rinde	= 0,7 fm mit Rinde
1 rm Stockholz	= 0.45 rm
1 rm Papierholz (1 und 2 m lang)	= 0,8 fm
1 m³ Sperrholz	= 2,5 fm Rohholz mit Rinde
1 m³ Furnier	= 1,7 fm Rohholz mit Rinde

Nichtmetrische Raummaße

Schiffstonnage

Registertonne:	die als Maßeinheit von der Mehrzahl der Staaten angenommene Schiffstonne = 2,8317 m³
Bruttotonnage:	auch Großtonnage; der Rauminhalt des gesamten Schiffsraumes zwischen Deck und Spanten, ausgedrückt in *Bruttoregistertonnen* (BRT)
Nettotonnage:	der Raum für Ladung und Passagiere (also Bruttotonnage abzüglich aller Räume für Maschinen, Brennstoffe, Mannschaft u. ä.), ausgedrückt in *Nettoregistertonnen* (NRT)
Cargotonnage, auch Ladungstonnage:	das Gewicht der Ladung
Dead-weight-Tonnage:	„Totes-Gewicht"-T.; abgekürzt DWT; das Gewicht, das ein Schiff an Ladung einschließlich Brennstoff überhaupt zu tragen vermag (senkt das Schiff von der oberen Ladelinie bis zur Tiefladelinie)
Deplacement-Tonnage:	das Gewicht des Schiffes einschließlich normaler Ausrüstung.

Britisch-amerikanische Raummaße

Volumenmaße	britisch	amerikanisch
1 cubic inch = 1000 cu. lines	16,3870 cm³	16,3872 cm³
1 cubic foot = 1728 cu. ins.	28316,75 cm³	28317,013 cm³
1 cubic yard = 27 cu. ft.	0,764551 m³	0,764557 m³
1 register ton = 100 cu. ft.	2,83167 m³	2,831702 m³
1 ocean (freight) ton = 40 cu. ft.	1,132668 m³	1,132681 m³
1 keel = 850 cu. ft.	24,0692 m³	

Trockensubstanzen

britisch		amerikanisch	
1 Imperial gallon (Imp. gal.)	4,54596 *l*	1 dry pint	0,5506 *l*
1 peck (pk.) = 2 Imp. gals.	9,09103 *l*	1 dry quart	1,1012 *l*
1 bushel (bu.) = 4 pks.	36,349 *l*	1 dry gallon	4,4048 *l*
1 Winchester bushel	35,238 *l*	1 peck	8,8096 *l*
1 Imp. quarter (Imp. qr.) = 9 bu	290,942 *l*	1 bushel	35,2393 *l*
		1 Indian barrel	1,2113 hl

Flüssigkeiten

britisch		amerikanisch	
1 Imp. gill (gl.) = $^1/_{32}$ Imp. gal.	0,1421 *l*	1 liquid gill	0,1183 *l*
1 Imp. pint (pt.) = 4 gls.	0,5683 *l*	1 liquid pint	0,4732 *l*
1 Imp. quart. (qt.) = $^1/_4$ Imp. gal.	1,1365 *l*	1 liquid quart	0,9464 *l*
1 pottle = $^1/_2$ Imp. gal.	2,273 *l*	1 gallon	3,7853 *l*
1 Imperial gallon (Imp. gal.)	4,546 *l*	1 can (Milch)	37,853 *l*
1 Petrol barrel	1,5876 hl	1 Indian barrel	75,707 *l*

Russische Raummaße (zaristisches Rußland)

Getreide		Flüssigkeiten	
1 garnitz	3,2798 *l*	1 tscharka (Glas)	0,123 *l*
1 tschetwerka	6,5596 *l*	1 kruschka (Krug)	1,2299 *l*
1 tschetwerik	26,239 *l*	1 wedro (Eimer)	12,2994 *l*
1 tschetwert	2,0991 *l*	1 botschka (Faß)	4,9198 *l*

Veraltete nichtmetrische Raummaße

Hohlmaße (preußisch)

Trockenwaren

1 Quart					=	64 Kubikzoll =	1,145 *l*
1 Metze	=	3 Quart			=	192 Kubikzoll =	3,435 *l*
1 Scheffel	=	48 Quart	=	16 Metzen	=	3072 Kubikzoll =	54,962 *l*
1 Tonne	=	192 Quart	=	64 Metzen	=	4 Scheffel =	219,848 *l*

Flüssigkeiten

1 Quart						=	64 Kubikzoll =	1,145 *l*
1 Anker	=	30 Quart				=	1920 Kubikzoll =	34,351 *l*
1 Eimer	=	60 Quart	=	2 Anker			=	68,702 *l*
1 Ahm (Ohm)	=	120 Quart	=	4 Anker	=	2 Eimer	=	137,404 *l*
1 Oxhoft	=	180 Quart	=	6 Anker	=	3 Eimer	=	206,106 *l*

Weinmaße

1 Lägel (Schweiz)	45 *l*	1 Fuder (kurhess.)	952,5 *l*
1 Stückfaß (Nassau)	1200 *l*	1 Fuder (württemberg.)	
1 Fuder (rheinisch)	1000 *l*	helleich	1736,6 *l*
(badisch)	1500 *l*	trübeich	1840,7 *l*

Antike Hohlmaße

ägyptisch	1 dscha	0,38 *l*	griechisch	1 oxybaphon	0,068 *l*
	1 henu (hin)	0,45 *l*		1 kotyle = 4 oxyb. =	0,273 *l*
	1 hehat	4,785 *l*		1 xestes (Maß)	0,547 *l*
babylonisch	1 sila = 10 sa	0,48 *l*		1 chus (Scheffel)	3,28 *l*
	1 pi = 60 sila	28,8 *l*		1 metretes (Malter)	39,39 *l*
	1 gür = 5 pi	144 *l*	römisch	1 sextarius	0,547 *l*
hebräisch	1 cab (Maß)	2 *l*		1 congius	3,283 *l*
	1 sea (Scheffel)	12 *l*		1 modius (Scheffel)	8,754 *l*
	1 epha (Malter)	36 *l*		1 amphora (Krug)	26,26 *l*
	1 homer (Faß)	360 *l*		1 culeus (Schlauch)	525,27 *l*

MASSEMAßE

Metrische Massemaße

	t	dt	kg	dag	g	dg	cg	mg
1 t (Tonne)	1	10	10^3	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9
1 dt (Dezitonne)	10^{-1}	1	10^2	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
1 kg (Kilogramm)	10^{-3}	10^{-2}	1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
1 dag (Dekagramm)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^1	10^2	10^3	10^4
1 g (Gramm)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	1	10^1	10^2	10^3
1 dg (Dezigramm)	10^{-7}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^1	10^2
1 cg (Zentigramm)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^1
1 mg (Milligramm)	10^{-9}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1

Massemaße für Edelsteine

Das Karat ist eine ursprünglich holländische Bezeichnung für die Masse des Kerns von getrocknetem Johannisbrot (Karobe); 1 Karat war 205,1 mg, in Großbritannien 205,3 mg.

1 k (metrisch Karat)	200 mg	$^1/_{10}$ k (metrisch Karat)	20 mg
$^1/_2$ k	100 mg	$^1/_{20}$ k	10 mg
$^1/_4$ k	50 mg	$^1/_{100}$ k	2 mg

Nichtmetrische Massemaße

Britisch-amerikanische Massemaße

Handelsware

1 dram (dr., Drachme)	1,77 g
1 ounce (oz., Unze) = 16 dr.	28,35 g
1 pound (lb., Pfund) = 16 oz.	453,59 g
1 quarter (qr., Viertel) = 28 lbs.	12,70 kg
1 cental (ct., Zentner) = 100 lbs.	45.359 kg
1 hundredweight (cwt., Zentner) = 4 qrs. = 112 lbs.	50.8 kg
1 (short)ton (shtn.) = 20 cts.	907,185 kg
1 (long)ton (ltn.) = 20 cwts.	1016,05 kg

Edelmetalle

1 troy grain (tr. gr., Korn)	0,0648 g
1 pennyweight (dwt., Pfennig) = 24 tr. grs.	1,555 g
1 troy ounze (tr. oz., Münzunze) = 20 dwts.	31,1035 g
1 troy pound (tr. lb., Münzpfund) = 12 tr. oz.	373,242 g

(Medizinalgewicht)
1 oz. = 8 drs. (je 3,8879 g) = 24 scrupules (je 1,29598 g) = 20 grains (je 0,0648 g)

Russische Massemaße (z. T. heute noch gebräuchlich)

1 solotnik	4,26 g
1 lot = 3 solotnik	12,797 g
1 funt (Pfund) = 30 lot = 96 solotnik	409,512 g
1 pud = 40 funt	16,380 kg
1 berkowetz (Schiffspfund) = 10 pud	163,803 kg

Feinheitsmaße in der Spinnerei

Name	Zeichen	Bedeutung
Nummer metrisch (deutsch)	Nm	Länge in km für 1 kg Garn
Nummer französisch	Nf	Länge in km für 500 g Garn
Nummer engl. Baumwolle	N_{eB}	Länge in Strähn (je 840 yds.) für 1 lb.
Nummer engl. Flachs, Jute	N_{eL}	Länge in Gebind (je 300 yds.) für 1 lb.
Nummer engl. Kammgarn	N_{eK}	Länge in Strähn (je 560 yds.) für 1 lb.
Nummer engl. Streichgarn	N_{eW}	Länge in Strähn (je 256 yds.) für 1 lb.
Internationaler Titer (denier)	Td(den)	Masse von 9000 km Garn in kg
Internationaler TEX	Tx	Masse von 10000 km Garn in kg
Schottischer Titer	Ts	Masse von 14400 yds. Garn in lb.

Veraltete nichtmetrische Massemaße

Alte deutsche „Apotheker- (Medizinal-) Gewichte"

Einheit	Österreich	Preußen	Württemberg
1 Gran	0,0729 g	0,060089 g	0,0621 g
1 Skrupel = 20 Gran	1,458 g	1,218 g	1,241 g
1 Drachme = 3 Skrupel	4,375 g	3,654 g	3,725 g
1 Unze = 8 Drachmen	35,009 g	29,232 g	29,805 g
1 Pfund = 12 Unzen	420,009 g	350,783 g	357,664 g

Alte deutsche „Münz- (Gold- und Silber-) Gewichte"

1 Kölnisch Mark = 6 Unzen = 16 Lot = 64 Quentchen = 256 Pfennig = 512 Heller
= 233,8123 g (1524 bis 1837 Grundlage des deutschen Münzwesens)
= 233,8555 g (1837 bis 1857 Münzmark des deutschen Zollvereins)

1 Wiener Mark = 233,890 g

1 Mark Gold = 24 Karat = 288 Gran
1 Mark Silber = 16 Lot = 288 Gran
} = 233,8123 g bzw. 233,8555 g

Verhältnis zwischen Karat und Feingehalt des Goldes
(Karat oder „Karätigkeit", früher auch gleich Feingehalt)

Karat	Feingehalt ‰	Karat	Feingehalt ‰	Karat	Feingehalt ‰
24	1000,00	16	666,67	8	333,33
23	958,33	15	625,00	7	291,67
22	916,67	14	583,33	6	250,00
21	875,00	13	541,67	5	208,33
20	833,33	12	500,00	4	166,67
19	791,67	11	458,33	3	125,00
18	750,00	10	416,67	2	83,33
17	708,33	9	375,00	1	41,67

Es werden gekennzeichnet 22 Karat durch Stempel 916 (Dukatengold), 21,6 Karat durch Stempel 900, 14 Karat durch Stempel 585 und 8 Karat durch Stempel 333.

Verhältnis zwischen Lot und Feingehalt des Silbers
(Lot oder „Lötigkeit", früher auch gleich Feingehalt)

Lot	Feingehalt ‰	Lot	Feingehalt ‰	Lot	Feingehalt ‰	Lot	Feingehalt ‰
16	1000	12	750	8	500	4	250
15	937,5	11	687,5	7	437,5	3	187,5
14	875	10	625	6	375	2	125
13	812,5	9	562,5	5	312,5	1	62,5

Es werden gekennzeichnet 14,4lötiges Silber durch Stempel 900 und 12,8lötiges Silber durch Stempel 800.

Antike Massemaße

ägyptisch	1 kite	9,1	g
	1 neben (Pfund)	91	g
	1 memen (Mine)	603	g
babylonisch	1 Mine	477	g
	1 Mine (schwer)	1004,7 bis 1008,6	g
	1 Mine (leicht)	502	g
hebräisch	1 Schekel (heilig)	16,37	g
	1 Schekel (profan)	14,6 bis 13,54	g
	1 Mine = 60 Schekel (profan)	812,5	g
	1 kikar (Zentner) = 60 Minen	48,75	kg
griechisch (Attika)	1 obolos	0,72	g
	1 drachme = 6 oboli	4,3	g
	1 mine = 100 drachmen (Pfund)	436	g
	1 talent = 60 Minen	26,196	kg
römisch	1 granum (Korn)	0,0568	g
	1 scripulum (Skrupel) = 20 grani	1,136	g
	1 denarium (Pfennig) = 3 scripuli	3,408	g
	1 uncia (Unze) = 8 denarii	27,266	g
	1 as, libra (Pfund) = 12 unciae	327,196	g
arabisch	1 qirath	0,2	g
	1 dirhem	3,25	g
	1 uqiji	39	g
	1 ratl (Pfund)	468	g
	1 oqa	1,254	kg
	1 qantar (Zentner)	44,688	kg

MAßEINHEITEN EINIGER STAATEN DER GEGENWART

Alle hier genannten Staaten haben das metrische System eingeführt,

	Längen- und Flächenmaße						Getreidemaß	
	Wegemaß		Längenmaß		Flächenmaß			
	Einheit	km	Einheit	m	Einheit	m^2, a, ha	Einheit	*l*
Äthiopien	gamad	0,066	kend	0,457	kalad	24 ··· 38 ha	tschaun daula	270 90,9
Afghanistan			arschin	1,03	dscherib	11,50 a	alle Waren werden	
Ägypten	färsakh	2,25	dira mamari	0,75	feddan im allg. Verkehr	42,0 a	ardabb von Kairo	197,75
Argentinien	leguametrica	5	vara	0,87	area	1 a	bushel	36,37
	legua	5,196			hectarea	1 ha	fanega	137,2
Belgien und	Postmeile	7,8	pied	0,29	arpent	32,9 a	rasière	77
Luxemburg	lieue	5,009	aune de Brabant	0,695	pied carré	0,08 m^2	boisseau	63,66
Bolivien	legua	5,2	vara	0,847	vara cuadr.	0,72 m^2		
Brasilien	legua	5,6	vara	1,1	alqueire geom.	4,84 ha	moio	828
Bulgarien			arschin	0,66	denum	7,53 m^2	oka	1,28
Chile	legua	5,57	pie	0,28	vara cuadr.	0,70 m^2	almud	8,08
			vara	0,84			fanega	96,98
China (metr.)	kung li	1	kung ch'ih	1	kung mow	1 a	kung ton	10
					kung ch'eiy	1 ha		
Dänemark	Meile	7,53	fod	0,31	qu.-rode	9,85 m^2	korntonde	139,12
					tunde land	55,16 a		
Ecuador	legua	5,51	vara	0,85	manzana	69,87 a	almud	8,08
							fanega	55
Finnland	mil	10,67	fot	0,35	tunnland	49,36 a	tonne	165
Frankreich	Postmeile	3,9	pied du roi	0,32	perche carré (Wald)	51,07 m^2	boisseau	13,01
	lieue com.	4,45	aune de Paris	1,19	pied carré	0,11 m^2	muid	1873
	lieue marine	5,55	toise	1,95	perche carré	34,19 m^2	setier	156
	mille marine	1,85						
Griechenland	stadion	1	rupy	0,65	stremma	12,7 a	kilo, königl.	100
Guatemala	legua	5,57	pie	0,28				
			vara	0,84	caballeria	44,72 ha		
Indische Union	coss	1,83	hath	0,457	bigha	32,58 a	candy (Reis)	881
Indonesien	paal	1,5	voet	0,31	pantjar	283,8 ha	batotz (Reis)	1,07
Italien	Postmeile	1,82	piede	0,30	quadrato	34,06 a	otmolo	55,54
Iran	farsach	6,72	zar	1,04	dscherub,	11,82 a···	artaba	65,79
			tscherek	0,26	jerib	11,53 a		
Japan	ri (Meile)	3,93	shaku	0,30	tan	9,917 a	koku	180,39
Jugoslawien	agatsch	5	arschin	0,69	lanatz	57,55 a	akow	56,59
Marokko			kama	1,25				
Mexiko	legua	4,19	pie	0,28	fanega	4,6 a	fanega	21,12
			vara	0,84	caballeria	7,75 ha	carga	181,6
Niederlande	mijl	7,4	voet (Amsterdam)	0,28	bunder	1 ha	schepel	27,87
Norwegen	Postmeile	11,3	alen	0,63	quadratroed	9,85 m^2	Tonne	139
Österreich	Postmeile	7,5	Elle in Wien	0,78	Joch	57,55 a	Metze	61,49
Paraguay	legua	4,19	vara	0,84	vara cuadr.	0,7 m^2	cuertera	70
Perú	legua	5,57	pie	0,28	vara cuadr.	0,70 m^2		
			vara	0,84	fanegada	2,79 ha		
Polen	Meile	8,5	stopa	0,29	morg	55,99 a	garniec	4
					wloka	16,80 ha	korzec	128
Portugal	legua	6,197	vara	1,11	jeira	58,96 a	alqueire	13,8
			jarda	2,20			moio	828
Rumänien	mila	7,85	cot	0,66	pogon	50,12 a	chilà	679
Schweden	Meile	10,69	fut	0,30	tunnland	49,36 a	Tonne	164,9
Schweiz	Meile	4,80	Fuß	0,30	juchart	54,04 a	muid	305
Spanien	legua	5,57	vara	0,84	vara cuadr.	0,70 m^2	cuartilla	13,9
			toesa	1,672	fanega de tierra	64,4 a	fanega	55,5
Thailand	yot	16	niuh	0,02	wah, quadr.	4 m^2	ban	1472
			wah	2	rai	16 a		
Türkei	farsang	10	arschin	0,69	dönum	7,52 a	kantar	142,70
	agatsch	5			djerib	1 ha		
Ungarn	Postmeile	7,59	Fuß	0,32	arpa	57,55 a	Eimer	56,58
Uruguay	legua	5,15	cuadra	0,86	cuadra vara	0,74 a	fanega	55,5
Vietnam	coursame	4,16	pied	0,22	carrè	7,98 ha	garce	4486

(ohne UdSSR, USA, Großbritannien)
doch sind die angegebenen Maße zum Teil noch gebräuchlich

Hohlmaße				Masse- (Gewichts-) Maße			
Flüssigkeitsmaß		Raummaß		große		kleine	
Einheit	*l*	Einheit	m^3	Einheit	kg	Einheit	g
gome	60	menelik	0,001	frazula (Kaffee)	16,66	uqiya	25,9 oder 27,7
nach Gewicht gehandelt				man (maund)	4,48	miskal	4,48
ruba	0,52	weba	0,033	ûqqat	1,248	dirhem	3,12
ardabb	198			kantar	44,93	rattl	449,3
galon	3,79			arroba	11,49	onza	28,76
pipa	456			tonelada	918,8	libra	459,4
tonne	160	pied cube	0,02	quintal	47,02	livre (Brüssel)	467,67
foudre	780,13					livre (neu)	500
azumbre	2,02	cántara	0,016	quintal	46,01	onza	28,14
arroba	30,45					libra	460,08
frasco	0,51	alqueirc	0,04 ···	tonelada	793,15	arrâtel	458,98
medida	2,66		0,160				
oka	1,28			oka	1,28	dram	3,20
arroba	35,55			quintal	46,01	onza	28,74
azumbre	2,02			tonelada	1016,05	libra	460,09
kung sheng	1	kung shik	0,1	kung tun	1000	kung dun	1000
				picul	60,45	kung fen	1
tunna	131,39	kubikfod	0,031	skibspund	128	pund	500
azumbre	4,44			arroba	11,49		
arroba menor	12,56			tonelada	1016,05	libra	502,4
orhoved	235			Zentner	42,5	liespfund	425
muid	1800	stère	1	quintal (Paris)	48,95	livre (bis 1799)	489,5
velte, setier	7,45	pied cube	0,03	quintal, metr.	100	livre (bis 1861)	500
tonneau	913,16	toise cube	7,4				
tierçon	89,41	corde	3,84				
barelli	48			kantar	56,32	oka	1280
arroba	16,13	fanega	0,055	quintal	46,01	onza	28,74
				tonelada	920,19	libra	460,09
gallon (Wein)	3,78			murah (Reis)	391,79	ser	933,1
kan	1,49	toembak (Holz)	6,68	pikul	61,52	thal (Silber)	39,77
baril (Palermo)	58	stazello	0,049	cantaro (Sizilien)	73,3	libra	231
						libra Neapel	321
shishä	0,25			charvar	249,4	mithqal	4,5
to	18,04	sai	0,018	kwan	3,76	momme	3,78
oka	1,41			Zentner	33,95	oka	1278
		moud	0,014	kantar	50,8	rattl	449,28
azumbre	2,02	cub. vara	0,59	quintal	46,01	onza	28,75
jarra	8,06	arroba	16,13	tonelada	920,19	libra	459,5
okshoofd	233	stere, vadem	1,00	Zentner	49,41	Pfund	494,1
ohm	149,7			Zentner	49,84	pund	498,4
Eimer, Wien	56,59	Kubikklafter	6,822	Wiener Zentner	56	Pfund	560
pipa	591,6			quintal	46,01	libra	460,08
galón	3,79	Raum-Tonne	1,518	arroba	11,50	onza	28,76
				quintal	46,01	libra	460,09
		stopa scescienna	0.024	tsentar	40,55	lut	12.47
						funt	405.51
almud	16,54			quintal	56,35	onza	28,69
tonel	847,5			tonelada	793,03	libra	344,2
vadrà	15,2	stanjen, vodà cub.	7,60	kantar	257	oka	1281
kanna	2,62	Kubikfuß	0,026	Zentner	42,51	pund	425,07
setier	37,5	pied cube	0,027	Zentner	50		
azumbre	2,02			quintal	46,01	onza	28,76
moyo	258,05			tonelada	920,19		
tanan	0,52 ··· 1,0	kiang	1	pikul	60 auch 60,48	tamlung	60 auch 60,48
schinik	10	kileh	0,009	kantar	56,1	oka	1283
				tscheki	225,81		
Maß	1,41			Zentner	56	Pfund	560
galón	3,81			arroba	11,48	libra	459,4
				tonelada	918,80		
legger	540			sac	74,38	palam	33,99

MAßEINHEITEN EINIGER FRÜHERER DEUTSCHER LÄNDER

	Längen- und Flächenmaße					
	Wegemaß		Längenmaß		Flächenmaß	
	Einheit	km	Einheit	m	Einheit	m², a
Baden	Meile	8,89	Fuß	0,30	Morgen	36 a
Bayern	Meile	7,41	Fuß	0,29	Tagewerk	34,07 a
Braunschweig	Meile	7,42	Rute	4,57	Quadratrute	20,88 m²
Bremen	—	—	Rute	4,63	Morgen	25,72 a
Hamburg	Meile	7,53	Fuß	0,29	Morgen	96,58 a
Hessen	Meile	7,5	Fuß	0,25	Morgen	25 a
Lübeck	—	—	Rute	4,66	Scheffel	12,71 a
Mecklenburg	—	—	Elle	0,57	Quadratrute	21,68 m²
Oldenburg	Meile	8,88	Rute	5,33	Jück, Kataster	56,03 a
Preußen	Meile	7,53	Fuß	0,31	Morgen	25,53 a
Sachsen	Meile	9,06	Fuß	0,28	Acker	55,34 a
Württemberg	Meile	7,45	Fuß	0,29	Morgen	31,52 a

	Hohlmaße				Masse- bzw. Gewichtsmaße			
	Getreidemaß		Flüssigkeitsmaß		große		kleine	
	Einheit	hl	Einheit	l	Einheit	kg	Einheit	g
Baden	Scheffel	1,5	Mäßlein	1,5	Zentner	50	Pfund	500
Bayern	Scheffel	2,22	Maßkanne	1,07	Zentner	56	Pfund	560
Braunschweig	—	—	Quartier	0,94	Zentner	46,77	Pfund	403
Bremen	Scheffel	0,74	Stübchen	3,22	Zentner	57,83	Pfund	598,50
Hamburg	Scheffel	1,099	Quartier	0,91	Zentner	54,28	Pfund	484,6
Hessen	—	—	Maß	2	Zentner	50,0	Pfund	500
Lübeck	Scheffel	0,35	Stübchen	3,64	Zentner	54,29	Pfund	484,71
Mecklenburg	Scheffel	0,39	Kanne	1,85	Zentner	54,29	Pfund	484,71
Oldenburg	Scheffel	0,228	Quartier	0,89	Zentner	46,77	Pfund	467,71
Preußen	Scheffel	0,55	Quart	1,15	Zentner	51,45	Pfund	467,71
Sachsen	Scheffel	1,04	Kanne	0,94	Zentner	51,40	Pfund	467,29
Württemberg	Scheffel	1,77	Maß nach helleich	1,84	Zentner	48,64	Pfund	467,73

Die Vielfalt der Maße auf engem Raum, eine der Folgen dynastischer Zersplitterung, wurde durch die Einheitsbestrebungen des 19. Jahrhunderts, beginnend mit dem Zollverein, beseitigt.

WINKELMAßE

Gradmaß. Im täglichen Leben mißt man Winkel gewöhnlich in Gradmaß. Dabei unterscheidet man zwischen Altgrad und Neugrad.

Altgrad. Ein Altgrad oder Grad, Kurzzeichen 1°, ist in der *Sexagesimalteilung* $^1/_{360}$ des Vollwinkels bzw. $^1/_{90}$ des rechten Winkels; 1° wird geteilt in 60 Minuten (′) zu je 60 Sekunden (″), also 1° = 60′, 1′ = 60″. In zunehmendem Maße findet man jedoch auch die dezimale Unterteilung des Altgradwinkels, bei der der in Altgrad gemessene Winkel als Dezimalbruch mit 2 bis 4 Stellen nach dem Komma angegeben wird; z. B. 26° 30′ 9″ = 26,5025°.

Neugrad. Ein Neugrad oder Gon, Kurzzeichen 1^g, ist in der *Zentesimalteilung* $^1/_{400}$ des Vollwinkels bzw. $^1/_{100}$ des rechten Winkels; 1^g wird geteilt in 100 Neuminuten (^{c}) zu je 100 Neusekunden (^{cc}), also $1^g = 100^c$, $1^c = 100^{cc}$. Meist wird der in Gon gemessene Winkel als Dezimalbruch mit 2 oder 4 Stellen nach dem Komma angegeben, z. B. $15^g\,20^c\,35^{cc} = 15{,}2035^g$. Die Landesvermessung in der DDR verwendet nur Winkelmeßgeräte (Theodolite) mit Neugradteilung.

Winkel in Altgrad und Neugrad

	°	′	″	g	c	cc
1° (Grad)	1	60	3600	1,111	111,11	11111,1
1′ (Minute)	0,01667	1	60	0,0185	1,850	185,0
1″ (Sekunde	0,00278	0,01667	1	0,000308	0,0308	3,08
1^g (Gon)	0,9	54	3240	1	100	10000
1^c (Neuminute)	0,009	0,54	32,4	0,01	1	100
1^{cc} (Neusekunde)	0,000009	0,0054	0,324	0,0001	0,01	1

Für die Umrechnung gelten folgende Regeln: Neugrad wird in Altgrad verwandelt, indem man von dem in Neugrad gegebenen Wert den 10. Teil abzieht und die Dezimalstellen des Restes in Minuten und Sekunden umrechnet.

Beispiel: $41^g = ?° \; 41 - 4{,}1 = 36{,}9$; also $41^g = 36{,}9° = 36° \, 54'$

Altgrad wird in Neugrad verwandelt, indem man Sekunden und Minuten des in Altgrad gegebenen Wertes mit in Grad ausdrückt und diese Zahl um den 9. Teil vermehrt.

Beispiel: $36° \, 54' = ?^g \; 36° \, 54' = 36{,}9°$; $36{,}9 + \frac{36{,}9}{9} = 36{,}9 + 4{,}1 = 41$; also: $36° \, 54' = 41^g$

Bogenmaß. In der theoretischen Physik und in der höheren Mathematik verwendet man gewöhnlich das Bogenmaß. Die Einheit des ebenen Winkels ist hier der Radiant (rad), d. i. der Winkel, für den das Verhältnis des zugehörigen Kreisbogens zu seinem Halbmesser gleich 1 ist.
Aus der Beziehung

$$1^L = 90° = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

folgt

$$1 \text{ rad} = \frac{2 \cdot 90°}{\pi} = \frac{180°}{\pi}$$
$$= 57{,}2958°$$
$$= 57° 17' 45''$$

Ferner entsprechen einander

$$360° \triangleq 2\pi \quad = 6{,}283185 \text{ rad}$$
$$180° \triangleq \pi \quad = 3{,}141593 \text{ rad}$$
$$90° \triangleq \frac{\pi}{2} \quad = 1{,}570796 \text{ rad}$$
$$1° \triangleq \frac{\pi}{180} \quad = 0{,}017453 \text{ rad}$$
$$1' \triangleq \frac{\pi}{10\,800} \quad = 0{,}000291 \text{ rad}$$
$$1'' \triangleq \frac{\pi}{648\,000} = 0{,}000005 \text{ rad}$$

Strichmaß. In Schiffahrt (Navigation) und in Wehrtechnik werden als Winkelmaße *Strichmaße* benutzt, die jedoch unterschiedlich definiert sind.
In der Schiffahrt bedeutet 1 Strich $11^1/_4°$, also 90° = 8 Strich. In der Wehrtechnik bedeutet 1 Strich (1^-) den 1600sten Teil des Rechten, also 90° = 1600^-.
Da ein Kreis mit dem Halbmesser 1000 m einen Umfang von 6283 m oder rund 6400 m besitzt, gilt die Faustregel: Dem Winkel 1^- entspricht auf 1000 m Entfernung eine Strecke von 1 m.
In der Wehrtechnik verwendete optische Instrumente besitzen in einem Okular „Strichplatten" mit 40^- bis 80^- Umfang, je nach der Vergrößerung des Gerätes.

SONSTIGE MAßEINHEITEN

Zeitmaße. Die Sekunde (s) ist eine gesetzliche Grundeinheit im physikalisch-technischen Maßsystem.

1 Jahr (a) = 12 Monate = 365 Tage
1 Monat = 30 (bzw. 28, 29 oder 31) Tage (d)
1 Tag (d) = 24 Stunden (h)
1 Stunde (h) = 60 Minuten (min)
1 Minute (min) = 60 Sekunden (s)

Tageseinteilung im Seewesen. Der Tag wird in „Wachen" und „Glasen" eingeteilt:

1 Wache = 4 Stunden = 8 Glasen

Die Wachen beginnen 8^h. Die Glasen werden durch 1 bis 8 Schläge der Schiffsglocke angezeigt. $8^h\ 30^m$ wird einmal, 9^h zweimal usw. „geglast". 12^h entspricht 8 Glasen.
Der Brauch stammt aus der Zeit, als noch die Sanduhr (Glas) verwendet wurde (Laufzeit $^1/_2$ Stunde).
Die Zeiteinteilung nach Wachen war auch in der Antike bei den Römern gebräuchlich. Sie teilten die Nacht in 4 Vigilien (Nachtwachen) zu je 3 Stunden ein.

Stück- (Zähl-) Maße

1 Ballen Papier = 10 Ries (Neuries) zu je 1000 Bogen (seit 1877)
1 Ballen Tuch = 12 (auch 10) Stück
1 Ballen Baumwolle = 120 bis 330 kg
1 Ballen Leder = 20 Rollen oder 120 Stück
1 Band (auch Bund) = 30 Stück
1 Buch = 24 Bogen Schreib- oder 25 Bogen Druckpapier (bis 1879)
1 Buch (Neubuch) = 100 Bogen
1 Buch = 15 bis 25 Blätter Blattgold oder -silber
1 Decher = 10 Stück
1 Dutzend = 12 Stück
1 Gros = 12 Dutzend = 144 Stück
1 Groshundert = 120 Stück
1 Heft = 10 Bogen
1 (kleine) Mandel = 15 Stück
1 (große) Mandel = 16 Stück
1 Mille = 1000 Stück
1 Paar = 2 Stück (zusammengehörend)
1 Pack = 15 Ballen Papier
1 Ries (Neuries) = 10 Buch = 1000 Bogen
1 Ring = 240 Stück
1 Schock (auch Schober) = 60 Stück
1 Stiege = 20 Stück
1 Wall = 80 Stück
1 Webe = 72 Stück
1 Zimmer = 60 (auch 40) Stück

Maßeinheiten der Temperatur. Grad Kelvin (°K) und Grad Celsius (°C) sind gesetzliche Maßeinheiten der Temperatur und werden in Naturwissenschaft und Technik verwendet, Grad Celsius insbes. im täglichen Leben. Grad Reaumur (°R) ist heute gänzlich veraltet, Grad Fahrenheit (°F) dagegen in einigen Ländern, bes. in den USA, gebräuchlich. Festlegung der Fixpunkte:

Gefrierpunkt Wasser ≙ 273,15 °K = 0 °C = 0 °R = 32 °F
Siedepunkt Wasser ≙ 373,15 °K = 100 °C = 80 °R = 212 °F

Umrechnung

°C	°R	°F	°K	°C	°R	°F	°K	°C	°R	°F	°K
− 30	− 24,0	− 22,0	243,2	0	0,0	32,0	273,2	30	24,0	86,0	303,2
− 29	− 23,2	− 20,2	244,2	1	0,8	33,8	274,2	31	24,8	87,8	304,2
− 28	− 22,4	− 18,4	245,2	2	1,6	35,6	275,2	32	25,6	89,6	305,2
− 27	− 21,6	− 16,6	246,2	3	2,4	37,4	276,2	33	26,4	91,4	306,2
− 26	− 20,8	− 14,8	247,2	4	3,2	39,2	277,2	34	27,2	93,2	307,2
− 25	− 20,0	− 13,0	248,2	5	4,0	41,0	278,2	35	28,0	95,0	308,2
− 24	− 19,2	− 11,2	249,2	6	4,8	42,8	279,2	36	28,8	96,8	309,2
− 23	− 18,4	− 9,4	250,2	7	5,6	44,6	280,2	37	29,6	98,6	310,2
− 22	− 17,6	− 7,6	251,2	8	6,4	46,4	281,2	38	30,4	100,4	311,2
− 21	− 16,8	− 5,8	252,2	9	7,2	48,2	282,2	39	31,2	102,2	312,2
− 20	− 16,0	− 4,0	253,2	10	8,0	50,0	283,2	40	32,0	104,0	313,2
− 19	− 15,2	− 2,2	254,2	11	8,8	51,8	284,2	41	32,8	105,8	314,2
− 18	− 14,4	− 0,4	255,2	12	9,6	53,6	285,2	42	33,6	107,6	315,2
− 17	− 13,6	+ 1,4	256,2	13	10,4	55,4	286,2	43	34,4	109,4	316,2
− 16	− 12,8	3,2	257,2	14	11,2	57,2	287,2	44	35,2	111,2	317,2
− 15	− 12,0	5,0	258,2	15	12,0	59,0	288,2	45	36,0	113,0	318,2
− 14	− 11,2	6,8	259,2	16	12,8	60,8	289,2	46	36,8	114,8	319,2
− 13	− 10,4	8,6	260,2	17	13,6	62,6	290,2	47	37,6	116,6	320,2
− 12	− 9,6	10,4	261,2	18	14,4	64,4	291,2	48	38,4	118,4	321,2
− 11	− 8,8	12,2	262,2	19	15,2	66,2	292,2	49	39,2	120,2	322,2
− 10	− 8,0	14,0	263,2	20	16,0	68,0	293,2	50	40,0	122,0	323,2
− 9	− 7,2	15,8	264,2	21	16,8	69,8	294,2	55	44,0	131,0	328,2
− 8	− 6,4	17,6	265,2	22	17,6	71,6	295,2	60	48,0	140,0	333,2
− 7	− 5,6	19,4	266,2	23	18,4	73,4	296,2	65	52,0	149,0	338,2
− 6	− 4,8	21,2	267,2	24	19,2	75,2	297,2	70	56,0	158,0	343,2
− 5	− 4,0	23,0	268,2	25	20,0	77,0	298,2	75	60,0	167,0	348,2
− 4	− 3,2	24,8	269,2	26	20,8	78,8	299,2	80	64,0	176,0	353,2
− 3	− 2,4	26,6	270,2	27	21,6	80,6	300,2	85	68,0	185,0	358,2
− 2	− 1,6	28,4	271,2	28	22,4	82,4	301,2	90	72,0	194,0	363,2
− 1	− 0,8	30,2	272,2	29	23,2	84,2	302,2	95	76,0	203,0	368,2
0	0,0	32,0	273,2	30	24,0	86,0	303,2	100	80,0	212,0	373,2

Maßeinheiten des Schalles

Schallfrequenz	gemessen in Hz	Schalldruck (p)	gemessen in µbar
Schallgeschwindigkeit	gemessen in m/s	Lautstärke ($LSt.$)	gemessen in phon
Schallenergie	gemessen in erg	Schallpegel	gemessen in db (Dezibel)
Schalleistung	gemessen in erg/s, W	Schalldämmzahl	gemessen in db

Schallstärke, Schallintensität (J) gemessen in erg/cm² s, W/cm²

Die *Lautstärke LSt.* ist dem Logarithmus des physikalischen Reizes proportional;

$$LSt. = 10 \lg \frac{J}{J_0} \text{ phon} = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} \text{ phon} = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 20 \lg \frac{p\,[\text{in } \mu\text{bar}]}{2 \cdot 10^{-4}\,[\mu\text{bar}]} \text{ phon}; \; p_0 = 2 \cdot 10^{-4}\,\mu\text{bar}$$

ist der Schalldruck bei der unteren Hörschwelle des Normaltons von 1 000 Hz.

Laute Radiomusik in geschlossenen Räumen hat einen Schalldruck von 2 µbar, die Lautstärke beträgt also $20 \lg \frac{2\,\mu\text{bar}}{2 \cdot 10^{-4}\,\mu\text{bar}} = 20 \lg 10^4 = 80$ phon. Die untere Hörschwelle beträgt 0 phon, die Schmerzschwelle 130 phon.

Der *Schallpegel L* ist das Verhältnis zweier Lautstärken beim Normalton von 1 000 Hz, gemessen in Dezibel (db). Es ist

$$L = 10 \lg \frac{J_1}{J_2} = 10 \lg \frac{p_1^2}{p_2^2} = 20 \lg \frac{p_1}{p_2} \text{ db}$$

Die Dezibelskala deckt sich nur im Bereich von 600 bis 2000 Hz mit der Phonskala.

Die *Schalldämmzahl* R eines Baustoffes ist $R = \left(L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}\right)$ db, wobei

L_1 den Schallpegel im Senderaum,
L_2 den Schallpegel im Empfangsraum,
S die Fläche des zu prüfenden Bauteils in m²,
A das Schluckvermögen des Empfangsraumes in Prozenten

angibt.

Maßeinheit für Linsen

Brechkraft	Dioptrie	dptr.	Die Brechkraft hat den umgekehrten Wert der Brennweite (f) einer Linse. (Anzahl der) Dioptrien $= \frac{1}{f}$, wobei f in m gemessen wird.

Maßeinheiten der radioaktiven Strahlung

Aktivität strahlender Substanzen	Curie Millicurie Mikrocurie	c mc µc	1 c entspricht der Menge einer strahlenden Substanz, in der $3{,}7000 \cdot 10^{10}$ Zerfallsakte je Sekunde stattfinden.
Aktivität von Quellwässern	Eman	Eman	1 Eman $= 10^{-10}$ c//
Strahlendosis	Röntgen Milliröntgen	r mr	für Röntgen- oder Gammastrahlung; 1 r ist die Dosis, die je cm³ Luft positive oder negative Ionen im Betrag von $3{,}33 \cdot 10^{-10}$ Amperesekunden erzeugt; 1 r entspricht der Absorption von 84 erg je g Luft oder 94 erg je g Wasser oder je g tierisches Gewebe
	roentgen equivalent physical	rep	für Korpuskularstrahlen; 1 rep entspricht der Absorption von 94 erg je g tierisches Gewebe
	roentgen equivalent man	rem	für beliebige Strahlung; Dosis, die die gleiche Wirkung hervorruft wie 1 r harte Röntgenstrahlung
	roentgen absorbed dose	rad	Strahlungsmenge, die in 1 g eines beliebigen Stoffes die Energie 100 erg abgibt
	Dosisleistung Röntgen/Stunde Milliröntgen/Stunde	r/h mr/h	Quotient aus empfangener Dosis und Zeitdauer der Strahleneinwirkung

Höchstzulässige Strahlendosis

	für medizinisch und dosimetrisch überwachte Personen	für nicht überwachte Personen in der näheren Umgebung
an kritischen Organen d. i. bei Gammastrahlung rd. oder	5 rem/Jahr 100 mr/Arbeitswoche 2 mr/Arbeitsstunde	0,5 rem/Jahr 10 mr/Arbeitswoche 0,2 mr/Arbeitsstunde

An Händen und Füßen gilt das 12fache des Wertes.

IV. Maßzahlen aus Natur und Technik

LÄNGEN

Wellenlänge sekundärer Höhenstrahlen	0,03···0,0003	pm
Wellenlänge von Gammastrahlen	300···0,03	pm
Wellenlänge von Röntgenstrahlen	10 nm···1	pm
Wellenlänge von Strahlen des sichtbaren Lichtes	790···390	nm
Wellenlänge der roten Kadmiumlinie bei 15 °C, 760 Torr	643,84696	nm
Wellenlänge der orangefarbigen Krypton-86-Linie im Vakuum	605,78011	nm
Sichtbarkeitsgrenze im Elektronenmikroskop	2	nm
Sichtbarkeitsgrenze im Mikroskop	20	nm
dünnste, künstlich hergestellte Blätter (Blattgold)	1	µm

Strichbreite beim Strichprüfmaßstab (Gerät zum Prüfen der Strichbreite in Längenmeßgeräten)	20··· 40	µm
Strichbreite bei Präzisions-Schraublehre je nach Nonius	40···150	µm
äußerste Grenze für die Sichtbarkeit mit freiem Auge (Spinnfäden)	5	µm
Furnierholz, geringste Dicke	0,2	mm
Elle (Ellenbogen bis Fingerspitze)	etwa 45	cm
Spurweite (Schienenabstand) der Feldbahn	60	cm
Länge des Sekundenpendels in Mitteleuropa	99,4	cm
normale Spurweite der Eisenbahnen in den meisten Staaten (von Stephenson eingeführt)	1,435	m
Spurweite der Eisenbahn in der UdSSR	1,524	m
mittlere Länge eines Eisenbahn-Personenzugwagens	15	m
mittlere Länge eines Eisenbahn-Schnellzugwagens	22	m
längstes Schiff der Welt (Turbinen-Fahrgastschiff „France", Frankreich 1962)	315,5	m
Autobahnbrücke Köln-Rodenkirchen (Hängebrücke), Stützweite	378	m
leistungsfähigste Abraumförderbrücke „XXII. Parteitag" in Klettwitz/NL (1962)	380	m
Brooklynbrücke (USA), älteste noch benutzte Hängebrücke der Welt; Kabeldurchmesser 40 cm, Drahtzahl 5358, Stützweite	486	m
Göltzschtalbrücke (Vogtland), Massiv-Eisenbahnbrücke (78 m hoch)	512	m
größte Überspannung einer Schwebebahn (Weltausstellung in Chikago 1934)	564	m
Länge des Circus Maximus in Rom (größte römische Arena)	640	m
Staudamm des Dneprkraftwerks (62,5 m hoch)	760	m
George-Washington-Brücke, New York (1932), Stützweite	1067	m
Golden-Gate-Brücke von 1937, San Francisco, größte Hängebrücke der Welt, Kabeldurchmesser 93 cm, Drahtzahl 27572, Stützweite	1280	m
Staudamm der Kura im Kaukasus (76 m hoch)	1,5	km
Staudamm des Nils bei Assuan (47 m hoch)	2,0	km
Gatundamm beim Panamakanal (30 m hoch)	2,4	km
Kanal von Korinth (Griechenland)	6,3	km
Panamakanal (Colon–Panamá)	81	km
Drahtseilbahn für den Erztransport Boiden–Kristineberg (Schweden)	96	km
Nordostseekanal	98,7	km
Wolga-Don-Kanal	101	km
Moskwa-Wolga-Kanal	128	km
Sueskanal (Port Said–Sues)	166	km
Wasserleitung Harz–Bremen	200	km
Weißmeer-Ostsee-Kanal	227	km
längster Stausee (Grand-Coulee-Damm, USA)	243	km
Nicaraguakanal	275	km
Ferghanakanal (UdSSR, Usbekistan)	300	km
Limes (Grenzwall des Römischen Reiches gegen Norden)	550	km
Marien- (Kanal-) System (Ostsee–Wolga)	1146	km
Chinesische Mauer (Länge nach der Karte)	etwa 2700	km
Chinesische Mauer (geschätzte Länge unter Berücksichtigung des Geländes)	etwa 4800	km
Länge der „Erdölleitung der Freundschaft" von der UdSSR (Almetjewsk) nach der DDR (Schwedt)	≈ 4500	km
Straßennetz des Römischen Reiches	76000	km
Binnenwasserstraßen der UdSSR	115000	km
Erdgasleitungen in USA	350000	km
Eisenbahnlinien in USA (1939)	375729	km
der Kosmonaut German Stepanowitsch Titow (UdSSR) legt bei seiner Erdumkreisung am 6./7. 8. 1961 in 25 Stunden und 18 Minuten eine als Weltrekord anerkannte Strecke zurück von	703143	km
Gruppenflug der Kosmonauten Andrejan Grigorjewitsch Nikolajew und Paul Popowitsch (UdSSR), ersterer durchflog bei 64maliger Erdumkreisung vom 11. bis 15. 8. 1962 in 95 Stunden	über 2,6 Millionen	km
letzterer bei 48maliger Erdumkreisung vom 12. bis 15. 8. 1962 in 71 Stunden	etwa 2 Millionen	km

HÖHEN

Höhe von Meereswellen bei schwerer See	12	m
mittlere Höhe eines städtischen Wohnhauses	18	m
Obelisk von Heliopolis (aus einem Stück gehauen)	22	m
Sphinx von Gizeh	23	m
Koloß von Rhodos (Messingstatue Apollos über dem Hafeneingang, errichtet 280 v.u.Z., durch ein Erdbeben zerstört)	33	m

Christusstatue bei Rio de Janeiro (größte Plastik aus Eisenbeton)	38	m
Trajanussäule in Rom (2. Jh. u. Z.); 10 m Umfang	40	m
Kraftfahrleiter der Feuerwehr (maximale Steighöhe)	50	m
Tannen von Dürsrüti (höchste Bäume Europas bei Langnau, Schweiz)	58	m
Brückentürme der Autobahn-Rheinbrücke Köln-Rodenkirchen	60	m
Höhe der Golden-Gate-Brücke (San Francisco) über dem Meere	65	m
Freiheitsstatue in New York (größtes Bildwerk der Welt; Eisenguß)	74	m
südliches Minarett der Moschee Gami Sultan Hasan in Kairo	85	m
Völkerschlachtdenkmal in Leipzig	91	m
Campanile am Markusplatz in Venedig	99	m
Redwood (Mammutbaum) in Kalifornien (30 m Umfang)	103	m
Brooklyn-Brückenpfeiler, Pylon von der Bausohle aus	107	m
Staumauer des neuen Werkes am Grimselpaß (Schweiz)	110	m
Peterskirche in Rom	133	m
Cheopspyramide	137	m
Eukalyptus in Australien (höchste Bäume der Erde)	152	m
Kölner Dom	157	m
Ulmer Münster	161	m
Höhe der Brücke über die Trientschlucht (Straße Martigny—Salvan, Schweiz)	180	m
Staumauer am Colorado, USA (höchste Staumauer der Erde)	220	m
Brückentürme der Golden-Gate-Brücke bei San Francisco	227	m
Kulturpalast in Warschau	231	m
Lomonossow-Universität auf den Leninbergen bei Moskau	275	m
Eiffelturm in Paris	300	m
Stahlgittermast des Langwellensenders in Zehlendorf, Kreis Oranienburg	356	m
Empire-State-Building in New York (eröffnet 1931), 102 Stockwerke	381	m
Fernsehsendeturm in Portland (Maine, USA)	494	m
Fernsehmast des Moskauer Fernsehfunks (Stahlbeton)	550	m
erster Ballonaufstieg über 1000 m (Charles, Frankreich, 1783)	3500	m
die französischen Gelehrten Gay-Lussac und Biot erreichen 1804 mit Freiballon	7000	m
bisher erreichte höchste Höhe eines lenkbaren Luftschiffes (1917)	7300	m
der deutsche Flieger Oelerich erreicht mit dem Flugzeug 1914	8050	m
erster Flugzeugaufstieg über 10000 m (Schröder, USA, 1920)	10093	m
der Kalifornier William Ivans erreicht im Segelflug	12800	m
der Schweizer Physiker Auguste Piccard erreicht 1932 mit Stratosphärenballon	16940	m
der sowjetische Stratosphärenballon „UdSSR" erreicht 1933	19000	m
Joseph B. Jordan (USA) erreicht mit Strahlflugzeug am 14. 12. 1959 eine Höhe von	31118,5	m
Jos. Kittinger (USA) erreicht im Ballonflug mit offener Gondel am 16. 8. 1960 eine Höhe von	31330	m
und durchfällt beim Fallschirmsprung im freien Fall bis zur Fallschirmöffnung eine Höhe von	26000	m
der sowjetische Pilot Mossolow stellt mit einem Düsenflugzeug einen Höhenflugweltrekord auf	34200	m
Registrierballone steigen auf bis zu einer Höhe von	etwa 36000	m
Ivan C. Kincheloe (USA) erreicht mit Flugzeug im September 1956 eine Höhe von	37860	m
Robert M. White (USA) erreicht mit raketengetriebenem, vom Trägerflugzeug gestartetem Forschungsflugzeug am 12. 8. 1960 eine Höhe von	41605	m
sowjetische Höhenforschungsraketen mit Lebewesen (1949)	170	km
der erste, in Deutschland konstruierte strahlgetriebene automatisch gesteuerte Flugkörper A4 wird 1942 in den Weltraum abgeschossen und erreicht eine Höhe von	184	km
sowjetische Höhenforschungsraketen mit Lebewesen (1957)	212	km
amerikanische Höhenforschungsraketen mit Lebewesen (1961)	245	km
der Kosmonaut Juri Gagarin (UdSSR) erzielt bei seiner Erdumkreisung am 12. 4. 1961 mit einer Masse von 4725 kg eine als Weltrekord anerkannte Höhe von	327	km
amerikanische Zweistufenrakete erreicht 1949	402,3	km
sowjetische Höhenforschungsraketen mit Lebewesen (1958)	473	km
sowjetische interkontinentale ballistische Rakete 1957	1000	km

TIEFEN

Wassertiefen

mittlere Tiefe des Bodensees	90 m
tiefste Stelle	252 m
mittlere Tiefe der Ostsee	55 m
tiefste Stelle	469 m
mittlere Tiefe der Nordsee	94 m
tiefste Stelle	809 m

mittlere Tiefe des Mittelländischen Meeres	1429 m
tiefste Stelle	4692 m
mittlere Tiefe des Atlantischen Ozeans	3332 m
Challenger[II]-Tiefe südwestlich der Marianen	10899 m
Witjastiefe im Marianengraben	11034 m
von dem Taucher Leutnant Damant 1909 im Tauchanzug mit Schlauch erreichte Tiefe	63 m
von dem Taucher Leutnant Damant 1926 im Tauchanzug mit Sauerstoff-Stickstoff-Apparat erreichte Tiefe	128 m
Tiefe, die William Beebe 1934 mit der Taucherstahlkugel erreichte	923 m
Tiefe, die Auguste Piccard 1953 in der Nähe der italienischen Insel Ponza im Tyrrhenischen Meer mit einer stählernen Tauchkammer (Bathyscaph) erreichte	3150 m
Tiefe, die die Franzosen Houot und Willm vor der Küste von Dakar (Westafrika) mit einer Tauchkugel 1954 erreichten	4050 m
mit Bathyscaph von Jacques Piccard 1960 erreichte Tauchtiefe	10916 m

Tiefen unter dem Erdboden

erste Bohrung nach Öl in Pennsylvanien (1859)	21 m
Tiefe der Fundamente bei Wolkenkratzern	30 m
mittlere Tiefe der Bergwerke im Ruhrgebiet	600 m
tiefstes Erzbergwerk Europas (Pribam, ČSSR)	1311 m
größte Tiefe des Simplontunnels (Schweiz / Italien) unter der Oberfläche	2130 m
tiefstes Bergwerk der Erde (Village-Deap-Mine, Südafrika)	2500 m
tiefste Bohrung in Westdeutschland (Rhodewald/Südhannover)	3850 m
tiefste Bohrung nach Erdöl in Europa (Halbinsel Apscheron, UdSSR)	4812 m
tiefste Bohrung nach Erdöl östlich von Fort Stockton (Texas, USA)	7723 m
Tiefe zum Erdmittelpunkt	6378 km

V. Wissenschaftler, nach denen Maßeinheiten benannt sind

Ampère André Marie, französischer Mathematiker und Physiker, 1775 bis 1836. Das Ampere (Zeichen A) ist die Maßeinheit der elektrischen Stromstärke.

Ångström Anders Jonas, schwedischer Physiker, 1814 bis 1874. Das Ångström (Zeichen Å) ist ein (nicht gesetzliches) Längenmaß für Wellenlängen.

Bell Alexander Graham, amerikanischer Erfinder, 1847 bis 1922. Das Bel (Dezibel, Zeichen db) ist ein Maß für die Dämpfung.

Celsius Anders, schwedischer Naturforscher, 1701 bis 1744. Die Celsiusskale (Zeichen °C) ist eine Temperaturskale.

Coulomb Charles Auguste de, französischer Physiker, 1736 bis 1806. Das Coulomb (Zeichen C) ist die Maßeinheit der Elektrizitätsmenge.

Curie Pierre 1859 bis 1906, Marie 1867 bis 1934, französische Physiker. Das Curie (Zeichen c) ist eine Maßeinheit für die Aktivität radioaktiver Strahler.

Eötvös Roland von, ungarischer Physiker, 1848 bis 1919. Die Eötvös-Einheit ist eine Maßeinheit für die Schwerkraftänderung.

Fahrenheit Gabriel Daniel, Danziger Physiker, 1686 bis 1736. Die Fahrenheitskale (Zeichen °F) ist eine Temperaturskale.

Faraday Michael, englischer Physiker, 1791 bis 1867. Das Farad (Zeichen F) ist die Maßeinheit der elektrischen Kapazität.

Galilei Galileo, italienischer Physiker und Astronom, 1564 bis 1642. Das Gal (Zeichen gal) ist eine Maßeinheit der Beschleunigung (cm/s^2).

Gauß Carl Friedrich, deutscher Mathematiker, Physiker und Astronom, 1777 bis 1855. Das Gauß (Zeichen G) ist eine (nicht gesetzliche) Maßeinheit der magnetischen Induktion im elektromagnetischen CGS-System.

Hefner-Alteneck Friedrich von, deutscher Ingenieur, 1845 bis 1904. Die Hefnerkerze (Zeichen HK) war die Einheit der Lichtstärke.

Henry Joseph, amerikanischer Physiker, 1797 bis 1878. Das Henry (Zeichen H) ist die Maßeinheit der Induktivität.

Hertz Heinrich, deutscher Physiker, 1857 bis 1894. Das Hertz (Zeichen Hz) ist die Einheit der Frequenz eines periodischen Vorgangs von der Periodendauer 1 s.

Joule James Frescott, französisch-englischer Physiker, 1818 bis 1889. Das Joule (Zeichen J) ist eine Maßeinheit für Arbeit bzw. Energie, Wärmemenge.

Kelvin Lord, bis 1892 *Thomson*, William, englischer Physiker, 1824 bis 1907. Die Kelvin skale (Zeichen °K) ist die gesetzliche Temperaturskale.

Mach Ernst, österreichischer Physiker, 1838 bis 1916. Das Mach ist ein Geschwindigkeitsmaß; 1 Mach ist gleich der Schallgeschwindigkeit.

Mache Heinrich, österreichischer Physiker, geb. 1876. Die Mache-Einheit gibt die Konzentration der Radiumemanation an.

Maxwell James Clark, englischer Physiker, 1831 bis 1879. Das Maxwell (Zeichen M) ist eine (nicht gesetzliche) Maßeinheit des magnetischen Flusses.

Napier John, latinisiert *Neper*, schottischer Mathematiker, 1550 bis 1617. Das Neper ist ein Dämpfungsmaß in der Elektrotechnik.

Newton Sir Isaac, englischer Mathematiker und Physiker, 1643 bis 1727. Das Newton (Zeichen N) ist eine Maßeinheit der Kraft.

Ohm Georg Simon, deutscher Physiker, 1787 bis 1845. Das Ohm (Zeichen Ω) ist die Maßeinheit des elektrischen Widerstands.

Oerstedt Hans Christian, dänischer Physiker, 1777 bis 1851. Das Oerstedt (Zeichen Oe) war die Einheit der magnetischen Feldstärke.

Réaumur René Antoine Ferchault, französischer Physiker, 1683 bis 1757. Die Reaumurskale (Zeichen °R) ist eine veraltete Temperaturskale.

Röntgen Wilhelm Conrad, deutscher Physiker, 1845 bis 1923. Das Röntgen (Zeichen r) ist die Dosiseinheit der Röntgen- und der Gammastrahlen.

Siemens Werner von, deutscher Ingenieur, 1816 bis 1892. Das Siemens (Zeichen S) ist die Maßeinheit des elektrischen Leitwertes.

Torricelli Evangeliste, italienischer Physiker, 1608 bis 1647. Das Torr (Zeichen Torr) ist eine Maßeinheit des Druckes.

Volta Alessandro Graf, italienischer Physiker, 1745 bis 1827. Das Volt (Zeichen V) ist die Maßeinheit der elektrischen Spannung.

Watt James, englischer Ingenieur, 1736 bis 1819. Das Watt (Zeichen W) ist eine Maßeinheit der Leistung.

Weber Wilhelm, deutscher Physiker, 1804 bis 1891. Das Weber (Zeichen Wb) ist die Maßeinheit für den magnetischen Fluß.

VI. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.

um 3000 Die hochentwickelte Baukunst der *Sumerer* im Kulturzentrum *Babylon* in Mesopotamien setzt ein ausgebildetes Maß- und Gewichtssystem voraus. Maße und Gewichte der Babylonier aus der Zeit um 2500 sind von Nachfolgern der Sumerer überliefert worden. Die *Chaldäer*, die zu Beginn des ersten Jahrtausends v. u. Z. gegen Babylon vordrängen, verbinden Zeit-, Längen-, Raum- sowie Gewichtseinheit, die wiederum die Einheit des Geldes abgibt. Ihr Urmaß ist ein Hohlmaß, ein Würfel, der mit Wasser gefüllt als Wasseruhr dient. Seine Kante, ein Fuß, dient als Längenmaß, die Masse des Wassers als Gewichtseinheit. Es ist das älteste bekannte Gewicht, das Talent; 60,6 kg das große, 30,3 kg das kleine Talent.
Zwischen *Ägypten*, Vorderasien und im besonderen Babylon bestehen Beziehungen, die in vorgeschichtliche Zeiten zurückreichen und deren Abhängigkeitsverhältnisse auf den einzelnen Kulturgebieten noch ungeklärt sind. Das System der *ägyptischen* Längenmaße baut sich auf dem Maße des Fußes auf. 1 Fuß = 16 Zoll (Fingerbreiten) = 307,86 mm; $1^1/_2$ Fuß = 1 Elle; 4 Ellen = 1 orgyia = 4 Schritt; 1 Stadium = 600 Fuß; $7^1/_2$ Stadien = 1 Meile; 4 Meilen = 1 Parasange (pers. Maß); 2 Parasangen = 1 großer Schoinos = 11,183 km.

2350 Mine des Fürsten Urukajina von Lagasch, das älteste erhaltene Wägestück, hat eine Masse von 477 g.

2050 Fuß der Statue des Fürsten Gudea von Lagasch (Paris, Louvre) ist in 16 Teile (Zoll) geteilt und mißt 26,45 cm, das älteste erhaltene Längenmaß.
Etwa gleich alt, vielleicht auch 100 Jahre jünger, ist die Nippur-Elle, ein Kupferstab mit der Masse von 41,5 kg, der eine Länge von 110,35 m besitzt und in 4 Fuß zu je 16 Zoll eingeteilt ist.

um 2000 Die *Griechen* übernehmen von den Ägyptern den großen Schoinos und teilen ihn in 60 stadia zu je 6 plethra.

1950 Talent des Fürsten Urumgirsu von Lagasch mit 60,54 kg ist das schwerste aller bekannten Normstücke.

1350 Talent in der Amurna-Zeit hat eine Masse von rund 30 kg. Eine Silbervase des Fürsten Eutemena von Lagasch ist das älteste bekannte Hohlmaß. Sie umfaßt nach der Aufschrift 10 sila = 4,8 Liter.

um 1200 Die *Juden* haben zweierlei Maß, ein „heiliges" und ein „gewöhnliches" Maß. Zugrunde liegt die Fingerbreite (21,87 mm heiliges Maß, 18,75 mm gewöhnliches Maß). 1 tephach (Handbreite) = 4 Fingerbreiten; 1 sereth (Spanne) = 3 Handbreiten; 1 ammah (Elle) = 2 Spannen.

um 800 Auch die *Römer* fußen mit ihrem Maß- und Gewichtssystem auf Überlieferungen, die ihnen insbesondere durch die Griechen überkommen sind. Die Normmaße wurden auf dem Kapitol aufbewahrt. Kopien von Längenmaßen sind vielfach in Bauwerke eingehauen.

u. Z.

um 650 Die *Araber* teilen die Parasange in 3 arabische Meilen. Ihre schwarze Elle ist gleich 37mal der Breite von 6 Gerstenkörnern und betrug 51,96 cm. Berühmt ist ihr kleinstes Maß, die Dicke des Kamelhaars = 0,652 mm.

789 *Karl der Große* führt den „königlichen Fuß" als Längenmaß und das „Karlspfund" ein, das eine Masse von etwa 360 bis 370 g hat.

1101 *Heinrich I.* schafft die sächsische Elle nach der Länge seines Armes. Auf sie geht das englische yard zurück.

1215 Die *Magna Charta* setzt in England ein einheitliches Maß- und Gewichtswesen fest.

1627 *Joh. Kepler* untersucht das Ulmer Maßsystem und schlägt eine Regelung von Längen-, Masse- und Raummaß auf Grund eines in seinem Auftrag hergestellten Kessels vor.

1664 *Chr. Huygens* schlägt vor, die Länge des Sekundenpendels als Grundeinheit der Längenmaße zu wählen. 1673 erweitert er diesen Vorschlag dahin, $^1/_3$ der Länge des einfachen Sekundenpendels eines mittleren Sonnentages als „Zeitfuß" einem natürlichen Maßsystem zugrunde zu legen. Einige Jahre später berücksichtigt er in seiner Definition die Abhängigkeit des Sekundenpendels von der geographischen Breite.

1670 Der Astronom *G. Mouton* schlägt den 60. Teil eines Erdmeridiangrades, also eine Gradminute, als Einheit für die Länge eines Dezimalsystems vor und nennt sie „Milliare". Sein Vorschlag ist Ausgangspunkt des späteren metrischen Systems. *Gille Personne de Roberval* erfand in Paris die Brückenwaage.

1672/73 Während der französischen Expedition zur Berechnung der Marsparallaxe stellt *Richter* fest, daß in Cayenne die Länge des Sekundenpendels um $1^1/_4$ Linien kürzer ist als in Paris, daß diese Länge also keine unveränderliche Größe ist.

1690–1725 *F. A. Zürner* mißt als Hofgeograph im Auftrag von August dem Starken die Entfernungen zahlreicher Orte auf den Landstraßen Sachsens mit einem von ihm konstruierten Meßwagen und errichtet aller Viertelmeilen steinerne Meilensäulen, von denen einige noch erhalten sind, z. B. in Bad Elster.

1735 *Langlois* fertigt die beiden Normallängenmaße an: die „Toise du Pérou" und die „Toise du nord", mit denen die beiden Expeditionen der französischen Akademie der Wissenschaften zur Messung des Erdmeridians in Peru bzw. Lappland (1736 bis 1744) ausgerüstet werden. Dabei ergaben sich erhebliche Differenzen in den Maßzahlen, die zu dem Schluß führten, daß die Erde ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid sei.

1737 Der Pariser Schriftgießer *P. S. Fournier* legt das typographische Maßsystem in den Grundzügen fest.

1747 Der *Petersburger Münzhof* stellt das Original der Einheit des Gewichts her, das goldene Pfund (409,516 g).

1758 In *England* prüft eine Kommission die Normale für die verschiedenen Maße und erklärt sie zu „Imperial-Standards".

1785 Der französische Schriftgießer *Ambroise Didot* bestimmt für das typographische Maßsystem 1 franz. Zoll ($2^2/_3$ cm) = 72 Punkte.

1790 Auf Anregung *französischer* Städte beschließt die französische konstituierende Versammlung, eine Kommission einzusetzen, die sich um eine natürliche Maß- und Gewichtseinheit bemühen soll, und bestimmt

1791 den 10^7ten Teil eines Erdquadranten als maßgebend für die Längeneinheit. *J. B. Delambre* und *Méchain* erhalten den Auftrag, den Meridianbogen zwischen Dünkirchen und Barcelona trigonometrisch zu vermessen.

1795 Der Nationalkonvent in *Paris* führt das neue Maß „Mètre provisoire et légal" ein, das sich auf frühere Gradmessungen stützt. Es wird auf 443,443 Pariser Linien festgesetzt und

1799 endgültig als „Mètre vrai et définitiv" zu 443,295938 Linien der Toise du Pérou bei 13 °R angenommen.

1812 Durch Dekret werden in *Frankreich* Vielfache und Bruchteile der verschiedenen Einheiten hergestellt, die, den Bedürfnissen des Volkes entsprechend, den alten Benennungen angepaßt sind.

1820 Der Elsässer *Quintenz* erfindet die Dezimalwaage.

1824 Durch Parlamentsakte wird die *englische* Einheit des Längenmaßes, das Yard, bestimmt. Es soll sich zur Länge des Sekundenpendels der Breite von London bei 62 °Fahrenheit, reduziert auf Meereshöhe und luftleeren Raum, verhalten wie 36 : 39,1329; 1 yard = 0,914 m = 3 feet (Fuß) = 12 inches (Zoll). Die Gewichtseinheit soll bestimmt sein durch das Gewicht eines Kubikzolls destillierten Wassers bei 62 °F und 30 Zoll Barometer. Es zerfällt in 252,458 grains. 5760 grains ergeben 1 Imperial troy pound.

1827 *J. Babinet* schlägt vor, die Wellenlänge eines bestimmten Lichtstrahls als Grundlage für eine natürliche Längeneinheit zu wählen.

1831 *C. F. Gauß* begründet in Göttingen das absolute Einheitssystem ursprünglich mit den Grundeinheiten Millimeter, Milligramm und Sekunde.

1835 *W. Weber* begründet die Messung des elektrischen Stromes in absoluten Einheiten.

1835 Durch Ukas wird in *Rußland* 1 sashen (Faden) 3 englischen Fuß gleichgesetzt und als Längeneinheit erklärt. 1 sashen = 3 arschin; 1 arschin (Elle) = 28 Zoll = 16 werschok. Als Einheit des Gewichts wird das Pfund zu 9216 doli = 409,512 g festgesetzt. Ein Kubikzoll Wasser von $13^1/_3$ °R soll im luftleeren Raum 368,361 doli wiegen.

1836 *C. F. Gauß* bezieht die erdmagnetische Feldstärke auf die Grundeinheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde.

1840 In *Frankreich* wird der obligatorische und einheitliche Gebrauch des metrischen Systems angeordnet.

1856 Der *Deutsche Zollverein* führt das „Zollpfund" zu 500 g ein und gewinnt damit den ersten Anschluß an das metrische System.

1867 Die internationale wissenschaftliche Vereinigung der mitteleuropäischen Gradmessung schlägt die Gründung eines europäischen internationalen Büros für Maß und Gewicht und die Herstellung eines neuen Normalmeters vor.

1869 Eine *französische* Kommission beschließt, die Definition des Meters als des 10^7ten Teils eines Meridianquadranten fallenzulassen und das Archiometer (Urmeter) als Grundlage anzunehmen.

1870 Erster Zusammentritt der *Internationalen Meterkommission*. Ihre Arbeit wird durch den Krieg unterbrochen.

1872 An der 2. Zusammenkunft der Internationalen Meterkommission nehmen 18 europäische und 9 amerikanische Staaten teil. Ein ständiges *Internationales Komitee für Maße und Gewichte* wird eingesetzt.
Im gesamten *deutschen* Reichsgebiet wird das metrische System eingeführt.

1874 Gründung der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* durch die Initiative von *W. v. Siemens*.

1875 Auf der 3. Konferenz der Internationalen Meterkommission wird das *Internationale Büro für Maß und Gewicht* gegründet. Es erhält vom französischen Staat ein Gelände mit dem Pavillon de Breteuil im Südwesten des Parks von St. Cloud bei Sèvres zur Errichtung eines technisch vollendeten Gebäudes.
Der *Meterkonvention* haben sich 18 Staaten angeschlossen.

1878 Der Berliner Schriftgießer *H. Berthold* paßt das typographische Maßsystem dem metrischen Maßsystem an. 1 Meter entspricht 2660 typographischen Punkten; 1 Punkt = 0,3759 mm, 1 Cicero = 12 Punkte = 4,511 mm.

1881 Der 1. Internationale Elektrizitätskongreß nimmt das CGS-System für den Bereich der Elektrizität und des Magnetismus an.

1881 *F. Kohlrausch* ermittelt den heute noch gültigen Wert der Silberabscheidung, um die absolute Stromeinheit praktisch festzulegen.

1884 *v. Hefner-Alteneck* führt die Hefnerkerze als Einheit der Lichtstärke ein.

1889 Das Internationale Büro für Maß und Gewicht verteilt die Normalen aus Platin-Iridium an die beteiligten Staaten. *Deutschland* erhält das Meter Nr. 18 und das Kilogramm Nr. 22.

1892/93 *A. A. Michelson* und *Benoit* am Internationalen Büro messen das Meter in Wellenlängen der roten, grünen und blauen Kadmiumlinie.

1895 Das *Internationale Büro für Maß und Gewicht* vergleicht zur Sicherung des englischen Maßsystems das Imperial Standard Yard mit dem Meter.

1908 Die Internationale *Londoner Konferenz* vereinbart die elektrischen Grundmaße.

1909 Amerika, England und Frankreich beschließen, die *Internationale Kerze* als Einheit der Lichtstärke anzunehmen.

1910 Das *Internationale Büro* setzt fest: 1 *l* Wasser von + 4 °C = 1000,028 $cm^3 \triangleq$ 1 kg reines luftfreies Wasser bei 4 °C.

um 1910 Die Neigungswaage, die in den USA erfunden wurde, wird in Europa eingeführt.

1911 Die *Internationale Lichtmeßkommission* in Zürich setzt 1 Hefnerkerze = 0,9009 Pentankerze (England) = 0,093 Cärcellampe (Frankreich).

1918 Auf die Initiative von *W. I. Lenin* wird in der RSFSR das metrische Maßsystem eingeführt, nachdem das zaristische Rußland 1875 der Internationalen Meterkonvention beigetreten war.

1941 Deutschland führt die „Neue Kerze" oder „Internationale Kerze" als Einheit der Lichtstärke ein.

1942 Schaltgewichtswaage in Deutschland erfunden.

1946 *Deutsches Amt für Maß und Gewicht* (*DAMG*) in Berlin zur Überwachung der Maße in dem Gebiet der heutigen DDR gegründet.

1948 Das physikalische Maß für die Lichtstärke, bis dahin „Neue Kerze" genannt, wird mit *Candela* (cd) bezeichnet. Die Leuchtdichte des „schwarzen Körpers" bei 1769 °C (Platinerstarrungspunkt) beträgt 60 cd/cm^2.

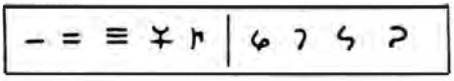
1954 Die *10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht* in Paris nimmt eine Resolution über die physikalisch-technischen Einheiten an und empfiehlt den angeschlossenen 35 Mitgliederstaaten, für ihren Bereich die Grundeinheiten gesetzlich festzulegen.

1958 Einführung der „Gesetzlichen Einheiten" mit zahlreichen neuen Definitionen in der DDR.

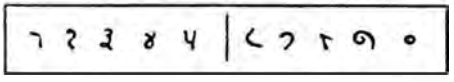
1960 Die *11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht* in Paris empfiehlt als Definition des Meters:
„1 Meter ist gleich der 1650763,73fachen Wellenlänge der Orangelinie von Krypton-86 im Vakuum"
und regt an, nach weiteren Strahlungen zu suchen, die sich leichter reproduzieren lassen. Die Definition auf Grund des Meterprototyps gilt weiterhin.

1961 Umbenennung des Deutschen Amtes für Maß und Gewicht in „Deutsches Amt für Meßwesen der DDR".

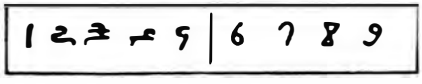
Zur Abstammung unserer heutigen Zahlzeichen



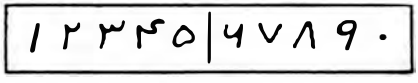
Die Ziffern der Zahlen 1 bis 9 aus der indischen Brahmi-Zahlschrift (seit 150 v. u. Z.): auch die Zehner, Hunderter und Tausender besaßen eigene Zeichen



Ziffern auf der Inschrift von Gwalior (Mittelindien): erstes Auftreten des Kreises als Symbol der Null (870 u. Z.): damit reines Positionssystem



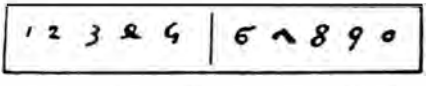
Westarabische Ziffern (Gobar-, d. i. Staubziffern), erste Form seit dem Anfang des 9. Jahrhunderts: noch heute z. B. in Marokko in Gebrauch



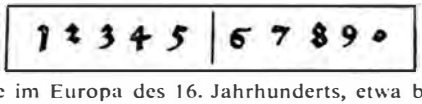
Ostarabische Ziffern: seit dem Anfang des 9. Jahrhunderts in Gebrauch, noch heute z. B. in der Türkei verwendet



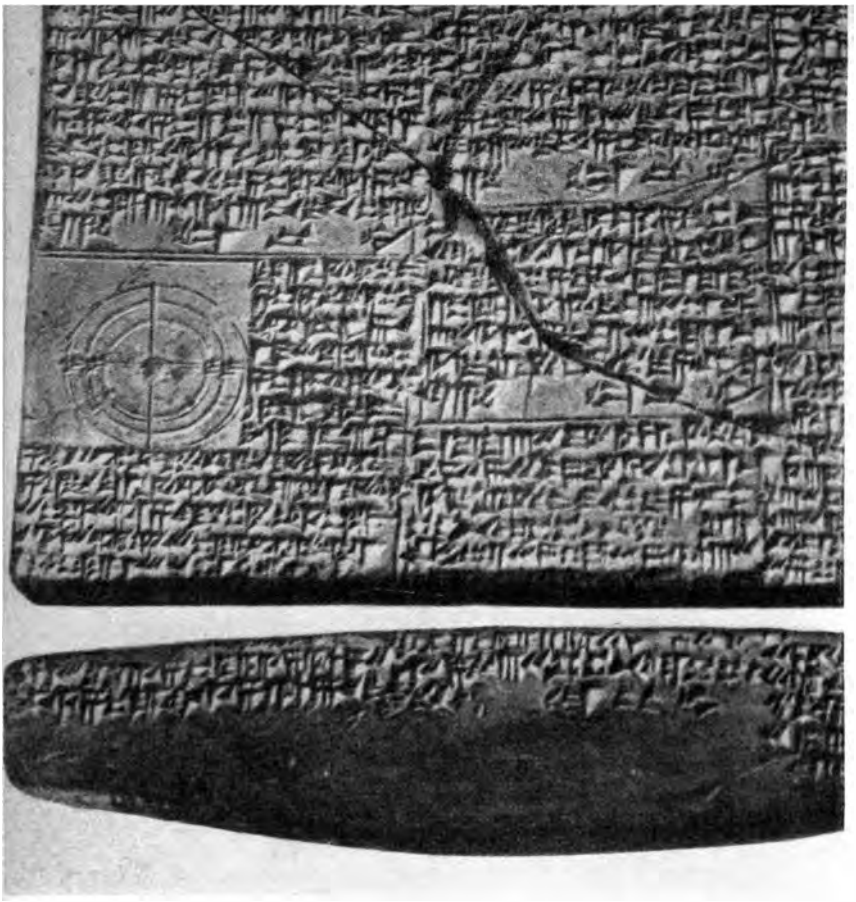
Erstes Auftreten in Europa am Beginn des 11. Jahrhunderts als Beschriftung von Rechensteinen



Ziffernschreibweise im Europa des 15. Jahrhunderts

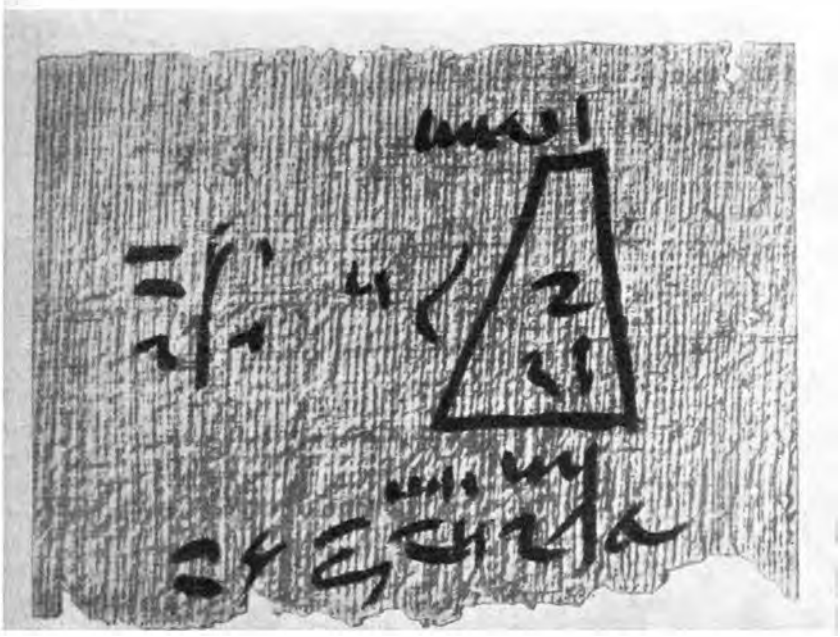


Ziffernschreibweise im Europa des 16. Jahrhunderts, etwa bei Albrecht Dürer

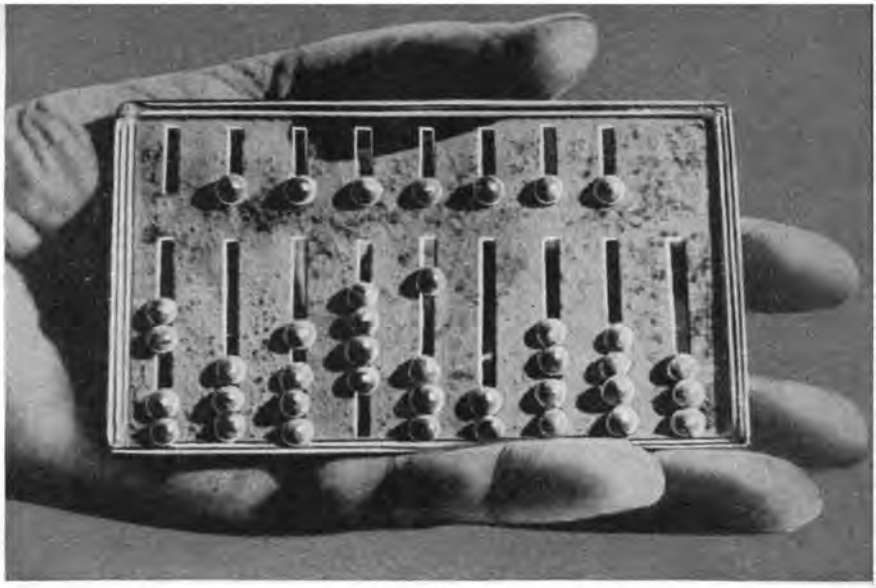


Flächenberechnungen auf altbabylonischer Keilschrifttafel

Flächenberechnungen in der Antike



Berechnung eines Pyramidenstumpfes auf ägyptischem Papyrus (18. Jh. v. u. Z.)

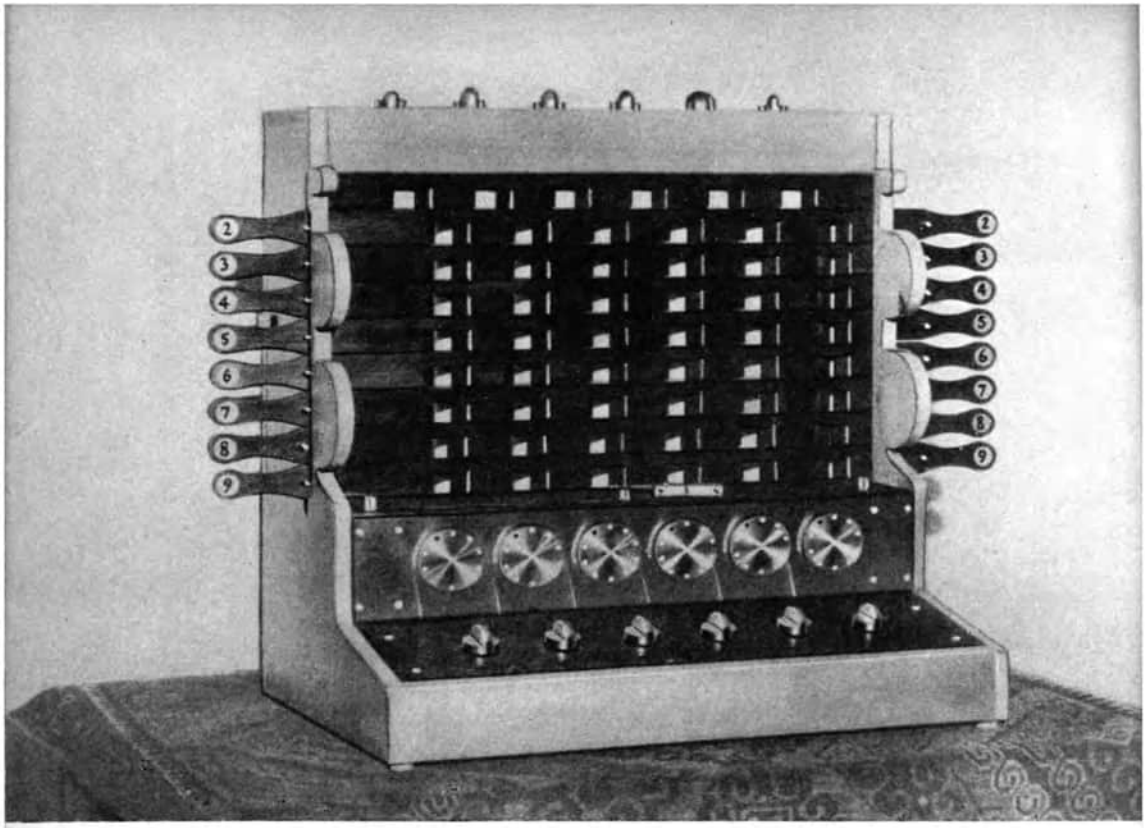


Römischer Handabakus

Abakusrechnen



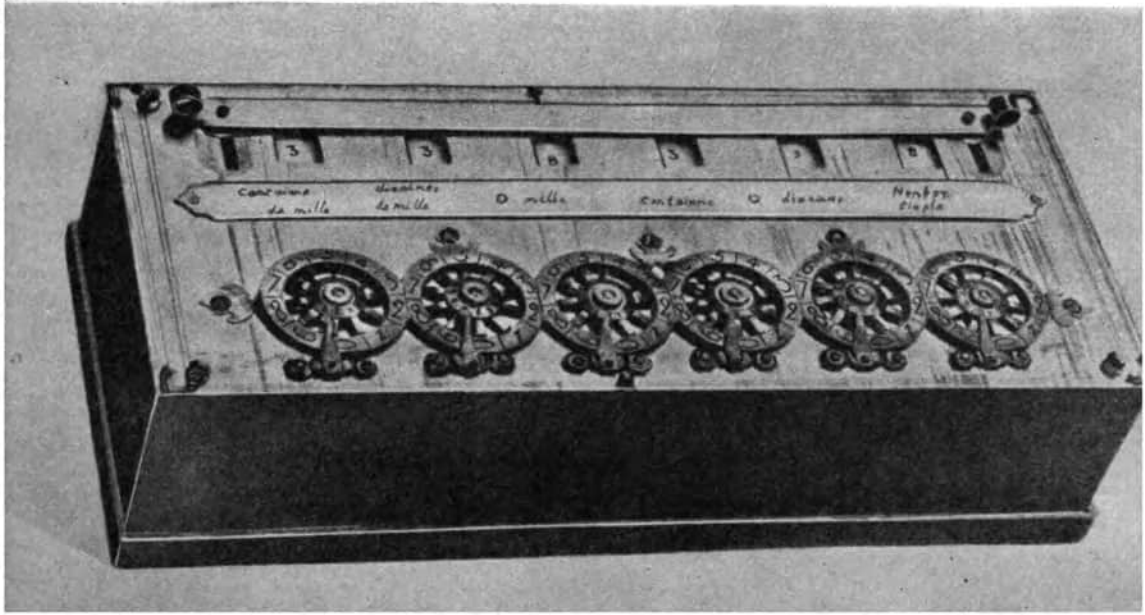
Sieg des Ziffernrechnens über das Abakusrechnen in Europa (zeitgenössische Illustration 1503)

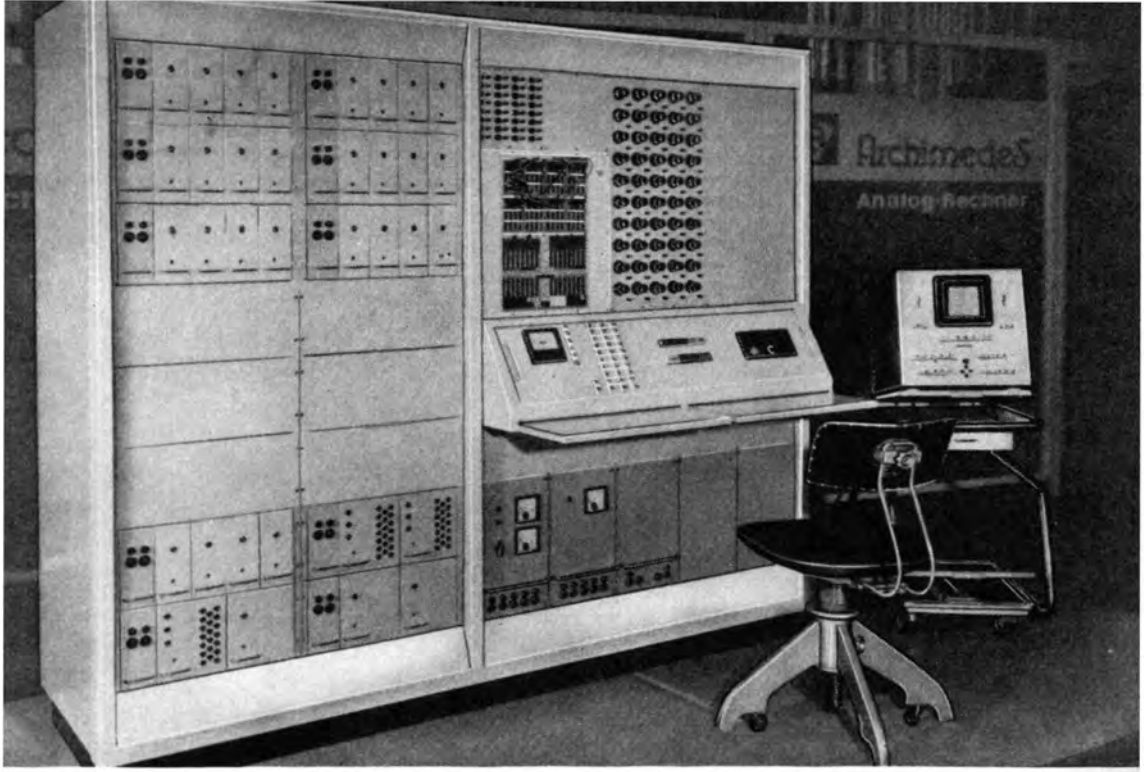


Die Rekonstruktion der 1623 von Wilhelm Schickard in Tübingen erfundenen ersten bekannten Rechenmaschine; sie addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert

Die ersten Rechenmaschinen

Die von dem 19jährigen Blaise Pascal 1642 in Paris gebaute Rechenmaschine; sie wurde lange Zeit als die erste Rechenmaschine angesehen

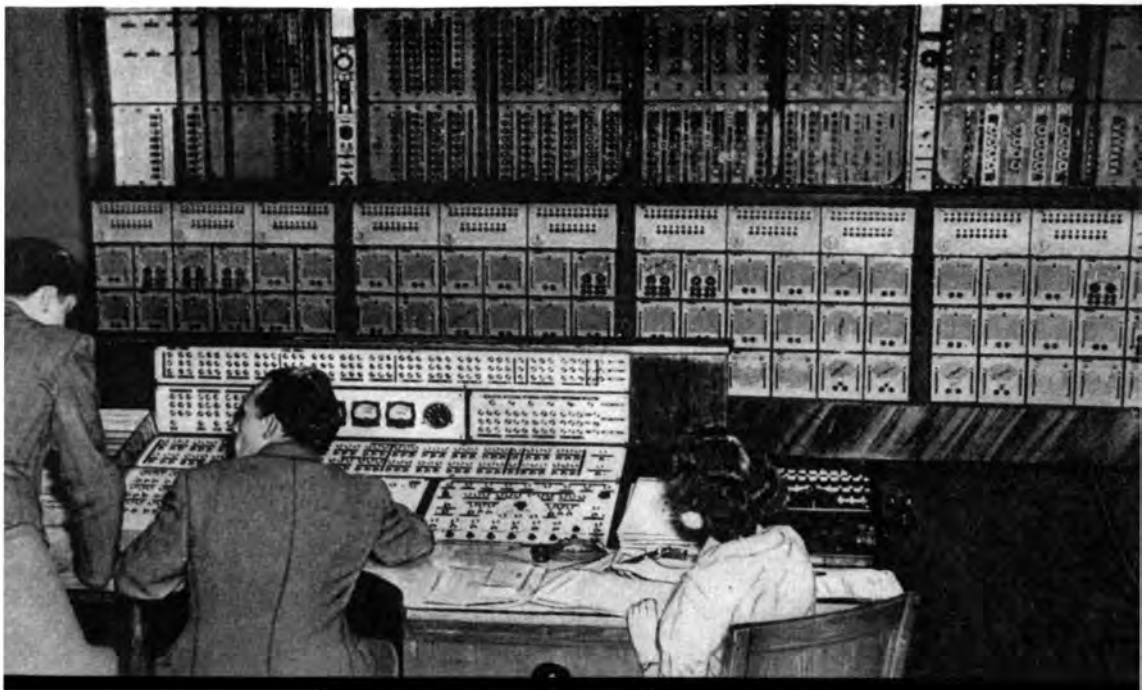


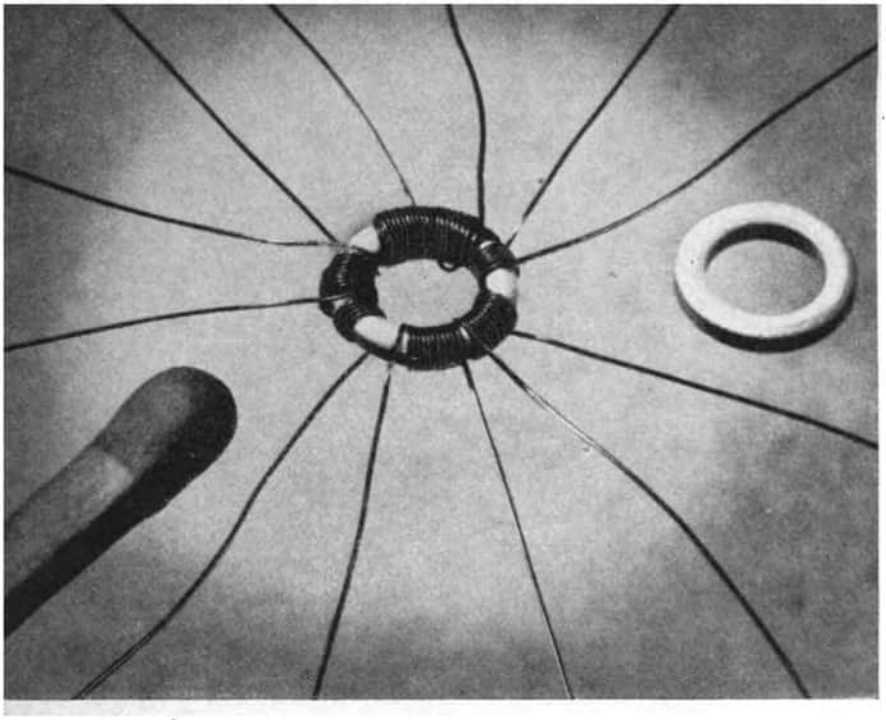


Elektrischer Analogrechner EAR des VEB Archimedes Rechenmaschinenfabrik, Glashütte

Rechenautomaten

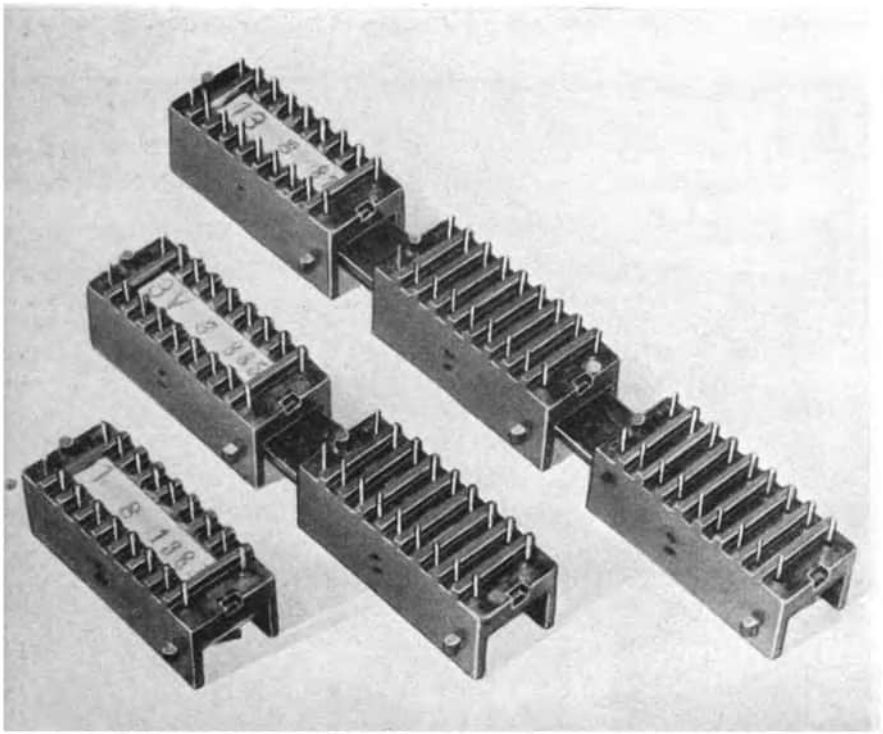
Sowjetischer Ziffernrechenautomat Strela; *vorn* das Steuerpult, *im Hintergrund* Teil der Rechenanlage



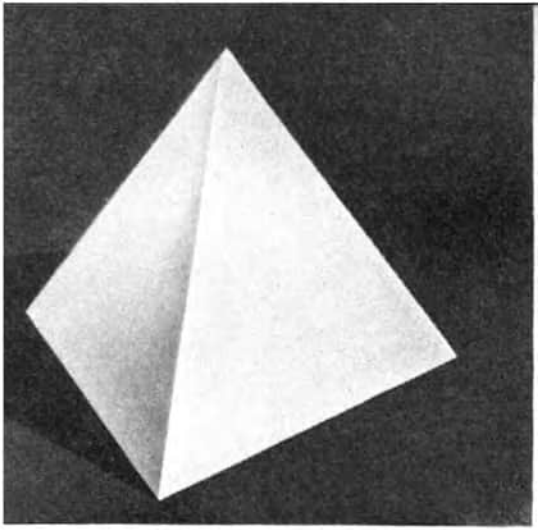


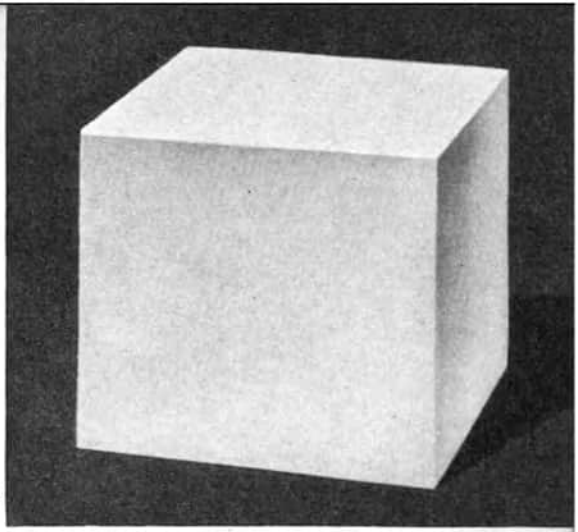
Ferritkern roh (*rechts*) und mit Schaltwicklungen (*Mitte*) im Größenverhältnis zu einem Streichholz

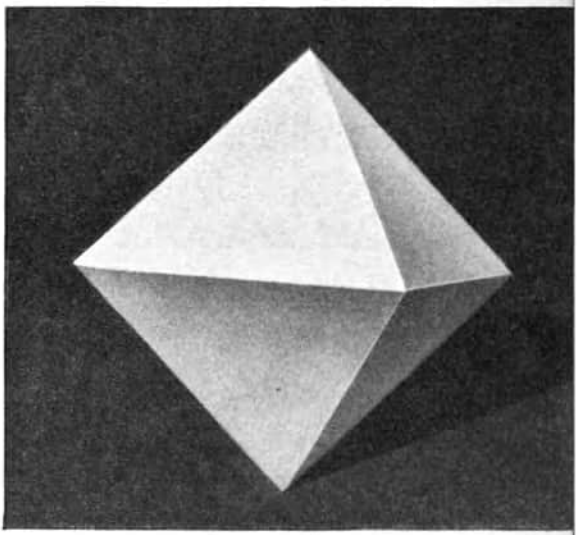
Bauelemente des Rechenautomaten ZRA 1



Elemente für die Realisierung einiger logischer Funktionen

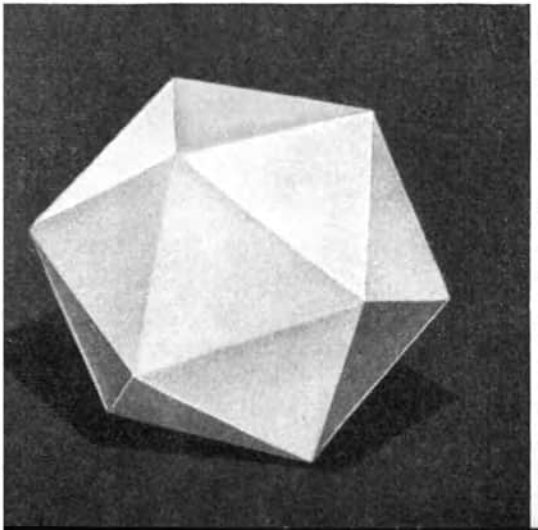


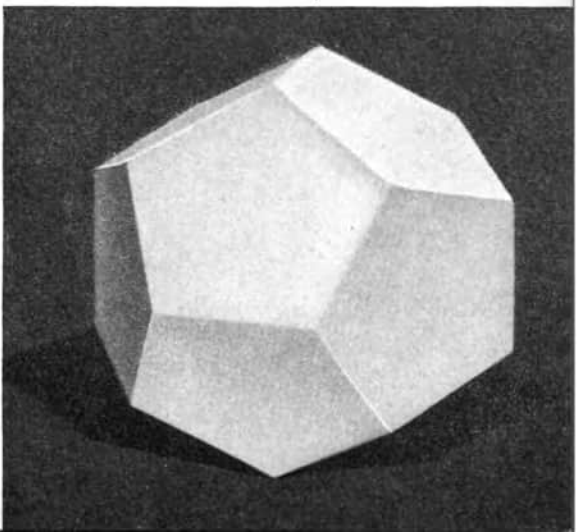


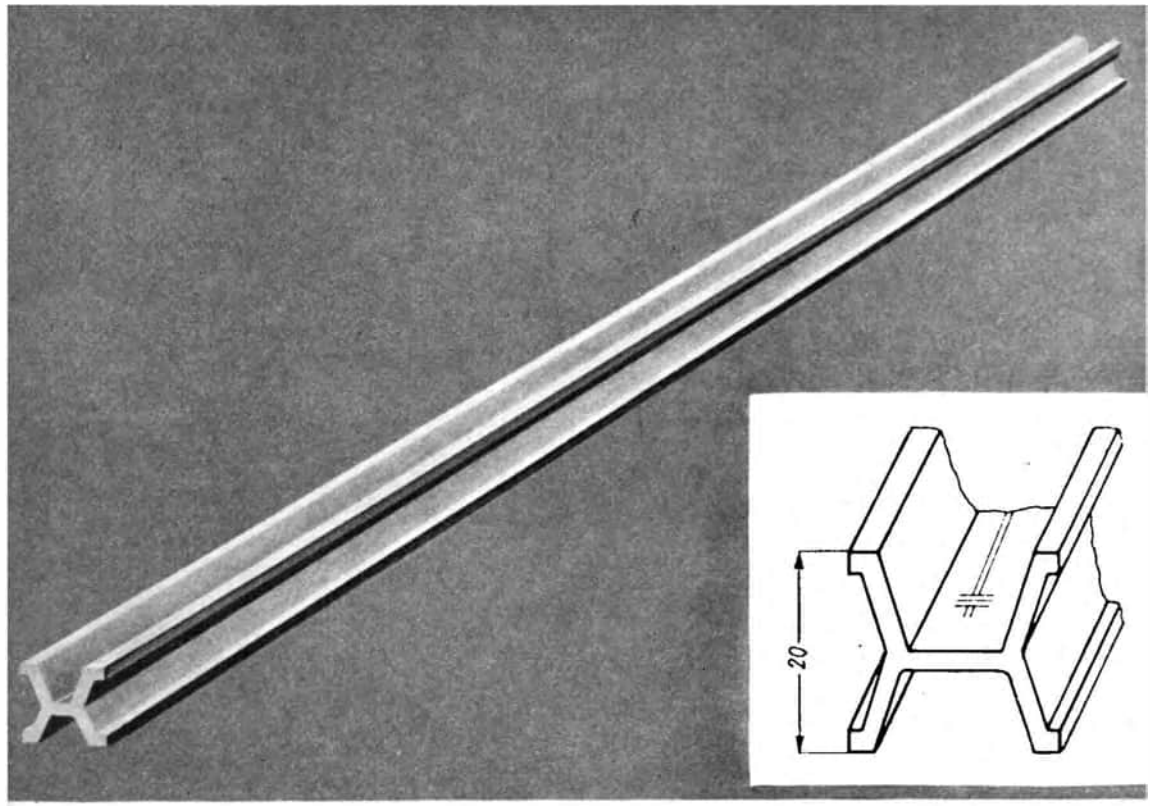


Die fünf Platonischen Körper

1 Tetraeder
2 Würfel
3 Oktaeder
4 (Pentagon-) Dodekaeder
5 Ikosaeder







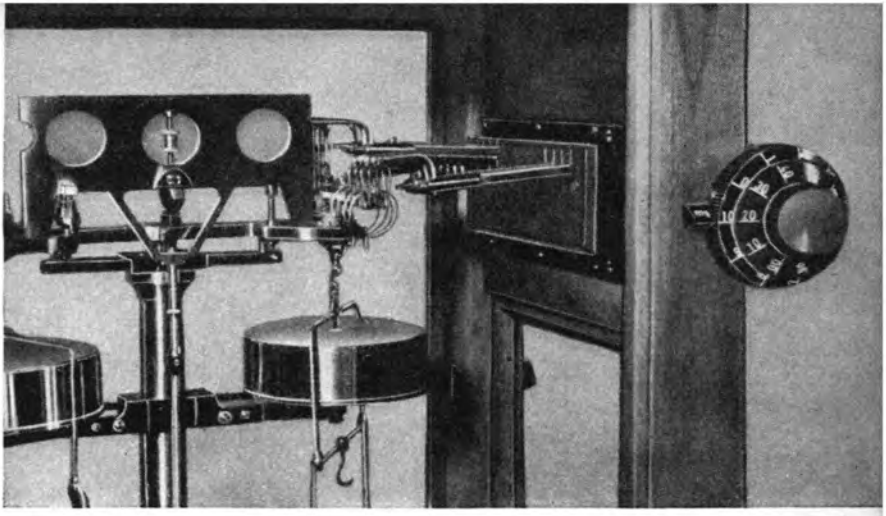
Deutsches Normalmaß der Länge aus Platin-Iridium, Kopie Nr. 18 des in Paris-Sèvres befindlichen Prototyps, aufbewahrt durch das Physikalisch-Technische Zentralinstitut des Deutschen Amtes für Meßwesen. Der Abstand der Mittelstriche der auf dem Mittelsteg angebrachten Strichgruppen beträgt bei 0 °C 1 Meter. Der x-förmige Querschnitt schützt vor Verbiegungen

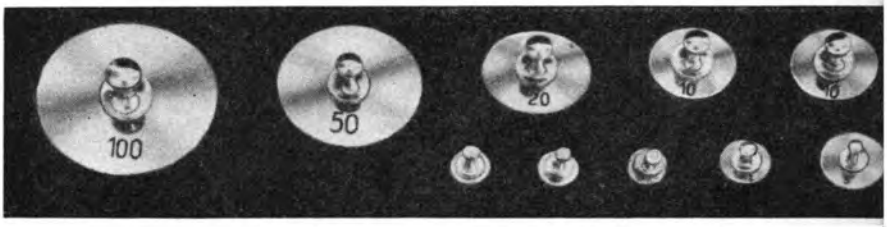


Urmeter — Urkilogramm

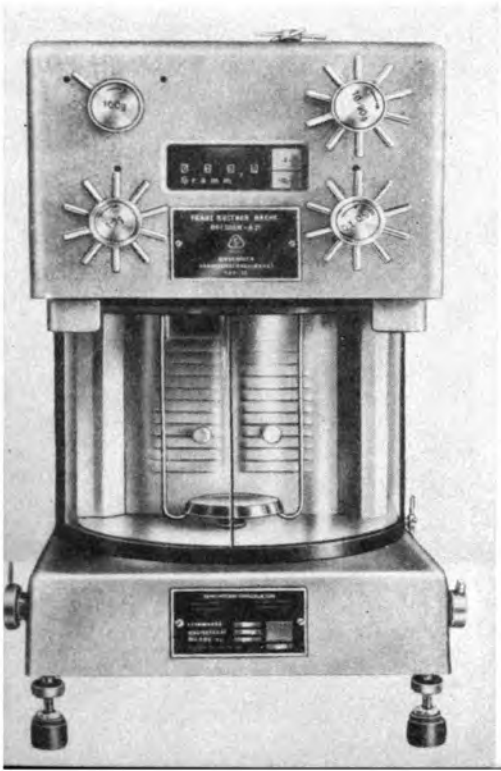
Deutsches Normalmaß der Masse (1 Kilogramm), ein Zylinder aus Platin-Iridium unter zwei gläsernen Schutzglocken, Kopie Nr. 55 des in Paris-Sèvres befindlichen Prototyps, aufbewahrt durch das Physikalisch-Technische Zentralinstitut des Deutschen Amtes für Meßwesen

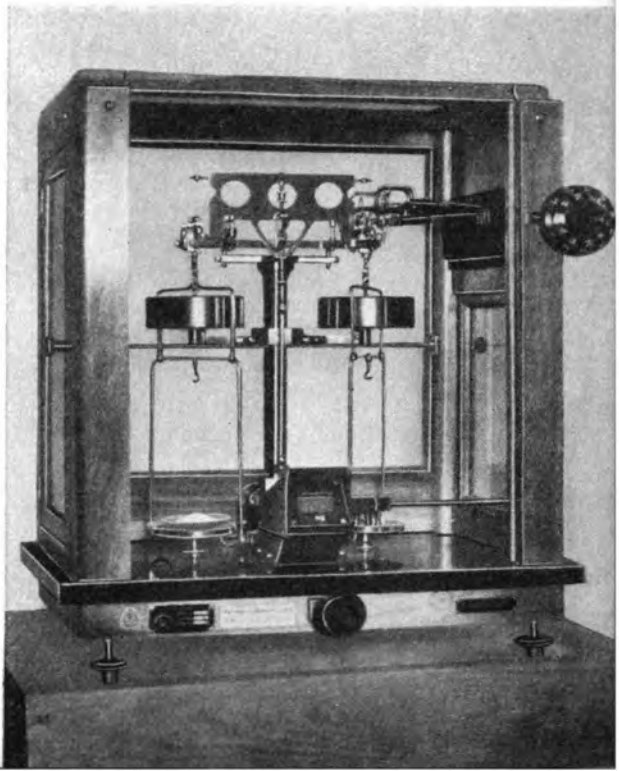
Halbautomatische Analysenwaage mit Luftdämpfung und mechanischer Bruchgrammauflage sowie einem Satz Wägestücke (*Bild oben, Mitte und rechts unten*)





Einschalen-Analysen-Schnellwaage für Fernbedienung mit vollmechanisierter Auflage für Wägestücke; speziell für Wägungen radioaktiver Substanzen





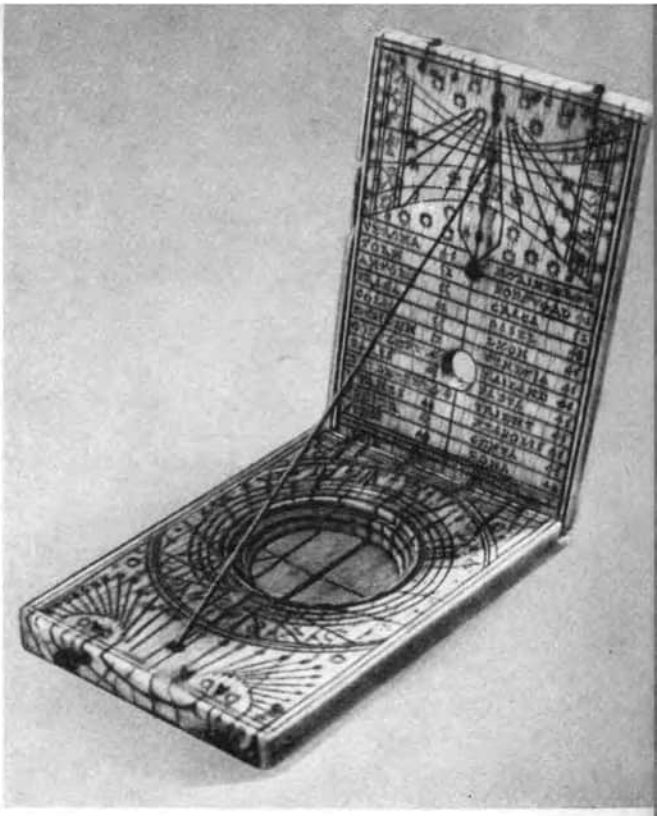


Nürnberger Ei

Eine Einzeigeruhr, etwa 1650, mit durchbrochenem Gehäuse, ausgestellt im Staatlichen Mathematisch-Physikalischen Salon des Dresdner Zwingers

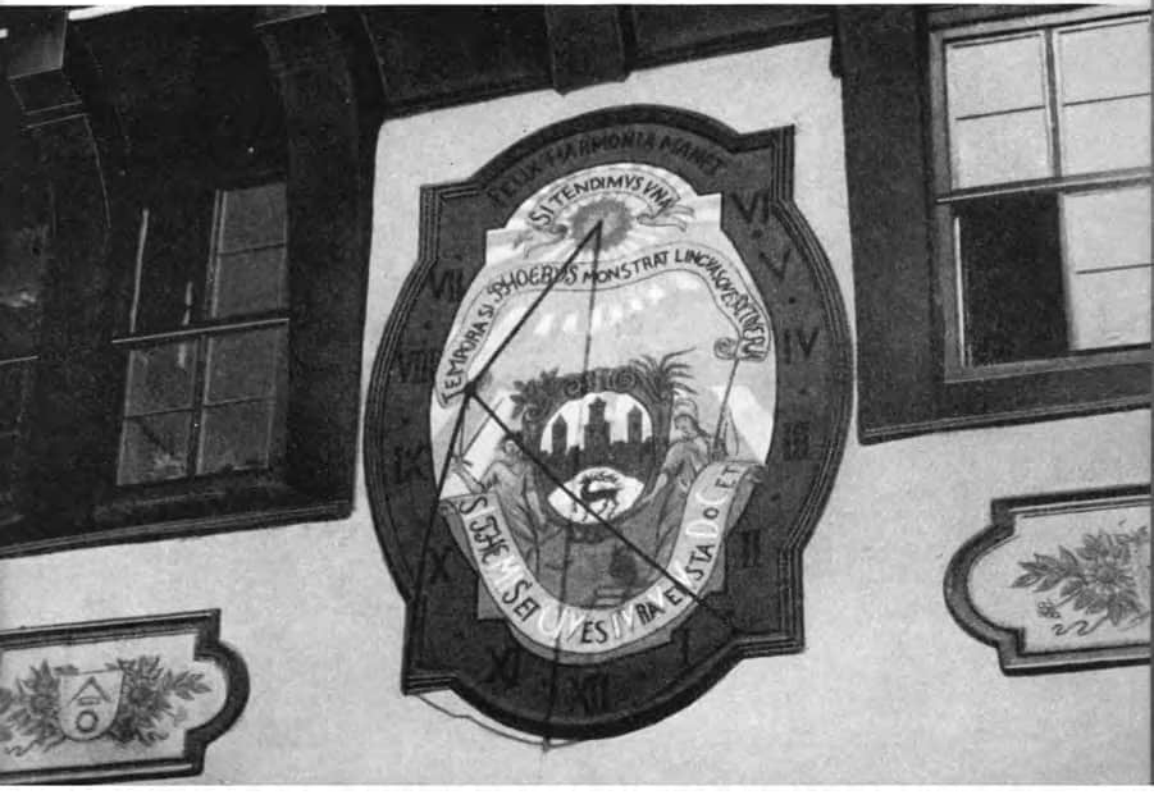


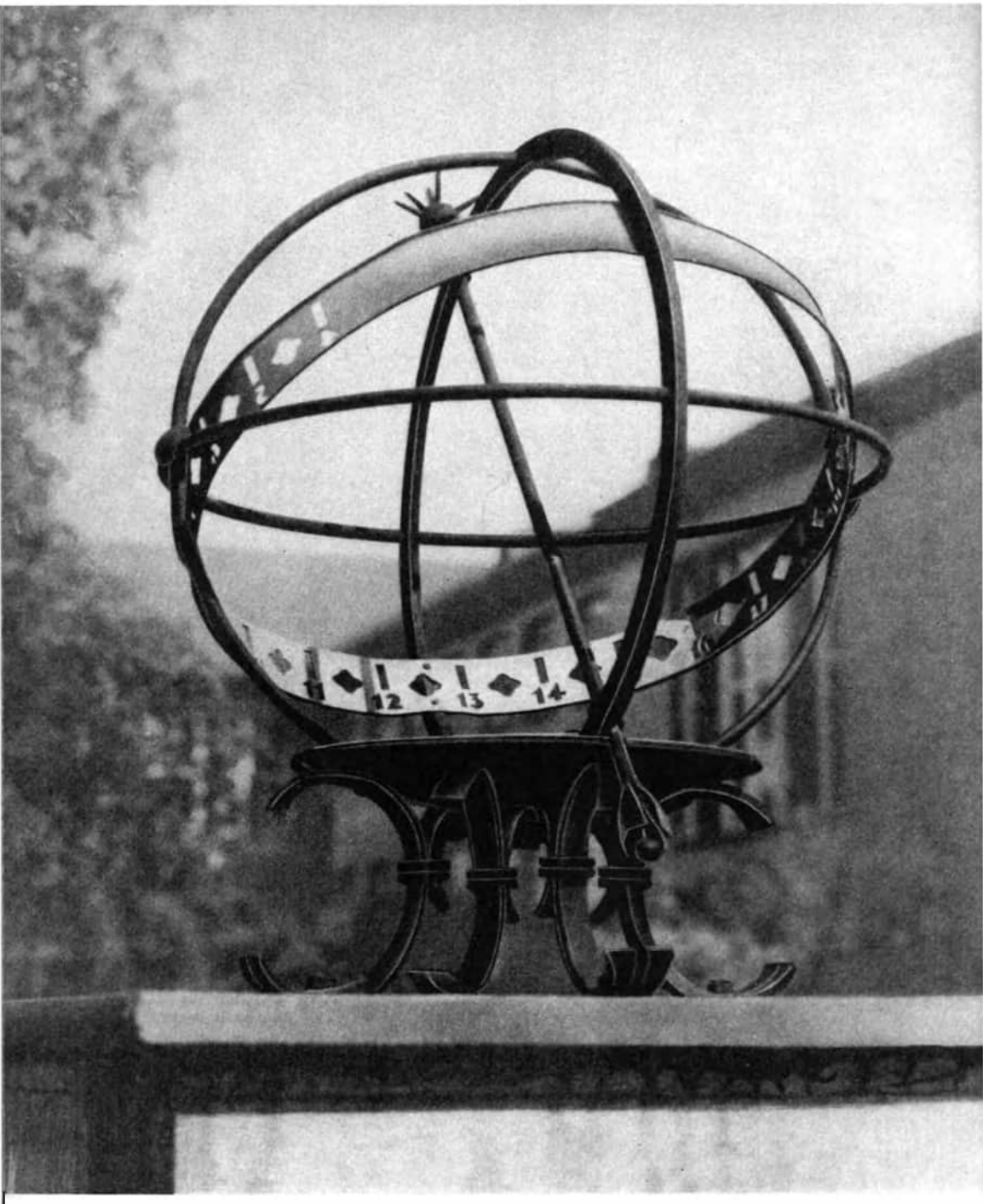
Taschensonnenuhr



Sonnenuhren

Sonnenuhr
am Rathaus Stolberg/Harz





Sonnenuhr Moderne Sonnenuhr im Hof des Pädagogischen Institutes in Halle

Uhren



Uhr der alten Sternwarte Greenwich; sie zeigt die Weltzeit an

Automatische Armbanduhr



Rückwärtiger Einblick

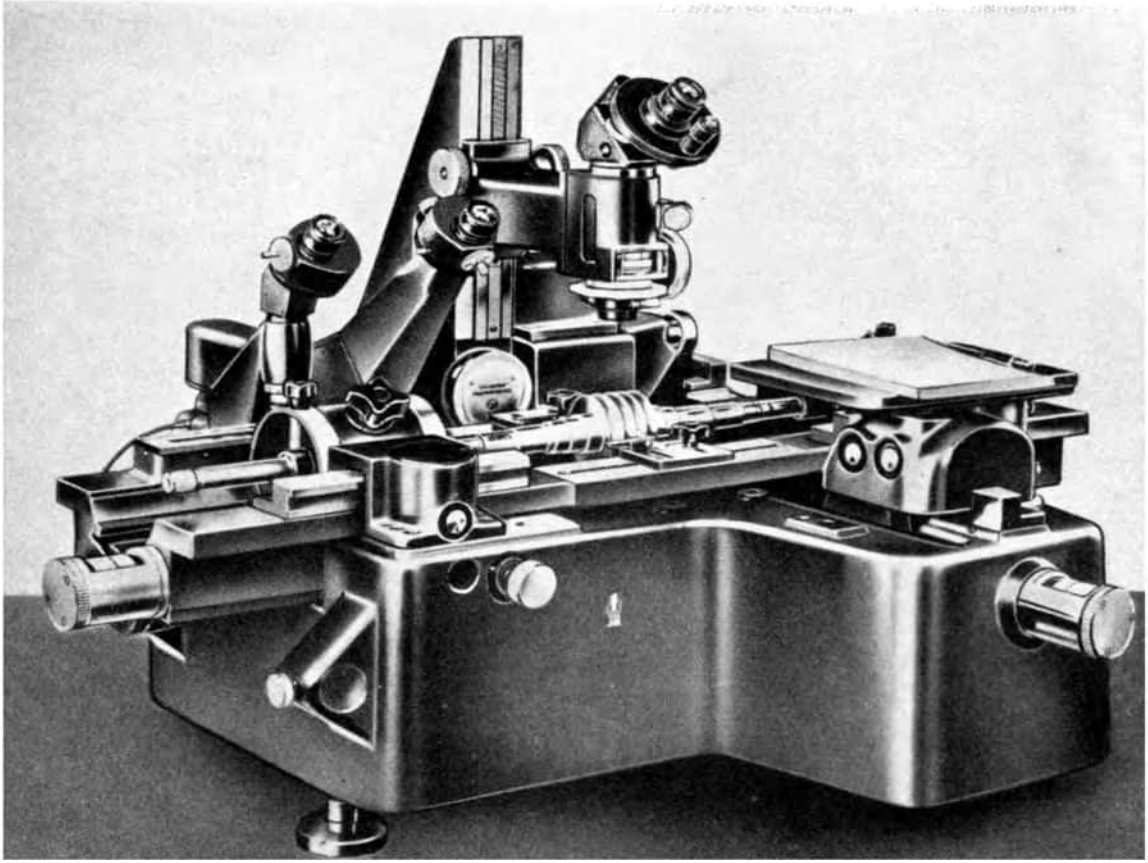


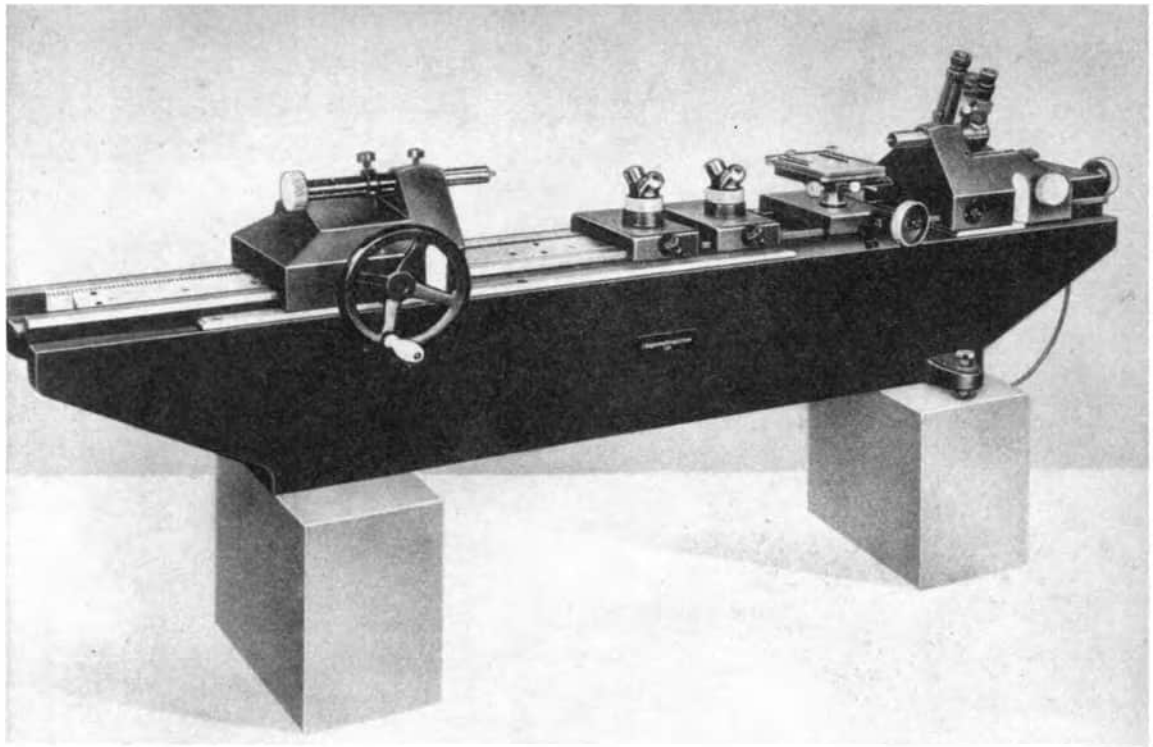


Feinzeigermeßschraube (mechanisch)

Längenmessung I

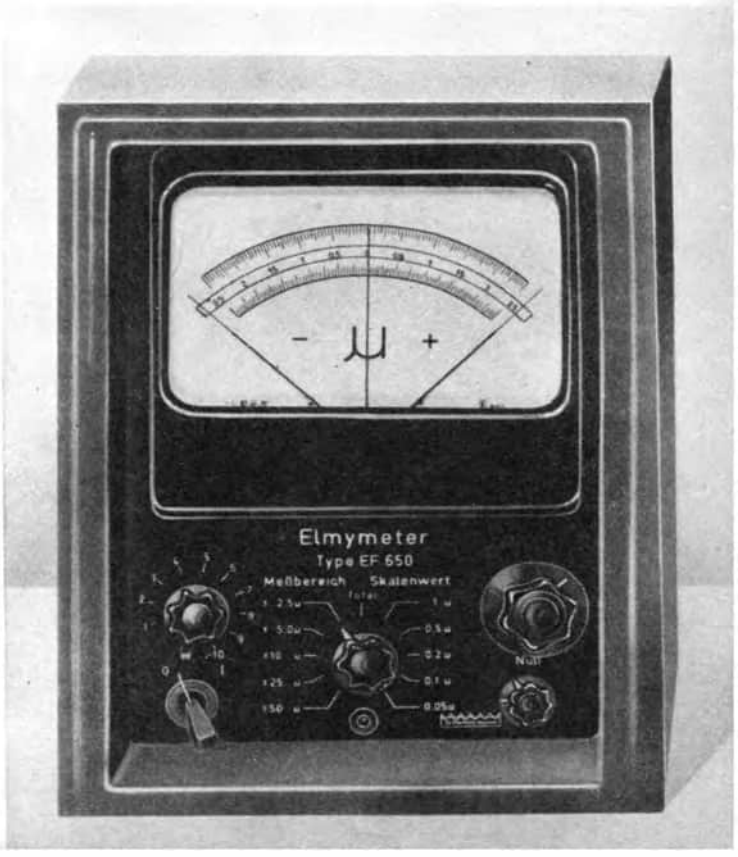
Universal-Meßmikroskop
(optisch-mechanisch)



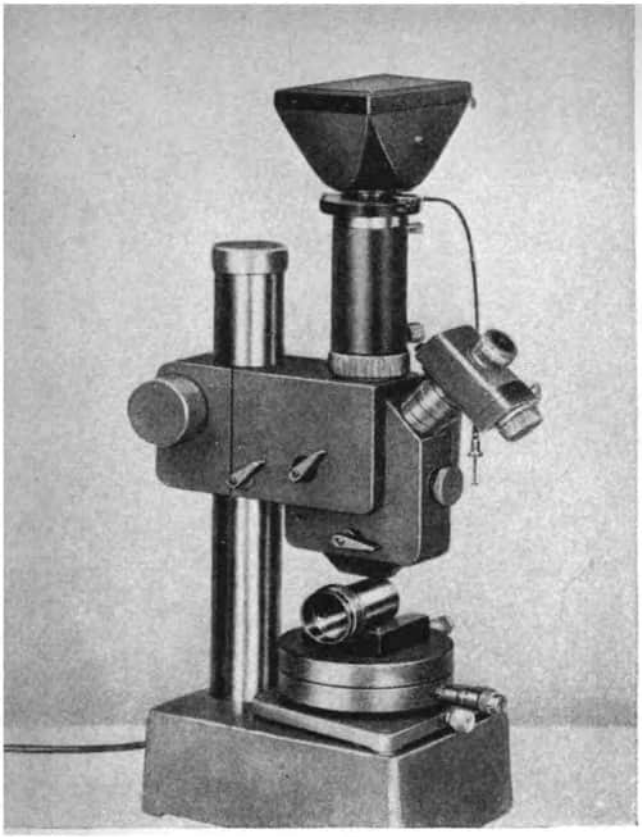


Längenmeßmaschine
(optisch-mechanisch)

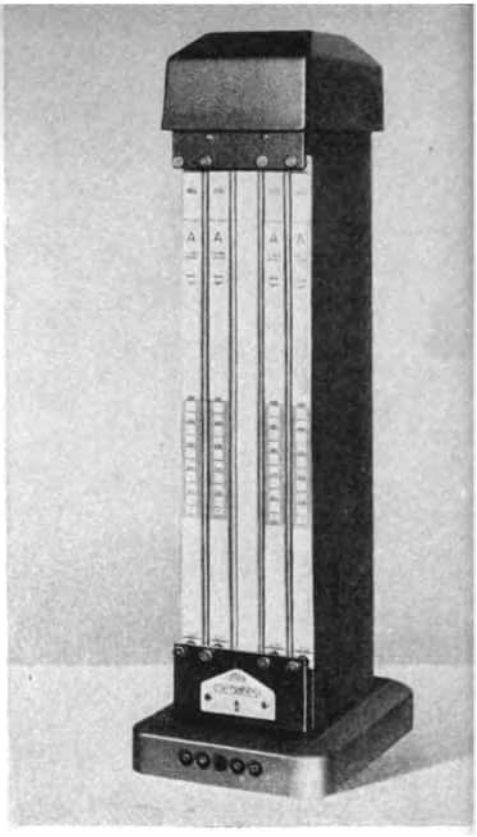
Längenmessung II



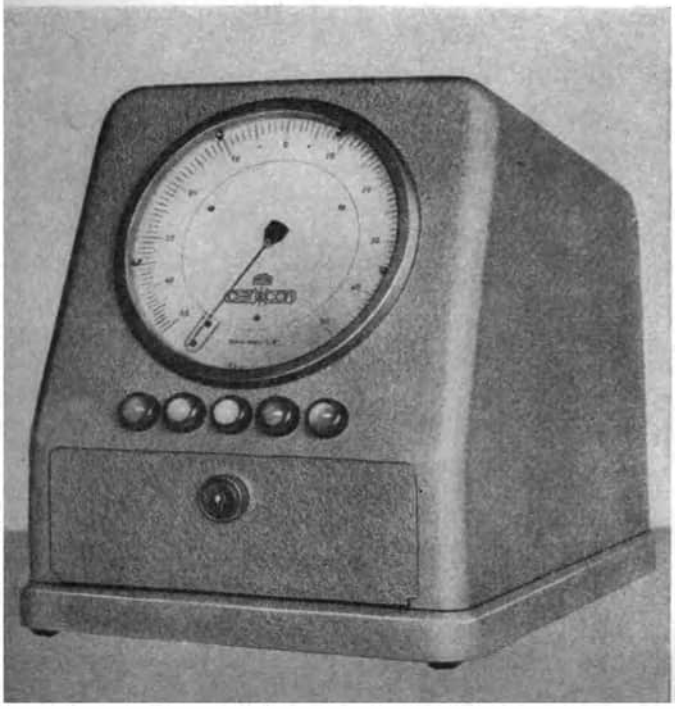
Elmymeter (elektrisch)



Lichtschnittmeßgerät (zur Oberflächenprüfung)

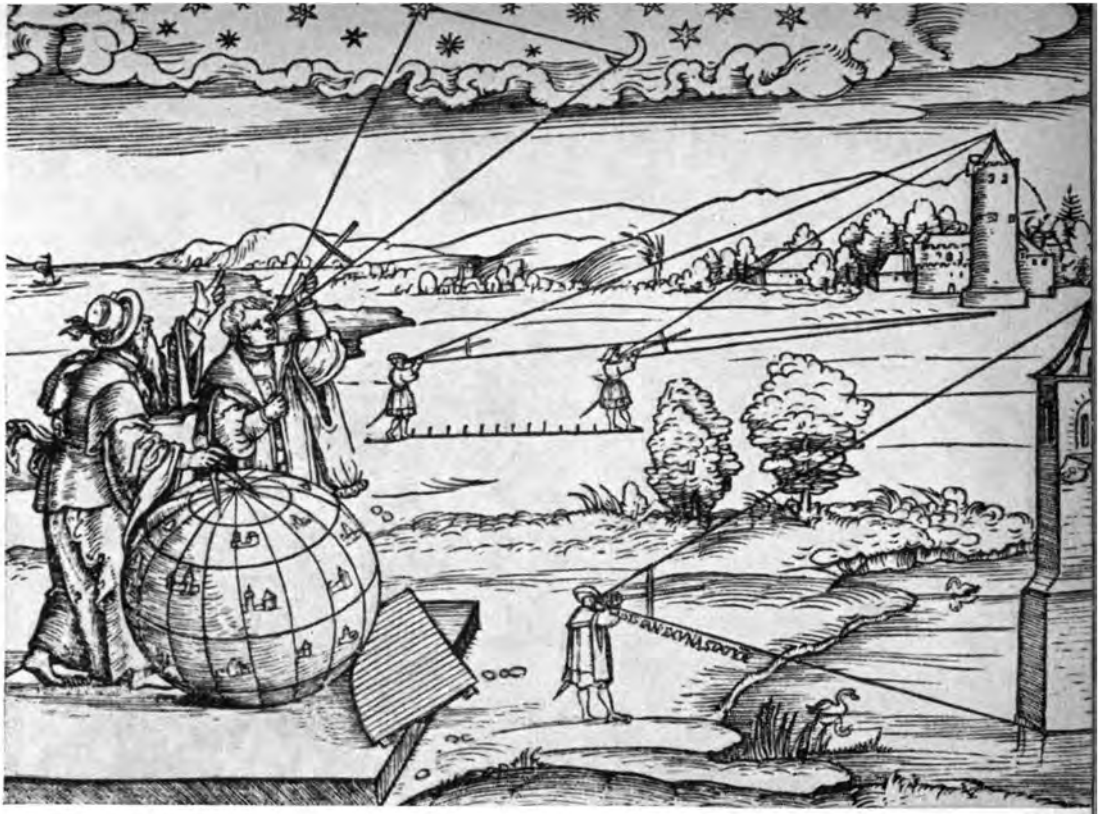


Pneumatisches Druckregel- und Anzeigegerät



Längenmessung III

Pneumatisch-elektrisches Hochdruck-Meß- und Steuergerät (Meßwertabnahme während der Bearbeitung von Werkstücken und Steuerung von Fertigungsmaschinen u. a.)



Gebrauch des Jakobstabes nach einer Darstellung aus dem 16. Jahrhundert

Winkelmessung



Moderner Sekundentheodolit mit Spiegellinseneinrichtung

KRAFT

INHALTSÜBERSICHT

I. *Lehre von der Kraft* 156
II. *Physikalische Größen* 157
Maßsysteme 157
Dimensionen 158
Skalare und Vektoren 158
Physikalische Konstanten 158
III. *Mechanik* 159
Die mechanische Bewegung 160
Masse, Kraft, Gewicht 164
Arbeit, kinetische und potentielle Energie 172
Die einfachen Maschinen 181
Gleichgewicht von Kräften 183
Drehbewegungen 185
Mechanische Eigenschaften der Stoffe 188
IV. *Wellen* 195
Frequenz und Wellenlänge 195
Quer- und Längswellen 196
Allgemeine Eigenschaften der Wellen 197
Die elektromagnetischen Wellen .. 198
V. *Schall* 199
Schallwelle, Schallgeschwindigkeit, Reflexion 199
Schallstärke und Lautstärke 200
Ton und Tonintervalle 200
Stimmungen 202
VI. *Licht* 204
Die Ausbreitung des Lichtes 204
Die Reflexion des Lichtes 204
Die Brechung des Lichtes 207
Die Zerlegung des Lichtes 211
Lichtmessung 212
VII. *Wärme* 213
Hauptsätze der Wärmelehre 213
Wärme und Temperatur 214
Die Ausbreitung der Wärme 216
Ausdehnung durch Wärme 216
Änderung des Aggregatzustandes 217
VIII. *Magnetismus* 221
Magnetpole und Magnetisierung .. 221
Das magnetische Feld 222
Die magnetische Induktion 223
Das Magnetfeld von Strömen 224
Magnetische Maßeinheiten 224
Magnetische Eigenschaften der Stoffe 224
Elektromagnete 226
IX. *Elektrizität* 227
Reibungselektrizität 227
Der elektrische Strom 230
Kraftwirkung des fließenden Stromes 233
Induktion 235
Verstärker- und Röntgenröhre 237
X. *Kernphysik* 239
Korpuskularstrahlen 239
Beschleunigung und Nachweis der Teilchen 241
Elementarteilchen 245
Kernreaktionen 245
Kernreaktor 250
XI. *Wichtige Jahreszahlen* 253

I. Lehre von der Kraft

Die Wissenschaft, die sich im wesentlichen mit den materiellen Kräften und deren Auswirkungen befaßt, heißt *Physik*. Bei allen Naturvorgängen, die mit Energieumsetzungen verbunden sind, sind Kräfte am Werk. Sie sind ihrem Wesen nach sehr verschiedenartig. Die mechanische Kraft des Windes ist die Ursache des Seeganges; chemische Kräfte bewirken die heftige Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff im Knallgasgebläse; die elektrischen Entladungen beim Gewitter sind durch elektrische Kräfte bedingt.

In der von Galilei und Newton begründeten klassischen Physik unterteilt man die Naturerscheinungen nach ihrer Wirkung auf die menschlichen Sinne. Als Teilgebiete der Physik entwickelten sich die *Mechanik* (Lehre von den Bewegungen der Körper), die *Akustik* (Lehre vom Schall), die *Kalorik* (Wärmelehre) und die *Optik* (Lehre vom Licht). Die *elektrischen* und *magnetischen Erscheinungen*, für die wir keine speziellen Sinnesorgane besitzen, wurden erst später systematisch untersucht. Durch die *Maxwellsche Elektrodynamik* und die *Einsteinsche Relativitätstheorie* fand die klassische Physik ihre Vollendung. Die Erforschung des Aufbaus der Materie führte darüber hinaus zur *Atomphysik*, zur *Quantentheorie* und zur *Kernphysik*.

Die Physik schöpft ihre Erkenntnisse aus der *exakten* Beobachtung und dem *physikalischen Versuch* und ist bestrebt, die gefundenen *Gesetze* in mathematischer Form zu fassen. Die Ergebnisse der physikalischen Forschung werden dann durch die *Technik* für die Praxis des täglichen Lebens ausgewertet.

Da die Physik die allgemeinsten Gesetze der Natur erforscht, ist sie die Grundlage für alle Wissenschaften, die bestimmte besondere Prozesse untersuchen, z. B. für die Chemie, die Astronomie, die Geologie, die Mineralogie und die Biophysik.

II. Physikalische Größen

Größe, Maßeinheit, Zahlenwert. Um die Naturerscheinungen beschreiben, quantitativ erfassen und gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen ihnen finden zu können, bedient sich die Physik gewisser Begriffe, die man als *physikalische Größen* bezeichnet. Nur gleichartige physikalische Größen lassen sich miteinander vergleichen. Die quantitative Angabe des Wertes, den eine physikalische Größe im Einzelfall hat, erfordert die Festlegung einer Maßeinheit für jede Größe. Die *Maßeinheit* einer Größe ist die Menge der betreffenden Größe, der man den Zahlenwert 1 zuordnet. Eine Größe *messen* heißt feststellen, wie oft die Maßeinheit in einem vorliegenden Fall in der Größe enthalten ist. Jede Größe G kann also als ein Produkt aus dem *Zahlenwert* a und der Maßeinheit E geschrieben werden: $G = a \cdot \mathrm{E}$. Beim Übergang von einer Einheit E zu einer anderen (artgleichen) Einheit E' ändert sich der Zahlenwert a, aber nicht die Größe G selbst. Ist z. B. die neue Einheit n-mal größer, also $\mathrm{E}' = n\mathrm{E}$, so gilt $G = a\mathrm{E} = \frac{a}{n} \cdot n\mathrm{E} = a' \cdot \mathrm{E}'$. Der Zahlenwert $a' = \frac{a}{n}$ der in der Einheit E' gemessenen Größe ist dann n-mal kleiner; bedeutet z. B. die Größe G einen Druck p, der in der Einheit $\mathrm{E} = 1$ Torr den Zahlenwert $a = 1900$ hat, und führt man die neue Einheit $\mathrm{E}' = 1$ atm $= 760$ Torr ($n = 760$) ein, so erhält man $p = 1900$ Torr $= \frac{1900}{760} \cdot 760$ Torr $= 2{,}5$ atm; $a' = 2{,}5$.

MAßSYSTEME

Die Wahl der Einheiten für die verschiedenen Größen ist im Prinzip willkürlich. Da aber die physikalischen Größen durch Gleichungen miteinander verknüpft sind, ist es zweckmäßig, die Einheiten der Größen so festzulegen, daß keine zusätzlichen Zahlenkonstanten in den Gleichungen auftreten; z. B. ist die Arbeit A durch die Gleichung $A = c \cdot K \cdot s$ mit der Kraft K und dem Weg s verknüpft; c ist ein Zahlenfaktor, der von der Wahl der Einheiten für K, s und A abhängt; wählt man als Einheit die Arbeit, die die Einheit der Kraft (z. B. 1 N) leistet, wenn der Weg gleich der Längeneinheit (z. B. 1 m) ist, so wird der Faktor $c = 1$ und kann daher fortgelassen werden.

Maßsysteme der Mechanik. Die in einem Gebiet der Physik auftretenden Größen können aus wenigen *Grundgrößen* abgeleitet werden. Entsprechend ergeben sich die Einheiten der abgeleiteten Größen aus wenigen *Grundeinheiten*, in denen die Grundgrößen gemessen werden. Die verschiedenen *Maßsysteme* unterscheiden sich 1. durch die Festlegung der Grundgrößen und 2. durch die Wahl der Maßeinheiten für die Grundgrößen. Da sich jede physikalische Erscheinung in Raum und Zeit abspielt, benutzt man in allen Gebieten der Physik die *Länge* (l) und die *Zeit* (t) als Grundgrößen. Es zeigt sich, daß man in der Mechanik alle anderen Größen ableiten kann, wenn man noch eine dritte (nicht auf Länge und Zeit zurückführbare) Größe als Grundgröße hinzunimmt. Durch die Wahl dieser dritten Grundgröße unterscheiden sich die physikalischen und die technischen Maßsysteme der Mechanik. In den *physikalischen Maßsystemen* benutzt man als Grundgrößen die Länge, die *Masse* und die Zeit, in den *technischen Maßsystemen* die Länge, die *Kraft* und die Zeit. Es sind zwei physikalische Maßsysteme im Gebrauch, das MKS-System, bei dem das *Meter* (m), das *Kilogramm* (kg) und die *Sekunde* (s) als Grundeinheiten für Länge, Masse und Zeit verwendet werden, und das CGS-System mit dem *Zentimeter* (cm), dem *Gramm* (g) und der *Sekunde* (s) als Grundeinheiten für die gleichen Grundgrößen. Bei den technischen Maßsystemen hat in der DDR nur das Maßsystem mit dem *Meter* (m), dem *Kilopond* (kp) und der *Sekunde* (s) als Grundeinheiten für Länge, Kraft und Zeit Bedeutung.

Maßsysteme der Elektrodynamik. In der Elektrodynamik (Elektrizität und Magnetismus) kann man mit den drei mechanischen Grundgrößen Länge, Masse und Zeit auskommen, wenn man a) mit Hilfe des Coulombschen Gesetzes für die Kraftwirkung zwischen zwei elektrischen Ladungen die elektrische Ladung oder b) mit Hilfe des Coulombschen Gesetzes für die Kraftwirkung zwischen zwei Magnetpolen die magnetische Polstärke durch die drei mechanischen Grundgrößen ausdrückt. Man erhält dann a) das *elektrostatische* bzw. b) das *elektromagnetische* CGS-*System*. In beiden Systemen, die auch als *absolute Maßsysteme* bezeichnet werden, sind alle elektrischen und magnetischen Maßeinheiten durch das Zentimeter, das Gramm und die Sekunde ausgedrückt. Heute benutzt man nur noch — und zwar in der theoretischen Physik und in der Atomphysik — das sogenannte *Gaußsche* CGS-*System*, bei dem die elektrischen Größen in den Einheiten des elektrostatischen und die magnetischen Größen in den Einheiten des elektromagnetischen Maßsystems gemessen werden. Die CGS-Systeme der Elektrodynamik haben zwei Nachteile: 1. treten in den Maßeinheiten gebrochene Exponenten auf, denen keine anschauliche Bedeutung zukommt (z. B. ist die elektrostatische Spannungseinheit $1\,\mathrm{cm}^{\frac{1}{2}}\,\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\,\mathrm{s}^{-1}$) und 2. bekommen eine Anzahl physikalisch verschiedenartiger Größen gleiche Maßbezeichnungen. Im *praktischen elektrischen Maßsystem*, das heute in der Technik ausschließlich und in der Physik weitgehend benutzt wird, vermeidet man diese (und andere) Nachteile der CGS-Systeme, indem man zu den drei mechanischen Grund-

größen Länge, Masse und Zeit als vierte Grundgröße die *elektrische Stromstärke* hinzunimmt. Beim *gesetzlich eingeführten* MKSA-*System* sind das *Meter* (m), das *Kilogramm* (kg), die *Sekunde* (s) und das *Ampere* (A) die Grundeinheiten.
In der Wärmelehre tritt als weitere Grundgröße die Temperatur, gemessen in *Grad Kelvin* (°K), und in der Photometrie die Lichtstärke, gemessen in *Candela* (cd), zu den drei mechanischen Grundgrößen hinzu.

DIMENSIONEN

Zwischen zwei Größen kann nur dann das Gleichheitszeichen stehen, wenn sie von der gleichen Art sind. Steht z. B. auf der linken Seite einer Gleichung eine Kraft, so muß sich auch auf der rechten Seite der Gleichung eine Kraft ergeben, wenn man für die dort stehenden Größen ihre Definition aus den Grundgrößen einsetzt und diese in der Weise zusammenfaßt, wie es der Ausdruck auf der rechten Seite der Gleichung vorsieht. Die Beziehung einer Größe zu den Grundgrößen nennt man die *Dimension* der Größe. Beispielsweise hat die Kraft in den physikalischen Maßsystemen die Dimension Länge · Masse · Zeit^{-2}. Die Dimensionsbetrachtung wird häufig benutzt, um die Richtigkeit einer Formel zu überprüfen: Eine Formel ist sicher fehlerhaft, wenn ihre linke und ihre rechte Seite verschiedene Dimensionen haben. Mißt man alle Größen im gleichen Maßsystem, so kann man die Dimensionsbetrachtung auch an Hand der Einheiten für die Größen ausführen. Betrachten wir z. B. das Hagen-Poiseuillesche Gesetz für das durch ein Rohr mit dem Radius r und der Länge l in der Zeiteinheit hindurchfließende Flüssigkeitsvolumen Q, wenn die Flüssigkeit die Viskosität η hat und zwischen Anfang und Ende des Rohres ein Druckunterschied p herrscht: $Q = \frac{\pi r^4 p}{8 \eta l}$. Das Flüssigkeitsvolumen je Zeiteinheit Q wird gemessen in Kubikmeter je Sekunde, m^3/s. Setzt man die Einheiten auf der rechten Seite ein, also für r und l Meter m, für p Kraft je Flächeneinheit N/m^2 = m^{-1}kgs^{-2} und für η: Ns/m^2 = m^{-1}kgs^{-1}, so ergibt sich auf der rechten Seite $\frac{(\mathrm{m}^4) \cdot (\mathrm{m}^{-1}\mathrm{kgs}^{-2})}{(\mathrm{m}^{-1}\mathrm{kgs}^{-1}) \cdot (\mathrm{m})} = \mathrm{m}^3\mathrm{s}^{-1}$, also die gleiche Einheit wie für Q.

SKALARE UND VEKTOREN

Größen, die nach Wahl einer Maßeinheit durch einen Zahlenwert vollständig bestimmt sind, wie die Temperatur oder die Masse, heißen *Skalare*. Physikalische Größen, die zu ihrer vollständigen Festlegung außerdem die Angabe einer Richtung erfordern, wie die Geschwindigkeit oder die Kraft, nennt man *Vektoren*. Skalare werden durch lateinische Buchstaben, Vektoren im Druck durch gotische, in der Schreibschrift durch deutsche Buchstaben bezeichnet. Ein Vektor wird durch eine gerichtete Strecke, einen Pfeil, anschaulich dargestellt; seine Länge entspricht dem *Betrag des Vektors*. Der Betrag eines Vektors ist eine skalare Größe, er wird deshalb als lateinischer Buchstabe geschrieben; $\mathfrak{K}$ bedeutet beispielsweise einen Kraftvektor, K seinen Betrag. Die Multiplikation eines Vektors $\mathfrak{b}$ mit einer skalaren Größe m ergibt einen Vektor, der dem Vektor $\mathfrak{b}$ gleichgerichtet ist und den Betrag $b \cdot m$ hat. Wenn auf der einen Seite einer Gleichung eine Vektorgröße steht, so muß die andere Seite der Gleichung ebenfalls einen Vektor darstellen; beide Vektoren müssen dem Betrage und der Richtung nach übereinstimmen.

PHYSIKALISCHE KONSTANTEN

In physikalischen Gesetzen treten neben veränderlichen physikalischen Größen Konstanten auf. In der Tabelle sind die wichtigsten Konstanten der Physik zusammengestellt. Ein wesentlicher Unterschied besteht zwischen den Konstanten, deren Werte durch *Übereinkunft* festgelegt sind (Normfallbeschleunigung und magnetische Feldkonstante), und denjenigen, deren Werte das Ergebnis von Präzisionsmessungen sind (alle übrigen Konstanten der Tabelle). Nur Konstanten der letztgenannten Art sind als *Naturkonstanten* zu bezeichnen; sie sind wie das Ergebnis jeder Messung mit einem Fehler behaftet; die Unsicherheit beläuft sich auf etwa ± 1 bis ± 2 Einheiten der letzten angegebenen Stelle. Die Naturkonstanten sind nicht sämtlich voneinander unabhängig, da zwischen vielen von ihnen Beziehungen bestehen; z. B. gilt für die Boltzmann-Konstante $k = R_0/L$ und für die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante $\alpha = \mu_0 \cdot ce^2/2h$. Mit Hilfe der heute bekannten *Verknüpfungsbeziehungen* lassen sich die in der Tabelle aufgeführten Naturkonstanten berechnen, wenn 9 von ihnen gegeben sind. Man darf annehmen, daß weitere Fortschritte der Forschung, insbesondere auf dem Gebiet der Theorie der Elementarteilchen, heute noch unbekannte Verknüpfungsbeziehungen zwischen den Naturkonstanten liefern und daß sich damit die Anzahl der Konstanten verringert, die zur Zeit als unabhängig voneinander, als naturgegeben betrachtet werden müssen. Universelle Bedeutung dürfte dabei den *dimensionslosen Konstanten* (z. B. der Sommerfeldschen Feinstrukturkonstante und dem Verhältnis der Protonen- zur Elektronenmasse) zukommen, da ihre Werte nicht von dem verwendeten Maßsystem abhängen.

Physikalische Konstanten

Loschmidtsche Zahl L	$6{,}0234 \cdot 10^{26}\ \mathrm{kmol^{-1}}$
universelle Gaskonstante R_0	$8314{,}7\ \mathrm{Jgrd^{-1}kmol^{-1}}$
Boltzmann-Konstante k	$1{,}3804 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{Jgrd^{-1}}$
Molvolumen des idealen Gases unter Normalbedingungen V_0	$22{,}414\ \mathrm{m^3\,kmol^{-1}}$
Faraday-Konstante F	$96495 \cdot 10^3\ \mathrm{Askval^{-1}}$
Normfallbeschleunigung g_N	$9{,}80665\ \mathrm{m\,s^{-2}}$
absoluter Nullpunkt	$-273{,}150\ ^\circ\mathrm{C}$
magnetische Feldkonstante μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}\ \mathrm{Vs\,A^{-1}m^{-1}}$
= Induktionskonstante	$= 1{,}256637 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Vs\,A^{-1}m^{-1}}$
elektrische Feldkonstante ε_0	$1/(\mu_0 c^2)$
= Influenzkonstante	$= 8{,}85416 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{As\,V^{-1}m^{-1}}$
Gravitationskonstante γ	$6{,}670 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2kg^{-2}}$
Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum	$2{,}99793 \cdot 10^8\ \mathrm{m\,s^{-1}}$
Plancksches Wirkungsquantum h	$6{,}6249 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}$
Elementarladung e	$1{,}6020 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{As}$
Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante α	$7{,}2972 \cdot 10^{-3}$
Bohrsches Magneton μ_B	$1{,}1652 \cdot 10^{-29}\ \mathrm{Vsm}$
Rydberg-Konstante R_∞	$10{,}973731 \cdot 10^6\ \mathrm{m^{-1}}$
Ruhmasse des Elektrons m_e	$9{,}1082 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg}$
Ruhmasse des Protons m_p	$1{,}67235 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$
Ruhmasse des Neutrons m_n	$1{,}67466 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$
Verhältnis Protonenmasse zur Elektronenmasse $\frac{m_p}{m_e}$	1836,10

Die Werte L, R_0, V_0 und F beziehen sich auf die chemische Atomgewichtsskale mit 16,0000 für das natürliche Isotopengemisch für Sauerstoff. Bei der Umrechnung in die physikalische Atomgewichtsskale muß berücksichtigt werden, daß das Kilomol, kmol, und das Kiloäquivalent, kval, in der physikalischen Atomgewichtsskale um den Faktor 1,000275 größer als in der chemischen Atomgewichtsskale sind.

III. Mechanik

Die (klassische) Mechanik ist die Lehre von der Bewegung der makroskopischen Körper unter der Einwirkung von Kräften. Sie nimmt unter den Teilgebieten der Physik eine übergeordnete Stellung ein, da die in ihr entwickelten allgemeinen Begriffe, z. B. Kraft und Arbeit, für die gesamte Physik grundlegend sind.

Teilgebiete der Mechanik. Die Mechanik wird in Kinematik, Dynamik und Statik unterteilt. Die *Kinematik* beschränkt sich auf die Beschreibung der verschiedenen Bewegungsformen. In der *Dynamik* wird die Bewegung der Körper auf die Wirkung der Kräfte zurückgeführt. Der Spezialfall des Gleichgewichts der auf einen Körper wirkenden Kräfte ist Gegenstand der *Statik*.
Nach den verschiedenartigen mechanischen Eigenschaften der wirklichen (festen, flüssigen und gasförmigen) Körper gliedert man die Mechanik in folgende Teilgebiete:

Punktmechanik: In ihr sieht man von der Raumerfüllung des festen Körpers ab, indem man sich seine gesamte Masse in einem Punkt konzentriert denkt. Das durch diese gedankliche Abstraktion entstehende Gebilde bezeichnet man als einen *Massepunkt*. In vielen Fällen genügt es, die wirklichen festen Körper als Massepunkte zu betrachten, z. B. in der Mechanik der Planetenbewegung (Himmelsmechanik).

Mechanik starrer Körper: Sie berücksichtigt die Raumerfüllung der festen Körper, abstrahiert aber von ihrer Verformbarkeit.

Mechanik deformierbarer Körper: Sie behandelt die mechanischen Eigenschaften der wirklichen Körper. Man unterteilt sie in die *Elastizitätsmechanik* (Mechanik fester Körper), die *Mechanik der inkompressiblen* und die *der kompressiblen Flüssigkeiten* (Mechanik der Flüssigkeiten [Hydromechanik] und Mechanik der Gase [Aeromechanik]).

Nach dieser Einteilung ist die Lehre vom Schall (*Akustik*) ein Teilgebiet der Mechanik deformierbarer Körper. Aus praktischen Gründen behält man jedoch meist die historisch bedingte Einteilung der Physik bei, in der die Akustik zu den selbständigen Teilgebieten der Physik gezählt wird.
Im Bereich der täglichen Erfahrung gilt die auf den Newtonschen Axiomen aufgebaute *Newtonsche Mechanik*. Bei Geschwindigkeiten, die die Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit erreichen, zeigen sich jedoch Abweichungen zwischen den experimentellen Beobachtungen und den Aussagen der Newtonschen Mechanik. Diese Schwierigkeiten werden durch die *Relativitätsmechanik* überwunden. Sie enthält die Newtonsche Mechanik als Spezialfall, d. h., sie geht in diese über, wenn die auftretenden Geschwindigkeiten klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit sind.

DIE MECHANISCHE BEWEGUNG

Ändert ein Körper im Laufe der Zeit seine Lage im Raum, so sagt man, er ist im *Zustand der Bewegung* zum Unterschied vom *Zustand der Ruhe*. Diese Zustände sind nur definiert in bezug auf einen als ruhend angenommenen festen Körper. Einen solchen Körper, von dem aus man die Veränderung der Lage eines anderen Körpers beurteilt, nennt man ein *Bezugssystem*. Beispielsweise befindet sich ein in einem fahrenden Auto ruhender Gegenstand in schneller Bewegung gegenüber der Erdoberfläche, während er sich in bezug auf ein anderes Auto, das jenes gerade überholt, nur langsam bewegt. Die Bewegung eines Massepunktes kann *geradlinig* oder *krummlinig* erfolgen. Ein Spezialfall der krummlinigen Bewegung ist die *Kreisbewegung*. Hinsichtlich des zeitlichen Ablaufes unterscheidet man *gleichförmige* und *ungleichförmige* Bewegungen, je nachdem der Massepunkt in gleichen Zeiten gleiche Wegstrecken zurücklegt oder nicht. Ein wichtiges Beispiel einer ungleichförmigen Bewegung ist die *Schwingungsbewegung*.

Geschwindigkeit. Die (Translations-) Geschwindigkeit v eines Körpers ist gleich dem von dem Körper zurückgelegten Weg s geteilt durch die dazu notwendige Zeit t; $v = \frac{s}{t}$. Bei ungleichförmigen Bewegungen ergibt sich auf diese Weise die *mittlere Geschwindigkeit* für den Weg s. Die Geschwindigkeit in einem bestimmten Zeitpunkt erhält man, wenn man ein kleines Wegstück Δs der Bahn des Körpers durch die zum Durchlaufen gebrauchte Zeit Δt teilt und das Wegstück Δs beliebig klein macht: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Maßeinheiten der Geschwindigkeit. Meter je Sekunde (ms^{-1}); Kilometer je Stunde (km/h) (fälschlich auch Stundenkilometer genannt); in der Schiffahrt: Knoten (kn), 1 kn = 1 Seemeile/Stunde; es gilt 1 ms^{-1} = 3,6 km/h; 1 kn = 1,852 km/h.

Geschwindigkeiten

Wachstum eines Haares ...	0,0000003	cms^{-1}	Mond um die Erde	1000	ms^{-1}
Bewegung eines Gletschers	0,0005	cms^{-1}	Raketenflugzeug ..... bis	1800	ms^{-1}
Wachstum eines Pilzes	0,008	cms^{-1}	Rakete, einstufig ..... bis	7,1	kms^{-1}
Schnecke	0,15	cms^{-1}	kosmische (astronautische) Geschwindigkeiten		
Blut in Hauptschlagader ..	50	cms^{-1}	1. Stufe (um Erde kreisen)	7,9	kms^{-1}
Hecht	4,4	ms^{-1}	2. Stufe (Erdanziehung überwinden)	11,2	kms^{-1}
Schnelldampfer ..... bis	20	ms^{-1}	3. Stufe (Verlassen des Sonnensystems)	16,7	kms^{-1}
Rennpferd ..... bis	25	ms^{-1}	Erde um die Sonne	29,6	kms^{-1}
Vogel Strauß ..... bis	33	ms^{-1}	α-Teilchen beim radioaktiven Zerfall ..... um	17000	kms^{-1}
Sturm ..... bis	40	ms^{-1}	Elektronen in Fernsehbildröhre bis	70000	kms^{-1}
Schnellzug ..... bis	30	ms^{-1}	Licht und elektromagnetische Wellen im Vakuum oder in Luft	300000	kms^{-1}
Schwalbe ..... bis	70	ms^{-1}			
Rennwagen ..... bis	120	ms^{-1}			
Motorflugzeug ..... bis	210	ms^{-1}			
Schall in Luft ..... um	333	ms^{-1}			
Schall in Stahl ..... um	5100	ms^{-1}			
Flugzeug mit Luftstrahltriebwerk	663	ms^{-1}			

Verfahren zur Geschwindigkeitsmessung. 1. Direkte Bestimmung der Geschwindigkeit aus Weg und Zeit. Es wird die Zeit gemessen, die der Körper braucht, um eine genau bekannte Wegstrecke zurückzulegen. Auf diese Weise wird z. B. die Geschwindigkeit von *Geschossen* nach dem Verlassen des Geschützrohres ermittelt: Das vor dem Abschuß magnetisierte Geschoß fliegt durch zwei in bestimmtem Abstand voneinander aufgestellte rahmenförmige Induktionsspulen. Beim Durchgang des Geschosses wird in jedem Rahmen ein Spannungsstoß induziert und der zeitliche Abstand der beiden Spannungsstöße gemessen.

2. Umwandlung der Translationsbewegung in eine Drehbewegung und Messung der Drehzahl mit einem *Tachometer*. Hierauf beruhen die Geschwindigkeitsmesser der Räderfahrzeuge. Beim *Patentlog* wird die Fahrtgeschwindigkeit von Schiffen aus der Drehzahl eines im Wasser nachgeschleppten und durch die Fahrt in Umdrehung versetzten Propellers bestimmt.

3. Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten und Gasen sowie der Geschwindigkeit fester Körper (Flugzeuge, Schiffe) in bezug auf ein umgebendes gasförmiges oder flüssiges Medium durch Messung des *dynamischen Druckes* mit dem *Staurohr*, mit der *Venturidüse* oder (in Rohren) mit einer *Meßblende*.

4. Messung der Geschwindigkeit von Abstandsänderungen zwischen schnell bewegten Körpern und einem Beobachter mit Hilfe des *Dopplereffektes*. Bei Fixsternen und schnell bewegten leuch-

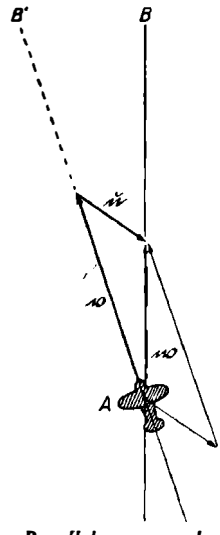
tenden Atomen und Ionen wird die Frequenzänderung des emittierten Lichtes, bei Flugzeugen und Erdsatelliten die Frequenzänderung hochfrequenter Funkwellen gemessen. Der Flugkörper kann dabei als passiver oder als aktiver Strahler benutzt werden. Im ersten Fall befindet sich der Sender in der Bodenstation und der Flugkörper wirkt als Reflektor (Radar), im zweiten führt der Flugkörper den Sender selbst mit.

5. Bestimmung der Geschwindigkeit sehr energiereicher geladener Teilchen aus der von diesen bei der Durchquerung durchsichtiger Substanzen ausgesandten *Tscherenkow-Strahlung* (Čerenkov-Strahlung).

Zusammensetzung von Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeit ist eine gerichtete Größe, ein *Vektor*; sie ist durch die Angabe ihres Betrages (Länge des Geschwindigkeitsvektors) und durch ihre Richtung bestimmt. Geschwindigkeiten setzen sich (wie Kräfte) nach dem *Parallelogrammsatz* zusammen. Das bedeutet: Bewegt sich ein Körper K gegenüber einem Körper K' mit der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$, während sich dieser seinerseits mit der Geschwindigkeit $\mathfrak{u}$ in bezug auf einen Körper K'' bewegt, so erhält man die Geschwindigkeit $\mathfrak{w}$ des Körpers K in bezug auf K'' als Diagonale des Parallelogramms, dessen Seiten die Geschwindigkeiten $\mathfrak{u}$ und $\mathfrak{v}$ bilden.

Hat ein Flugzeug die Reisegeschwindigkeit $\mathfrak{v}$ relativ zur umgebenden Luft und herrscht die Windgeschwindigkeit $\mathfrak{u}$ relativ zur Erdoberfläche, so muß der Pilot die Maschine in Richtung B' steuern, wenn sie auf geradem Wege von A nach B fliegen soll. Der Kurs $\vec{AB'}$ ergibt sich durch die Forderung, daß die resultierende Geschwindigkeit $\mathfrak{w}$ des Flugzeuges in bezug auf die Erdoberfläche als Diagonale des mit den Seiten $\mathfrak{u}$ und $\mathfrak{v}$ gezeichneten Geschwindigkeitsparallelogramms in die Richtung $\vec{AB}$ fallen muß.

Ein künstlicher Erdsatellit umkreist die Erde in 1000 km Höhe auf einer Kreisbahn in der Äquatorebene; damit die Zentrifugalkraft der Kreisbewegung der Erdanziehungskraft das Gleichgewicht hält, muß er eine Bahngeschwindigkeit $\mathfrak{w} = 7{,}36$ km/s haben. Da sich ein Ort auf dem Erdäquator infolge der Rotation der Erde mit der Geschwindigkeit $\mathfrak{u} = 0{,}46$ km/s von Westen nach Osten bewegt, hat der Satellit in bezug auf die Erdoberfläche die Geschwindigkeit $\mathfrak{v}_1 = \mathfrak{w} - \mathfrak{u} = 6{,}90$ km/s bzw. $\mathfrak{v}_2 = \mathfrak{w} + \mathfrak{u} = 7{,}82$ km/s, je nachdem er die Erde von West nach Ost oder von Ost nach West umkreist. Für den Abschuß des Satelliten in westöstlicher Richtung ist daher eine geringere Treibstoffmenge erforderlich als für den Abschuß in der entgegengesetzten Richtung.



Parallelogramm der Geschwindigkeiten

Drehgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit der Drehung eines Körpers um eine Achse mißt man durch die *Winkelgeschwindigkeit* oder die *Umdrehungszahl* (*Drehzahl*). Die Winkelgeschwindigkeit ω erhält man, indem man den Winkel φ, um den sich der Körper in der Zeit t dreht, durch diese Zeit teilt: $\omega = \frac{\varphi}{t}$. Der Drehwinkel φ wird dabei im Bogenmaß (Radiant) gemessen, die Winkelgeschwindigkeit daher in rad/s (s^{-1}). Da der Vollwinkel (360°) im Bogenmaß den Wert 2π hat, besitzt ein Körper, der in 1 s n Umdrehungen ausführt, die Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi n$. In der Technik gibt man meist die Drehzahl U in Umdrehungen je Minute an; dann gilt $\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot U$.

Drehzahlen
in Umdrehungen/min

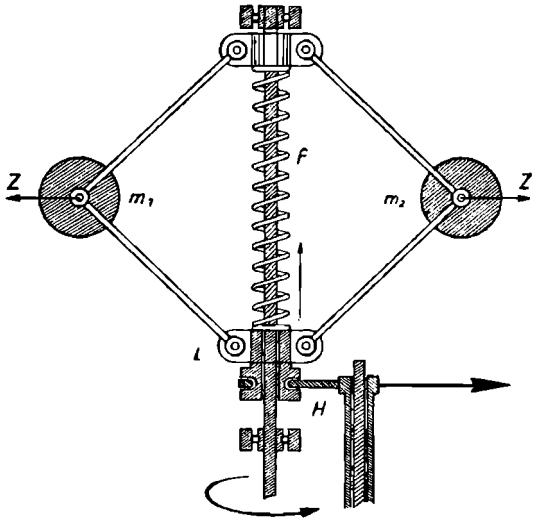
Pedale des Fahrrads	rd.	45	Propeller eines Flugzeugs	rd.	1500
Räder des Fahrrads	rd.	110	Kurbelwelle des Automotors (bei		
Schiffsschraube eines Dampfers	rd.	130	70 km/h)	rd.	2500
Räder eines Personenzuges	rd.	180	Dampfturbinen	1500	···6000
Schwungrad eines großen Diesel-			Kreiselkompaß	rd.	20000
motors	rd.	200	Ultrazentrifuge nach Svedberg	bis	120000
Wasserturbinen	50	···1000	Stahlkugel ($^3/_{16}$ Zoll), magnetisch		
Räder eines Autos (bei 70 km/h)	rd.	450	aufgehängt	rd.	6600000
Elektromotor	rd.	1200			

Analog zur ungleichförmigen Translationsbewegung erhält man die Winkelgeschwindigkeit ω in einem bestimmten Zeitpunkt bei ungleichförmiger Rotation, indem man den in der sehr kleinen

Zeit Δt zurückgelegten Winkel $\Delta\varphi$ durch Δt teilt: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$. Die Geschwindigkeit v (ms^{-1}) eines Punktes im Abstand r (m) von der Drehachse ist: $v = \omega r = \frac{2\pi}{60} \cdot Ur$.

Meßverfahren für Drehgeschwindigkeiten

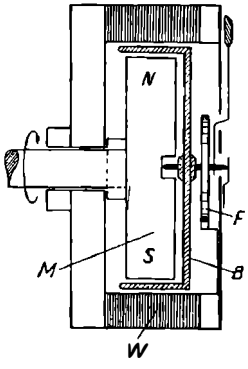
1. *Zentrifugaltachometer.* Auf die beiden Massen m_1 und m_2 wirkt infolge der Rotation die Zentrifugalkraft Z (Abb.). Dadurch wird das untere, auf der Achse verschiebbare Lager L gegen die elastische Kraft der Feder (und gegen die Schwerkraft) nach oben bewegt. Die Verschiebung des unteren Lagers, die über den Hebel H auf einen Zeiger übertragen wird, ist ein Maß für die Drehzahl.



Zentrifugaltachometer

2. *Wirbelstromtachometer.* Ein scheibenförmiger permanenter Magnet M (Abb.) rotiert in einem Aluminium- oder Kupferbecher B. Der von dem Magneten M ausgehende magnetische Fluß wird im Außenraum durch den aus gegeneinander isolierten Dynamoblechen bestehenden Weicheisenring kurzgeschlossen, so daß im Luftspalt zwischen M und W ein starkes Magnetfeld vorhanden ist. Durch die Rotation des Magneten werden in B starke Wirbelströme induziert, die auf M ein der Drehzahl proportionales Bremsmoment ausüben. Da Wirkung und Gegenwirkung einander entgegengesetzt gleich sein müssen, wirkt auf B ein entgegengesetzt gleich großes Drehmoment. Dieses dreht den Becher so weit aus seiner Ruhelage heraus, bis das elastische Rückstellmoment der Torsionsfeder F dem Drehmoment der Wirbelströme die Waage hält.

3. *Drehzahlferngeber.* Dieses Gerät stellt einen kleinen Wechselstromgenerator dar, bei dem ein mehrpoliger permanenter Magnet in feststehenden Induktionsspulen eine Wechselspannung induziert, deren Frequenz und Amplitude der Drehzahl des Magneten genau proportional sind. Meist wird die Wechselspannung gleichgerichtet und mit Hilfe eines Drehspulinstrumentes zur Anzeige gebracht. Um Drehzahlen sehr genau zu bestimmen, mißt man die Frequenz der Wechselspannung.

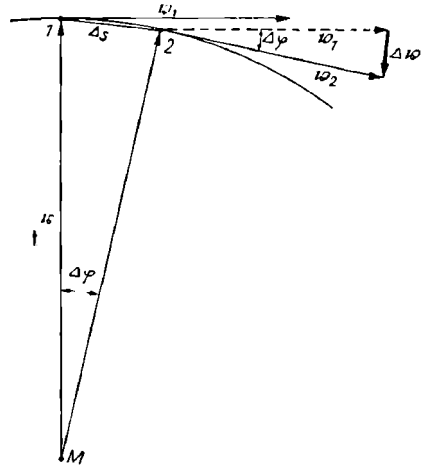


Wirbelstromtachometer

Beschleunigung. Ändert die Geschwindigkeit ihren Betrag oder ihre Richtung (oder beides), so heißt die Bewegung beschleunigt. Man spricht von *Bahnbeschleunigung*, wenn sich nur der Betrag, von *Radialbeschleunigung*, wenn sich nur die Richtung der Geschwindigkeit ändert. Die Beschleunigung ist eine gerichtete Größe, ein *Vektor*. Der Vektor der Bahnbeschleunigung hat (wie der Geschwindigkeitsvektor) die Richtung der Tangente an die Bahnkurve, während der Vektor der Radialbeschleunigung senkrecht auf der Bahnkurve steht.

Beschleunigte Bewegungen treten beim Anfahren (positive Bahnbeschleunigung) und beim Bremsen (negative Bahnbeschleunigung) von Fahrzeugen auf. Eine negative Bahnbeschleunigung bezeichnet man als *Verzögerung*. Ändert sich während der sehr kleinen Zeit Δt der Betrag der Geschwindigkeit um Δv, so ergibt sich die Bahnbeschleunigung b, indem man Δv durch Δt teilt: $b = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Eine Bewegung heißt *gleichmäßig beschleunigt* (verzögert), wenn b zeitlich konstant ist, d. h., wenn die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um den gleichen Betrag $\Delta v = b \cdot 1\,s$ zunimmt (abnimmt). Die *gleichförmige Kreisbewegung*, bei der ein Massepunkt mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einer Kreisbahn umläuft, stellt eine beschleunigte Bewegung dar. Die Beschleunigung ist dabei stets zum Mittelpunkt der Kreisbahn gerichtet. Sie ist also eine reine Radialbeschleunigung. Man bezeichnet sie auch als *Zentripetalbeschleunigung*. Ihre Größe ergibt sich aus nebenstehender Zeichnung: In der sehr kurzen Zeit Δt legt der Massepunkt den Weg Δs auf dem Kreisbogen

zwischen den Punkten 1 und 2 zurück, und der Radiusvektor r dreht sich um den kleinen Winkel $\Delta\varphi$. Um den gleichen Winkel dreht sich auch die Geschwindigkeit, da sie stets senkrecht zum Radiusvektor steht. Die Geschwindigkeit hat sich also in der Zeit Δt um den Vektor $\Delta\mathfrak{v} = \mathfrak{v}_2 - \mathfrak{v}_1$ geändert. Wenn man die Zeit Δt sehr klein wählt, kann man die Länge des Kreisbogens Δs durch den (geradlinigen) Abstand der Punkte 1 und 2 ersetzen. Es gilt dann wegen der Ähnlichkeit der beiden gleichschenkligen Dreiecke mit den Seiten v und Δv bzw. r und Δs: $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{r}$ oder $\Delta v = \frac{v}{r} \cdot \Delta s$. Teilt man auf beiden Seiten der Gleichung durch Δt und berücksichtigt, daß $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ die Geschwindigkeit v und $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ die Geschwindigkeitsänderung in der Zeiteinheit, also die gesuchte Zentripetalbeschleunigung ist, so erhält man für diese $b = \frac{v^2}{r}$. Da die Geschwindigkeit v mit der Winkelgeschwindigkeit ω durch $v = \omega r$ verknüpft ist, ergeben sich schließlich für die *Zentripetalbeschleunigung* die beiden gleichwertigen Formeln: $b = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$.



Zentripetalbeschleunigung bei der Kreisbewegung

Beschleunigungen werden in Meter je Quadratsekunde (ms^{-2}) gemessen. Als Einheit ist außerdem das Gal gebräuchlich (nach Galilei benannt): $1\ \text{Gal} = 1\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-2} = 0{,}01\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$. Häufig werden Beschleunigungen in Vielfachen der *Fallbeschleunigung* $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ausgedrückt. Die Angabe, daß eine Beschleunigung z. B. $15 \cdot g$ ist, besagt, daß auf einen Körper, der dieser Beschleunigung unterliegt, eine Kraft wirkt, die gleich dem 15fachen seines Gewichts auf der Erde ist.

Beschleunigungen
in ms^{-2}

Anfahren von Güterzügen mit Dampflokomotive	0,08
Anfahren von Personenzügen mit Dampflokomotive	0,12
Anfahren von Straßenbahnwagen	0,18
Anfahren von Schnellzügen mit Dampflokomotive	0,20
Anfahren von Schnellzügen mit elektrischer Lokomotive	0,25
Anfahren der Berliner Hoch- und Untergrundbahnzüge	0,55
freier Fall in Meereshöhe und bei 45° nördlicher oder südlicher Breite	9,806
Rakete (A 4), beim Start	rd. 10
Rakete (A 4), beim Brennschluß	rd. 40
Pulverrakete, beim Start	rd. 150
Ultrazentrifuge, Radialbeschleunigung	rd. $6 \cdot 10^6$

Verzögerungen
in ms^{-2}

Bremsen von Güterzügen	0,15
Bremsen von Straßenbahnwagen	0,35
Bremsen von Schnellzügen	0,40
Bremsen der Berliner Hoch- und Untergrundbahnzüge	0,95
Bremsen eines Autos mit Zweiradbremse	3,15
Bremsen eines Autos mit Vierradbremse	5,15

Drehbeschleunigung. Bei einer ungleichförmigen Drehbewegung wird die zeitliche Änderung der Winkelgeschwindigkeit durch die Winkelbeschleunigung gemessen. Ändert sich die Winkelgeschwindigkeit in dem sehr kleinen Zeitintervall Δt um $\Delta\omega$, so berechnet sich die Winkelbeschleunigung β zu: $\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$. Die Winkelbeschleunigung wird in rad/s^2 (s^{-2}) gemessen. Eine Winkelbeschleunigung von $1\ s^{-2}$ bedeutet, daß die Drehzahl in jeder Sekunde um $60/2\pi = 9{,}55$ Umdrehungen/min zunimmt.

MASSE, KRAFT, GEWICHT

Grundgesetze der Mechanik. Die klassische Mechanik ist auf drei Grundgesetzen, den *Newtonschen Axiomen*, aufgebaut.

1. Axiom (*Trägheitsgesetz*): Jeder Körper beharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.

2. Axiom (*Beschleunigungsgesetz, Impulssatz*): Die Änderung der Bewegungsgröße in der Zeiteinheit ist der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.

3. Axiom (*Reaktionsgesetz*): Zu einer Kraft besteht immer eine entgegengesetzt gerichtete und gleiche Gegenkraft; oder: die Kräfte, die zwei Körper aufeinander ausüben, sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.

Die Newtonschen Axiome beziehen sich auf punktförmige Körper. Da die Gesetze der Mechanik der starren und der Mechanik der deformierbaren Körper aus der Punktmechanik hergeleitet werden können, indem man sich die ausgedehnten Körper aus vielen Massepunkten zusammengesetzt denkt, bilden die Newtonschen Axiome die Grundlage der gesamten klassischen Mechanik.

Trägheit. Das erste Newtonsche Axiom sagt aus, daß jeder Körper ein *Beharrungsvermögen* oder eine *Trägheit* besitzt. Vermöge dieser Trägheit bleibt ein Körper, auf den keine Kraft wirkt, in Ruhe oder er bewegt sich geradlinig mit immer gleichbleibender Geschwindigkeit. Die kräftefreie Bewegung läßt sich allerdings experimentell nicht vollkommen verwirklichen, denn auf der Erde unterliegt jeder bewegte Körper neben der Schwerkraft bewegungshemmenden Reibungskräften, und im Weltraum wird die Bewegung durch die Massenanziehung zwischen dem Körper und benachbarten Himmelskörpern beeinflußt.

Impuls und Masse. Nach Newton ist die Bewegungsgröße $\mathfrak{J}$ durch das Produkt aus der „Menge der Materie" des Körpers und seiner Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ bestimmt. Statt Bewegungsgröße sagt man heute meist *Impuls*. Die Menge der Materie wird *Masse m* genannt. Es ist also: Impuls = Masse × Geschwindigkeit oder $\mathfrak{J} = m \cdot \mathfrak{v}$. Die Masse ist eine Grundgröße des physikalischen Maßsystems. Maßeinheit der Masse ist das Kilogramm (kg); 1 kg ist die Masse des im Internationalen Bureau für Maß und Gewicht in Sévres bei Paris aufbewahrten internationalen Kilogrammprototyps. Dieser stellt einen Platin-Iridium-Zylinder (90% Platin, 10% Iridium) von 39 mm Höhe und Durchmesser dar.

Ursprünglich war das Kilogramm definiert als Masse eines Kubikdezimeters reinen Wassers bei der Temperatur seiner maximalen Dichte (3,98 °C) und 760 Torr. Durch die 1875 in Paris abgeschlossene *Meterkonvention* wurde festgelegt, daß zur Verkörperung des Kilogramms untereinander möglichst gleichartige Prototype aus Platin-Iridium hergestellt und an die Mitgliedstaaten der Meterkonvention verteilt werden. Der in Paris aufbewahrte internationale Prototyp definiert seither das Kilogramm. Später mit großer Präzision ausgeführte Vergleichsmessungen ergaben, daß die Masse des internationalen Prototyps 1,000028mal größer als die Masse von 1 dm^3 reinen Wassers von 3,98 °C ist; 1 kg reines Wasser nimmt daher bei der Temperatur seiner maximalen Dichte nicht — wie mit der ursprünglichen Definition des kg beabsichtigt — ein Volumen von 1 dm^3, sondern von 1,000028 dm^3 ein. Dieses Volumen wird 1 *Liter* (*l*) genannt.

Die Masse hängt nicht ab von den Kräften, die auf den Körper wirken; daher ändert sie sich nicht (im Gegensatz zum Gewicht), wenn der Körper an einen Ort gebracht wird, an dem die Massenanziehungskraft (Schwerebeschleunigung) von der am Ausgangsort verschieden ist (z. B. auf einem anderen Himmelskörper).

In der Newtonschen Mechanik wird in Übereinstimmung mit der täglichen Erfahrung angenommen, daß die Masse auch von der Geschwindigkeit unabhängig ist. Messungen an schnellen atomaren Teilchen ergaben jedoch, daß sie mit der Geschwindigkeit anwächst. Die Erklärung für die Zunahme der Masse mit der Geschwindigkeit liefert die *spezielle Relativitätstheorie*. Bei den auf der Erde vorkommenden Bewegungen makroskopischer Körper ist die Massezunahme allerdings so klein, daß die Gesetze der Newtonschen Mechanik als praktisch exakt gültig angesehen werden können; z. B. beträgt der Massezuwachs eines Weltraumschiffes von 10 t Ruhmasse bei einer Geschwindigkeit von 11,2 km/s (Geschwindigkeit, die zur Überwindung der Erdanziehung erforderlich ist) nur 7 mg.

Kraft und Gewicht. Der Begriff *Kraft* ist jedem als Empfindung in seinen Muskeln unmittelbar gegeben. Wenn man einen Stein fortschleudert oder eine Schraubenfeder ausdehnt, muß man die Armmuskeln anspannen, d. h. Muskelkraft aufwenden. Die gewählten Beispiele zeigen, daß eine Kraft zweierlei Wirkungen hervorbringen kann.

1. *Dynamische Wirkung der Kraft. Die Kraft ist die Ursache für die Änderung des Bewegungszustandes* eines (frei beweglichen) Körpers. Der Stein, der aus der Hand des Werfenden mit einer bestimmten Geschwindigkeit wegfliegt, hat durch die Muskelkraft eine Beschleunigung erfahren. Aus der Erfahrung ist bekannt, daß ein geworfener Körper um so weiter fliegt, d. h., daß

ihm eine um so größere Beschleunigung erteilt wurde, je größer die beim Wurf aufgewandte Kraft $\mathfrak{K}$ war. Vergleicht man andererseits die Wurfweiten, die Körper mit verschiedenen Massen (etwa ein Ziegelstein und ein Tennisball) bei gleicher Kraftanstrengung erreichen, so findet man, daß die Beschleunigung $\mathfrak{b}$ um so kleiner ist, je größer die Masse m des Körpers ist. Das 2. Newtonsche Axiom gibt den quantitativen Zusammenhang zwischen Kraft $\mathfrak{K}$, Masse m und Beschleunigung $\mathfrak{b}$ an. Es sagt aus, daß die Änderung der Bewegungsgröße $\mathfrak{J} = m \cdot \mathfrak{v}$ in der Zeiteinheit proportional der wirkenden Kraft $\mathfrak{K}$ ist. Ändert sich also in dem (kleinen) Zeitintervall Δt die Bewegungsgröße um $\Delta \mathfrak{J} = \Delta(m\mathfrak{v})$, so gilt $\frac{\Delta \mathfrak{J}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\mathfrak{v})}{\Delta t} = c \cdot \mathfrak{K}$, wobei c eine Proportionalitätskonstante bedeutet, die durch Wahl einer geeigneten Maßeinheit der Kraft noch festzulegen ist. In der klassischen Mechanik sieht man die Masse m als unveränderlich während der Bewegung an; man darf daher schreiben: $\Delta(m\mathfrak{v})/\Delta t = m \cdot \Delta\mathfrak{v}/\Delta t$. Da die Geschwindigkeitsänderung in der Zeiteinheit $\Delta\mathfrak{v}/\Delta t$ die Beschleunigung $\mathfrak{b}$ ist, erhält man für das *2. Newtonsche Axiom* das *Grundgesetz der Mechanik:* $m \cdot \mathfrak{b} = c \cdot \mathfrak{K}$.

Die Abhängigkeit der Beschleunigung $\mathfrak{b}$ von der Kraft $\mathfrak{K}$ und der Masse m erkennt man am besten, wenn man die Gleichung auf beiden Seiten durch m dividiert: $\mathfrak{b} = c \cdot \frac{\mathfrak{K}}{m}$.

I. Bei konstantem m, d. h. bei ein und demselben Körper, ist die *Beschleunigung der wirkenden Kraft proportional.*

II. Wirkt die gleiche Kraft ($\mathfrak{K}$ = konstant) auf Körper mit verschiedenen Massen, so sind die Beschleunigungen den Massen der Körper umgekehrt proportional.

Wie die Beschleunigung ist auch die Kraft eine gerichtete Größe, ein Vektor. Eine Kraft ist durch Angabe des *Betrages* (Größe der Kraft), der *Richtung* und des *Angriffspunktes* vollständig bestimmt. Nach dem 2. Newtonschen Axiom haben die wirkende Kraft und die durch sie hervorgerufene Beschleunigung (bei frei beweglichen Körpern) gleiche Richtung.

2. *Statische Wirkung der Kraft. Die Kraft ist die Ursache für Änderungen der Form* (*Deformationen*) des Körpers, auf den die Kraft wirkt. In dem oben angeführten Beispiel bewirkt die Muskelkraft eine Verlängerung einer Schraubenfeder. Bei einer Dehnung der Feder werden die Atome, aus denen die Feder besteht, ein wenig aus ihren gegenseitigen Gleichgewichtslagen verschoben. Das Bestreben der Atome eines festen Körpers, in ihre Gleichgewichtslagen zurückzukehren, ist die Ursache für die in der Feder durch die Deformation hervorgerufenen und dieser entgegenwirkenden *elastischen Spannungen.* Die Feder verlängert sich so weit, bis die (mit der Dehnung wachsende) elastische Spannkraft der wirkenden Muskelkraft das Gleichgewicht hält, d. h., bis beide Kräfte entgegengesetzt gleich geworden sind.

Jeder Körper, der sich im Zustand der Ruhe befindet, obwohl auf ihn äußere Kräfte wirken, ist deformiert. Die durch die Deformation entstehenden inneren Spannungen halten den äußeren Kräften das Gleichgewicht.

In vielen Fällen ist allerdings die Deformation der festen Körper durch äußere Kräfte so klein, daß sie mit dem bloßen Auge nicht wahrgenommen werden kann. Empfindliche Meßmethoden gestatten jedoch, noch äußerst geringe Deformationen festzustellen, z. B. die Kompression von Bausteinen bei Drücken, die den Belastungen des Mauerwerkes in Gebäuden entsprechen. In der Mechanik starrer Körper sieht man von der statischen Wirkung der Kräfte ab und behandelt die wirklichen festen Körper so, als wären sie nicht verformbar.

Die statische Wirkung der Kraft tritt nicht nur bei ruhenden, sondern auch bei frei beweglichen Körpern auf, die sich unter der Einwirkung einer Kraft beschleunigt bewegen. Die Trägheitskraft, die der beschleunigte Körper der äußeren Kraft entgegensetzt, setzt sich aus den Trägheitskräften der einzelnen Atome zusammen, aus denen der Körper besteht. Die Übertragung dieser *elementaren Trägheitskräfte* auf den Angriffspunkt der äußeren Kraft erfolgt durch innere elastische Spannungen, die durch eine (im allgemeinen geringfügige) Deformation des Körpers entstehen.

Die Schwerkraft. Alle Körper unterliegen auf der Erde der Wirkung der senkrecht nach unten gerichteten Schwerkraft. Sie ist die Ursache für das *Fallen* frei beweglicher Körper und für die Druck- oder Zugkraft, die unterstützte bzw. aufgehängte Körper auf die Halterung ausüben. Diese Druck- bzw. Zugkraft nennt man das *Gewicht* der Körper.

Es wird hier vorausgesetzt, daß sich die Körper in einem luftleeren Raum (Vakuum) befinden. In Luft erfahren alle Körper einen *Auftrieb*, um den sich ihr Gewicht vermindert. Er beträgt (am Erdboden) je dm^3 des Rauminhaltes eines Körpers etwa 1,3 p, ist also bei den dichteren Körpern (Flüssigkeiten und feste Körper) sehr klein im Vergleich zu ihrem Gewicht. Bei mit leichten Gasen gefüllten Ballonen kann er aber größer werden als das Gewicht, so daß sich für solche Körper in Luft insgesamt eine der Schwerkraft entgegengesetzt gerichtete Kraft senkrecht nach oben ergibt. Darüber hinaus wirkt auf bewegte Körper der *Reibungswiderstand* der Luft, der die Bewegung hemmt. Der Fall der Körper in Luft verläuft dadurch anders als im Vakuum.

Sehr genaue Fallversuche im Vakuum haben ergeben: *Am gleichen Ort der Erde fallen alle Körper gleich schnell;* d. h., die Schwerkraft erteilt am gleichen Ort allen Körpern unabhängig von ihrer Art und Masse die gleiche Beschleunigung.

Das aus der täglichen Erfahrung bekannte unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Gegenstände beim freien Fall verschwindet also im Vakuum: ein Wattebausch und eine Stahlkugel, die man in einem evakuierten Rohr im gleichen Zeitpunkt aus der gleichen Höhe fallen läßt, schlagen gleichzeitig auf dem Boden des Gefäßes auf.
Man bezeichnet die *Fallbeschleunigung* auf der Erde (Erdbeschleunigung) mit g. Sie hängt ein wenig von der geographischen Breite und von der Höhe über dem Meeresspiegel ab. In unseren Breiten (45° bis 55°) hat die Fallbeschleunigung im Mittel den Wert $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$.
Nach dem Grundgesetz der Mechanik erhält man die auf einen Körper der Masse m wirkende Kraft $\mathfrak{K}$ (bis auf die von der Wahl der Maßeinheiten abhängige Konstante c), indem man die Beschleunigung $\mathfrak{b}$ mit m multipliziert. Speziell für die *Schwerkraft* $\mathfrak{G}$, d. h. für das *Gewicht* eines Körpers, ergibt sich daher, wenn man $\mathfrak{K} = \mathfrak{G}$ und $\mathfrak{b} = \mathfrak{g}$ setzt:

$$m\,\mathfrak{g} = c\,\mathfrak{G}$$

Aus dem Ergebnis der Fallversuche folgt damit für die Schwerkraft der wichtige Satz: *Die Gewichte sind (am gleichen Ort) den Massen der Körper proportional.*

Maßeinheiten für Kraft und Gewicht. Sowohl in den physikalischen Maßsystemen als auch im technischen Maßsystem setzt man die Konstante $c = 1$. Das *Grundgesetz der Mechanik* schreibt sich dann einfach: $\mathfrak{K} = m \cdot \mathfrak{b}$ oder Kraft = Masse · Beschleunigung, und speziell für die Schwerkraft: $\mathfrak{G} = m \cdot \mathfrak{g}$, d. h., Gewicht = Masse · Fallbeschleunigung.

1. *Physikalische Maßsysteme.* In diesen ist (neben Länge und Zeit) die Masse eine Grundgröße, hingegen die Kraft eine abgeleitete Größe.

a) Im MKS-*System* mißt man die Masse m in kg und die Beschleunigung $\mathfrak{b}$ in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ und erhält als Krafteinheit: $1\ \mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2}} = 1$ Newton $= 1$ N. Danach ist 1 *Newton* (1 N) die Kraft, die einer Masse von 1 kg die Beschleunigung $1\ \mathrm{m/s^2}$ erteilt.

b) Im CGS-*System* mißt man die Masse m in g und die Beschleunigung $\mathfrak{b}$ in $\mathrm{cm \cdot s^{-2}}$ und erhält als Krafteinheit: $1\ \mathrm{cm \cdot g \cdot s^{-2}} = 1$ dyn. Danach ist 1 *dyn* die Kraft, die einer Masse von 1 g die Beschleunigung $1\ \mathrm{cm/s^2}$ (1 Gal) erteilt.
Da 1 m = 100 cm und 1 kg = 1000 g, gilt $1\ \mathrm{N} = 10^5$ dyn.

2. *Technisches Maßsystem.* Neben Länge und Zeit ist hier die Kraft eine der drei Grundgrößen, die Masse hingegen eine abgeleitete Größe. Die Einheit der Kraft heißt 1 Kilopond = 1 kp; diese Kraft erteilt einer Masse von 1 kg eine Beschleunigung von $g_N = 9{,}80665\ \mathrm{m/s^2}$ (Normfallbeschleunigung).
Da nach dieser Festlegung eine Masse von 1 kg durch die Kraft 1 kp eine 9,80665mal größere Beschleunigung erfährt als durch eine Kraft von 1 N, gilt für die Umrechnung der *Kraft- und Gewichtseinheiten*: $1\ \mathrm{kp} = 9{,}80665\ \mathrm{N} = 9{,}80665 \cdot 10^5$ dyn.
Aus $m = \mathfrak{K}/\mathfrak{b}$ ergibt sich für die Masseeinheit im technischen Maßsystem $1\ \frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{m \cdot s^{-2}}} = \mathrm{m^{-1} \cdot kp \cdot s^2}$.
Eine besondere Benennung ist für diese Masseeinheit nicht gebräuchlich. Wenn man $1\ \mathrm{kp} = 9{,}80665\ \mathrm{N} = 9{,}80665\ \mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2}}$ in $1\ \mathrm{m^{-1} \cdot kp \cdot s^2}$ einsetzt, erhält man die Umrechnungsbeziehung:
1 technische Masseeinheit $= 1\ \mathrm{m^{-1} \cdot kp \cdot s^2} = 9{,}80665$ kg.
Meist rechnet man jedoch in der Technik nicht mit dieser Masseeinheit, sondern benutzt ein gemischtes Maßsystem, in dem man die Masse in kg und die Kraft in kp mißt. Dann wird die Konstante $c = 9{,}80665\ \frac{\mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2}}}{\mathrm{kp}}$, so daß das Grundgesetz die Form annimmt

$$\mathfrak{K} = \frac{1}{9{,}80665}\left[\frac{\mathrm{kp}}{\mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2}}}\right] m \cdot \mathfrak{b}.$$

Denn wenn man hierin 1 kg für die Masse m und für die Beschleunigung $\mathfrak{b}$ die Normfallbeschleunigung g_N einsetzt, ergibt sich für $\mathfrak{K}$ der Wert 1 kp, wie es nach der Definition des kp sein muß.
Der Wert der *Normfallbeschleunigung* wurde 1901 international festgelegt. Er entspricht dem Wert der Fallbeschleunigung unter 45° nördlicher oder südlicher geographischer Breite in Meeresspiegelhöhe nach den Ergebnissen von Präzisionsmessungen, die zu dieser Zeit vorlagen. Da an nahezu allen Orten der Erdoberfläche die Abweichung der tatsächlich vorhandenen Fallbeschleunigung von der Normfallbeschleunigung kleiner als 0,5% bleibt, ist der Zahlenwert des in kp gemessenen Gewichts eines Körpers praktisch gleich dem Zahlenwert seiner in kg gemessenen Masse.

Meßmethoden für Kraft und Masse. *Kräfte* können *dynamisch* aus der einer bekannten Masse erteilten Beschleunigung, *statisch* durch Kompensation mit einer bekannten Kraft oder durch *indirekte Verfahren* bestimmt werden.
Zur Bestimmung der *Masse* kann man ihre beiden Grundeigenschaften heranziehen, die *Trägheit* gegenüber Beschleunigungen und die *Schwere*, d. h. ihr Gewicht.

Kraftmessung. Die dynamische Kraftmessung wird kaum angewendet.

Auswägen von Kräften. Die *Schwerkraft*, die auf bekannte Massen (*Gewichtstücke*, *Wägestücke*) wirkt, kompensiert die zu messende Kraft. Im einfachsten Fall läßt man diese an dem einen Ende

eines über eine Rolle geführten Seiles angreifen und belastet das andere Ende mit Gewichtstücken, bis Gleichgewicht hergestellt ist. Man benutzt auch ein System von Hebeln, um Kräfte gegebener Richtung in eine zur Kompensation mit Gewichtstücken geeignete Richtung und Größenordnung umzuwandeln.

Dynamometer. Die *elastische Kraft* eines festen Körpers, der durch die zu messende Kraft gedehnt oder verdrillt wird, kompensiert die zu messende Kraft. Die Längenänderungen bzw. die Torsionswinkel, die nach dem Hookeschen Gesetz für elastische Stoffe in weiten Grenzen den Belastungen proportional sind, dienen als Maß für die Kraft. Geräte zur Kraftmessung durch elastische Deformation heißen *Dynamometer*; zu ihnen gehören die *Federwaagen* (mit Schraubenfeder) und die *Torsionswaagen* (mit Spiralfeder). Durch Belastung mit bekannten Gewichten können die Dynamometer geeicht werden.

Magnetische Kompensation. Die *magnetische Kraft*, die auf eine stromdurchflossene Spule im Magnetfeld wirkt, kompensiert die zu messende Kraft. Dieses Verfahren eignet sich besonders zum Fernabgleich von Hebelwaagen, z. B. bei Wägungen im Vakuum.

Indirekte Verfahren. Zur indirekten Messung von Kräften, insbesondere zur elektrischen Registrierung des zeitlichen Verlaufs von Wechselkräften, nutzt man entweder den *piezoelektrischen Effekt* aus, d. h. die Erzeugung elektrischer Ladungen auf den Oberflächen bestimmter Kristalle (Quarz, Seignettesalz u. a.) durch Belastung, oder die *Änderung des elektrischen Widerstandes* übereinandergeschichteter Kohleplättchen durch äußeren Druck.

Massebestimmung. Praktische Bedeutung hat die Massebestimmung durch Wägung; sie beruht auf dem Vergleich des Gewichts mit einer bekannten Kraft.

Wägung mit Dynamometern. Mit Dynamometern wird das Gewicht $G = m \cdot g$ bestimmt. Ihre Eichung in kg, g oder mg gilt streng nur für den Wert der Fallbeschleunigung, bei dem die Eichung durch Belastung mit bekannten Massen vorgenommen wurde. Die dynamometrische Wägung kann mit Vorteil angewandt werden, wenn es auf geringen Zeitaufwand ankommt und eine Genauigkeit der Messungen von 1 bis 2 % genügt. Torsionswaagen (mit Uhrfederspiralen) eignen sich besonders als Mikrowaagen: es läßt sich eine Empfindlichkeit von 0,001 mg erreichen.

Wägungen mit Hebelwaagen. Bei diesen wird das Gewicht $G_x = m_x \cdot g$ der zu bestimmenden Masse m_x mit dem Gewicht $G_0 = m_0 \cdot g$ einer bekannten Masse m_0 (Gewichtstück) verglichen. Der Wert der Fallbeschleunigung geht in das Ergebnis der Wägung nicht ein; d. h., Nullabgleich bzw. Ausschlag der Waage bleiben erhalten, wenn man sich die Waage von einem Ort der Erde nach einem beliebigen anderen transportiert denkt. *Mit Hebelwaagen werden also Massen, mit Federwaagen Gewichte bestimmt.*

Man kann die Hebelwaagen einteilen in Waagen für Nullabgleich und in Neigungswaagen. *Neigungswaagen* haben ein fest eingebautes Gegengewicht, das bei Belastung der Waage gehoben wird. Die Größe der Last wird direkt auf einer Skale angezeigt, z. B. bei der Briefwaage. Bei den *Waagen für Nullabgleich* unterscheidet man *Waagen mit konstanten Hebelarmen* (Abgleich durch Auflegen geeigneter Gewichtstücke) und *Waagen mit konstanten Laufgewichten* (Abgleich durch Änderung des Hebelarmes, an dem die Laufgewichte verschiebbar angebracht sind; z. B. Küchenwaagen). Die meisten modernen Gebrauchswaagen sind *Brückenwaagen*. Bei diesen wird durch ein doppeltes Hebelsystem dafür gesorgt, daß bei der Wägung die Lastauflagefläche waagerecht bleibt. *Dezimal-* und *Zentesimalwaagen* sind Brückenwaagen für Nullabgleich, bei denen das Verhältnis der Hebelarme so gewählt wird, daß die Masse der zum Abgleich erforderlichen Gewichtstücke nur ein Zehntel bzw. ein Hundertstel der Masse der Last beträgt. *Analysenwaagen* sind gleicharmige Hebelwaagen für präzise Wägungen. In der Normalausführung haben sie bei einer Höchstlast von 200 g eine Empfindlichkeit von etwa 0,1 mg. Mikroausführungen haben gewöhnlich eine etwa 10mal größere Empfindlichkeit (0,01 mg), ihre maximale Belastbarkeit beträgt aber nur etwa 20 g. Die *Empfindlichkeit* der Analysenwaagen ist um so größer, je größer die Länge und je kleiner die Masse des Waagebalkens ist. Da die Empfindlichkeit andererseits in unerwünschter Weise von der Durchbiegung des *Balkens* bei der Belastung der Waage abhängt, hat dieser bei modernen Waagen meist eine hohe flache Form und ist zwecks Gewichteinsparung durchbrochen. Am Balken sind 3 *Achatschneiden* angebracht, die auf je einer Achatplatte (Pfanne) aufliegen. Die nach unten gerichtete Mittelschneide bildet die Drehachse des Balkens, während die beiden nach oben gerichteten Endschneiden das Gehänge mit den Waagschalen tragen. Mit Hilfe einer *Arretierungsvorrichtung* können die Schneiden bei Nichtbenutzung der Waage entlastet werden. Über den Waagschalen angeordnete Aluminiumbecher dämpfen durch Luftreibung die Schwingungen der Waage. Ein Glaskasten schützt die Waage vor Zugluft und Verstaubung. Die meisten Analysenwaagen haben heute eine *automatische Bruchgrammauflage*, die es gestattet, Gewichte von 10 mg bis 1 g (in Form von Ringgewichten) auf einen besonderen Arm am Gehänge aufzulegen, ohne den Kasten zu öffnen. Kleinere Gewichtstücke als 10 mg werden im allgemeinen nicht benutzt. Den Feinabgleich der Waage stellt man her, indem man einen 10-mg-*Reiter* (aus Platin- oder Aluminiumdraht) auf einer am Waagebalken angebrachten Schiene mit Hilfe eines von außen bedienbaren Mechanismus verschiebt. Der Abstand zwischen der Mittelschneide und den Endschneiden ist auf der Schiene (nach jeder Seite) durch Kerben in 100 gleiche Teile unterteilt. Eine Verschiebung des Reiters um einen Skalenteil ist einer Änderung

der Belastung einer Waagschale um 0,1 mg gleichwertig. Genaue Wägungen erfordern die Berücksichtigung des Luftauftriebes des zu wägenden Körpers und der Gewichte (*Reduktion der Wägung auf den leeren Raum*) sowie die Bestimmung der Abweichung der Waagebalkenarme von der Gleicharmigkeit durch Wägung des Körpers auf der linken und auf der rechten Waagschale (*Gaußsche Doppelwägung*).

Dichte, Wichte. Wenn man sagt, Eisen sei schwerer als Aluminium, so meint man damit, daß ein Körper aus Eisen mehr wiegt als ein volumengleicher Körper aus Aluminium; z. B. ist die Masse eines Eisenwürfels von 1 dm Kantenlänge 7,8 kg, die eines gleichgroßen Aluminiumwürfels aber nur 2,7 kg. Die durch das Volumen V (Rauminhalt) geteilte Masse m eines Körpers bezeichnet man als seine *Dichte d*, da sie ein Maß dafür ist, wie dicht die Materie in dem Stoff gepackt ist, aus dem der Körper besteht.

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}, \quad d = \frac{m}{V}.$$

Maßeinheiten der Dichte sind kg/m³ (kg · m^{-3}), kg/dm³ (kg · dm^{-3}), g/cm³ (g · cm^{-3}). Da 1 kg = 1000 g und 1 dm³ = 1000 cm³ = 0,001 m³ sind, gilt für die Umrechnung der Dichteeinheiten:

$$1\,\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Zum Unterschied von der Dichte bezeichnet man als *spezifisches Gewicht* oder *Wichte s* eines Stoffes das durch das Volumen V geteilte Gewicht G:

$$\text{Wichte} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}}, \quad s = \frac{G}{V}.$$

Maßeinheiten des spezifischen Gewichts sind kp/dm³, p/cm³ (1 kp/dm³ = 1 p/cm³).
Da das Gewicht eines Körpers auf der Erde (in geringem Maße) von der geographischen Breite und von der Höhe über dem Meere abhängt, sind auch die spezifischen Gewichte der Stoffe zum Unterschied von den Dichten keine vom Ort unabhängigen Konstanten. Aus diesem Grunde vermeidet man heute meist den Begriff spezifisches Gewicht (und Wichte) und gibt an Stelle der Wichten der Stoffe ihre Dichten an.
Da nach der Definition der Gewichtseinheit 1 kp das Gewicht von 1 kg Masse unter 45° geographischer Breite und in Meeresniveau ist, stimmen die Zahlenwerte der spezifischen Gewichte (in kp/dm³) mit den Zahlenwerten der Dichten (in kg/dm³) auf dem 45. Breitengrad in Meeresniveau genau überein und weichen auch an anderen Orten der Erde nur wenig von diesen ab.
Wegen der Wärmeausdehnung und der Zusammendrückbarkeit der Körper hängen die Dichten der Stoffe von der Temperatur und vom äußeren Druck ab. Die Dichten der Gase gibt man meist im Normalzustand (0 °C und 760 Torr) an. Bei den Flüssigkeiten und festen Körpern ist die Kompressibilität so gering, daß man auf die Angabe eines bestimmten Luftdruckes verzichten kann.
Als *Dichteverhältnis* bezeichnet man die (dimensionslose) Zahl, die man erhält, wenn man die Dichte eines Stoffes durch die Dichte eines bestimmten Bezugsstoffes teilt. Die Dichten von Gasen bezieht man oft auf die Dichte der Luft. Dividiert man die Dichte eines Stoffes durch die Dichte reinen Wassers von 4 °C, so nennt man das Dichteverhältnis *Dichtezahl*. Da 1 kg Wasser bei 4 °C ein Volumen von genau $1\ l = 1{,}000028$ dm³ ausfüllt, ist seine Dichte $d = 1$ kg/1,000028 dm³ = 0,999972 kg/dm³; d. h., sie kann für die meisten praktischen Belange gleich 1 kg/dm³ gesetzt werden. Die Dichtezahlen der Stoffe stimmen daher nahezu mit den Zahlenwerten der in kg/dm³ oder in g/cm³ gemessenen Dichten überein.
Zahlreiche technisch wichtige feste Stoffe sind mehr oder weniger porös (z. B. Ziegel, Koks). In diesen Fällen gibt man im allgemeinen die *Rohdichte* (auch als *Raumeinheitsgewicht* bezeichnet) an, bei der im Gegensatz zur *Reindichte* das Porenvolumen mit zum Rauminhalt gerechnet wird.
Bei gekörnten und pulverigen Stoffen (*Schüttgut*) hat man ferner zwischen der Dichte der einzelnen Körner oder Brocken (*Korndichte*) und der Dichte des aufgeschütteten Materials unter Einschluß der Luftzwischenräume (*Schüttgewicht*) zu unterscheiden.
Der *Schüttwinkel* von Schüttgut ist der Winkel, den die seitlichen Begrenzungsflächen des von oben her frisch aufgeschütteten Haufens mit der waagerechten Bodenebene bilden.

Dichte fester Stoffe in kg/dm³

Bei porösen Stoffen ist die Rohdichte der Körner bzw. Brocken angegeben. Schüttgewichte sind durch * gekennzeichnet; für Dichten von Mineralen vgl. Erde (Mineralogie, Lagerstättenkunde und geophysikalische Lagerstättenerkundung).

Metalle (Bestandteile in Gewichtsprozenten)	
Aluminium, rein	2,703
käufliches Blech	2,713
gegossen	2,56
Blattgold, unechtes (77···85% Cu, 23···15% Zn)	8,5···8,7
Bronze, gewöhnlich (80···94% Cu, 20···6% Sn)	8,7···8,9
Aluminiumbronze (80···95% Cu, 20···5% Al)	7,7···8,6

Berylliumbronze (90···98 % Cu, 10···2 % Be)	8,2···8,8
Duralumin (2,5···5 % Cu, 0,2···2,5 % Mg, 0,2···1,5 % Si, 0,3···1,5 % Mn, Rest: Al)	2,7···2,8
Elektron (90···98 % Mg, 0···10 % Al, Spuren: Mn, Cu, Zn)	1,7···1,8
Eisen und Stahl (wesentliche Bestandteile neben Eisen)	
Roheisen, grau (3···5 % C, 1 bis 3,3 % Si)	6,6···7,4
Roheisen, weiß (3···5 % C, 0···1 % Si)	7,6···7,8
Gußeisen (1,7···4 % C)	7,2···7,6
Stahl, unlegiert (0,05···1,7 % C)	7,70···7,86
Chromstahl (Ventilstahl) (12 % Cr, 1,8 % Co, 1,2 % Mo, 1,4 % C)	7,72
Kobaltstahl (35 % Co)	8,0
Wolframstahl (Schnellschnittstahl) (20 % W)	9,0
V2A-Stahl (18 % Cr, 8 % Ni)	7,7
Invar-Stahl (35···37 % Ni)	8,1
Alnico-Magnetstahl (5 % Co, 20 % Ni, 12 % Al)	6,9
Oerstit-Magnetstahl (27 % Ni, 12,5 % Al)	7,0
Dynamoblech (0,04···4,1 % Si)	7,86···7,60
Hartblei (75···94 % Pb, 6···25 % Sb)	10,2···11,1
Kupfer, rein	8,933
Elektrolytkupfer	8,952
Kupferdraht, hart	8,96
Kupferdraht, geglüht	8,86
Konstantan (60 % Cu, 40 % Ni)	8,8
Messing (60···80 % Cu, 40···20 % Zn)	8,1···8,6
Neusilber (50···60 % Cu, 15···30 % Zn, 15···35 % Ni)	8,4···8,7
Nickel, gegossen	8,90
Nickeldraht, hart	8,76
Nickeldraht, weich	8,84
Platin-Iridium (90 % Pt, 10 % Ir)	21,6
Silber, rein	10,40
Elektrolytsilber	10,53
Tombak, rot (90 % Cu, 10 % Zn)	8,7
gelb (72 % Cu, 28 % Zn)	8,6
Schnellschnittmetall (90 % WC, 10 % Co)	14,4
Zink, gegossen	7,04···7,14
rein ungepreßt	6,923
rein gepreßt	7,127
Zinn, rein	7,28
gegossen	7,2
gewalzt	7,4

Glas

Optische Gläser	
Kronglas, leicht	2,2···2,7
Kronglas, schwer	2,9···3,8
Flintglas, leicht	2,5···3,2
Flintglas, schwer	3,5···5,9
Quarzglas	2,20
Chemisch-technische Jenaer Gläser	
Geräteglas 20	2,41
Rasothermglas	2,25
Duranglas	2,32
Fensterglas	2,4···2,6
Spiegelglas	2,5···2,7
Kristallglas (25 % Bleioxyd)	2,90
Flaschenglas	2,6

Harze, Hochpolymere

Bernstein	1,0···1,1
Gummi	
Rohkautschuk	0,91···0,94
Weichgummi, vulkanisiert ohne Zusätze	0,96
25 % Ruß	1,15
Hartgummi ohne Zusätze	1,12···1,8
Buna S ohne Zusätze	0,92
Buna S mit 30 % Ruß	1,2
Guttapercha	1,0
Kolophonium	1,07
Melaminharz	1,55
organisches Glas (Polymethakrylat)	1,18
Phenoplast	
ohne Füllstoff	1,26···1,33
mit anorganischem Füllstoff	1,7···2,2
mit organischem Füllstoff	1,3···1,5
Polyamide	1,13
Polyäthylen	0,92
Polystyrol	1,05···1,18
Polyvinylchlorid	1,34···1,38
Zellon (Zelluloseazetat)	1,3···1,4
Zelluloid	1,35···1,6

Holz, lufttrocken

Ahorn	0,53···0,8
Balsaholz	0,08···0,2
Birke	0,52···0,8
Birnbaum	0,6···0,75
Buche (Rotbuche)	0,6···0,9
Buchsbaum	0,9···1,15
Ebenholz	1,05···1,2
Eiche	0,5···1,0
Esche	0,5···0,95
Fichte	0,35···0,65
Gabun	0,25···0,55
Guajakholz, Pockholz	1,1···1,35
Kiefer	0,32···0,7
Kirschbaum	0,75···0,85
Linde	0,35···0,6
Mahagoni	0,55···1,05
Nußbaum	0,6···0,8
Pappel (Schwarzpappel)	0,4···0,6
Pitchpine	0,82···0,85
Tanne	0,35···0,75
Teakholz	0,5···0,85
Ulme (Rüster)	0,5···0,85
Weide	0,4···0,6

Baustoffe, Gesteine, Schlacke

Asbestpappe	1,0···1,5
Asphalt	1,0···1,5
Basalt	2,8···3,1
Beton	
Kies- und Granitbeton	2,0···2,4
Kalksteinbeton	2,0
Ziegelbeton	1,8
Bimsstein	0,4···0,9
Bitumen	1,05
Dachziegel	2,6
Gips, gebrannt	1,6···1,8
Gneis	2,5···2,9
Granit	2,5···3,0
Kalk, gebrannt	2,8···3,2

Kalk, gebrannt	*	0,9···1,2
Kalk, gelöscht		2,2···2,3
Kalk, gelöscht	*	1,1···1,3
Kalkmörtel, trocken		1,6···1,65
Kalkstein		2,5···2,8
Kaolin (Porzellanerde)		2,2···2,6
Kies, trocken	*	1,8···2,0
Kreide		1,8···2,7
Lehm		1,5···1,8
Leichtbauplatten (Holzwolle m. Zement od. Gips)		0,35···0,55
Marmor		2,5···2,9
Meerschaum		0,99···1,28
Porphyr		2,4···2,8
Sand, feucht	*	1,9···2,1
Sand, trocken	*	1,4···1,65
Schamotte		1,7···2,1
Schiefer (Dachschiefer)		2,7···2,8
Schlacke		
Hochofenschlacke		2,6···3,0
Hochofenschlacke	*	0,4···0,85
Thomasschlacke		3,3···3,5
Kesselschlacke	*	0,6···1,2
Schlackensteine (a. Steinkohle- od. Koksschlacke)		1,2···1,4
Schwemmsteine (aus Bimsstein und Zement)		0,80
Ton, trocken		1,8
Ton, naß		2,6
Zement		2,6···3,2
Zement	*	0,9···1,5
Ziegel, gewöhnlich		1,4···1,6
Ziegel, Klinker		1,7···2
Ziegelmauerwerk, trocken		1,5···1,8
Schall- und Wärmedämmstoffe		
Bimskies	*	0,3···0,6
Hobelspäne	*	0,09···0,14
Korkschrot	*	0,035···0,055
Magnesitpulver	*	0,13
Piatherm (Kunststoffschaum)		0,015
Sägemehl	*	0,19···0,22
Strohfaser	*	0,14
Torfmull	*	0,19
Verschiedene feste Stoffe		
Elfenbein		1,83···1,92
Faserstoffe		
Azetatseide		1,25···1,35
Baumwolle		1,47···1,5
Flachs		1,5
Hanf		1,55
Schafwolle		1,32
Seide		1,4···1,6
Fette		0,92···0,94
Hartpapier		1,4
Holzfaserhartplatten		0,9···1,1
Knochen		1,7···2,0
Kork		0,2···0,35
Leder		0,9···1,0
Papier		0,7···1,2
Paraffin		0,87···0,91
Pech		1,25···1,33
Pertinax		1,3
Porzellan		2,2···2,5
Schmirgel		4,0
Schnee, lose, trocken	*	0,13
Schnee, naß	*	bis 0,95
Stearin		1,0
Steingut		2,1···2,3
Teer		1,1···1,2
Trockeneis (festes CO_2, gepreßt, — 78 °C)		1,5
Vulkanfiber		1,1···1,45
Wachs		0,94···1,04
Früchte und Nahrungsmittel		
Gerste	*	0,6···0,7
Hafer	*	0,45···0,55
Kartoffeln		1,06···1,13
Kartoffeln	*	0,65···0,75
Mehl, lose	*	0,4···0,55
Obst	*	0,35···0,45
Roggen	*	0,68···0,75
Rüben	*	0,65···0,75
Weizen	*	0,7···0,8
Zucker		1,61
Zucker	*	0,8
Zuckerrüben		1,095···1,1
Brennstoffe (Rohdichte)		
Anthrazit		1,4···1,7
Braunkohle		1,2···1,5
Holzkohle in Stücken		0,4
Holzkohle, gestoßen		1,4···1,5
Koks		1,4
Brikett		1,25
Steinkohle		1,2···1,5
Torf, trocken		0,5
Torf, porenfrei		1,3···1,8

Schüttgewichte und Schüttwinkel

	kg/m³	Schüttwinkel (in Grad)
Braunkohle		
Briketts (geschichtet)	1000···1050	
stückig (lufttrocken)	650···800	32···40
Gartenerde, feucht	1700	—
Gips		
Estrichgips	1600	25
Modellgips	1250	25
Holz (in Scheiten)		
Eiche	420	45
Nadelholz	320···340	45
Hülsenfrüchte	750	30
Koks		
Koksgrus	900···1000	—
Koks, stückig	350···650	35···50
Rüben		
ungeteilt	650···750	30···45
Trockenschnitzel	300	40
Sägemehl, lose	150	45
eingerüttelt	250	45
Sand, Kies (erdfeucht)	1800	25···45
Steinkohle (Nußkohle)	690···730	35···40
Steinschotter	1800···1900	35···45
Zement	1200···1400	25

Dichte von Flüssigkeiten

in kg/dm³ bei 20 °C, falls keine andere Temperatur angegeben ist

Alkohol (Äthylalkohol, Weingeist), C_2H_5OH	0,78934	Pentan, C_5H_{12}	0,623
		Petroleum	0,80···0,82
Ammoniakwasser (Salmiakgeist 24 %), $NH_3 + H_2O$	0,910	Quecksilber, Hg (bei 0 °C)	13,5951
		Salpetersäure (100 %), HNO_3	1,513
Anilin, $C_6H_5NH_2$	1,0216	Salzsäure (40 %), $HCl + H_2O$	1,198
Äther (Diäthyläther), $(C_2H_5)_2O$	0,7137	Schmieröl	≈0,85
Azeton, $(CH_3)_2CO$	0,791	Schwefelkohlenstoff, CS_2	1,2634
Benzin, Leichtbenzin	0,68···0,72	Schwefelsäure (100 %), H_2SO_4	1,8305
Benzin, Schwerbenzin	0,70···0,75	See-(Meer-) Wasser	≈ 1,02(6)
Benzol, C_6H_6	0,8789	Terpentinöl	0,855
Brom, Br	3,14	Tetrachlorkohlenstoff, CCl_4	1,5937
Chloroform, $HCCl_3$	1,4889	Toluol, $C_6H_5CH_3$	0,8656
Dekalin, $C_{10}H_{18}$	0,887···0,890	Wasser (0 °C)	0,999841
Dieselöl	0,85···0,88	Wasser (4 °C)	0,999972
Glyzerin, $C_3H_5(OH)_3$	1,256	Wasser (20 °C)	0,998203
Methanol, CH_3OH	0,7923	Wasser (50 °C)	0,9881
Methylenjodid, CH_2J_2	3,3254	Wasser (100 °C)	0,9583
Nitrobenzol, $C_6H_5NO_2$	1,201	Wasserstoffperoxyd (100 %, bei 0 °C), H_2O_2	1,4631
Nitroglyzerin, $C_3H_5O_3(NO_2)_3$	1,60		

Dichte und Litergewicht von Gasen

bei 0 °C und 760 Torr

	Dichte in g/cm³	Litergewicht in g*	Dichteverhältnis bezogen auf Luft (= 1)
Ammoniak, NH_3	0,0007714	0,7714	0,5967
Arsenwasserstoff, AsH_3	0,00348	3,48	2,69
Äthan, C_2H_6	0,001356	1,356	1,049
Äthylen, C_2H_4	0,0012605	1,2605	0,9750
Azetylen, C_2H_2	0,0011709	1,1709	0,9057
Chlorwasserstoff, HCl	0,0016391	1,6391	1,2679
Kohlendioxyd, CO_2	0,0019768	1,9768	1,5291
Kohlen(mon)oxyd, CO	0,0012500	1,2500	0,9669
Luft	0,0012928	1,2928	1,0000
Methan, CH_4	0,0007168	0,7168	0,5545
Methylchlorid, CH_3Cl	0,002307	2,307	1,784
Difluordichlormethan, CF_2Cl_2	0,005510	5,510	4,262
Ozon, O_3	0,00222	2,22	1,71
Propan, C_3H_8	0,0020037	2,0037	1,5500
Schwefeldioxyd, SO_2	0,0029263	2,9264	2,2635
Schwefelwasserstoff, H_2S	0,0015392	1,5392	1,1906
Siliziumfluorid, SiF_4	0,0046905	4,6906	3,7133
Stickoxyd, NO	0,0013402	1,3402	1,0367
Stickoxydul, N_2O	0,0019780	1,9780	1,5300
Wasserdampf, H_2O	0,0007680	0,7680	0,5941

Wenn die Dichte d eines Stoffes bekannt ist, berechnet sich die Masse m bei gegebenem Volumen V bzw. das Volumen V bei gegebener Masse m nach einer der Beziehungen

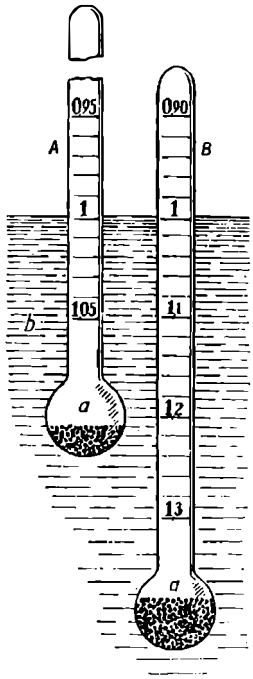
$$m = d \cdot V \quad \text{oder} \quad V = \frac{m}{d}.$$

Der reziproke Wert der Dichte heißt *spezifisches Volumen* $v = \frac{1}{d} = \frac{V}{m}$; es gibt das Volumen der Einheit der Masse eines Stoffes an.

Dichtemessung. Die Dichte eines Stoffes wird in den meisten Fällen aus Masse und Volumen bestimmt. Einen festen Körper wägt man einmal in Luft und einmal in einer Flüssigkeit mit bekannter Dichte ϱ_{Fl}, in die der an einem dünnen Faden aufgehängte Körper vollständig eintaucht. Das Ergebnis W_1 der ersten Wägung liefert (bis auf eine kleine Korrektur, die vom Luftauftrieb herrührt)

* Litergewicht ist die Masse von 1 Liter Gas in Gramm bei 0°C und 760 Torr

die Masse m des Körpers. Das Ergebnis der zweiten Wägung sei W_2. Dann ist nach dem Archimedischen Prinzip der Auftrieb $A = W_1 - W_2$ für die Fallbeschleunigung g dem Gewicht $G_{Fl} = g \cdot \varrho_{Fl} \cdot V$ der verdrängten Flüssigkeitsmenge gleich. Daraus ergibt sich das Volumen V des Körpers. Zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten geht man den umgekehrten Weg: Man wägt einen festen Körper (z. B. aus Glas oder Platin) der Reihe nach in Luft (W_1), in einer Flüssigkeit bekannter Dichte ϱ_0 (W_2) und in der Flüssigkeit, deren Dichte ϱ_x zu bestimmen ist (W_3). Dann ist das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge für die Eichflüssigkeit $G_0 = W_1 - W_2 = g\varrho_0 V$ und für die zu untersuchende Flüssigkeit $G_x = W_1 - W_3 = g\varrho_x V$; für den Quotient ϱ_x/ϱ_0 der Dichten ergibt sich $\frac{\varrho_x}{\varrho_0} = (W_1 - W_3)/(W_1 - W_2)$. Häufig benutzt man auch zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten Gefäße mit genau bekanntem Volumen (*Meßkolben*, *Pyknometer*), die man bis zum Eichstrich mit der zu messenden Flüssigkeit füllt und dann wägt. Beim *Aräometer* (Senkspindel) kann man die Dichte der Flüssigkeit direkt an einer Skale ablesen. Die Abbildung zeigt zwei Aräometer für Flüssigkeiten, deren Dichten zwischen 0,85 und 1,05 g/cm³ bzw. 0,90 und 1,3 g/cm³ liegen. Das Aräometer taucht in eine Flüssigkeit so weit ein, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge seinem eigenen Gewicht gleich ist.



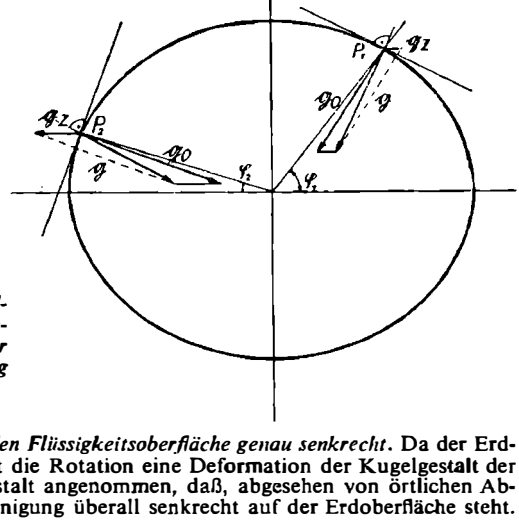
Aräometer

ARBEIT, KINETISCHE UND POTENTIELLE ENERGIE

Freier Fall und Wurf. Der freie Fall und der Wurf sind Bewegungsformen, die zustande kommen durch die Wirkung von Schwerkraft und Luftreibung auf frei bewegliche Körper. Einfache Gesetzmäßigkeiten erhält man, wenn man von der Luftreibung absieht, also den freien Fall im Vakuum betrachtet. Beim freien Fall der Körper ist im Augenblick des Loslassens die Geschwindigkeit gleich Null, beim Wurf beginnt die Bewegung mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit v_0.

Die Fallbeschleunigung g wird beim freien Fall und beim Wurf als konstant angesehen, sowohl dem Betrage als auch der Richtung nach. Das gilt mit guter Näherung beim Fall aus Höhen bzw. beim Wurf über Entfernungen, die klein gegenüber dem Erdradius sind. Der freie Fall ist dann eine *gleichmäßig beschleunigte Bewegung*.

Fallbeschleunigung auf der Erde. Die auf die Körper wirkende Schwerkraft wird verursacht durch die Massenanziehung der Erde (*Gravitation*). Hätte die Erde genau Kugelgestalt und würde sich nicht drehen, dann wäre die Schwerkraft $\mathfrak{G} = m \cdot g$ und damit auch die Fallbeschleunigung g überall zum Erdmittelpunkt gerichtet und hätte auf der Erdoberfläche an allen Orten den gleichen Betrag. Infolge der Erdrotation wirkt aber neben der Massenanziehung die Zentrifugalkraft auf die Körper. Die Fallbeschleunigung setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, aus der *Gravitationsbeschleunigung* g_0 und der *Zentrifugalbeschleunigung* g_z. Es gilt $g = g_0 + g_z$; g_z ist an den Polen Null, weil der Abstand von der Erdachse Null ist (Abb.), und hat am Äquator den größten Wert; dort gilt z. B. $g_0 = 9{,}8143$ m/s², $g_z = 0{,}0338$ m/s², also $g = g_0 - g_z = 9{,}7805$ m/s².



Gravitationsbeschleunigung g_0, Zentrifugalbeschleunigung g_z und resultierende Fallbeschleunigung für zwei Orte P_1, P_2 verschiedener Breite φ_1 bzw. φ_2 auf der Erde; die Abplattung ist übertrieben groß

Die Fallbeschleunigung steht auf jeder ruhenden Flüssigkeitsoberfläche genau senkrecht. Da der Erdkörper nicht starr, sondern plastisch ist, hat die Rotation eine Deformation der Kugelgestalt der Erde bewirkt. Die Erde hat eine solche Gestalt angenommen, daß, abgesehen von örtlichen Abweichungen (Gebirge u. a.), die Fallbeschleunigung überall senkrecht auf der Erdoberfläche steht.

Diese Gestalt, das *Geoid*, kann sehr gut durch ein an den Polen abgeflachtes Rotationsellipsoid angenähert werden. Geringe Abweichungen des Meeresspiegels der Ozeane von der Geoidfläche sind durch Meeresströmungen und Gezeiten bedingt. Die Fallbeschleunigung, aber auch die Gravitationsbeschleunigung zeigen außer an den Polen und am Äquator nicht mehr genau zum Erdmittelpunkt.

Die Fallbeschleunigung nimmt im Meeresniveau von den Polen nach dem Äquator hin ab, da mit abnehmender geographischer Breite der Abstand von der Drehachse größer und daher die Zentrifugalbeschleunigung größer wird. Am Äquator ist sie 0,5 % kleiner als an den Polen. Mit der Höhe über der Erdoberfläche vermindert sich die Fallbeschleunigung um 0,03 % je km.

Durch verschiedene Dichten des Gesteins der Erdkruste ergeben sich örtlich Abweichungen der Fallbeschleunigung von den theoretischen Werten bis zu 0,003 m/s². Geringe zeitliche Schwankungen sind bedingt durch den Einfluß von Sonne und Mond.

Werte der Fallbeschleunigung im Meeresniveau

geographische Breite	g in m/s²
0°	9,7805
20°	9,7865
40°	9,8018
45°	9,8063
50°	9,8108
55°	9,8151
60°	9,8192
70°	9,8261
90°	9,8322

Freier Fall. Mit dem runden Wert 10 m/s² für die Fallbeschleunigung g nimmt die Geschwindigkeit v eines im Vakuum frei fallenden Körpers in jeder Sekunde um 10 m/s zu; zur Zeit $t = 0$ ist $v = 0$, nach 1 Sekunde ist $v = 10$ m/s, nach 2 Sekunden 20 m/s, nach t Sekunden $10 \cdot t$ m/s oder allgemein: $v = g \cdot t$. Die mittlere Geschwindigkeit während der ersten Sekunde ist $\frac{1}{2} \cdot (0 + 10)$ m/s $= 5$ m/s. Der Weg in der ersten Sekunde beträgt also $s_1 = 5$ m/s $\cdot$ 1 s $= 5$ m. In der zweiten Sekunde ist die mittlere Geschwindigkeit $\frac{1}{2} \cdot (10 + 20)$ m/s $= 15$ m/s; in ihr legt der Körper daher den Weg $s_2 = 15$ m/s $\cdot$ 1 s $= 15$ m zurück. Der Gesamtfallweg ergibt sich durch Addition der einzelnen Wegstrecken. Nach t Sekunden ist die Geschwindigkeit $v_t = g \cdot t$, die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}_t$ in der t-ten Sekunde ist $\bar{v}_t = \frac{1}{2}(v_t + v_{t-1})$, der Weg Δs_t in dieser Sekunde ist $\Delta s_t = \bar{v}_t \cdot 1$ und der Gesamtweg s_t nach t Sekunden ist $s_t = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \cdots + \Delta s_t = \frac{1}{2}(v_1 + v_0) + \frac{1}{2}(v_2 + v_1)$ $+ \frac{1}{2}(v_3 + v_2) + \cdots + \frac{1}{2}(v_t + v_{t-1}) = \frac{1}{2} \cdot 1g + \frac{1}{2} \cdot 3g + \frac{1}{2} \cdot 5g + \cdots + \frac{1}{2}(2t - 1)\, g = \frac{g}{2} \cdot t^2$.

t in s	v_t in m/s	$\bar{v}_t$ in m/s	Δs_t in m	s_t in m
0	0			
		5	5	
1	10			$5 = 5 \cdot 1^2$
		15	15	
2	20			$5 + 15 = 20 = 5 \cdot 2^2$
		25	25	
3	30			$20 + 25 = 45 = 5 \cdot 3^2$
		35	35	
4	40			$45 + 35 = 80 = 5 \cdot 4^2$
⋮	⋮			

Der Weg $s = \frac{g}{2} t^2$ ist bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung dem Quadrat der Zeit t proportional. Die Zeit, die ein Körper braucht, um eine Strecke s herabzufallen, ergibt sich daraus zu $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$.

Wurf. Beim Wurf überlagert sich die gleichmäßig beschleunigte Bewegung des freien Falles $s_2(t)$ der gleichförmigen Bewegung $s_1(t)$ mit der Geschwindigkeit v_0, die dem Körper zur Zeit $t = 0$ erteilt wurde. Erfolgt die gleichförmige Bewegung im Winkel α gegen die Horizontale, wird also der Körper im Winkel α mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 geworfen, so hat der Körper in der x-Richtung die Geschwindigkeit $v_x = v_0 \cdot \cos\alpha$ und legt den Weg $x = v_x \cdot t = v_0 \cdot t \cdot \cos\alpha$ zurück (Abb.); in der y-Richtung dagegen erhält man $v_y = v_0 \cdot \sin\alpha - g \cdot t$ bzw. $y = v_0 \cdot t \cdot \sin\alpha - \frac{g}{2} \cdot t^2$. Daraus

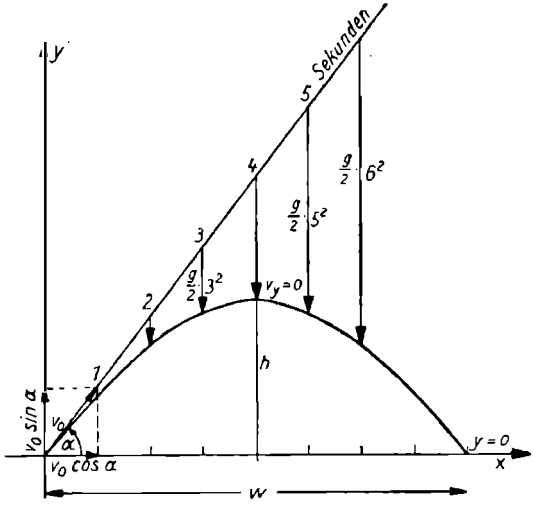
gewinnt man die Bahnkurve

$$y = x \cdot \tan\alpha - \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2\alpha}.$$

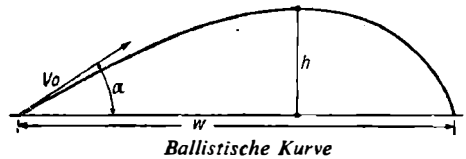
Sie ist eine Parabel mit der *maximalen Höhe* (für $v_y = 0$), der *Wurfhöhe* $h = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \sin^2\alpha$ und der *Wurfweite* (für $y = 0$)

$$w = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2\alpha.$$

Für $\alpha = 45°$ ist wegen $\sin 2\alpha = 1$ die Wurfweite w am größten. Für große Wurfweiten, z. B. von Europa nach Amerika, darf die Bahnkurve nicht mehr als Parabel angesehen werden. Es ist zu berücksichtigen, daß die Erdanziehungskraft nach dem Gravitationsgesetz mit dem Abstand vom



Wurf ohne Luftwiderstand im Winkel α gegen die Horizontale mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0; Wurfhöhe h, Wurfweite w



Ballistische Kurve

Erdmittelpunkt abnimmt und ihre Richtung nach dem Erdmittelpunkt zeigt, sich also von Ort zu Ort ändert. Die Bahn solch einer Zentralbewegung ist eine Kepler-Ellipse. Bei genügend großer Anfangsgeschwindigkeit trifft der Körper die Erdoberfläche nicht mehr; er umkreist die Erde als künstlicher Erdsatellit.

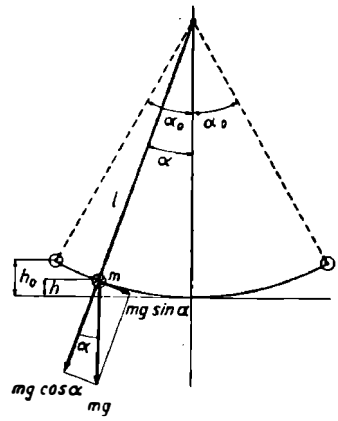
Auch beim Fall aus sehr großen Höhen im luftleeren Raum würde die Änderung der Erdbeschleunigung eine Änderung der Fallzeit bewirken. Ein aus der Höhe des Tschomolungma frei fallender Körper würde 0,049 s später auftreffen, als sich aus dem Fallgesetz mit dem Wert der Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche ergibt.

Die Rotation der Erde um ihre Achse hat Abweichungen der Fall- und Wurfbewegung von den geschilderten Gesetzen zur Folge, die durch die Wirkung der *Corioliskraft* auf bewegte Körper zustande kommen. Beim freien Fall tritt die *Ostabweichung* auf. Wegen seiner in der Höhe größeren nach Osten gerichteten Geschwindigkeit trifft der im luftleeren Raum fallende Körper nicht im Fußpunkt des auf die Erdoberfläche gefällten Lotes auf, sondern östlich davon. Am Äquator beträgt die Ostabweichung für eine Fallhöhe von 100 m 2,2 cm. Beim Wurf bewirkt die Corioliskraft auf der Nordhalbkugel eine *Rechts-* und auf der Südhalbkugel eine *Linksablenkung*.

Die wirklichen Bewegungen auf der Erde erfolgen meist im lufterfüllten Raum. Die Reibung der Luft darf dann im allgemeinen nicht vernachlässigt werden. Für mittlere Geschwindigkeiten ist der *Reibungswiderstand* R der Luft dem Quadrat der Geschwindigkeit v proportional und hängt von der Größe und Form des Körpers ab: $R = \varrho \cdot v^2$; ϱ wird *Reibungskoeffizient* genannt. Nach einer hinreichend langen Fallzeit stellt sich eine konstante Endgeschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{m \cdot g}{\varrho}}$ ein. Die Bahnkurve eines geworfenen Körpers ist dann keine Parabel mehr, sondern eine sogenannte *ballistische Kurve* (Abb.), die hauptsächlich im absteigenden Ast von der Wurfparabel abweicht und nicht mehr symmetrisch zum höchsten Punkt ist.

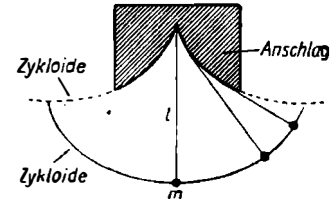
Pendelbewegung. Als Pendel kann jeder feste Körper gelten, der in einem Punkt oder an einer Achse drehbar aufgehängt ist und unter der Wirkung der Schwerkraft Schwingungen um eine stabile Gleichgewichtslage ausführen kann (*physikalisches oder physisches Pendel*). Denkt man sich eine punktförmige Masse m (Massepunkt) an einem gewichtslosen, nicht dehnbaren Faden der Länge l angebracht, so entsteht das *mathematische Pendel*. Es ist praktisch verwirklicht durch das *Fadenpendel*, bei dem an einem dünnen Stahldraht eine kleine Blei- oder Stahlkugel hängt (Abb.). Stößt man es an, so führt es Schwingungen um die Ruhelage aus. Die in den Umkehrpunkten erreichte maximale Auslenkung α_0 heißt *Amplitude* der Schwingung.

Die auf die Pendelmasse wirkende Schwerkraft $m\,g$ kann man zerlegen in eine Komponente $m\,g\cos\alpha$, die den Faden spannt und nicht zur Bewegung beiträgt, und in die die Bewegung antreibende Komponente $m\,g\sin\alpha$. Die antreibende Kraft ist also während der Bewegung nicht wie beim freien Fall konstant, sondern wächst mit der Auslenkung α und ist dieser stets entgegengerichtet. Die Pendelbewegung ist daher eine *ungleichförmig beschleunigte Bewegung*. Im tiefsten Punkt der Bahn ($\alpha = 0$) wird die antreibende Kraft Null. Infolge der Trägheit der Masse schwingt das Pendel aber über diesen Punkt hinaus, wobei seine Geschwindigkeit abnimmt und im Umkehrpunkt Null wird. Durch die Luft- und Lagerreibung nimmt die Amplitude im Laufe der Zeit ab (*gedämpfte Schwingung*). Soll die Schwingungsamplitude konstant gehalten werden, so muß das Pendel bei den Nulldurchgängen Anstöße erhalten, die den Energieverlust durch die Reibung kompensieren. Das erfolgt bei den Pendeluhren durch die Hemmung.



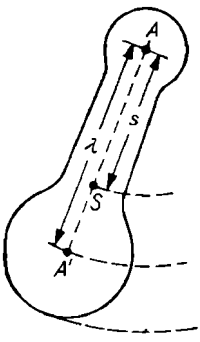
Fadenpendel

Bei kleinen Amplituden ($\alpha_0 < 10°$) ergibt sich für die Auslenkung α in Abhängigkeit von der Zeit t ein sinusförmiger Verlauf: $\alpha = \alpha_0 \cdot \sin 2\pi \frac{t}{T}$. Die Zeitdauer T für eine vollständige Schwingung (von einem Wendepunkt zum anderen und zurück) heißt *Schwingungsdauer*. Ihr Kehrwert $\nu = \frac{1}{T}$, die Frequenz oder Schwingungszahl, gibt die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit an; es gilt $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Die Schwingungsdauer hängt nur von der Fallbeschleunigung g und von der Pendellänge l, aber nicht von der Pendelmasse m und der Amplitude α ab. Vierfache Pendellänge ergibt doppelte Schwingungsdauer.



Zykloidenpendel

Die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer T von der Amplitude ist nur für sehr kleine Amplituden streng richtig. Für $\alpha = 5°$, 10°, 20° ist die Schwingungsdauer T um 0,05 %, 0,19 % bzw. 0,76 % größer als der Wert, den man aus der angegebenen Formel erhält. Huygens hat bereits (1673) gezeigt, daß die Schwingungsdauer T auch für große Amplituden unabhängig von der Amplitude wird, wenn sich die Pendelmasse nicht auf einem Kreisbogen, sondern auf einer Zykloide bewegt. Das kann erreicht werden, indem man neben dem Aufhängepunkt zykloidenförmige Anschläge anbringt (Abb.), an die sich während der Schwingung der Pendelfaden anlegt (*Zykloidenpendel*). Nach Bessel erreicht man in der Praxis die Konstanz der Schwingungsdauer bequemer, wenn man das Pendel an einem geeigneten elastischen Plättchen befestigt.



Physisches Pendel

Ein Pendel, dessen halbe Schwingungsdauer 1 s beträgt, wird *Sekundenpendel* genannt. Seine Länge l ist für Berlin 99,424 cm. Für das physische Pendel (Abb.) gilt die angeführte Formel für die Schwingungsdauer ebenfalls, es muß nur für l die *reduzierte Pendellänge* λ eingesetzt werden, die sich aus der Masse m des Pendels, dem Abstand s zwischen Drehachse A und Schwerpunkt S und dem Trägheitsmoment Θ um die Drehachse A zu $\lambda = \Theta/Ms$ ergibt. Der Punkt A' auf der Geraden AS im Abstand λ von A heißt *Schwingungsmittelpunkt*. Hängt man das Pendel statt in A in A' auf, so hat es genau die gleiche Schwingungsdauer wie vorher. Ein physisches Pendel, bei dem man zur Bestimmung der reduzierten Pendellänge λ von diesem Satz Gebrauch macht, ist das *Reversionspendel*. Es dient zur exakten Messung der Fallbeschleunigung.

Reibung. Die Reibung hemmt die Bewegung. Jeder Körper, der auf einer horizontalen Unterlage gleitet oder rollt, kommt allmählich zur Ruhe. Seine kinetische Energie wird durch die Reibung aufgezehrt und in *Wärme* umgewandelt. Wenn eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit aufrechterhalten werden soll, so muß die der Geschwindigkeit des Körpers entgegengerichtete Reibungskraft ständig durch eine äußere Kraft überwunden werden.

Reibung zwischen festen Körpern. Man unterscheidet Gleit-, Haft- und Roll- oder Wälzreibung. Bei der *Gleitreibung* ist die Kraft R_G, die man aufwenden muß, um einen Körper über eine ebene Unterlage mit konstanter Geschwindigkeit hinwegzuziehen, proportional der Kraft K, mit

der der Körper senkrecht auf die Unterlage drückt: $R_G = a_G \cdot K$. Um den Körper vom Zustand der Ruhe in den der gleitenden Bewegung zu versetzen, muß man die *Haftreibung* überwinden. Die dazu erforderliche Kraft R_H ist im allgemeinen größer als die Gleitreibung R_G. Auch die Haftreibung ist proportional der Druckkraft K: $R_H = a_H \cdot K$. Die *Reibungskoeffizienten* a_G und a_H für die Gleit- bzw. Haftreibung sind näherungsweise unabhängig von der Größe der Auflagefläche; der Koeffizient der Gleitreibung a_G hängt für nicht zu schnelle Bewegungen nur sehr wenig von der Geschwindigkeit ab. Durch Schmiermittel kann die Gleitreibung verringert werden. Die *Roll-* oder *Wälzreibung*, die beim Abrollen von Kugeln, Walzen oder Rädern auf glatten Unterlagen auftritt, beträgt meist nur wenige Prozent der Gleitreibung. Daher macht man in der Technik weitgehend von der Rollreibung Gebrauch, z. B. bei Kugel- und Wälzlagern.

Reibungskoeffizienten
durchschnittliche Vergleichsgrößen

	Haftreibung		Gleitreibung	
	trocken	geschmiert	trocken	geschmiert
Holz auf Holz	0,50	0,33	0,34	0,15
Stahl auf Stahl	0,15	0,12···0,11	0,09···0,03	0,009
Metall auf Holz	0,6···0,5	0,1	0,5 ···0,2	0,08···0,02
Lederriemen auf Gußeisen	0,6	0,25···0,12	0,5 ···0,25	0,15···0,12

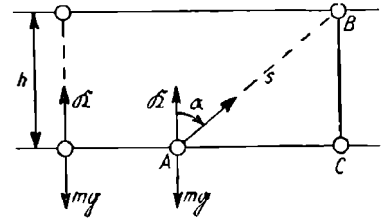
Strömungswiderstand. Feste Körper, die sich in Flüssigkeiten und Gasen bewegen, erfahren im allgemeinen Kraftwirkungen entgegen und quer zur Bewegungsrichtung. Die Tragflächen der Flugzeuge erhalten durch die Querkomponente der Kraft den für den Flug notwendigen Auftrieb. Die auf die Ruder ausgeübten Querkräfte ermöglichen die Steuerung der Schiffe und Flugzeuge. Bei Körpern, die eine Symmetrieebene parallel zur Bewegungsrichtung besitzen, ist nur die Längskomponente der Kraft, der *Strömungswiderstand* W vorhanden. Als *Widerstandsbeiwert* c bezeichnet man die (dimensionslose) Zahl, die man erhält, wenn man den Strömungswiderstand W durch die größte Querschnittsfläche F des umströmten Körpers senkrecht zur Bewegungsrichtung und durch den Staudruck S des gasförmigen oder flüssigen Mediums teilt, für den sich aus der Dichte ϱ und der Geschwindigkeit v der Flüssigkeit bzw. des Gases der Wert $S = \frac{1}{2} \varrho v^2$ ergibt. Für den Widerstandsbeiwert c erhält man $c = \frac{W}{\frac{1}{2} \varrho v^2 \cdot F}$. Es läßt sich zeigen, daß der Widerstandsbeiwert c für geometrisch ähnliche Körper nur von der Größe $Re = \frac{\varrho v d}{\eta}$ abhängt; dabei haben ϱ und v die bereits angegebene Bedeutung; η ist die (dynamische) Viskosität des Mediums und d eine die Größe des Körpers charakterisierende lineare Abmessung (z. B. bei kugelförmigen Körpern der Durchmesser). Die Größe Re heißt *Reynoldssche Zahl*; sie ist dimensionslos. Die Tatsache, daß die Widerstandsbeiwerte c für zwei gleichgeformte, aber verschieden große Körper gleiche Werte haben, wenn man dafür sorgt, daß die Reynoldsschen Zahlen gleich sind, bildet die Grundlage für die Bestimmung des Strömungswiderstandes von Flugzeugen, Schiffen u. a. durch Versuche an verkleinerten Modellen. Arbeitet man z. B. im gleichen Medium mit einem zehnfach verkleinerten Modell, so sind die Widerstandsbeiwerte für Modell und Original dann gleich, wenn die Strömungsgeschwindigkeit im Modellversuch auf das Zehnfache erhöht wird.

Wenn die Reynoldssche Zahl kleiner als 1 ist, also bei kleinen Geschwindigkeiten und großen Viskositäten, ist die Umströmung *laminar*: die Flüssigkeitsschichten gleiten aufeinander ohne Wirbelbildung. Der Strömungswiderstand ist praktisch allein durch die innere Reibung der Flüssigkeit bedingt. In diesem Bereich gilt z. B. für die Kugel $c = 24/Re = \frac{24\eta}{\varrho v d}$. Setzt man c und die Kreisfläche $F = d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$ in die Formel für den Strömungswiderstand $W = c \cdot \frac{1}{2} \varrho \cdot v^2 \cdot F$ ein, so ergibt sich das *Stokessche Gesetz*: $W = 3\pi\eta \cdot v \cdot d$; d. h., der Strömungswiderstand wächst linear mit der Viskosität des Mediums sowie mit der Geschwindigkeit und dem Durchmesser der Kugel.

Für große Werte der Reynoldsschen Zahl ($Re \approx 10^3$ bis 10^5), also bei hohen Geschwindigkeiten, hat die innere Reibung praktisch keinen Einfluß mehr auf den Strömungswiderstand W. Hinter dem bewegten Körper bildet sich ein Gebiet aus, in dem die Flüssigkeit bzw. das Gas zu lebhaften *Wirbelbewegungen* angeregt ist. Die dem Medium erteilte kinetische Energie ist die Ursache für den Strömungswiderstand. Der Widerstandsbeiwert c erweist sich als nahezu konstant; es gilt für die Kugel $c = 0{,}41$, für die Halbkugel $c = 0{,}34$, wenn die konvexe Seite, bzw. $c = 1{,}33$, wenn die konkave Seite (Fallschirm) in die Bewegungsrichtung zeigt. Mit diesen Werten für den Widerstandsbeiwert kann man den Strömungswiderstand $W = c \cdot \frac{1}{2} \varrho v^2 \cdot F$ für große Reynoldssche Zahlen

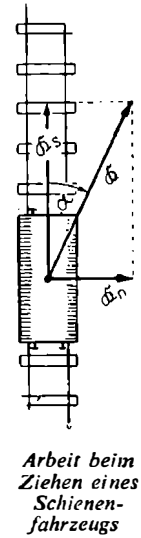
berechnen. Er ist der Dichte des Mediums, der Querschnittsfläche des Körpers und dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional.

Arbeit. Mechanische Arbeit muß aufgewendet werden, um ein Gewicht zu heben, um einen Wagen fortzubewegen und bei anderen mechanischen Verrichtungen. Wird z. B. ein Körper vom Gewicht $\mathfrak{G} = m \cdot \mathfrak{g}$ um die Höhe $x = h$ gehoben, so muß eine der Schwerkraft entgegengerichtete Kraft $\mathfrak{K}$ das Gewicht $\mathfrak{G}$ vom Betrage G überwinden. Sowohl bei gleichem Gewicht $\mathfrak{G}$ und doppelter Höhe $2h$, als auch bei doppeltem Gewicht $2\,\mathfrak{G}$ und der einfachen Höhe h ist die doppelte Arbeit notwendig. Die Arbeit A ist dem Gewicht $\mathfrak{G}$ und der Höhe h proportional; man definiert (Proportionalitätsfaktor 1) *Arbeit = Gewicht · Höhe = Kraft · Weg* oder $A = G \cdot h = K \cdot x$. Wird der Körper vom Punkte A im Winkel α gegen die bisherige Kraftwirkung schräg nach oben zum Punkte B bewegt, z. B. längs eines die Richtung markierenden Fadens, so ist der Weg s länger; die aufzuwendende Arbeit muß aber die gleiche sein, da man den Körper auf einer horizontalen reibungsfreien Unterlage erst nach C hätte bringen und von dort senkrecht nach B heben können. Daher ist bei der Berechnung der Arbeit längs des Weges s nicht die ganze Kraft $K = G$ einzusetzen, sondern nur die Komponente $K_s = K \cdot \cos\alpha = K\frac{h}{s}$ in Richtung des Weges (Abb.); bzw. hebt die ganze Kraft K den Körper längs des Weges s nur um die Komponente $s_K = s \cdot \cos\alpha = h$ in Richtung der Kraft. Wenn also die Richtung der Kraft um den Winkel α von der des Weges abweicht, ergibt sich für die Arbeit das Produkt aus der *Kraft* und der *Wegkomponente in der Kraftrichtung* oder aus dem *Weg* und der *Kraftkomponente in der Wegrichtung*: $A = K \cdot s \cdot \cos\alpha$. Diese Beziehung soll allgemein gelten, nicht nur für die Hubarbeit, sondern für jede Arbeit, die geleistet wird, indem ein Körper gegen den Widerstand einer Kraft $\mathfrak{K}$ längs eines Weges $\mathfrak{s}$ bewegt wird; wird z. B. ein Güterwagen (Abb.) im Winkel α gegen die Gleisrichtung mit der Kraft $\mathfrak{K}$ auf einer horizontalen Strecke gezogen, so ist die Arbeit gegen die Reibungskraft zu leisten; der Betrag der Arbeit ist $A = K_s \cdot s = K \cdot s \cdot \cos\alpha$. Die zweite Komponente K_n, die sich dabei aus der Gesamtkraft $\mathfrak{K}$ ergibt, steht senkrecht zur Gleisrichtung und wirkt als Druck auf die Schienen.



Hubarbeit der Kraft $\mathfrak{K}$ bei der Höhe h

Potentielle und kinetische Energie. Zwischen der Hubarbeit und der Reibungsarbeit, die sich nach der gleichen Beziehung berechnen lassen, besteht ein wesentlicher Unterschied. Reine Hubarbeit, die z. B. beim Heben eines Körpers mittels einer reibungsfreien Rolle geleistet wurde, kann vollständig wiedergewonnen werden, indem der Körper über ein Seil auf der Rolle beim Absenken einen zweiten Körper hebt. Die beim Überwinden einer Reibungskraft aufgewendete Arbeit kann dagegen auf mechanischem Wege nicht wiedergewonnen werden. Man spricht von der *Energie der Lage* oder der *potentiellen Energie* $E_{pot} = m\,g\,h$, die der gehobene Körper gegenüber dem Ausgangsniveau hat. Körper im Schwerefeld der Erde haben danach potentielle Energie; aber auch elektrische Ladungen in einem elektrischen Felde oder Magnete in einem Magnetfelde haben potentielle Energie; sie wird stets durch geleistete Arbeit vergrößert, und aus ihr kann die aufgewendete Arbeit wiedergewonnen werden, wenn die Masse bzw. die Ladung wieder an ihren alten Ort gebracht wird.



Arbeit beim Ziehen eines Schienenfahrzeugs

Offenbar muß auch Arbeit geleistet werden, um einen reibungsfrei beweglichen Körper zu beschleunigen. Es sind dabei die Trägheitskräfte zu überwinden, und die *Energie der Bewegung* oder die *kinetische Energie* des Körpers vergrößert sich. Es leuchtet ein, daß diese kinetische Energie um so größer ist, je größer die Masse und je größer die Geschwindigkeit des Körpers sind. Beim freien Fall des auf die Höhe h gehobenen Körpers nimmt mit abnehmender Höhe seine potentielle Energie ab, seine kinetische dagegen zu. Im Ausgangsniveau für $h = 0$ ist die gesamte beim Heben aufgewendete potentielle in kinetische Energie übergegangen. Nach dem Fallgesetz gilt $h = \frac{g}{2} \cdot t^2$; dabei kann die Fallzeit t aus der bei Ankunft am Boden erreichten Geschwindigkeit $v = g \cdot t$ berechnet werden; man erhält $h = \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2}{g^2} = \frac{1}{2g} \cdot v^2$. Der verlorenen potentiellen Energie $E_{pot} = m\,g \cdot h$ soll die gewonnene kinetische Energie E_{kin} gleich sein; d. h. $m\,g\,h = m\,g \cdot \frac{1}{2g} \cdot v^2 = \frac{m}{2} v^2 = E_{kin}$. Für jeden Zwischenwert zwischen den Höhen h und 0 kann die gesamte potentielle Energie in zwei Teile zerlegt werden, von denen der erste schon in kinetische Energie umgewandelt wurde und der zweite noch umgewandelt werden wird; stets ist natürlich die Summe beider Teile der konstanten

Energiedifferenz von Ausgangs- und Endniveau gleich, es gilt der *Energiesatz der Mechanik*: $E_{pot} + E_{kin} = E_{gesamt}$ = konstant. Im oberen Niveau ist nur die potentielle Energie $m g \cdot h$ vorhanden und die kinetische ist Null; im unteren ist die potentielle Null, und die kinetische hat den durch die Gesamtenergie gegebenen konstanten Wert.
An einem schwingenden Pendel ist in den Umkehrpunkten nur potentielle Energie vorhanden. Sie nimmt während der Bewegung des Pendelkörpers nach unten ab, die kinetische Energie dagegen wächst. Im tiefsten Punkt hat sie ihren größten Wert, nimmt aber während der Bewegung des Pendels zum zweiten Umkehrpunkt bis auf Null ab, während die potentielle Energie im gleichen Maße theoretisch bis auf den Ausgangswert wieder wächst. Durch Reibung in der Achse und an der umgebenden Luft tritt ein Energieverlust ein. Ein Teil der mechanischen Energie des Pendels geht bei jeder Schwingung in Wärmeenergie über, so daß das Pendel allmählich zur Ruhe kommt. Der Energiesatz muß erweitert werden, indem die von dem Pendel infolge von Reibung an das Lager und an die umgebende Luft abgegebene Wärmeenergie mit zum System gerechnet wird. Unter einem *abgeschlossenen System* versteht man ein System von Körpern (Pendel + Luft + Lager), das keine Energie nach außen abgibt und keine von außen aufnimmt; neben der Wärmeenergie können bei physikalischen Vorgängen zusätzlich elektrische, Strahlungs-, Kernenergie u. a. auftreten. Ganz allgemein lautet dann der *Energiesatz*: *In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtmenge der Energie konstant.* Die Energiearten können sich nur ineinander umwandeln; auf keine Weise aber kann Energie aus nichts entstehen oder spurlos verschwinden. Es müssen also zwischen den Energiearten feste Zahlenbeziehungen, *Energieäquivalente*, bestehen, die unabhängig davon gelten, wie die Umwandlung einer Energieart in eine andere praktisch ausgeführt wird und ob eine vollständige Umwandlung überhaupt möglich ist.

Maßeinheiten für Energie und Arbeit. Die Einheiten der Mechanik für Energie und Arbeit erhält man in den verschiedenen Maßsystemen aus den Einheiten für Kraft und Weg (s. Tabelle).

Maßsystem	Krafteinheit	Wegeinheit	Energieeinheit	Zeichen
MKS-System	Newton, N	Meter, m	Joule, J Newtonmeter, Nm	$1\ J = 1\ Nm = 1\ m^2 kg \cdot s^{-2}$
CGS-System	dyn	Zentimeter, cm	erg	$1\ erg = 1\ dyn \cdot cm = 1\ cm \cdot g \cdot s^{-2}$
technisches Maßsystem	Kilopond, kp	Meter, m	Kilopondmeter, kpm	1 kpm = 1 kp · 1 m

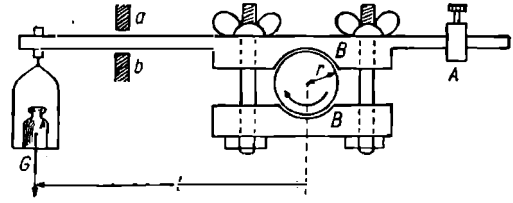
Energie- und Arbeitseinheiten

	J, Nm, Ws	erg	kWh
1 J = 1 Nm = 1 Ws =	1	10^7	$2{,}77778 \cdot 10^{-7}$
1 erg =	10^{-7}	1	$2{,}77778 \cdot 10^{-14}$
1 kWh =	$3{,}60000 \cdot 10^6$	$3{,}60000 \cdot 10^{13}$	1
1 kpm =	9,80665	$9{,}80665 \cdot 10^7$	$2{,}72407 \cdot 10^{-6}$
1 kcal =	4186,8	$4{,}1868 \cdot 10^{10}$	$1{,}16300 \cdot 10^{-3}$
1 $l \cdot$ at =	98,0692	$0{,}980692 \cdot 10^9$	$2{,}72415 \cdot 10^{-5}$
1 MeV =	$1{,}60202 \cdot 10^{-13}$	$1{,}60202 \cdot 10^{-6}$	$4{,}4501 \cdot 10^{-20}$

Energie- und Arbeitseinheiten (Fortsetzung)

kpm	kcal	$l \cdot$ at	MeV	
0,101972	$2{,}38846 \cdot 10^{-4}$	$1{,}01969 \cdot 10^{-2}$	$6{,}2421 \cdot 10^{12}$	= 1 J = 1 Nm = 1 Ws
$0{,}101972 \cdot 10^{-7}$	$2{,}38846 \cdot 10^{-11}$	$1{,}01969 \cdot 10^{-9}$	$6{,}2421 \cdot 10^5$	= 1 erg
$3{,}67098 \cdot 10^5$	859,85	$3{,}67088 \cdot 10^4$	$2{,}2471 \cdot 10^{19}$	= 1 kWh
1	$2{,}34227 \cdot 10^{-3}$	$0{,}99997 \cdot 10^{-1}$	$6{,}1234 \cdot 10^{13}$	= 1 kpm
426,935	1	42,6923	$2{,}6134 \cdot 10^{16}$	= 1 kcal
10,00028	$2{,}34234 \cdot 1^{-02}$	1	$6{,}1216 \cdot 10^{14}$	= 1 $l \cdot$ at
$1{,}63360 \cdot 10^{-14}$	$3{,}8264 \cdot 10^{-17}$	$1{,}63356 \cdot 10^{-15}$	1	= 1 MeV

Leistung und Wirkung. Unter *Leistung* versteht man die je Zeiteinheit vollendete Arbeit; die *mechanische Leistung* L wird deshalb als Quotient der geleisteten Arbeit A und der dazu gebrauchten Zeit t festgelegt: $L = \frac{A}{t}$. Die Arbeit ist dabei das Produkt aus Kraft K und Weg s; die Leistung $L = K \cdot \frac{s}{t}$ kann also als das Produkt aus Kraft K und Geschwindigkeit aufgefaßt werden. Für *Drehbewegungen* ist die Leistung entsprechend als Produkt aus Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit definiert. Die mechanische Leistung von Kraftmaschinen kann mit dem *Pronyschen Zaum* (Abb.) gemessen werden. Auf die im Uhrzeigersinn rotierende Welle vom Radius r wird durch Anziehen der Bremsbacken B ein Bremsmoment ausgeübt, das durch das Gewicht G am Hebelarm l gemessen werden kann. Tangential zum Umfang der Welle greift die Reibungskraft R an, deren Drehmoment $R \cdot r$ den Zaum im Uhrzeigersinn dreht. Diese Drehung wird durch das Gewicht G mit dem entgegengesetzt wirkenden Drehmoment $G \cdot l$ so weit kompensiert, daß die Stange zwischen den Anschlägen a und b schwebt. Durch stärkeres Anziehen der Bremsbacken vergrößern sich die Reibungskraft R und das von der Maschine abgegebene Drehmoment D; zur Kompensation ist ein größeres Gewicht G notwendig; für das Drehmoment gilt $D = R \cdot r = G \cdot l$. Hat die Welle die Drehzahl U Umdrehungen/min, so ist ihre Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{2\pi U}{60}$. Für die Leistung L der Maschine erhält man: $L = D \cdot \omega = \frac{2\pi}{60} \cdot U \cdot G \cdot l$. Das verschiebbare Ausgleichsgewicht A kompensiert das Drehmoment der Stange und der Waagschale.



Pronyscher Zaum

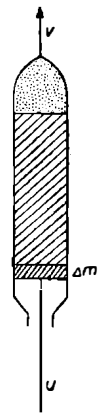
Leistungseinheiten. Das Watt, W, ist die Leistung von 1 Joule in 1 Sekunde, $1\ W = 1\ J/s = 1\ m^2\ kg \cdot s^{-3}$. Daneben ist noch die Pferdestärke, PS, im Gebrauch; 1 PS = 75 kpm/s.

	W, J/s	erg/s	kW	kpm/s	PS
1 W =					
1 J/s	1	10^7	10^{-3}	0,101 972	$1{,}359\,62 \cdot 10^{-3}$
1 erg/s	10^{-7}	1	10^{-10}	$0{,}101\,972 \cdot 10^{-7}$	$1{,}359\,62 \cdot 10^{-10}$
1 kW	1000	10^{10}	1	101,972	1,359 62
1 kpm/s	9,806 65	$9{,}806\,65 \cdot 10^7$	$9{,}806\,65 \cdot 10^{-3}$	1	$1{,}333\,33 \cdot 10^{-2}$
1 PS	735,499	$735{,}499 \cdot 10^7$	$735{,}499 \cdot 10^{-3}$	75	1

Wirkung. Als Wirkung W bezeichnet man das Produkt aus Energie und Zeit $W = E \cdot t$. Während aber Begriffe wie Leistung und Arbeit in der Physik die gleiche Bedeutung haben wie im normalen Sprachgebrauch, kann der Begriff Wirkung nicht mit seiner in der Umgangssprache üblichen Bedeutung als Maß für die Größe der Folge einer Einwirkung gleichgesetzt werden. Wirkt eine Zeit t hindurch eine Kraft K ein, so nimmt der Körper einen *Impuls* J auf, $J = K \cdot t$. Bei einer translatorischen Bewegung ergibt sich aber die *Energie* E als Produkt aus der Kraft K und dem Weg s, $E = K \cdot s$, man hat also $W = K \cdot s \cdot t = J \cdot s$, *Wirkung = Impuls · Weg*. Entsprechend wird bei einer Drehbewegung der *Drehimpuls* D dem Produkt aus dem Drehmoment M und der Zeit t, $D = M \cdot t$, und die Energie E dem Produkt aus dem Drehmoment M und dem Winkel φ, $E = M \cdot \varphi$, gleichgesetzt, so daß man dafür erhält: $W = M \cdot \varphi \cdot t = D \cdot \varphi$, *Wirkung = Drehimpuls D · Winkel φ*. Besonders für die *Quantentheorie* sind Größen von der Dimension einer Wirkung von Bedeutung, da sie dort bis auf einen Zahlenfaktor nur in ganzzahligen Vielfachen des Planckschen Wirkungsquantums auftreten können.

Stoß. Die *Änderung des Impulses, der Bewegungsgröße* $\mathfrak{J} = m \cdot \mathfrak{v}$ eines Massepunktes von der Masse m und der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ in der Zeiteinheit ist nach dem 2. Newtonschen Axiom der einwirkenden Kraft $\mathfrak{K}$ gleich. Wirkt diese Kraft $\mathfrak{K}$ auf den Massepunkt Δt Sekunden ein, so ändert sich sein Impuls in dieser Zeit um $\Delta \mathfrak{J} = \mathfrak{K} \cdot \Delta t$.
Für ein *System von Massepunkten* ergibt sich der Gesamtimpuls durch Addition aller Vektoren der Einzelimpulse. Auf die einzelnen Massepunkte des Systems können *innere* oder *äußere Kräfte* einwirken; eine äußere ist z. B. die Schwerkraft, innere sind Wechselwirkungskräfte zwischen den verschiedenen Massepunkten, z. B. die beim Stoß aufeinander ausgeübten Kräfte, die durch Massenanziehung schwerer oder die durch elektrische Anziehung geladener Massepunkte entstehenden

Kräfte. Da nach dem 3. Newtonschen Axiom die von einem Massepunkt auf einen zweiten ausgeübte Kraft der gleich ist, die der zweite auf den ersten ausübt, *heben sich alle inneren Kräfte paarweise auf.* Die Addition aller auf alle Massepunkte einwirkenden Kräfte ergibt deshalb als Resultierende die Vektorsumme aller äußeren Kräfte, d. h. die von außen wirkende Gesamtkraft.

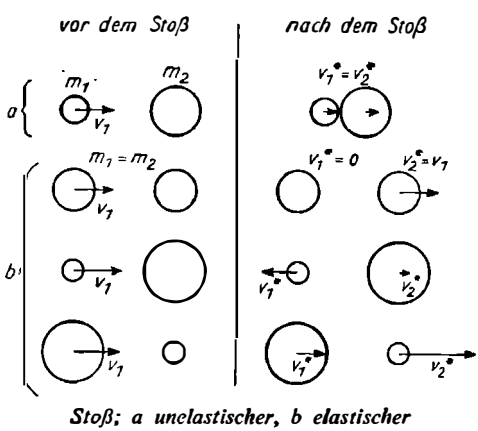


Raketenantrieb

Für jedes System von Massepunkten und damit für jeden wirklichen Körper ist die *Änderung des Gesamtimpulses = Resultierende der äußeren Kräfte · Zeit der Einwirkung.* Sind keine äußeren Kräfte vorhanden, so bleibt der Gesamtimpuls ungeändert: *Erhaltungssatz des Impulses.*

Der äußeren Gesamtkraft entspricht ein Impuls, der der im Schwerpunkt S vereinigt gedachten Gesamtmasse M des Systems die Geschwindigkeit u erteilt. Die Summe der Einzelimpulse ist also dem Produkt gleich aus der Gesamtmasse M und der Geschwindigkeit u des Schwerpunktes S. Wirken auf ein mechanisches System keine äußeren Kräfte ein, so verharrt der Schwerpunkt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung.

Anwendungen des Impulserhaltungssatzes. Ein abgefeuertes Geschoß der Masse m erhält den Impuls $m \cdot v$; auf das Geschützrohr der Masse M muß, da die Explosion der Treibladung nur innere Kräfte des Systems (geladenes Geschütz) hervorruft, ein gleich großer, entgegengesetzter Impuls $M \cdot V$ (*Rückstoß*) übertragen werden. Die Geschwindigkeit V des Rohrrücklaufs ist danach $V = \frac{m \cdot v}{M}$. *Beim Raketenantrieb* wird der mitgeführte Treibstoff verbrannt (Abb.) und mit der großen Geschwindigkeit u ausgestoßen. In einem bestimmten Zeitpunkt habe die Rakete die Geschwindigkeit v und die Masse m, die sich aus der des Raketenkörpers und der des noch vorhandenen Brennstoffes zusammensetzt. In der kleinen Zeit Δt verbrennt die Treibstoffmenge Δm und verläßt die Rakete mit dem Impuls $u \cdot \Delta m$. Die Rakete erhält dadurch den gleich großen und entgegengesetzten Impuls $m \cdot \Delta v$. Ihre Geschwindigkeit nimmt also zu um $\Delta v = \frac{u \cdot \Delta m}{m}$; diese Geschwindigkeitszunahme Δv ist proportional der Ausströmgeschwindigkeit u der Verbrennungsgase und umgekehrt proportional der Masse m, die die Rakete im betrachteten Zeitpunkt hat.



Stoß; a unelastischer, b elastischer

Beim *Stoß* zweier Körper finden ein Impuls- und ein Energieaustausch während der sehr kurzen Stoßdauer statt. Übersichtliche Beziehungen ergeben sich beim *geraden zentralen Stoß* zweier Kugeln, bei dem sich die Kugelmittelpunkte vor und daher auch nach dem Stoß auf derselben Geraden bewegen. Wenn insbesondere die Kugel 1 mit der Masse m_1 und der Geschwindigkeit v_1 auf die *ruhende* Kugel 2 mit der Masse m_2 stößt, muß nach dem Erhaltungssatz des Impulses gelten $m_1 v_1 = m_1 v_1^* + m_2 v_2^*$, dabei bedeuten v_1^* und v_2^* die Geschwindigkeiten der Kugeln 1 bzw. 2 nach dem Stoß. Die kinetische Energie der Kugel 1 vor dem Stoß findet sich im allgemeinen nicht vollständig in den kinetischen Energien beider Kugeln nach dem Stoß wieder, da ein gewisser Teil in Wärme verwandelt wird. In den beiden Grenzfällen des *elastischen* (Stoß von Stahl- oder Elfenbeinkugeln) und des *vollständig unelastischen Stoßes* (Stoß von Blei- oder Lehmkugeln) findet man für die Geschwindigkeiten der stoßenden bzw. der gestoßenen Kugel nach dem Stoß:

elastischer Stoß:
$$v_1^* = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1, \quad v_2^* = \frac{2 m_1}{m_1 + m_2} \, v_1$$

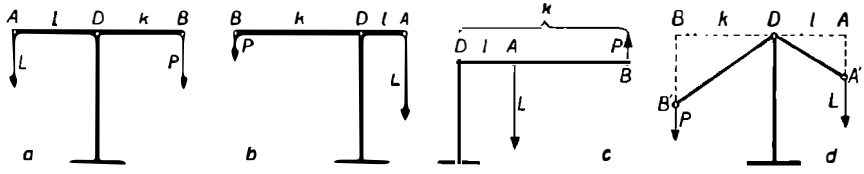
unelastischer Stoß:
$$v_1^* = v_2^* = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1 .$$

Beim unelastischen Stoß haben die Kugeln nach dem Stoß gleiche Geschwindigkeit, für gleich schwere Kugeln wird $v_1^* = v_2^* = v_1/2$. Ganz anders beim elastischen Stoß: Sind die Kugeln gleich schwer, so wird $v_1^* = 0$ und $v_2^* = v_1$; d. h., die Kugel 1 bleibt stehen und gibt Impuls und Energie vollständig an die Kugel 2 ab. Wenn m_2 sehr viel größer als m_1 ist (Stoß gegen eine elastische Wand), erhält man $v_1^* \approx -v_1$, $v_2^* \approx 0$, die Kugel 1 wird elastisch reflektiert. Ist aber die stoßende Kugel

sehr viel schwerer als die gestoßene, beispielsweise $m_1 = 10m_2$, so ändert sich die Geschwindigkeit der schwereren Kugel nur wenig $\left(v_1^* = \frac{9}{11} \cdot v_1\right)$, während die leichte Kugel fast eine doppelt so große Geschwindigkeit erhält, wie die Kugel 1 vor dem Stoß besaß $\left(v_2^* = \frac{20}{11} \cdot v_1\right)$.

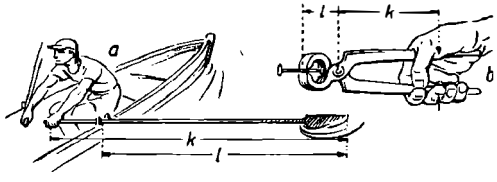
DIE EINFACHEN MASCHINEN

Eine einfache Maschine ist eine Vorrichtung, mit der eine *Arbeitserleichterung* erzielt werden soll bzw. eine gewünschte Arbeitsleistung praktisch verwirklicht werden kann. Die aufzuwendende Kraft muß dazu nach Größe und Richtung umgeformt werden. Dabei gilt die *goldene Regel der Mechanik* (Galilei): Die aufgewendete Arbeit muß bei Vernachlässigung der Reibung der geleisteten Arbeit gleich sein; das Produkt aus Kraft und Kraftweg ist dem aus Last und Lastweg gleich; eine kleinere Kraft hat einen längeren Weg zurückzulegen.
Ökonomisch muß man den Begriff Maschine anders definieren: „Die Maschine ... ersetzt den Arbeiter, der ein einzelnes Werkzeug handhabt, durch einen Mechanismus, der mit einer Masse derselben oder gleichartiger Werkzeuge auf einmal operiert und von einer einzigen Triebkraft, welches immer ihre Form, bewegt wird" (Marx, Kapital I).



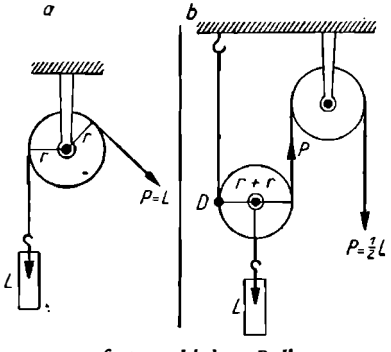
Hebel, D Drehpunkt, A bzw. B Angriffspunkt der Last L bzw. der Kraft P, DA = l Lastarm, DB = k Kraftarm: a zweiseitig gleicharmiger Hebel (Krämerwaage, Präzisionswaage, Ortscheit für die Zugstränge der Zugtiere); b zweiseitig ungleicharmiger Hebel (Schnell-, Dezimalwaage, Kneifzange, Schere, Türklinke); c einseitig ungleicharmiger Hebel (Schubkarre, Ruder im Ruderboot); d zweiseitig ungleicharmiger Winkelhebel (Pumpenschwengel)

Der Hebel. Ein Hebel besteht aus einem oft stabförmigen, um einen Punkt drehbaren starren Körper, an dem zwei oder mehrere Kräfte angreifen. Das vom Drehpunkt auf die Kraft- bzw. Lastrichtung gefällte Lot wird *Kraft-* bzw. *Lastarm* genannt. Liegt der Drehpunkt am Ende des Hebels, greifen also die Kraft und die Last auf derselben Seite an, so heißt der Hebel *einseitig*, sonst *zweiseitig*. Gleichgewicht herrscht am Hebel, wenn das *Drehmoment* der Kraft gleich dem der Last oder wenn *Kraft · Kraftarm gleich Last · Lastarm* ist. Bei mehreren Kräften muß im Gleichgewicht die Summe der Momente der Kräfte gleich der Summe der Momente der Lasten sein.



a Ruder als einseitiger und b Zange als zwei zweiseitige Hebel

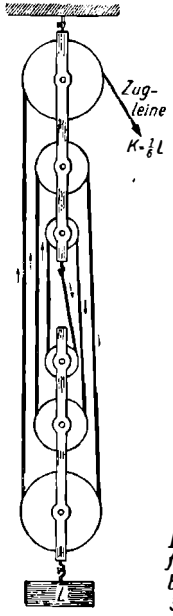
Der Hebel kann verwendet werden, damit eine Last am langen Lastarm einen großen Weg zurücklegt, z. B. die Hand am Unterarm des Menschen, oder um an einem kurzen Lastarm eine große Kraft auf die Last auszuüben, z. B. bei der Zange (Abb.).



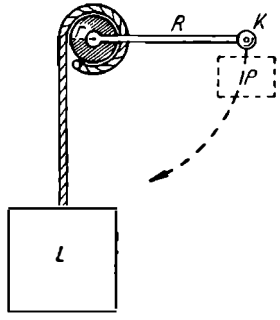
a feste und b lose Rolle

Die Rolle. Jede Rolle besteht aus einer kreisrunden, um eine Mittelachse drehbaren Scheibe, deren Randfläche mit einer Führungsrinne versehen ist, in der das Seil laufen kann. Die *feste Rolle* dient lediglich der Veränderung der *Zugrichtung*. Aus der Gleichheit der Drehmomente ergibt sich die Gleichheit von Kraft und Last im Gleichgewicht. Für die *lose Rolle* ist dagegen der vom Drehpunkt D aus zu messende Durchmesser als einseitiger Hebel anzusehen; aus $2r \cdot P = L \cdot r$ ergibt sich aber die Kraft P als halb so groß wie die Last L.

Der Flaschenzug. Der Flaschenzug stellt eine Verbindung zwischen mehreren (festen und losen) Rollen dar. Es gilt die *Gleichgewichtsformel* $P = \frac{L}{n}$, wobei P die *Kraft*, L die *Last* und n die *Anzahl der Rollen* bedeuten. Um mit einem Flaschenzug von 6 Rollen eine Last von 180 kp einen Meter zu heben, ist ohne Reibung nur eine Kraft von 30 kp nötig; sie muß aber einen Weg von 6 m zurücklegen.



Flaschenzug mit einer oberen festen und einer unteren beweglichen Flasche mit je 3 Rollen



Wellrad; Wellbalkenradius r, Kurbelradius R, Kurbelgriff K

Das Wellrad. Das Wellrad ist als Hebel aufzufassen mit dem kleinen Wellbalkenradius r (Hebelarm der Last L) und dem langen Kurbelradius R (Hebelarm der drehenden Kraft P). Es gilt die *Gleichgewichtsformel*

$$P = L \cdot \frac{r}{R}.$$

Nach dieser Gleichung lassen sich Kraftübertragungen mit Zahnrädern berechnen, die in Kränen und anderen Maschinen verwendet werden.

Die schiefe Ebene. Die schiefe Ebene hat die Neigung α gegen die Horizontale; längs der Strecke $AB = b$ steigt sie um $BC = h$. Der Körper legt auf ihr die Strecke $AC = l$ zurück; d. h., $\sin\alpha = \frac{h}{l}$, $\cos\alpha = \frac{b}{l}$, $\tan\alpha = \frac{h}{b}$.

Das Gewicht G des Körpers zieht ihn senkrecht nach unten. Diese Kraft tritt in Erscheinung als die *Druckkraft* D senkrecht zur schiefen Ebene und als eine Komponente P parallel zu ihr. Wird von Reibung abgesehen, so gilt

$$D = G\cos\alpha = \frac{Gb}{l}; \quad P = G\sin\alpha = \frac{Gh}{l}.$$

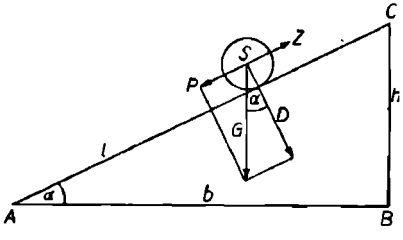
Eine Kraft Z, die der Kraft P gleich, aber entgegengesetzt gerichtet ist, hält den Körper im Gleichgewicht, solange die schiefe Ebene sich unter der Wirkung der Druckkraft D nicht durchbiegt oder gar bricht.

Beispiel: $G = 150$ kp, $h = 1{,}5$ m, $l = 5$ m. Dann erhält man

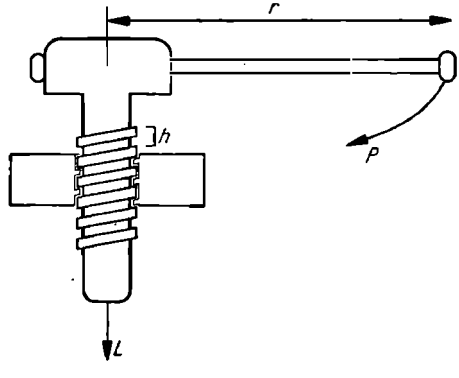
$$D = 150 \cdot \frac{4{,}77}{5}\ \text{kp} = 143{,}1\ \text{kp}; \quad P = 150 \cdot \frac{1{,}5}{5}\ \text{kp} = 45\ \text{kp}.$$

Die Schraube. Die Schraube ist eine um einen Zylinder gewickelte *schiefe Ebene*. Greift im Abstand r an einer Schraube von der Ganghöhe h die Drehkraft P an, so wird die Schraube in Richtung ihrer Achse nach der goldenen Regel der Mechanik mit der Kraft L vorwärtsbewegt.
Es gilt die Formel

$$P = L \cdot \frac{h}{2\pi r}.$$



Schiefe Ebene

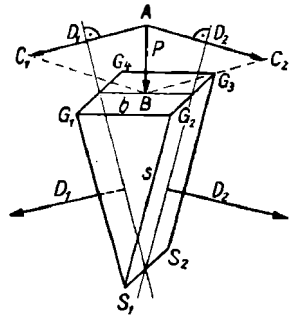


Schraube

Soll z. B. mit einer Schraube der Ganghöhe 5 mm eine Kraft von 1 000 kp ausgeübt werden, so muß im Abstand $r = 28$ cm von der Achse die Kraft P angreifen:

$$P = \frac{1000 \cdot 0{,}5}{2\pi \cdot 28}\ \text{kp} \approx 2{,}84\ \text{kp}$$

Der Keil. Die auf die Grundfläche $G_1G_2G_3G_4$ des Keils ausgeübte Kraft P wird in zwei Komponenten D_1 und D_2 senkrecht auf die Seitenflächen $S_1S_2G_3G_4$ und $S_1S_2G_4G_1$ zerlegt. Sie üben einen Druck aus, der zum Spalten von Körpern, z. B. Baumstämmen, oder zum Befestigen (Verkeilen) von Bauteilen ausgenutzt wird. Die vom Druck abhängige Haftreibung verhindert dabei, daß die als Gegenwirkung vorhandenen Kräfte im Baumstamm oder der Bauteile den Keil wieder heraustreiben. Wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke ABC_1 und $G_1G_2S_1$ erhält man $D_1 = D_2 = P : \frac{s}{b}$ (Abb.).

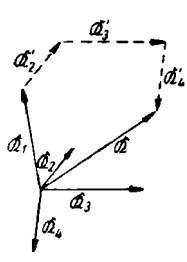


Keil, in dem durch die auf die Fläche $G_1G_2G_3G_4$ ausgeübte Kraft P die Druckkräfte D_1 und D_2 auf die Seitenflächen auftreten

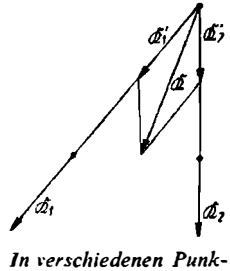
GLEICHGEWICHT VON KRÄFTEN

Zusammensetzung von Kräften. Zwei im gleichen Punkt angreifende Kräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ können durch eine einzige Kraft $\mathfrak{K}$, die *Resultante* oder *Resultierende*, ersetzt werden, die nach Größe und Richtung gleich der Diagonale des Parallelogramms ist, dessen Seiten die beiden Einzelkräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ sind (Vektoraddition). Umkehrung: Eine Kraft $\mathfrak{K}$ läßt sich in die *Komponenten* $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ zerlegen, wenn für beide Komponenten die Richtungen oder für eine Komponente Richtung und Betrag vorgegeben sind. Insbesondere findet man die Komponenten einer Kraft $\mathfrak{K}$ nach zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen, indem man von der Spitze des Vektors auf die beiden Richtungen das Lot fällt.

Greifen in einem Punkt mehr als 2 Kräfte $\mathfrak{K}_1, \mathfrak{K}_2, \mathfrak{K}_3, \ldots$ an, so findet man die Resultante $\mathfrak{K}$ aller Kräfte, indem man den Parallelogrammsatz so oft nacheinander anwendet, bis man eine einzige Gesamtkraft erhält. Schneller kommt man zum gleichen Ergebnis, wenn man das *Kräftepolygon* (*Kräftevieleck*) konstruiert (Abb.): Man verschiebt den Vektor $\mathfrak{K}_2$ parallel zu sich und fügt ihn mit seinem Ende an die Spitze von $\mathfrak{K}_1$ an. An die Spitze des auf diese Weise verschobenen Vektors $\mathfrak{K}_2'$ bringt man ganz entsprechend den Vektor $\mathfrak{K}_3'$ an. So fährt man fort, bis alle Vektoren zu einem geknickten Geradenzug vereinigt sind. Die Resultante $\mathfrak{K}$ ist dann der Vektor, der den Anfangspunkt des Geradenzuges mit seinem Endpunkt verbindet.



Kräftepolygon



In verschiedenen Punkten angreifende Kräfte

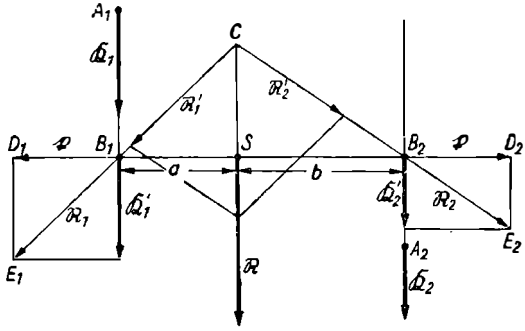
Bei einem starren Körper darf man den Angriffspunkt der Kraft auf der Geraden verschieben, in der die Kraft wirkt (Wirkungslinie der Kraft.) Bei einem nicht starren, sondern *deformierbaren Körper* ist das nicht erlaubt. Eine am Ende eines einseitig befestigten, dehnbaren Drahtes angreifende Kraft verlängert den Draht; die gleich große, längs des Drahtes nach dem Befestigungspunkt verschobene Kraft verlängert ihn nicht. Die beiden Kräfte haben also verschiedene Wirkungen.

Zwei Kräfte, die an einem *starren Körper* in zwei verschiedenen Punkten angreifen und in einer Ebene liegen, können durch eine *Resultante* ersetzt werden, die in einem bestimmten Punkt angreift (Abb.). Man braucht die Kräfte nur längs ihrer Wirkungslinien bis zum Schnittpunkt der Wirkungslinien zu verschieben und in diesem Punkt durch Konstruktion des Kräfteparallelogramms zu vereinigen.

Schwerpunkt. Bei parallelen und antiparallelen Kräften versagt diese Konstruktion, da sich die Wirkungslinien der Kräfte nicht schneiden (vgl. Kräftepaar).

Parallele Kräfte. Um zwei in den Punkten A_1 und A_2 angreifende parallele Kräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ zu vereinigen (Abb.), verschiebt man diese Kräfte so weit, bis die Verbindungslinie der neuen Angriffspunkte B_1 und B_2 senkrecht auf den Wirkungslinien steht. Nun fügt man zwei gleich große antiparallele in der Verbindungslinie B_1B_2 wirkende Hilfskräfte (beliebiger Größe) $\mathfrak{k}$ bzw. $-\mathfrak{k}$ hinzu und zeichnet die Resultanten $\mathfrak{R}_1$ und $\mathfrak{R}_2$. Nach Verschieben nach dem Schnittpunkt C ihrer Wirkungslinien kann man $\mathfrak{R}_1$ und $\mathfrak{R}_2$ zur Resultanten $\mathfrak{R}$ vereinigen, die man nach dem auf der Geraden B_1B_2 liegenden Punkt S verschiebt. Da sich die Hilfskräfte $\mathfrak{k}$ und $-\mathfrak{k}$ gegenseitig aufheben, ist $\mathfrak{R}$ die

Resultante der Kräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$; $\mathfrak{R} = \mathfrak{K}_1 + \mathfrak{K}_2$. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $E_1D_1B_1$ und CSB_1 bzw. $E_2D_2B_2$ und CSB_2 folgt: $\frac{|\mathfrak{k}|}{|\mathfrak{K}_1|} = \frac{a}{CS}$ und $\frac{|\mathfrak{k}|}{|\mathfrak{K}_2|} = \frac{b}{CS}$. Rechnet man aus beiden Gleichungen das Produkt $|\mathfrak{k}| \cdot CS$ aus, so ergibt sich $|\mathfrak{K}_1| \cdot a = |\mathfrak{K}_2| \cdot b$ oder $\frac{a}{b} = \frac{|\mathfrak{K}_2|}{|\mathfrak{K}_1|}$.

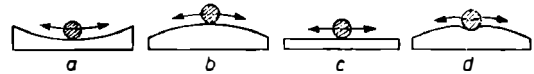


Parallele Kräfte

Zwei an einem Körper angreifende parallele Kräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ können durch eine gleichgerichtete Kraft $\mathfrak{R} = \mathfrak{K}_1 + \mathfrak{K}_2$ ersetzt werden. Sie ist in einem Punkt S anzubringen, der den Abstand B_1B_2 der beiden Kräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ im umgekehrten Verhältnis dieser Kräfte $\frac{a}{b} = \frac{|\mathfrak{K}_2|}{|\mathfrak{K}_1|}$ teilt. Denkt man sich die beiden Punkte B_1 und B_2 durch eine gewichtslose Stange verbunden, die im Punkt S unterstützt ist (zweiseitiger Hebel), so herrscht *Gleichgewicht*. Auf das Lager in S wirkt die Summe der Kräfte $\mathfrak{K}_1 + \mathfrak{K}_2$.

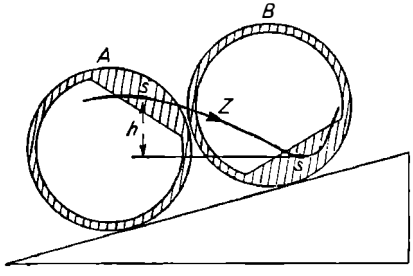
Die parallelen Kräfte seien speziell die Schwerkräfte $G_1 = m_1 g$ bzw. $G_2 = m_2 g$, die auf die Massen m_1 und m_2 wirken. Für die in den Endpunkten B_1 und B_2 der gewichtslosen Stange angebrachten Massen m_1 und m_2 wird S als Schwerpunkt des aus den Massen m_1 und m_2 bestehenden Körpers bezeichnet. Er teilt den Abstand $a + b$ der beiden Massen im Verhältnis $\frac{a}{b} = \frac{m_2}{m_1}$.

Die Wirkung der Schwerkraft auf die Einzelmassen m_1, m_2, die Massepunkte des Körpers, kann ersetzt gedacht werden durch ihre Wirkung auf die im Schwerpunkt S vereinigte Gesamtmasse $M = m_1 + m_2$. In jedem festen Körper läßt sich ein Punkt, der Schwerpunkt, bestimmen, in dem man sich die gesamte Masse des Körpers vereinigt denken kann; z. B. für einen Ring oder eine Glocke kann der Schwerpunkt auch außerhalb des Körpers liegen. Wird der Körper im Schwerpunkt unterstützt, so ist er unter der Wirkung der Schwerkraft in jeder Lage im (indifferenten) Gleichgewicht.



a stabiles, b instabiles, c indifferentes und d metastabiles Gleichgewicht

Gleichgewichtsarten. Ein Körper, dessen Bewegungsmöglichkeiten durch Bindungen an eine Drehachse, ein Lager oder eine Unterlage eingeschränkt sind, ist im *stabilen Gleichgewicht*, wenn bei jeder möglichen kleinen Verschiebung oder Drehung des Körpers der Schwerpunkt gehoben wird. Wirkt die äußere Kraft nicht mehr, so kehrt der Schwerpunkt in seine frühere, tiefere Gleichgewichtslage zurück; die potentielle Energie des Körpers wird ein Minimum. Wird dagegen der Schwerpunkt bei jeder durch die Bindungen möglichen kleinen Änderung der Lage gesenkt, so kehrt er nicht in die ursprüngliche Lage zurück; er kann sich sogar noch weiter von ihr entfernen. Dieses Gleichgewicht heißt *instabil*; die potentielle Energie ist ein Maximum.

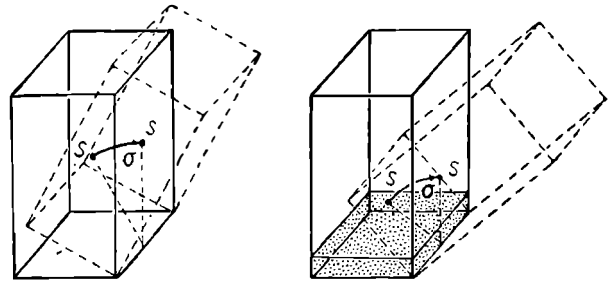


Stabiles Gleichgewicht eines Zylinders mit exzentrischem Schwerpunkt auf der schiefen Ebene

Beim *indifferenten* Gleichgewicht bleibt der Schwerpunkt bei einer Verschiebung auf konstanter Höhe. Bei der Verschiebung braucht keine Arbeit aufgewendet zu werden; der Körper kann in jeder Lage verharren. Ist ein Körper zwar im stabilen Gleichgewicht, kann aber durch eine geringe Energiezufuhr eine instabile Gleichgewichtslage mit einem Maximum der potentiellen Energie erreichen und durch Weiterbewegen Lagen einnehmen, deren potentielle Energie kleiner als die der ursprünglichen Lage ist, so spricht man vom *metastabilen Gleichgewicht* (Abb.).

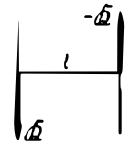
Durch die Bewegung des Schwerpunktes in seine tiefstmögliche Lage können bei bestimmten Körpern ungewöhnliche Bewegungen auftreten. Der einseitig mit Blei ausgegossene Hohlzylinder (Abb.) rollt bei ausreichender Haftreibung von A nach B die schiefe Ebene hinauf, weil sich dabei sein Schwerpunkt S längs der Kurve Z um die Höhe h senkt.

Standfestigkeit. Ein auf einer horizontalen Unterlage stehender Körper hat einen Widerstand gegen das Umkippen um eine Kante. Diese Standfestigkeit kann gemessen werden durch den Winkel σ, um den der Körper um die betrachtete Kante gekippt werden muß, bis sein Schwerpunkt S senkrecht über dieser Kante liegt (Abb.). Die Standfestigkeit ist um so größer, je tiefer der Schwerpunkt liegt und je größer die Unterstützungsfläche ist.



Der Winkel σ als Maß für die Standfestigkeit

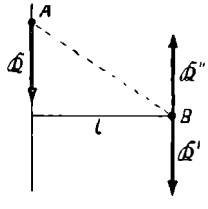
Kräftepaar. Die Konstruktion einer resultierenden Kraft aus Einzelkräften versagt, wenn es sich um zwei antiparallele, gleich große Kräfte handelt. Ein solches Kräftesystem kann nicht weiter vereinfacht werden. Man bezeichnet es als ein *Kräftepaar* (Abb.). Der senkrechte Abstand l der Wirkungslinien der beiden Kräfte $\mathfrak{K}$ und $-\mathfrak{K}$ heißt *Arm*, das Produkt $l \cdot K$ *Moment* des Kräftepaares. Ein Kräftepaar übt auf einen Körper ein Drehmoment aus, dessen Größe gleich dem Moment $l \cdot K$ des Kräftepaares ist. Bei einem frei beweglichen (nicht in einer Achse gelagerten) Körper erzeugt ein Kräftepaar eine Rotation um den Schwerpunkt.



Kräftepaar

Die Wirkung eines Kräftepaares auf einen Körper ändert sich nicht, wenn man es in beliebiger Weise in der Ebene der Wirkungslinien seiner Kräfte verschiebt oder dreht. *Alle Kräftepaare, die in der gleichen Ebene liegen und das gleiche Moment $l \cdot K$ haben, sind also gleichwertig.*

Wenn man den Angriffspunkt einer Kraft längs der Wirkungslinie verschiebt, bleibt die Wirkung der Kraft auf den (starren) Körper dieselbe. Verschiebt man die im Punkt A angreifende Kraft $\mathfrak{K}$ nach einem Angriffspunkt B, der nicht auf der Wirkungslinie liegt, so muß man zusätzlich an dem Körper ein Kräftepaar anbringen (Abb.). Denn wenn man sich im Punkt B zwei entgegengesetzt gleiche Kräfte $\mathfrak{K}' = \mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}'' = -\mathfrak{K}$ hinzugefügt denkt, erhält man neben der verschobenen Kraft $\mathfrak{K}'$ das aus den entgegengesetzt gleichen Kräften $\mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}''$ bestehende Kräftepaar mit dem Arm l. Das läßt sich auch so ausdrücken:



Verschiebung einer Kraft $\mathfrak{K}$ von A nach B

Die Wirkung einer an einem Körper angreifenden Kraft $\mathfrak{K}$ in bezug auf einen Punkt B des Körpers ist äquivalent der Wirkung einer gleichgerichteten und gleich großen in B angreifenden Kraft und eines Kräftepaares mit dem Moment $K \cdot l$, wobei l der senkrechte Abstand des Punktes B von der Kraftrichtung ist. Greifen an einem Körper mehrere Kräfte an, so kann man auf die beschriebene Weise die in einem Punkt B wirksame Gesamtkraft und die Momente der Kräfte in bezug auf diesen Punkt bestimmen. An einem frei beweglichen Körper herrscht Gleichgewicht, wenn die *Vektorsumme der Kräfte* und die *Summe der Momente* in bezug auf irgendeinen Punkt *gleichzeitig Null* sind. (Sie sind dann für alle Punkte des Körpers Null.) Bei einem um eine feste Achse drehbaren Körper muß im Gleichgewicht die Summe der Momente in bezug auf die Drehachse verschwinden, d. h., die Summe der linksdrehenden Momente muß gleich der Summe der rechtsdrehenden sein. Die Resultante der Kräfte beeinflußt das Gleichgewicht nicht, sie belastet lediglich das Lager. Der *Schwerpunkt* eines Körpers ist der Punkt, für den die Summe der Momente der an den einzelnen Masseelementen angreifenden Schwerkräfte Null wird.

DREHBEWEGUNGEN

Zentrifugalkraft. Ein Körper, der mit konstanter Geschwindigkeit v auf einer Kreisbahn mit dem Radius r umlaufen soll, muß zum Mittelpunkt der Kreisbahn hin beschleunigt werden; diese *Zentripetalbeschleunigung* hat den Wert $b = \frac{v^2}{r}$. Nach dem Grundgesetz der Mechanik muß daher auf den Körper eine nach dem Mittelpunkt des Kreises gerichtete, dem Betrage nach konstante Kraft $K = m\,b = m\,\frac{v^2}{r}$, die *Zentripetalkraft*, wirken. Die Änderung der Bewegungsrichtung ruft in dem Körper die zur Beschleunigung entgegengesetzt gerichtete, als *Zentrifugalkraft* bezeichnete Trägheitskraft hervor, die der Zentripetalkraft das Gleichgewicht hält. Die Zentripetalkraft kann bedingt sein durch ein Zentralkraftfeld, das den Körper anzieht, z. B. durch das Gravitationsfeld eines Himmelskörpers oder durch das elektrische Kraftfeld eines Atomkernes; sie kann aber auch

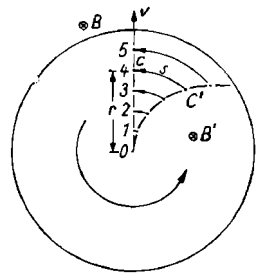
erst als Folge der Bewegung des Körpers entstehen, z. B. bei der Kreisbewegung eines Körpers an einem gespannten Faden. Bewegt sich z. B. ein Erdsatellit der Masse m auf einer Kreisbahn in der Höhe h über der Erdoberfläche um die Erde, dann ist sein Abstand vom Erdmittelpunkt $(R + h)$, wenn $R = 6370$ km der Erdradius ist. Nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz wird er mit der Kraft $K = \gamma \frac{M m}{(R+h)^2}$ von der Erde (Masse M) angezogen (γ ist die allgemeine Gravitationskonstante, $\gamma = 6{,}670 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2\,kg^{-2}}$). Da die Erdanziehungskraft an der Erdoberfläche ($h = 0$) gleich dem Gewicht $m\,g$ des Körpers mit der Masse m sein muß, gilt zunächst $m\,g = \gamma \frac{M m}{R^2}$. Rechnet man aus dieser Gleichung γ aus und setzt es in die Formel für die Anziehungskraft in der Höhe h ein, so ergibt sich $K = m\,g \frac{R^2}{(R+h)^2}$. Diese Anziehungskraft muß der Zentrifugalkraft $Z = m \cdot \frac{v^2}{R+h}$ des im Abstand $(R + h)$ vom Erdmittelpunkt umlaufenden Körpers gleich sein. Aus der Gleichung $m\,g \frac{R^2}{(R+h)^2} = m \cdot \frac{v^2}{R+h}$ ergibt sich die erforderliche Geschwindigkeit v des Körpers zu $v = R\sqrt{\frac{g}{R+h}}$. Für eine Höhe $h = 1000$ km wird $v = 6370 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{9{,}81}{7370 \cdot 10^3}}$ m/s $= 7350$ m/s. Die Zeit für einen vollständigen Umlauf auf der Bahn beträgt $t = \frac{2\pi(R+h)}{v} = \frac{2\pi \cdot 7370 \cdot 10^3\ \mathrm{m}}{7350\ \mathrm{m/s}}$ $= 6300$ s $= 105$ min.

Ersetzt man in der Formel für die Zentrifugalkraft $Z = m \cdot \frac{v^2}{r}$ die Geschwindigkeit v durch das Produkt aus Winkelgeschwindigkeit ω und Bahnradius r, so erhält man die gleichwertige Formel $Z = m\,\omega^2 r$. Eine Verdoppelung der Drehzahl vergrößert also die Zentrifugalkraft um den Faktor 4, während eine Verdoppelung des Abstandes von der Drehachse (bei konstanter Drehzahl) eine Verdoppelung der Zentrifugalkraft bewirkt.

Zentrifugalkräfte spielen in der Technik eine große Rolle. Eine unsymmetrische Massenverteilung kann bei schnell laufenden Maschinen zu Zentrifugalkräften führen, die Wellen und Lager stark beanspruchen. Bei einer Drehzahl von $U = 1500$ Umdrehungen/min wird $\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot U = 157{,}5\ \mathrm{s^{-1}}$. Auf eine Masse von 1 kg im Abstand 0,5 m von der Drehachse wirkt dann die Zentrifugalkraft $Z = 1\ \mathrm{kg} \cdot 157{,}5^2\ \mathrm{s^{-2}} \cdot 0{,}5\ \mathrm{m} = 12{,}4 \cdot 10^3\ \mathrm{N} = 1260$ kp. In den Zentrifugen findet die Zentrifugalkraft Anwendung zur Trennung von flüssigen Dispersionen. Die Trennung beruht auf dem Dichteunterschied zwischen der Flüssigkeit und den in ihr verteilten festen Teilchen oder Tröpfchen.

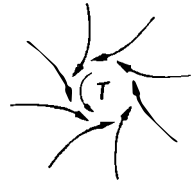
Corioliskraft. Die Bewegung der Körper auf der Erde beschreibt man im allgemeinen durch die Lage, die der Körper nach verschiedenen Zeiten in bezug auf die Erdoberfläche einnimmt. Beispielsweise nennt man die Bewegung eines Kraftwagens, der mit konstanter Geschwindigkeit auf einer geraden Straße fährt, geradlinig und gleichförmig. Ein Beobachter, der an der Drehung der Erde um ihre Achse nicht teilnimmt, sieht hingegen eine aus der Bewegung des Fahrzeuges in bezug auf die Erde und der Drehung der Erde zusammengesetzte Bewegung; die Bahn des Wagens ist, von seinem Standpunkt aus beurteilt, eine gekrümmte Kurve. Die Newtonschen Axiome haben sich als gültig erwiesen, wenn man die Bewegung der Körper in einem Koordinatensystem beschreibt, das in bezug auf den Fixsternhimmel ruht. Ein solches System heißt ein *Inertialsystem*. Ein Körper, der sich in bezug auf ein Koordinatensystem A mit der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}_A$ bewegt, hat bezogen auf ein System B, das sich gegen das System A mit einer Geschwindigkeit $\mathfrak{w}$ bewegt, eine Geschwindigkeit $\mathfrak{v}_B = \mathfrak{v}_A - \mathfrak{w}$. Die Beschleunigungen $\mathfrak{b}_A$ und $\mathfrak{b}_B$ des Körpers, gemessen in den beiden Systemen A bzw. B, stimmen nur dann überein, wenn die Geschwindigkeit $\mathfrak{w}$ der beiden Systeme gegeneinander dem Betrag und der Richtung nach konstant ist. Wenn das System A ein Inertialsystem ist, gilt in ihm das Grundgesetz der Mechanik $K = m\,\mathfrak{b}_A$. Diese Gleichung ändert sich beim Übergang vom System A nach dem System B nicht, wenn $\mathfrak{w}$ konstant ist, d. h., wenn sich das System B gegen das System A gleichförmig geradlinig bewegt. *Jedes Bezugssystem, das sich gegenüber einem Inertialsystem gleichförmig geradlinig bewegt, ist ebenfalls ein Inertialsystem.* Führt aber das System B gegen das Inertialsystem A eine beschleunigte Bewegung aus, rotiert z. B. B gegenüber A, so ist $\mathfrak{b}_B$ verschieden von $\mathfrak{b}_A$, und das Grundgesetz gilt im System B nicht mehr in der oben angeführten Form: $K = m \cdot \mathfrak{b}_B$. Es kommen vielmehr zur äußeren Kraft K (z. B. zur Massenanziehungskraft) noch Trägheitskräfte hinzu, die von der Art der Bewegung des Bezugssystems B in bezug auf das System A abhängen. Rotiert insbesondere B gegen A mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit ω, so gilt im rotierenden System $m\,\mathfrak{b}_B =$ äußere Kraft (K) + Zentrifugalkraft (Z) + Corioliskraft (C). Die Corioliskraft C (benannt nach dem französischen Physiker und Ingenieur G. G. Coriolis, 1792—1843) ist derjenige Anteil der Trägheitskräfte, der nur dann auftritt, wenn sich der Körper im rotierenden System bewegt. Zur Erläuterung betrachtet man als rotierendes Bezugssystem eine horizontale, um ihren Mittelpunkt mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω rotierende Kreisscheibe, auf der sich eine kleine Kugel der Masse m befinden soll. Die äußere Kraft K, die auf die Kugel wirkende Schwerkraft, darf hierbei Null gesetzt werden, da sie senkrecht

auf der Scheibe steht und keine Bewegung hervorrufen kann. Ist die Kugel mit der Masse m im Abstand r vom Mittelpunkt der Scheibe befestigt, so greift an ihr nur die radial vom Mittelpunkt nach außen gerichtete Zentrifugalkraft $Z = m\omega^2 r$ an. Die Corioliskraft entsteht erst, wenn sich die Kugel relativ zur Scheibe bewegt, z. B. wenn der Kugel im Mittelpunkt der Scheibe zur Zeit $t = 0$ durch einen Stoß die Geschwindigkeit v erteilt wird (Abb.). Bei reibungsfreier Bewegung sieht der nicht mitrotierende Beobachter B die Kugel mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig über die Scheibe gleiten. Der mitbewegte Beobachter B beobachtet eine gekrümmte Bahnkurve. Sie kann sichtbar gemacht werden, wenn die Scheibe vor dem Versuch berußt wird.



Corioliskraft auf einer rotierenden Scheibe

Den Ort C' auf der Scheibe, den die Kugel nach t Sekunden passiert, findet man, indem man von dem Punkt C im Abstand $r = v \cdot t$ auf der geradlinigen Bahn der Kugel in bezug auf die ruhende Umgebung ausgeht und um die Strecke $s = r \cdot \omega \cdot t$ auf dem Kreis mit dem Radius r entgegen der Drehrichtung der Scheibe fortschreitet. Denn vom ruhenden Beobachter B aus betrachtet, bewegt sich die Kugel in t Sekunden vom Mittelpunkt der Scheibe nach dem Punkt C. In der gleichen Zeit hat sich die Scheibe um den Winkel $\varphi = \omega \cdot t$ gedreht, und der Punkt C' der Scheibe ist auf dem Bogen s ebenfalls nach C gewandert. Die Bahnkurve s als Funktion von r ergibt sich sofort, wenn man aus den beiden Formeln t eliminiert: $s = \frac{\omega}{v} \cdot r^2$. Der Beobachter B' registriert also tatsächlich eine krummlinige Bewegung der Kugel. Aus der Krümmung der Bahnkurve nach rechts wird er auf eine senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkende Kraft schließen, die die Abweichung von der geradlinigen Bewegung verursacht. Diese Trägheitskraft heißt Corioliskraft. Die mathematische Analyse zeigt, daß die Corioliskraft proportional ist der Drehgeschwindigkeit ω des Systems, der Masse m und der zur Drehachse senkrechten Komponente der Geschwindigkeit des Körpers. Die Corioliskraft steht stets senkrecht auf der Bewegungsrichtung des Körpers und auf der Drehachse. Auf der Erde ist die Corioliskraft die Ursache für zahlreiche Erscheinungen, die umgekehrt die Rotation der Erde beweisen. Beim freien Fall tritt die *Ostablenkung* auf. Sie hat am Äquator den größten Wert; an den Polen ist sie Null. Körper, die sich in horizontaler Richtung bewegen, werden auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt, wenn man in Bewegungsrichtung blickt (Rechts- bzw. Linksablenkung). Dieser Effekt ist an den Polen am größten; er verschwindet am Äquator. Er bewirkt die allmähliche Drehung der Schwingungsebene eines Pendels (Foucaultscher Pendelversuch). Sehr gut läßt sich die Rechts- und Linksabweichung an den Meeresströmungen und an der Bewegung der Luftmassen studieren. Auf der Nordhalbkugel verlaufen die Hauptmeeresströmungen in nach rechts gekrümmten Bögen. Auf der Südhalbkugel ist es umgekehrt. Die Luftmassen, die in das Zentrum eines Gebiets niedrigen Druckes (Tief T) hineinströmen, werden auf der Nordhalbkugel nach rechts abgelenkt (Zyklone) (Abb.); sie bewegen sich daher gegen den Uhrzeigersinn um das Tief herum. Aus einem Hoch H fließt die Luft auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn ab (Antizyklone). Bei Flüssen beobachtet man auf der Nord- (Süd-) Halbkugel eine stärkere Erosion der rechten (linken) Ufer.



Zyklone auf der nördlichen Erdhalbkugel

Drehmoment, Drehimpuls, Trägheitsmoment. Ein Massepunkt sei durch eine als masselos angenommene starre Stange der Länge r mit einer Drehachse M verbunden, um die er reibungsfrei drehbar sei. An dem Massepunkt greife eine Kraft K senkrecht zur Stange und zur Drehachse an. Dann führt der Massepunkt eine beschleunigte Kreisbewegung aus. Seine Geschwindigkeit v ändert sich in der Zeit Δt um $\Delta v = b \cdot \Delta t$. Führt man an Stelle der Geschwindigkeit v und der Beschleunigung b die Winkelgeschwindigkeit ω und die Winkelbeschleunigung η durch die Gleichungen $v = \omega r$ und $\eta = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ ein, dann lautet das Grundgesetz der Mechanik: $K = m b = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m r \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = m r \eta$. Wenn man diese Gleichungen mit dem Abstand r von der Drehachse multipliziert, erhält man $Kr = m r^2 \eta$. Das Produkt $M = Kr$ heißt *Drehmoment* der Kraft K, der Ausdruck $\Theta = m r^2$ *Trägheitsmoment* des Massepunktes m. Dann lautet das Grundgesetz für Drehbewegungen:

Drehmoment (M) = *Trägheitsmoment* (Θ) · *Winkelbeschleunigung* (η).

Setzt man schließlich für die Winkelbeschleunigung $\eta = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$, so ergibt sich $\Theta \eta = \Theta \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\Delta(\Theta \omega)}{\Delta t}$. Das Produkt D = Trägheitsmoment Θ · Winkelgeschwindigkeit ω heißt *Drehimpuls*. Das Grundgesetz für Drehbewegungen gewinnt damit die Form $M = \frac{\Delta D}{\Delta t}$; das Drehmoment ist gleich der

Änderung des Drehimpulses in der Zeiteinheit. Für einen Massepunkt ist der Drehimpuls $D = \Theta\omega = mr^2\omega = mrv$. Für einen starren Körper behalten die beschriebenen Gesetze ihre Gültigkeit, man hat lediglich das Trägheitsmoment des Massepunkts $\Theta = mr^2$ durch das Trägheitsmoment Θ des starren Körpers zu ersetzen. Dieses ergibt sich, indem man jedes Masseelement des Körpers mit dem Quadrat seines Abstandes von der Drehachse multipliziert und über alle Masseelemente des Körpers summiert. Das Trägheitsmoment eines Körpers hängt von der Lage und der Richtung der Drehachse im Körper ab. Für eine flache Kreisscheibe mit dem Radius R und der Masse m erhält man beispielsweise, wenn die Drehachse durch den Mittelpunkt (Schwerpunkt) geht und senkrecht auf der Scheibe steht (*polares Trägheitsmoment*) $\Theta = \frac{1}{2} mR^2$; wenn die Drehachse durch den Mittelpunkt geht, aber in der Scheibenebene liegt (*äquatoriales Trägheitsmoment*) $\Theta = \frac{1}{4} mR^2$.

In bezug auf die Drehachse, die vom Schwerpunkt einen Abstand a hat, ist das Trägheitsmoment um das Trägheitsmoment des Schwerpunktes ma^2 größer als für eine zu ihr parallele Achse durch den Schwerpunkt (*Steinerscher Satz*).

Wenn das Drehmoment M der an dem Körper angreifenden Kraft Null ist, ergibt sich aus dem Grundgesetz für Drehbewegungen $\frac{\Delta D}{\Delta t} = 0$; d. h., der Drehimpuls ändert sich nicht. *Das ist der Erhaltungssatz des Drehimpulses.* Man kann ihn auch so aussprechen: *In einem abgeschlossenen System ist der Gesamtdrehimpuls zeitlich konstant.*

Es wurden hier nur Drehbewegungen betrachtet, bei denen die Drehachse im Körper fest ist und sich der Abstand der Massepunkte während der Bewegung nicht ändert. Die Planetenbewegungen und die Bewegung der Elektronen im Atom sind Beispiele für Drehbewegungen unter dem Einfluß eines Zentralkraftfeldes, bei denen der Abstand der Körper von dem Zentrum (Sonne bzw. Atomkern) im allgemeinen nicht konstant bleibt. Die Körper laufen in diesen Fällen auf Ellipsen um, in deren einem Brennpunkt der Zentralkörper steht, von dem die Kraftwirkung (Massenanziehung bzw. elektrische Anziehungskraft) ausgeht. Der Erhaltungssatz des Drehimpulses sagt hier aus, daß der vom Zentrum zum umlaufenden Körper gezogene Radiusvektor in gleichen Zeiten gleiche Flächen überstreicht (*Flächensatz*).

Einen drehbaren festen Körper ohne räumlich feste Drehachse bezeichnet man als *Kreisel*. Ist er vollständig frei drehbar oder im Schwerpunkt unterstützt, so liegt der *kräftefreie Kreisel* vor. Fällt der Unterstützungspunkt nicht mit dem Schwerpunkt zusammen, so spricht man vom *schweren Kreisel*. Beim Kreisel ist im allgemeinen die Drehachse nicht im Körper fest, sondern verlagert sich in ihm während der Bewegung. Dadurch entsteht die *Präzessionsbewegung*, bei der die Kreiselachse auf einem Zylindermantel umläuft. Beim schweren Kreisel sind der Präzession oft noch Schwankungen der Kreiselachse (*Nutationen*) überlagert.

Vergleich von Translation und Rotation. Die physikalischen Größen und Gesetze der fortschreitenden und der Drehbewegungen entsprechen einander weitgehend. Wie die Tabelle zeigt, findet man die Formeln der Drehbewegung aus den Gesetzen der fortschreitenden Bewegung, indem man die Geschwindigkeit v und die Beschleunigung b durch die entsprechenden Winkelgrößen ω und η sowie die Masse durch das Trägheitsmoment und die Kraft durch das Drehmoment ersetzt.

Translation (fortschreitende Bewegung)	Rotation (Drehbewegung)
Geschwindigkeit v	Winkelgeschwindigkeit ω
Beschleunigung b	Winkelbeschleunigung η
Masse m	Trägheitsmoment Θ
Kraft K	Drehmoment M
Impuls $I = mv$	Drehimpuls $D = \Theta\omega$
kinetische Energie	
der Translation $E = \frac{m}{2} v^2$	der Rotation $E = \frac{\Theta}{2} \omega^2$
Grundgesetze	
$K = mb = \frac{\Delta I}{\Delta t}$	$M = \Theta\eta = \frac{\Delta D}{\Delta t}$

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN DER STOFFE

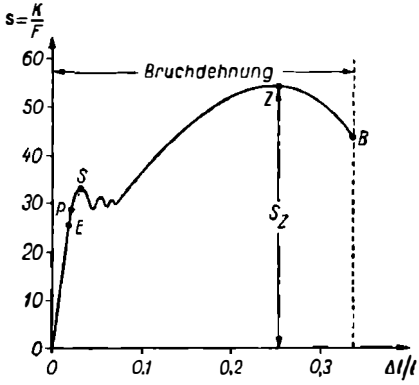
Molekularkräfte. Die Stoffe kommen im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand vor. Feste Körper haben eine bestimmte Gestalt und daher auch ein bestimmtes Volumen. Flüssigkeiten besitzen keine bestimmte Gestalt, wohl aber ein bestimmtes Volumen; sie nehmen die Gestalt der

Gefäße an, in die sie gebracht werden. Gasen kommt weder eine bestimmte Gestalt noch ein bestimmtes Volumen zu; sie füllen ein Gefäß stets vollständig aus. In welchem der drei Aggregatzustände ein Stoff vorliegt, hängt von der Größe der (mittleren) thermischen Energie der Moleküle im Vergleich zur Energie der Molekularkräfte ab, die die Moleküle aufeinander ausüben. Die *Molekularkräfte* beginnen wirksam zu werden, wenn sich zwei (elektrisch neutrale) Moleküle auf weniger als 10^{-6} cm einander nähern. Mit abnehmendem Abstand der Moleküle nimmt die Anziehungskraft allmählich zu, sie erreicht bei einem bestimmten Abstand einen Höchstwert und fällt bei weiterer Annäherung der beiden Teilchen auf Null ab. Bei noch kleineren Abständen hat die Molekularkraft das entgegengesetzte Vorzeichen; die Teilchen stoßen sich gegenseitig ab. Die Moleküle haben daher das Bestreben, sich in demjenigen Abstand voneinander anzuordnen, in dem sich die *Anziehungskraft* und die *Abstoßungskraft* gegenseitig aufheben. Bei sehr tiefen Temperaturen, in der Nähe des absoluten Nullpunktes, werden die Moleküle durch die Wärmebewegung nur wenig beeinflußt; sie können sich daher unter der Wirkung der Molekularkräfte in bestimmten Abständen anordnen und ein regelmäßig aufgebautes *Kristallgitter* bilden; man erhält den *Zustand der festen Körper*. Jedes Molekül befindet sich beim festen Körper in einer *Energiemulde*, in der es beim absoluten Nullpunkt die tiefste Lage einnimmt. Bei Erhöhung der Temperatur beginnen die Moleküle um die Gleichgewichtslagen zu schwingen. Wenn die Temperatur weiter erhöht wird, kommt es vor, daß einzelne Moleküle ihren Gitterplatz verlassen und in benachbarte Energiemulden übergehen. Am *Schmelzpunkt* geht die regelmäßige Anordnung der Teilchen verloren; die Energiemulden behalten ihre räumlichen Lagen nicht bei, und die Moleküle springen im Kraftfeld der benachbarten Moleküle zwischen den Energiemulden hin und her. Auch sind im *flüssigen Zustand* die Abstände zwischen benachbarten Teilchen nicht mehr alle gleich, sondern sie sind in jedem Zeitmoment um einen wahrscheinlichsten Abstand statistisch verteilt. Im *Gaszustand* schließlich überwiegt die Wärmeenergie die Energie der Molekularkräfte so stark, daß diese nicht mehr in der Lage sind, die Moleküle beieinander zu halten. Jedoch machen sich die Molekularkräfte auch bei den Gasen noch bemerkbar; besonders bei Temperaturen, die nicht sehr weit über dem Siedepunkt des betreffenden Stoffes liegen, findet man Abweichungen von den idealen Gasgesetzen, die zum Teil auf der anziehenden Wirkung der Molekularkräfte beruhen.
Die zwischen den Molekülen desselben Körpers wirkenden Molekularkräfte nennt man *Kohäsionskräfte*. Aber auch zwischen den Molekülen verschiedener Körper sind Molekularkräfte wirksam; sie werden als *Adhäsionskräfte* bezeichnet. Erstere sind die Ursache für den Kräfteaufwand, der beim Zerreißen der festen und auch der flüssigen Körper aufgebracht werden muß, letztere bewirken das Aneinanderhaften verschiedener Körper. Das Haften sehr genau ebener Glas- oder Stahlflächen aufeinander ist eine Folge der Adhäsionskräfte. Beim *Abheben einer Platte* von einer Flüssigkeitsoberfläche muß man die Adhäsionskräfte Flüssigkeit—fester Körper überwinden, wenn die Flüssigkeit die Platte nicht benetzt (z. B. Quecksilber—Glas), aber die Kohäsionskräfte der Flüssigkeit, wenn die Flüssigkeit die Platte benetzt (z. B. Wasser—Glas).

Kompressibilität. Durch einen allseitigen Druck erfahren die Körper eine Volumenverminderung. Als Kompressibilität oder *Zusammendrückbarkeit* K bezeichnet man die Volumenverminderung ΔV geteilt durch das ursprüngliche Volumen V und den aufgewandten Druck p: $K = \frac{1}{p}\frac{\Delta V}{V}$. Bei *Flüssigkeiten* und *festen Körpern* ist die Kompressibilität sehr klein; die Volumenverminderung erfolgt gegen die Wirkung der Molekularkräfte. Nach Wegnahme des äußeren Druckes nehmen die Körper ihr ursprüngliches Volumen wieder ein. Bei einem Druck von $p = 100$ at und einem Ausgangsvolumen von $V = 1$ dm³ beträgt die Volumenabnahme ΔV (bei Zimmertemperatur) für Diamant 0,016 cm³, Platin 0,036 cm³, Stahl (unlegiert) 0,060 bis 0,083 cm³, Zäsium 0,36 cm³, Steinsalz 0,42 cm³, Quecksilber 0,38 cm³, Wasser 4,7 cm³, Äthylalkohol 8,7 cm³, Pentan 24 cm³.

Feste Stoffe. Unter der Einwirkung einer äußeren Belastung (Zug, Druck, Verdrillung) ändert ein fester Körper seine Gestalt. Ein Körper heißt *elastisch*, wenn er nach Wegnahme der Belastung seine ursprüngliche Gestalt wieder annimmt; er heißt *plastisch*, wenn er die veränderte Gestalt beibehält. Abgesehen von vollkommen bildsamen Stoffen wie Lehm oder Ton zeigen die festen Stoffe in einem gewissen Belastungsbereich elastisches Verhalten. Bei größeren Belastungen wird der Körper entweder plastisch verformt oder er zerbricht, bevor bleibende Formveränderungen eintreten. In diesem Fall nennt man den Körper *spröde*.
Im elastischen Bereich gilt das *Hookesche Gesetz*: Die Verlängerung Δl, die ein Körper (Stab oder Draht) durch eine an seinem Ende angreifende Zugkraft erfährt, ist der Zugkraft K und der Länge l des Körpers direkt und seiner Querschnittsfläche F umgekehrt proportional: $\Delta l = \frac{1}{E}\frac{K \cdot l}{F}$. Die Proportionalitätskonstante E heißt *Elastizitätsmodul*. Für die Kraft K, die angewandt werden muß, um den Körper um Δl zu verlängern, erhält man $K = E \cdot F \cdot \frac{\Delta l}{l}$. Der Elastizitätsmodul E wird in der Technik in kp/mm² angegeben. Um eine anschauliche Vorstellung von den Werten des Elastizitätsmoduls zu erhalten, setzt man $F = 1$ mm², $l = 1$ m und $\Delta l = 1$ mm. Man erhält dann $K = E/1000$; d. h., der tausendste Teil des Elastizitätsmoduls in kp/mm² gibt die Kraft an, die notwendig ist, um einen Draht von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt um 1 mm zu verlängern.

Im *Zerreißversuch* ermittelt man das elastisch-plastische Verhalten von Werkstoffen unter Zug bis zum Bruch. Dabei wird der Probestab mit konstanter Geschwindigkeit verlängert und die auftretende Zugkraft registriert. Das Ergebnis stellt man im *Spannungs-Dehnungs-Diagramm* dar, das die Zugspannung $s = K/F$, d. h. die auf die Querschnittsfläche F bezogene Zugkraft K in Abhängigkeit von der relativen Verlängerung $\Delta l/l$ wiedergibt. Die Abbildung zeigt als Beispiel das Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines zähen Stoffes (weichgeglühter Stahl). Bis zur Proportionalitätsgrenze P ist die Kurve geradlinig, in diesem Bereich gilt das Hookesche Gesetz. Die *Elastizitätsgrenze* E, bei der die bleibende Verformung (nach Wegnahme der Zugspannung) 0,01% nicht übersteigt, liegt bei weichem Stahl ein wenig unterhalb der Proportionalitätsgrenze. Bei der *Streck-* oder *Fließgrenze* S beginnt sich das Material ohne Zunahme der Belastung zu verlängern (Fließen). Jedoch haben nicht alle Stoffe eine ausgebildete Streckgrenze; man bezeichnet in diesen Fällen den Punkt des Diagramms als Streckgrenze, bei dem die bleibende Verlängerung 0,2% beträgt. An das Übergangsgebiet schließt sich der plastische Bereich an, in dem die Dehnung stark mit Erhöhung der Zugspannung anwächst. Dabei beginnt sich der Probestab an einer Stelle einzuschnüren. Die Zugspannung S_Z im höchsten Punkt Z der Kurve nennt man *Zug-* oder *Zerreißfestigkeit*. Wegen der fortschreitenden Einschnürung nimmt die Spannung bis zum Bruch B schließlich wieder ab. Die Dehnung beim Bruch bezeichnet man als *Bruchdehnung*. Bei spröden Stoffen (Gußeisen, gehärteter Stahl) erfolgt der Bruch bereits am Ende des elastischen Bereichs.



Spannungs-Dehnungs-Diagramm

In ähnlicher Weise ermittelt man beim *Stauchversuch* die *Druckfestigkeit*, bei der ein zylindrischer Probekörper beim Zusammendrücken bricht.

Festigkeit einiger Stoffe

	Elastizitätsmodul in 10^3 kp/mm²	Elastizitätsgrenze in kp/mm²	Zugfestigkeit in kp/mm²	Druckfestigkeit in kp/mm²
Grauguß	7,5···10	—	10···20	60
Maschinenbaustahl	21	20···25	38···45	—
Federstahl	22	75···130	120···150	—
Chromnickelstahl	20	75···180	—	—
Wolfram	35···41	10	200···700	—
Messing, weich	6,5···8,0	5···7	12···15	7,5
Messing, gewalzt	9,8	13	35···50	—
Kupfer, geglüht	10,7	3	20	40
Kupfer, gezogen	12,6	12	30···45	—
Aluminium, weich	6,0···6,5	—	7···11	—
Aluminium, gewalzt	7,0···7,4	—	20···30	—
Blei	0,5···1,0	0,45···1,0	1,3···2,2	5
Silber	7,5	11	25	—
Platin	16	27	30	—
Eichenholz ∥ zur Faser	1,2	2,7	8···15	4,5···8,5
Eichenholz ⊥ zur Faser	—	—	0,3···0,9	1···3
Kiefernholz ∥ zur Faser	1,2	2,5	6···15	3···8
Kiefernholz ⊥ zur Faser	—	—	0,1···0,4	0,5···2
Glas	6···7	—	7···9	80···100
Granit	3···7	—	—	16···24
Basalt	5···10	—	2	25···40
Hartporzellan	7···8	—	2···5	50···70
Marmor	—	—	0.7	6···8

Als *Härte* eines festen Körpers bezeichnet man den Widerstand, den er dem Eindringen eines anderen entgegensetzt. In der Mineralogie verwendet man heute noch die Härteskala nach Mohs (1812), bei der 10 bekannten Mineralien die Härtezahlen 1 bis 10 so zugeordnet sind, daß jedes

Mineral die in der Skala vorausgehenden ritzt, aber von den folgenden selbst geritzt wird, wenn man mit einer spitzen Ecke des einen eine glatte Fläche des anderen überstreicht. Ein Stoff hat z. B. eine Ritzhärte zwischen 7 und 8, wenn er Quarz gerade noch ritzt, von Topas aber selbst geritzt wird.

Mohssche Härteskala

Talk 1	Kalkspat 3	Apatit 5	Quarz 7
Gipskristall ... 2	Flußspat 4	Feldspat 6	Topas 8
			Korund 9
			Diamant 10

Ritzhärten einiger Mineralien

Graphit	0,5···1	Lapislazuli	5	Onyx (Chalzedon)	7
Speckstein	1	Opal	5···6	Turmalin	7···7,5
Steinsalz	2	Hämatit	5,5···6,5	Zirkon	7···8
Bimsstein	2···2,5	Türkis	6	Beryll, Aquamarin,	
Marmor	3···4	Rutil	6···6,5	Smaragd	7,5···8
Serpentin	3···4	Schwefelkies ...	6···6,5	Spinell	8
Alaunstein	3,5···4	Olivin	6,5···7	Chrysoberyll	8,5
				Korund, Rubin, Saphir	9

In der *Technik* werden zur Bestimmung der Härte Verfahren nach Brinell, Rockwell und Vickers benutzt, bei denen genormte Prüfkörper (Stahlkugel, Diamantpyramide) in das Material eingedrückt werden und die Eindrucksfläche oder -tiefe gemessen wird. Die *Brinellhärte* ergibt sich, wenn man die Belastung der Stahlkugel in kp durch den Flächeninhalt der Eindruckskalotte in mm² teilt. Eine Umrechnung der Brinellhärte in Ritzhärte ist nicht möglich.

Brinellhärten von Metallen

in kp/mm²

Chromstahl	bis 750	Eisen, rein	45	Aluminium, weich ...	15···25
Federstahl	350···450	Wolfram	250···350	Aluminium, gewalzt	35···70
Maschinenbaustahl	90···130	Messing, weich	45···60	Silber	20
Grauguß	70···100	Messing, gewalzt ..	96···12	Blei	3
				Natrium	0,07

Molekularkräfte in Flüssigkeiten. In den Flüssigkeiten sind die Moleküle leicht gegeneinander verschiebbar. Greift daher eine Kraft schräg zur Oberfläche einer Flüssigkeit an, so setzt sich die Flüssigkeit in Bewegung und verschiebt sich so lange, bis die zur Oberfläche tangentiale Kraftkomponente Null wird. Eine Flüssigkeitsoberfläche stellt sich stets so ein, daß sie senkrecht zu der wirkenden Kraft steht. Die Molekularkräfte rufen die Oberflächenspannung und die Viskosität der Flüssigkeiten hervor.

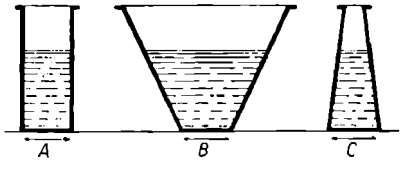
Oberflächenspannung. Die Oberflächenspannung kommt dadurch zustande, daß die Flüssigkeitsteilchen, die die Oberfläche bilden, durch die Kohäsionskraft eine Anziehung nach dem Innern der Flüssigkeit erfahren. Bei der Vergrößerung der Oberfläche einer Flüssigkeit muß Arbeit gegen die *Kohäsionskraft* geleistet werden, denn es müssen mehr Teilchen aus dem Innern an die Oberfläche gebracht werden. Die Flüssigkeit wird daher, wenn keine anderen Kräfte auf sie wirken, *Kugelgestalt* annehmen, weil die Kugel bei gegebenem Volumen die kleinste Oberfläche unter allen Körpern hat. Allerdings kann sich diese Wirkung der Oberflächenspannung nur bei kleinen Tröpfchen ungehindert ausbilden, da bei diesen die *Schwerkraft* nicht ins Gewicht fällt. Bei größeren Flüssigkeitsmengen überwiegt die Schwerkraft die Oberflächenspannung so stark, daß sich die Oberfläche stets senkrecht zur Richtung der Schwerkraft einstellt. In *Seifenblasen* herrscht infolge der Oberflächenspannung ein Überdruck, der dem Durchmesser der Seifenblasen umgekehrt proportional ist. Stehen zwei Seifenblasen durch ein Röhrchen miteinander in Verbindung, so schrumpft die kleinere und bläst die größere auf. Die Oberflächenspannung wird gemessen durch die Kraft, mit der eine Flüssigkeitsoberfläche die Längeneinheit der Berandung nach dem Innern der Oberfläche zieht. Sie ist gleich der Arbeit, die aufgebracht werden muß, um eine Flächeneinheit der Oberfläche zu bilden; sie beträgt für Quecksilber 0,5 Newton/m = 0,5 Joule/m², für Wasser 0,073 N/m, für Äthylalkohol 0,022 N/m.

Die Oberflächenspannung ist auch die Ursache für die Erscheinungen der *Kapillarität.* In engen Röhrchen (Kapillaren, Haarröhrchen) steigen benetzende Flüssigkeiten (z. B. Wasser in Glaskapillaren) gegen die Wirkung der Schwerkraft um so weiter empor, je größer die Oberflächenspannung und je kleiner der Durchmesser der Kapillaren ist. Dabei bilden sie eine nach unten gebogene (*konkave*) *Oberfläche.* Das Aufsteigen benetzender Flüssigkeiten in feinsten Kapillaren ist von großer Bedeutung für die Ernährung der Pflanzen. Nicht benetzende Flüssigkeiten (z. B. Quecksilber in Glaskapillaren) stehen in einer in die Flüssigkeit eintauchenden Kapillare unterhalb des Flüssigkeitsspiegels. Sie bilden eine kugelförmig nach oben gewölbte (*konvexe*) *Kuppe.*

Viskosität. Die *Viskosität* oder *innere Reibung* ist der Widerstand, den eine Flüssigkeit dem Aneinandervorbeigleiten paralleler Flüssigkeitsschichten entgegensetzt. Die Kraft, die man aufwenden muß, um zwei ebene parallele Platten mit den Flächen F, zwischen denen sich eine Flüssigkeit befindet, im Abstand d mit der Geschwindigkeit v ohne Abstandsänderungen zu verschieben, ist gegeben durch $K = \eta F v/d$; dabei ist η der *Koeffizient der inneren Reibung* oder die *dynamische Viskosität.* Sie wird gemessen in *Poise* P oder in Ns/m^2. Es ist $1\,P = 1\,dyn \cdot s \cdot cm^{-2} = 0{,}1\,Nsm^{-2}$

Den Quotienten $\nu = \frac{\eta}{\varrho}$ aus dynamischer Viskosität η und Dichte ϱ bezeichnet man als *kinematische Viskosität.* Ihre Maßeinheiten sind das *Stokes* St und das m^2/s; $1\,St = 1\,cm^2/s = 10^{-4}\,m^2/s$.

Der hydrostatische Druck. In ruhenden Flüssigkeiten können wegen der leichten Verschiebbarkeit der Molekülе keine Kräfte tangential zu einer Begrenzungsfläche bestehen. Die Kraft, die eine *ruhende Flüssigkeit* auf die Gefäßwand ausübt, steht daher überall senkrecht auf der Wand. Die Kraft K, die senkrecht auf ein (ebenes) Flächenstück F wirkt, geteilt durch die Größe F des Flächenstückes nennt man den *Druck* $p = K/F$.



Hydrostatisches Paradoxon

Der auf eine in einem Gefäß allseitig eingeschlossene Flüssigkeit, z. B. mit einem Kolben, ausgeübte Druck pflanzt sich durch die gesamte Flüssigkeit mit gleicher Stärke fort; d. h., auf die Wandung, aber auch auf in der Flüssigkeit befindliche Körper wird je Quadratzentimeter die gleiche Kraft ausgeübt. Auf eine ebene Fläche wirkt daher die Kraft $K = F \cdot p$. Drückt man einen Kolben der Fläche F_1 mit der Kraft K_1 auf eine eingeschlossene Flüssigkeit, so übt die Flüssigkeit auf einen zweiten Kolben mit der Fläche F_2 die Kraft $K_2 = K_1 F_2/F_1$ aus, da die auf die beiden Kolben wirkenden Drücke gleich sein müssen (Prinzip zur Erzeugung großer Kräfte mit der *hydraulischen Presse*).

Anders verhält sich der Druck, den die Flüssigkeit infolge der Schwerkraft auf die Gefäßwand ausübt. Er nimmt mit der Tiefe unter dem Flüssigkeitsspiegel zu. Der *Schweredruck*, der in der Tiefe h unter dem Flüssigkeitsspiegel wirkt, ist gegeben durch $p = \varrho \cdot g \cdot h$, wenn ϱ die Dichte der Flüssigkeit und g die Fallbeschleunigung ist. Auf eine ebene Fläche F übt die Flüssigkeit die Kraft $K = \varrho \cdot g \cdot h \cdot F$ aus. Da $h\,F$ gleich dem Volumen V der Flüssigkeitssäule mit dem Querschnitt F und der Höhe h ist, wirkt auf die Fläche F eine Kraft, die gleich dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule mit dem Querschnitt F und der Höhe h ist. Die Orientierung der Fläche F hat dabei keinen Einfluß auf die Größe der Kraft: Man nennt die Kraft, die auf die Flächeneinheit wirkt, *Bodendruck*, *Seitendruck* bzw. *Aufdruck*, wenn die Fläche F der (waagerechte) Boden des Gefäßes, seine (senkrechte) Wandung bzw. der Boden eines in die Flüssigkeit bis zur Tiefe h eintauchenden Gefäßes ist.

Hydrostatisches Paradoxon. Die drei Gefäße der Abbildung haben die gleiche Bodenfläche; sie sind bis zur gleichen Höhe mit der gleichen Flüssigkeit gefüllt. Daher wirkt auf den Boden jedes Gefäßes ein und dieselbe Kraft und nicht, wie man vermuten könnte, auf B eine größere und auf C eine kleinere als auf A.

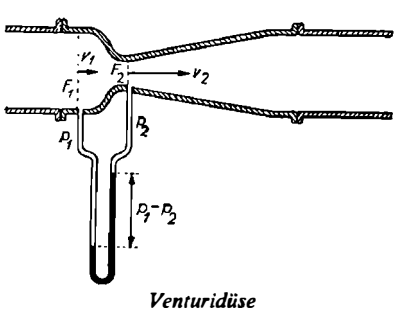
Der Druck von 1 kp je cm^2 heißt eine *technische Atmosphäre*: $1\,at = 1\,kp/cm^2$. Da das Gewicht $\varrho \cdot g$ eines Wasserwürfels von 1 cm Kantenlänge (bei 4 °C) 1 Pond beträgt, ist der Schweredruck in 1 m Wassertiefe $\varrho \cdot g \cdot h = 1\,p \cdot cm^{-3} \cdot 100\,cm = 100\,p\,cm^{-2} = 0{,}1\,kp/cm^2$. Sieht man von der geringen Zunahme der Dichte infolge der Kompression des Wassers ab, so wächst der Wasserdruck (bei 4 °C und für reines Wasser) um 1 at je 10 m Zunahme der Tiefe unter dem Wasserspiegel. Als *Druckeinheiten* werden auch benutzt: *Meter Wassersäule*, 1 mWS = 100 *Zentimeter Wassersäule*, 1 cmWS = 10 *Millimeter Wassersäule*, 1 mWS = 0,1 at.

Kommunizierende Röhren. In kommunizierenden (verbundenen) Röhren steigt eine Flüssigkeit (ohne Rücksicht auf Form und Weite der einzelnen Röhren) überall *gleich hoch* (z. B. Wasserleitung). Befindet sich im Röhrensystem unterhalb des allgemeinen Flüssigkeitsniveaus eine nach oben gerichtete Öffnung, so tritt die Flüssigkeit aus und steigt (fast) bis zur Höhe des allgemeinen Niveaus als *Springbrunnen* empor.

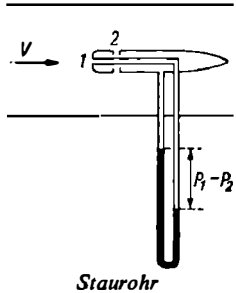
Der Auftrieb. Jeder Körper erfährt beim Eintauchen in eine Flüssigkeit einen Auftrieb, d. h. eine der Schwerkraft entgegengerichtete Kraft. Der Auftrieb kommt dadurch zustande, daß der nach unten gerichtete *Schweredruck* der Flüssigkeit auf der Oberseite des Körpers geringer ist als der nach oben gerichtete Schweredruck auf der Unterseite des Körpers. Nach dem *archimedischen Prinzip* ist der Auftrieb gleich dem Gewicht der von dem Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge. Ein homogener Körper geht unter, schwimmt bzw. schwebt in einer Flüssigkeit, wenn seine Dichte größer, kleiner bzw. gleich der Dichte der Flüssigkeit ist. Für beliebige (z. B. nicht einheitliche) Körper gilt: Ein Körper, der in einer Flüssigkeit ganz untertaucht, erfährt einen *Gewichtsverlust*, der gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge, also gleich $g\varrho V$ ist; dabei bedeuten g die Fallbeschleunigung, ϱ die Dichte der Flüssigkeit und V das Volumen des Körpers. Wenn ein Körper in der Flüssigkeit *schwebt*, ist sein Gewicht gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge. Ein *schwimmender* Körper taucht so weit in die Flüssigkeit ein, bis das Gewicht der

verdrängten Flüssigkeitsmenge gleich seinem eigenen Gewicht ist. Das archimedische Prinzip wird bei der Bestimmung der Dichte von festen Körpern und von Flüssigkeiten angewandt.

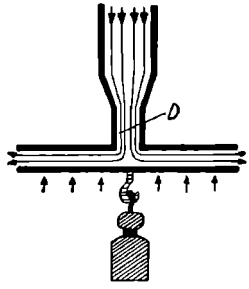
Bewegte Flüssigkeiten. Durch jeden Querschnitt eines Rohres strömt in der Zeiteinheit die gleiche Flüssigkeitsmenge. In der Zeiteinheit t strömt durch ein Rohr mit dem Querschnitt F das Flüssigkeitsvolumen vF, wenn v die (über den Querschnitt gemittelte) Strömungsgeschwindigkeit ist. Sind F_1, F_2, F_3 die Querschnitte an drei beliebigen Stellen des Rohres und v_1, v_2, v_3 die dort herrschenden Geschwindigkeiten, so gilt $F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3$ (*Kontinuitätsgleichung*).



Venturidüse



Staurohr



Hydrodynamisches Paradoxon

Um durch ein Rohr mit dem Querschnitt F und der Länge l eine bestimmte Flüssigkeitsmenge in der Zeiteinheit zu transportieren, muß man zwischen Anfang und Ende des Rohres einen bestimmten Druckunterschied p aufrechterhalten. Der notwendige Druckunterschied hängt von der Strömungsform im Rohr ab. Wenn die *Reynoldssche Zahl* $Re = \varrho \cdot v\, r/\eta$ (v über den Rohrquerschnitt gemittelte Strömungsgeschwindigkeit, ϱ Dichte, η dynamische Viskosität der Flüssigkeit, r Rohrradius) kleiner als 1150 ist, herrscht im Rohr *laminare*, für größere Reynoldssche Zahlen *turbulente Strömung*. Bei der laminaren Strömung gleiten die Flüssigkeitsschichten aufeinander, ohne sich zu durchmischen, bei der turbulenten Strömung führen die Flüssigkeitsteilchen quer zur Strömungsrichtung unregelmäßige Wirbelbewegungen aus. Wenn laminare Strömung vorliegt, also bei engen Rohren (z. B. Kapillaren), bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten oder bei großer Viskosität, gilt das *Hagen-Poiseuillesche Gesetz*, nach dem das in der Zeiteinheit durch den Rohrquerschnitt fließende Flüssigkeitsvolumen $Q = \frac{\pi r^4 p}{8 \eta l}$ ist. Das Gesetz ist z. B. wichtig für den Blutkreislauf. Eine Verringerung des Rohrquerschnittes auf die Hälfte setzt (bei konstantem Druck p) den Durchfluß Q auf den 16ten Teil herab. Wenn in einem waagerechten Rohr mit wechselndem Querschnitt die Reibung vernachlässigt werden kann oder wenn man zwei benachbarte Stellen eines Rohres betrachtet, zwischen denen der Druckabfall längs des Rohres durch die Reibung sehr klein ist, gilt die *Bernoullische Gleichung*. Wenn an den Stellen 1 und 2 des Rohres die statischen Drücke p_1 und p_2 und die Strömungsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 vorhanden sind, dann ist $p_1 + \frac{1}{2} \varrho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \varrho v_2^2 = \text{const}$. Die Größe $\frac{1}{2} \varrho v^2$ bezeichnet man als *Staudruck* oder *dynamischen Druck*. Die Bernoullische Gleichung sagt also aus, daß die Summe aus dem statischen und dem dynamischen Druck längs des Rohres (bei vernachlässigter Reibung) konstant ist. An den engen Stellen des Rohres, wo die Strömungsgeschwindigkeit größer ist, herrscht ein kleiner statischer Druck. Auf der Bernoullischen Gleichung beruhen die Verfahren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit mit der Venturidüse und mit dem Staurohr (Abb.). Bei der *Venturidüse* mißt man die *Differenz der statischen Drücke* $p_1 - p_2 = \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2)$. Da $v_2 = v_1 \cdot F_1/F_2$ ist, kann man aus der Druckdifferenz die Geschwindigkeit v_1 im Rohr ausrechnen. Beim *Staurohr* ist am Staupunkt 1 die Strömungsgeschwindigkeit Null, es gilt also $p_1 = p_2 + \frac{1}{2} \varrho v_2^2$. Die gemessene Druckdifferenz ist also auch hier dem Staudruck gleich.

Die Bernoullische Gleichung hat eine überragende Bedeutung für alle *Strömungsprobleme*. *Tragflügel* erfahren einen dynamischen Auftrieb, weil an ihrer Oberseite wegen der vorhandenen größeren Strömungsgeschwindigkeit ein Unterdruck herrscht. Der Unterdruck durch große Strömungsgeschwindigkeit wird bei der *Wasserstrahlpumpe* und beim *Zerstäuber* ausgenutzt. Angeschnittene Tischtennisbälle werden nach der Seite hin abgelenkt, auf der die Drehgeschwindigkeit des Balles der Flugrichtung entgegengesetzt ist (*Magnuseffekt*).

Hydrodynamisches Paradoxon. Die mit großer Geschwindigkeit ausströmende Preßluft (Abb.) erzeugt zwischen den Platten einen Unterdruck, so daß die untere Platte durch den äußeren Luftdruck gegen die obere gepreßt wird. Man würde bei oberflächlicher Betrachtung erwarten, daß die untere Platte durch die ausströmende Luft weggedrückt wird.

Viskosität von Flüssigkeiten und Gasen

in Zentipoise

Wasserstoff (20 °C)	0,0088	Quecksilber (20 °C)	1,554
Kohlendioxyd (20 °C)	0,0147	Glyzerin (20 °C)	15,0
Luft (20 °C)	0,0181	Schwefelsäure, 100% (20 °C)	27
Äther (20 °C)	0,243	Olivenöl (20 °C)	81
Wasser (20 °C)	1,0046	Maschinenöl (20 °C)	90···350
Wasser (100 °C)	0,2821	Rizinusöl (20 °C)	950
Alkohol (20 °C)	1,19	Pech (20 °C)	$3 \cdot 10^{10}$
Alkohol (− 50 °C)	6,4	Pech (50 °C)	$5 \cdot 10^{6}$
		Pech (100 °C)	120

Die Viskosität der Flüssigkeiten nimmt mit wachsender Temperatur stark ab. Bei Gasen steigt sie mit der Temperatur schwach an und hängt im Bereich von 1 bis 760 Torr praktisch nicht vom Druck ab.

Allgemeine Eigenschaften der Gase. Gase haben das Bestreben, sich *auszudehnen* (Expansion der Gase). Eine Gasmenge füllt ein noch so großes Gefäß vollständig und gleichmäßig aus (soweit nicht äußere Kräfte dem entgegenwirken).
Nach der kinetischen Gastheorie befinden sich die Gasmoleküle in ständiger regelloser Bewegung. Durch Zusammenstöße der Moleküle untereinander und mit den Gefäßwänden ändern sich fortwährend der Betrag und die Richtung der Geschwindigkeit jeder Molekel; die Flugbahnen haben einen zickzackförmigen Verlauf. Sehr kleine und sehr große Geschwindigkeiten kommen nur selten vor. Als *ideales* Gas bezeichnet man ein gedachtes Gas, bei dem die Moleküle außer im Augenblick des Stoßes keine Kräfte aufeinander ausüben und das Eigenvolumen der Moleküle gegenüber dem Gefäßvolumen vernachlässigbar klein ist. Für ideale Gase gelten die sehr einfachen *Gasgesetze* (s. Stoff). Das Verhalten der *wirklichen* (*realen*) Gase entspricht dem der idealen Gase um so besser, je höher die Temperatur und je niedriger der äußere Druck ist. Die mittlere kinetische Energie $E_{\mathrm{kin}} = \frac{m}{2} \cdot v^2$ (v mittlere Geschwindigkeit, m Masse eines Moleküls) der Moleküle der idealen Gase wächst linear mit der absoluten Temperatur T; $E_{\mathrm{kin}} = \frac{3}{2} kT$. Die Konstante k heißt *Boltzmann-Konstante*, $k = 1{,}3804 \cdot 10^{-23}$ J/grd.
Daraus ergibt sich für die *mittlere Geschwindigkeit der Moleküle* $v = \sqrt{3\,kT/m}$. Bei 0 °C erhält man für Sauerstoffmoleküle $v = 461$ m/s, für Wasserstoffmoleküle $v = 1845$ m/s. An den Gefäßwänden werden die Moleküle reflektiert. Bei senkrechtem Aufprall erfährt ein Molekül eine Impulsänderung um $2 \cdot m\,v$, wodurch nach dem Grundgesetz der Mechanik auf die Wand ein Kraftstoß von der gleichen Größe ausgeübt wird. Die Summe aller einzelnen Kraftstöße in der Zeiteinheit je Quadratzentimeter macht sich makroskopisch als Druck auf die Gefäßwand bemerkbar.
Zur Messung von Drucken benutzt man *Manometer*. Die *Flüssigkeitsmanometer* bestehen im Prinzip aus einem U-Rohr, das mit einer Meßflüssigkeit (z. B. Wasser, Quecksilber) etwa bis zur Hälfte gefüllt ist. Der eine Schenkel wird durch einen Schlauch mit dem Gefäß verbunden, in dem der Druck gemessen werden soll. Beim *Röhrenfedermanometer* wird durch den zu messenden Druck ein ringförmig gebogenes ovales Rohrstück (*Bourdonsche Röhre*) elastisch aufgebogen. Höchste Drücke (10000 at und mehr) bestimmt man mit *Manganinmanometern* aus der Widerstandsänderung eines Manganindrahtes. Von einem *Vakuum* spricht man, wenn der Gasdruck in einem Gefäß kleiner als 760 Torr ist. Man unterscheidet Grobvakuum (760 bis 1 Torr), Feinvakuum (1 bis 10^{-3} Torr), Hochvakuum (10^{-3} bis 10^{-7} Torr), Ultrahochvakuum (unter 10^{-7} Torr).
Geräte zur Druckmessung in Vakua heißen *Vakuummeter*.
Die Gesetze des hydrostatischen Druckes gelten auch in Gasen. Der atmosphärische Luftdruck ist der Schweredruck der Luft in der uns umgebenden Lufthülle der Erde. Nach dem archimedischen Prinzip erfahren alle Körper in Luft einen *Auftrieb*, der gleich dem Gewicht der von dem Körper verdrängten Luftmenge ist. Beispielsweise beträgt der Auftrieb eines 5000 m³ fassenden Luftballons (Durchmesser rund 21 m) $5000 \cdot 1{,}3$ kp = 6500 kp, da 1 m³ Luft etwa 1,3 kp wiegt. Das Gewicht des Füllgases ist $5000 \cdot 0{,}09$ kp = 450 kp, wenn zur Füllung des Ballons Wasserstoff benutzt wird; falls Hülle, Korb und Nutzlast zusammen ein Gewicht von weniger als rund 6000 kp haben, kann der Ballon aufsteigen. Da die Dichte der Luft und damit der Auftrieb mit zunehmender Höhe über dem Erdboden abnehmen, kommt der Ballon in einer bestimmten Höhe zum Stehen, d. h., er schwebt dort. Als *Normzustand* eines Gases bezeichnet man den Zustand bei Normwerten für Temperatur und Druck. Das Volumen, das eine Gasmenge im Normzustand einnimmt, nennt man das *Normvolumen*. Die *Normtemperatur* und der *Normdruck* sind in der Physik 0 °C und 1 physikalische Atmosphäre (atm), in der Technik 20 °C und 1 technische Atmosphäre (at).

Der atmosphärische Luftdruck. Der atmosphärische Luftdruck ist der Druck, den die uns umgebende Lufthülle der Erde durch ihr Gewicht von allen Seiten auf uns ausübt. Im Meeresniveau ist er im Jahresmittel dem Druck einer Quecksilbersäule von $h = 760$ mm Länge (bei 0 °C und 45° geo-

graphischer Breite) gleich. Dieser Druck wird 1 physikalische Atmosphäre (atm) genannt. Mit der Dichte des Quecksilbers bei 0 °C $\varrho = 13{,}5951$ g/cm³ und dem Wert der Normfallbeschleunigung $g_N = 980{,}665$ cm/s² wird 1 atm $= \varrho\, g_N\, h = 13{,}5951$ g/cm³ · 980,665 cm/s² · 76 cm $= 1{,}01325 \times 10^6$ dyn/cm² $= 1{,}01325 \cdot 10^5$ N/m² $= 1{,}03323$ kp/cm². Der Druck von 10^6 dyn/cm² heißt 1 bar (b), der einer Quecksilbersäule von 1 mm Höhe wird mit 1 Torr bezeichnet. In der Meteorologie wird der Luftdruck meist in Millibar (mb) angegeben. Es gilt also 1 atm = 760 Torr = 1013,25 mb. Man unterscheidet die Einheiten *physikalische Atmosphäre* (atm) und *technische Atmosphäre* (at): 1 at = 1 kp/cm² = 0,96784 atm. Zur Messung des Luftdruckes dienen die Barometer. In der Nähe des Erdbodens nimmt der Luftdruck je 10,5 m Höhenzunahme um 1 Torr ab.

Druckeinheiten

	N/m²	b	at	atm	Torr
1 N/m²	1	10^{-5}	$1{,}01972 \cdot 10^{-5}$	$0{,}98692 \cdot 10^{-5}$	$7{,}5006 \cdot 10^{-3}$
1 b	10^5	1	1,01972	0,98692	750,06
1 at	98066,5	0,980665	1	0,96784	735,56
1 atm	101325	1,01325	1,03323	1	760
1 Torr	133,322	$1{,}33322 \cdot 10^{-3}$	$1{,}35951 \cdot 10^{-3}$	$1{,}31579 \cdot 10^{-3}$	1

IV. Wellen

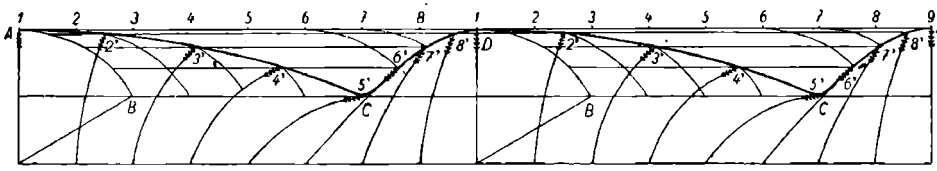
Der Begriff *Welle* ist einer der wichtigsten der Physik. Für die mechanischen Wellen ist ein Medium, eine materielle Substanz vorhanden, die die Welle trägt (z. B. Wasser) oder durch die hindurch sich die Welle fortpflanzt (z. B. eine Schallwelle durch die Luft). Aber auch elektrische und magnetische Wirkungen können sich als Wellen im Raum ausbreiten. Diese elektromagnetischen Wellen brauchen keinen Stoff als Wellenträger. Sie stellen Schwankungen der elektrischen und der magnetischen Feldstärke dar, die sich nach den Gesetzen der Elektrodynamik auch im leeren Raum fortpflanzen.

FREQUENZ UND WELLENLÄNGE

Jede Welle ist durch die Richtung und die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung gekennzeichnet. Eine periodische Welle hat eine bestimmte Frequenz (Schwingungszahl) und eine bestimmte Wellenlänge; ihre Intensität (Stärke) ist zeitlich konstant. Die einfachste periodische Welle ist die Sinuswelle; bei ihr hängt die Erregung in jedem Punkt des Raumes sinusförmig von der Zeit ab. *Wellengruppen* oder *Wellenpakete* bestehen nur aus kurzen Wellenzügen; sie können nicht durch eine einzige Frequenz beschrieben werden.

Welle im Ährenfeld. Ein anschauliches Bild von einer periodischen (nicht sinusförmigen) Welle gibt die Bewegung der Getreidehalme eines Ährenfeldes, über das der Wind hinwegstreicht. Den Wellenträger bilden die elastisch schwingenden Halme. In der Abbildung sind in konstanten Abständen Halme gezeichnet; die Zwischenräume sind durch weitere Halme ausgefüllt zu denken. Jeder Getreidehalm führt ein und dieselbe Schwingungsbewegung aus. Der Schwingungszustand, in dem sich in einem bestimmten Augenblick ein Halm befindet, wird die *Phase* der Schwingung genannt. Für eine volle Schwingung (*ABA*) braucht jeder Halm eine bestimmte Zeit, die Schwingungsdauer T. Er führt somit in der Zeiteinheit $\nu = 1/T$ Schwingungen aus, ν heißt *Schwingungszahl* oder *Frequenz*. Zwei (in Windrichtung) benachbarte Halme unterscheiden sich ein wenig in ihren Schwingungsphasen. (Vgl. Abb. auf der folgenden Seite.)
Die Phase des in Windrichtung folgenden Nachbars ist etwas gegenüber der des betrachteten Halmes zurück. Da sich z. B. die Halme 3 und 4 in Aufwärtsbewegung befinden, erreicht 4 die für 3 gezeichnete Stellung zu einem etwas späteren Zeitpunkt. Dadurch entsteht die Erscheinung einer fortschreitenden Welle. Die Teilchen des Wellenträgers (die Halme) bleiben dabei an ihren Orten. Der Abstand zwischen einem Halm und dem nächstfolgenden, der sich im gleichen Schwingungszustand befindet (z. B. der Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen oder Wellentälern), heißt Wellenlänge λ. Während einer vollen Schwingung (also während der Zeit T) bewegen sich ein Wellenberg oder ein Wellental gerade um eine Wellenlänge λ weiter. Da ein Halm in der Zeiteinheit ν Schwingungen ausführt, breitet sich die Welle in der Zeiteinheit um die Strecke $\nu \cdot \lambda$ aus. Die von einer Erscheinung in der Zeiteinheit zurückgelegte Strecke ist aber ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Man erhält somit für die *Fortpflanzungs-* oder *Phasengeschwindigkeit* einer Welle die wichtige Beziehung $c = \nu \cdot \lambda$.

Da Schall in Luft eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit c von rund 340 m/s hat, ergeben sich danach für Töne mit den Frequenzen ν von 20 bis 20000 Hz Wellenlängen λ zwischen 17 m und 17 mm. Entsprechend läßt sich für eine Röntgenwelle mit der Wellenlänge $\lambda = 0{,}1$ nm aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit c für elektromagnetische Wellen mit $c = 300000$ km/s $= 3 \cdot 10^8$ m/s $= 3 \cdot 10^{17}$ nm/s die Schwingungszahl oder Frequenz ν dieser Welle berechnen; man erhält $\nu = \frac{c}{\lambda}$ $= 3 \cdot 10^{17}$ nm/s : 0,1 nm $= 3 \cdot 10^{18}\ s^{-1}$, d. h. 3 Trillionen Schwingungen in einer Sekunde.

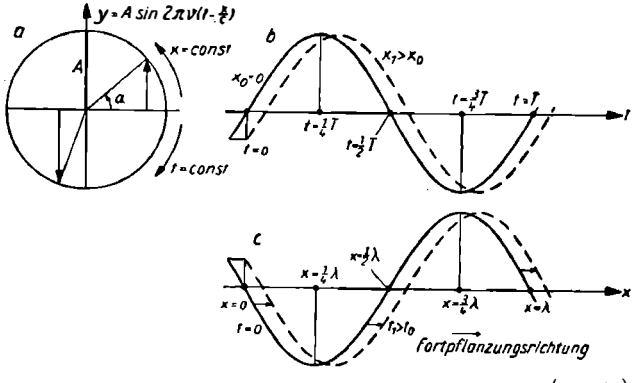


Welle im Ährenfeld; A, D Wellenberge; C Wellentäler, AD Wellenlänge, ABA volle Schwingung jedes Halmes

QUER- UND LÄNGSWELLEN

Man unterscheidet zwei Arten von Wellen: Quer- oder Transversalwellen und Längs- oder Longitudinalwellen. Bei den Längswellen erfolgt die Schwingung in der Fortpflanzungsrichtung der Welle, bei den Querwellen findet sie in einer Ebene senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung statt.

Polarisation. Während bei den Longitudinalwellen die Schwingungsrichtung eindeutig festgelegt ist, kann bei den Transversalwellen die Schwingung in der Ebene senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung in verschiedener Weise erfolgen. Dazu betrachtet man die Bewegung des *Schwingungsvektors*. Bei mechanischen Schwingungen ist der Schwingungsvektor der von der Ruhelage zur augenblicklichen Auslenkung des schwingenden Teilchens gezogene Vektor; bei den elektromagnetischen Schwingungen entspricht er der elektrischen Feldstärke. Liegt der senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung einer Transversalwelle stehende Schwingungsvektor in einer festen, durch die Fortpflanzungsrichtung der Welle gehenden Ebene, so nennt man die Transversalwelle *linear polarisiert*. Die von einer Antenne eines Senders ausgestrahlte elektromagnetische Welle ist im allgemeinen linear polarisiert. Die Schwingungs- oder Polarisationsrichtung hängt von Form und Orientierung der Antenne ab. Demgegenüber ist natürliches Licht normalerweise nicht polarisiert, d. h., der Schwingungsvektor hat keine feste Richtung in der Ebene senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung. Mit Hilfe von Polarisatoren können unpolarisierte Transversalwellen linear polarisiert werden. Bei den Longitudinalwellen gibt es die Erscheinung der Polarisation nicht. Das von einer Glasplatte reflektierte Licht ist teilweise, bei Lichteinfall unter einem bestimmten Winkel vollständig linear polarisiert. Meist verwendet man zur Herstellung linear polarisierter Lichtwellen sogenannte *doppelbrechende Kristalle* (z. B. Kalkspat). Bei ihnen wird das einfallende natürliche Licht in zwei linear polarisierte Lichtstrahlen zerlegt, deren Polarisationsrichtungen senkrecht aufeinander stehen. Wenn der Schwingungsvektor in der Ebene senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung auf einem Kreis bzw. einer Ellipse umläuft, nennt man die Transversalwelle *zirkular* bzw. *elliptisch polarisiert*.



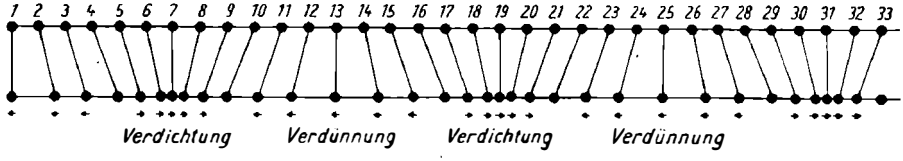
Sinuswelle; a Werte der Funktion $y = A \sin \alpha$; $\alpha = 2\pi\nu\left(t - \frac{x}{c}\right)$ *im Kreis mit dem Radius A; b zeitlicher Verlauf der Sinusschwingung für zwei benachbarte Punkte* $x_0 = 0$ *und* $x_1 > x_0$; *c räumlicher Verlauf der Sinuswelle für die Zeitpunkte* $t_0 = 0$ *und* $t_1 > t_0$

Transversalwelle. Das Bild einer transversalen Welle ergibt sich, wenn die Teilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingen; werden sie mit einer Kraft zur Ruhelage zurückgezogen, die ihren Abständen von dieser Lage proportional ist, so führen sie *sinusförmige* (*harmonische*) *Schwingungen* aus. Der Abstand y der Teilchen von der Ruhelage kann dargestellt werden durch eine

Sinusfunktion $y = A \cdot \sin \alpha$ (Abb.). Dabei ist A der größte Abstand von der Ruhelage (*Amplitude, Schwingungsweite, Scheitelwert*) und α ein vom Ort x des Teilchens in der Fortpflanzungsrichtung und von der Zeit t abhängiger Winkel. Für eine in der positiven x-Richtung mit der Geschwindigkeit c fortschreitende Welle der Frequenz ν hat α den Wert: $\alpha = 2\pi\nu\left(t - \frac{x}{c}\right)$. Betrachtet man ein bestimmtes Teilchen (x = const), so wird α eine Funktion der Zeit t; man erhält eine Sinusschwingung des betreffenden Teilchens. Setzt man aber t = const, so hängt α nur vom Ort x der Teilchen ab, und es ergibt sich ein Augenblicksbild der Sinuswelle als Funktion der Koordinate x in Ausbreitungsrichtung. Die Auslenkung y hat einen konstanten Wert, wenn der Phasenwinkel α konstant ist, z. B. den konstanten Wert α_0 hat. Dann muß $t - \frac{x}{c} = \frac{\alpha_0}{2\pi\nu}$ sein. Löst man diese Gleichung nach x auf, so erhält man $x = \frac{c}{2\pi\nu} \cdot \alpha_0 + c \cdot t$. Dieses Ergebnis sagt aus, daß der Ort x, für den der Phasenwinkel α den Wert α_0 besitzt, mit der Geschwindigkeit c anwächst. Das heißt aber, die Welle pflanzt sich mit der Geschwindigkeit c in die positive x-Richtung fort.

Longitudinalwelle. In der Zeichnung ist die Fortpflanzung einer Schallwelle in Luft schematisch dargestellt. Auf der oberen Geraden befinden sich die Luftteilchen 1, 2, . . ., 33 im gleichen Abstande voneinander in Ruhe. Werden die Teilchen (etwa durch eine Stimmgabel) zu *harmonischen Schwingungen* angeregt, so pendeln sie fortgesetzt hin und her. In der größten Entfernung von der Ruhelage kehrt das Teilchen um und hat in diesem Augenblick keine Geschwindigkeit: Teilchen 4, 10, 16, 22, 28. Geht das Teilchen durch seine Ruhelage, so hat es die größte Geschwindigkeit, deren Richtung durch einen Pfeil angegeben ist: 1, 7, 13, 19, 25. Auf der unteren Geraden entsteht auf diese Weise ein Augenblicksbild einer Longitudinalwelle. Die Zeichnung macht deutlich, daß um die Teilchen 7 oder 19 eine *Verdichtung*, ein verstärkter Druck, vorhanden ist, um die Teilchen 1, 13, 25 dagegen eine *Verdünnung*, ein verminderter Druck. Durch die Anzahl dieser Verdichtungen und Verdünnungen ist die Höhe des erzeugten Tones bestimmt. Je höher der Ton ist, um so mehr Verdichtungen und Verdünnungen liegen auf der Strecke, die der Schall in einer Sekunde zurücklegt.

Wenn die Teilchen weiter schwingen, wandern diese Stellen größter Verdichtung oder Verdünnung nach rechts weiter. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung hängt nicht von der Anzahl der Verdichtungen, nicht von der Tonhöhe, sondern lediglich von den *elastischen Eigenschaften der schwingenden Teilchen* ab; sie ist in Luft anders als in Wasser oder in festen Körpern (s. z. B. Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen).



Longitudinalwelle; Fortpflanzung einer Schallwelle in Luft (schematisch)

Da sich in Luft (wie in allen gasförmigen Medien) die Schwingungen nach *allen* Seiten fortpflanzen können, so bilden die Verdichtungen und Verdünnungen um die schwingende Stimmgabel herum ständig sich vergrößernde *Kugelschalen*; eine solche Welle bezeichnet man als eine *Kugelwelle.*

ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN DER WELLEN

Außer Frequenz, Wellenlänge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die bei jeder Welle, wenn auch mit verschiedenen Werten, auftreten, sind noch andere, allen Wellen gemeinsame Eigenschaften bekannt. Sie zeigen sich beim Zusammentreffen zweier Wellen oder in der Wechselwirkung einer Welle mit einem Stoff. Trifft eine Welle auf die Grenzfläche eines Körpers, so wird sie zum Teil zurückgeworfen (*reflektiert*), zum anderen Teil tritt sie unter Richtungsänderung in den Stoff ein (*Brechung*). Je nach der Natur des Stoffes, in dem sich die Welle fortpflanzt, wird je Längeneinheit in Fortpflanzungsrichtung ein verschieden großer Teil der in der Welle enthaltenen Energie verschluckt, *absorbiert*. Trifft eine Welle auf Hindernisse (Dichteinhomogenitäten, suspendierte Teilchen, Atome u. a.), die nicht sehr klein gegen die Wellenlänge sind, so wird die Welle nach allen Richtungen regellos (diffus) zerstreut; z. B. beruht die blaue Farbe des Himmelsgewölbes auf der Streuung des Sonnenlichts an den Teilchen der äußeren Erdatmosphäre. Die Reflexion und Brechung sind besonders an regelmäßigen Grenzflächen (*Spiegel, Linsen*) für die Lichtwellen genau untersucht worden (s. Licht).

Interferenz der Wellen. Beim Zusammentreffen zweier oder mehrerer Einzelwellen addieren sich in jedem Punkte die einzelnen Schwingungsvektoren (*Superposition*). Unter besonderen Umständen,

wenn die Vektorsumme den Wert Null hat, können sich die Wirkungen zweier Wellen gegenseitig aufheben. Dies ist deutlich zu sehen, wenn man gleichzeitig 2 Steine genügend weit voneinander entfernt in ein stehendes Gewässer wirft: Dann gleiten die Kreiswellen interferierend, d. h. einander überlagernd, übereinander hinweg. An einzelnen Stellen löscht sich die Wellenbewegung aus. an anderen wird sie verstärkt. In dem Photo (s. Tafel „Wellen") interferiert der von rechts ankommende Wellenzug mit den an der ebenen Wand zurückgeworfenen Wellen. Man sieht, daß an gesetzmäßig verteilten Stellen die Wellenbewegung ausgelöscht ist.

Huygenssches Prinzip. Sämtliche Punkte einer Wellenfläche können als Ausgangspunkte von elementaren, sich nach allen Seiten ausbreitenden Kugelwellen angesehen werden, die sich mit derselben Geschwindigkeit wie die ursprüngliche Welle fortpflanzen. Das Bild der Wellenfläche in einem späteren Zeitpunkt ergibt sich durch Überlagerung (Interferenz) aller elementaren Kugelwellen.
In dem Photo (s. Tafel „Wellen") trifft ein von rechts kommender Wellenzug auf eine Wand mit einer Öffnung. Diese Öffnung ist Ausgangspunkt einer neuen, sich kreisförmig ausbreitenden Welle.

Dopplersches Prinzip. Wenn die Quelle einer Wellenerregung sich relativ zum Beobachter bewegt, treten Frequenzänderungen auf, die der österreichische Physiker Ch. Doppler (1803—1853) zuerst deutete. Bewegungen, die den Abstand zwischen einer Schallquelle und einem Hörer verringern oder vergrößern, lassen den Ton für den Hörenden höher oder tiefer erscheinen als bei gleichbleibender Entfernung (vorbeifahrende pfeifende Lokomotive, vorbeifahrendes hupendes Automobil). Das gleiche, besonders für die Astronomie wichtige Prinzip gilt sinngemäß auch im Bereich der Lichtwellen (-strahlen); hier wirkt es sich in einer Verschiebung der Spektralfarben aus. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß bei Entfernungsänderungen sekundlich mehr bzw. weniger Wellen empfangen werden, als der (an sich unverändert bleibenden) Schwingungszahl der Ton- oder Lichtquelle entspricht.

DIE ELEKTROMAGNETISCHEN WELLEN

Die *elektromagnetischen* Wellen sind *transversale* Wellen. In jedem von ihnen getroffenen Punkte im Raum bestehen ein elektrisches und ein magnetisches Feld, die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung gerichtet sind und mit wechselnder Feldstärke hin- und herschwingen. Der eigentliche *Entdecker* der elektromagnetischen Schwingungen und Wellen ist der Physiker *Heinrich Hertz* (1857—1894), der sich (1887) die Aufgabe gesetzt hatte, die bereits 1865 von dem englischen Physiker *J. C. Maxwell* (1831—1879) aufgestellte Theorie von der elektromagnetischen Natur der Lichtschwingungen und Lichtstrahlen durch Versuche zu erhärten.
Die Wellenlängen seiner ersten Versuche lagen zwischen 7,5 m und 30 cm, reichten also noch nicht an das Gebiet der Lichtwellen heran. Erst in den nächsten Jahrzehnten gelang es, das Gebiet der elektromagnetischen Wellen weit über das schmale Gebiet der Lichtwellen hinaus zu erforschen und die Lichtwellen als elektromagnetische Wellen zu erweisen.
Die *elektromagnetischen Wellen* unterscheiden sich im einzelnen nur durch die Verschiedenheit ihrer jeweiligen Wellenlänge und Schwingungszahl, wirken aber gerade deswegen auf unsere Sinnesorgane entweder gar nicht oder streng unterschiedlich, z. B. auf die Haut als Wärme, auf das Auge als Licht, ein.
Durch ein Prisma oder ein Beugungsgitter läßt sich weißes Licht in ein *Spektrum* auseinanderziehen, in dem die Lichtwellen nach ihrer Wellenlänge bzw. ihrer Frequenz geordnet sind. In Erweiterung dieser Vorstellung spricht man vom *Spektrum aller elektromagnetischen Wellen.* Der gesamte *Spektralbereich* umfaßt Wellenlängen von 10^{9} cm bis 10^{-16} cm (Tabelle). An das Spektrum des sichtbaren Lichts schließen sich nach kürzeren Wellenlängen die besonders chemisch wirksamen *ultravioletten Strahlen* an, daran die *Röntgen-* und *γ-Strahlen* sowie die beim Auftreffen *kosmischer Strahlen* auf die Erdatmosphäre verursachten elektromagnetischen Wellen. Durch Betatrons (Elektronenschleudern), Synchrotrons und Linearbeschleuniger (vgl. Kernphysik) lassen sich sehr harte Röntgenstrahlen herstellen. Mit Härte wird dabei der Energieinhalt E der Strahlen bezeichnet; er ergibt sich aus dem Planckschen Elementarquantum h und der Frequenz ν der Welle zu $E = h \cdot \nu$.
Nach längeren Wellenlängen schließen sich an das Spektrum des sichtbaren Lichts die *infra-* oder *ultraroten Strahlen* an, die besonders als Wärmestrahlung auftreten; das ist die Strahlung, die von erhitzten Körpern ausgeht, auch wenn die Temperatur nicht so hoch ist, daß sie selbst leuchten. Darauf folgen dann die bekannten *Radio-* oder *Hochfrequenzwellen* sowie die *Niederfrequenzwellen* bis zum technischen Wechselstrom.
Bei der *Ausbreitung* der elektromagnetischen Wellen nimmt ihre Intensität mit dem Quadrat der Entfernung ab, beim Auftreffen auf Stoffe treten aber große Unterschiede auf; harte Röntgenstrahlen z. B. durchdringen sogar bestimmte Schichten fester Stoffe; Lichtstrahlen werden teilweise reflektiert, teilweise absorbiert und können nur bestimmte, die *durchsichtigen* Stoffe durchdringen. Bei den Radiowellen unterscheidet man neben der sich geradlinig ausbreitenden *Raumwelle* die *Bodenwelle*, die sich längs der Erdoberfläche ausbreitet, und zwar um so besser, je größer die Leitfähigkeit des Erdbodens ist. Mit abnehmender Wellenlänge überwiegt die Raumwelle. Wenn sie nicht durch besondere leitende Schichten der Atmosphäre zur Erdoberfläche reflektiert wird, ist ein Empfang nur im Bereich der optischen Sicht möglich, z. B. beim Fernsehempfang.

Frequenzen und Wellenlängen elektromagnetischer Wellen
(elektromagnetisches Spektrum)

Bezeichnung		Frequenz in Hz	Wellenlänge in cm	Erzeugung bzw. Ursprung
Niederfrequenz	technischer Wechselstrom	$3 \cdot 10 \cdots 3 \cdot 10^2$	$10^9 \cdots 10^8$	Wechselstromgeneratoren, Röhrengeneratoren
	niederfrequente elektrische Schwingungen	$3 \cdot 10^2 \cdots 3 \cdot 10^4$	$10^8 \cdots 10^6$	
Radiowellen (Hochfrequenz)	lang	$3 \cdot 10^4 \cdots 3 \cdot 10^5$	$10^6 \cdots 10^5$	Röhrengeneratoren, Funksender, Maser
	mittel	$3 \cdot 10^5 \cdots 3 \cdot 10^6$	$10^5 \cdots 10^4$	
	kurz	$3 \cdot 10^6 \cdots 3 \cdot 10^7$	$10^4 \cdots 10^3$	
	ultrakurz	$3 \cdot 10^7 \cdots 3 \cdot 10^8$	$10^3 \cdots 10^2$	
	Mikrowellen	$3 \cdot 10^8 \cdots 1{,}5 \cdot 10^{12}$	$10^2 \cdots 2 \cdot 10^{-2}$	
Licht	infrarot	$2 \cdot 10^{11} \cdots 4 \cdot 10^{14}$	$1{,}4 \cdot 10^{-1} \cdots 7{,}5 \cdot 10^{-5}$	Temperatur- oder Wärmestrahlung, Stoß geladener Teilchen, Lichteinstrahlung
	sichtbar	$4 \cdot 10^{14} \cdots 7 \cdot 10^{14}$	$7{,}5 \cdot 10^{-5} \cdots 4 \cdot 10^{-5}$	
	ultraviolett	$7 \cdot 10^{14} \cdots 10^{17}$	$4 \cdot 10^{-5} \cdots 3 \cdot 10^{-7}$	
Röntgenstrahlen	sehr weich	$10^{15} \cdots 10^{16}$	$3 \cdot 10^{-5} \cdots 3 \cdot 10^{-8}$	Röntgenröhren, Elektronenschleuder, Synchrotron, Linearbeschleuniger
	weich	$10^{18} \cdots 5 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{-8} \cdots 6 \cdot 10^{-9}$	
	mittel	$5 \cdot 10^{18} \cdots 3 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{-9} \cdots 10^{-9}$	
	hart	$3 \cdot 10^{19} \cdots 10^{20}$	$10^{-9} \cdots 3 \cdot 10^{-10}$	
	sehr hart	$10^{20} \cdots 3 \cdot 10^{23}$	$3 \cdot 10^{-10} \cdots 10^{-13}$	
γ-Strahlen		$8 \cdot 10^{17} \cdots 4 \cdot 10^{21}$	$4 \cdot 10^{-9} \cdots 7 \cdot 10^{-12}$	Radioaktivität
kosmische Strahlen (Höhenstrahlen)		$\approx 10^{21} \cdots \approx 10^{24}$	$\approx 10^{-11} \cdots \approx 10^{-14}$	kosmische Strahlung

V. Schall

Die Lehre vom Schall (Akustik) behandelt die Vorgänge in der Außenwelt, die uns durch das Ohr (meist mit Hilfe von Schwingungen in der Luft) zum Bewußtsein gebracht werden. Zuweilen werden Ultraschall bzw. Infraschall mit Frequenzen über 20000 Hz bzw. unter 20 Hz zur Akustik gerechnet.

SCHALLWELLE, SCHALLGESCHWINDIGKEIT, REFLEXION

Der *Schall*, die Ursache unserer Schallempfindungen, geht von schwingenden Körpern aus, die in der Luft eine *Wellenbewegung* hervorrufen. Solche Schallquellen sind schwingende Platten, Saiten, Stäbe, Luftsäulen u. a.

Die *Schallwellen* (Schallstrahlen) sind in Gasen und Flüssigkeiten stets Längs- (Longitudinal-) Wellen; sie sind Druck- oder Kompressionswellen und rufen Verdünnungen und Verdichtungen im betreffenden Medium (meist Luft) hervor. In festen Körpern sind auch Transversalwellen möglich. Im luftleeren Raum gibt es keinen Schall. Die *Schallgeschwindigkeit* ist ebenfalls abhängig von dem Medium, in dem sich die Schallwellen bewegen. An der Grenze zweier Medien mit verschiedener Fortpflanzungsgeschwindigkeit werden die Schallwellen *zurückgeworfen* (reflektiert) oder (bzw. und) in das neue Medium hineingebrochen.

Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen
in m/s

Kohlendioxyd	260	Wasserstoff	1270	Eichenholz	3380
Sauerstoff	320	reines Wasser		Ziegelmauerwerk	3600
Luft bei -20 °C	319	bei $+4$ °C	1400	Zink	3700
Luft bei 0 °C	332	bei $+25$ °C	1497	Stahl	4900
Luft bei $+20$ °C	343	Meereswasser	1500	Tannenholz	5256
Kork	480	Eis	3232	reines Eisen	5100
Benzin	1160			Glas	5200

Das Echo. Ein Echo entsteht, wenn Schallwellen nach Reflexion an einer Wand zur Ausgangsstelle des Schalles zurückgelangen. Die Entfernung der Schallquelle von der Wand muß dabei mindestens 17 m betragen; denn dann beträgt der Hin- und Rückweg des Schalles 34 m, und diese Strecke legt der Schall in $^1/_{10}$ s zurück, der Mindestspanne, in der das Ohr die (laut!) gerufene und die zurückkommende Silbe noch deutlich zu trennen vermag.

Man unterscheidet ein- und mehrsilbiges, ein- und mehrfaches Echo. Ein *zweisilbiges* Echo kann bei 34 m Wandentfernung, ein dreisilbiges bei 51 m usf. entstehen, ein *zweifaches* Echo dann, wenn die gerufene Silbe nacheinander von 2 verschiedenen Wänden aus verschiedener Richtung zurückkommt, z. B. ein dreifaches zweisilbiges Echo im Gebirge.

SCHALLSTÄRKE UND LAUTSTÄRKE

Die *Schallstärke* wird gemessen durch die Energiemenge, die eine zu den ankommenden Schallstrahlen senkrecht stehende Fläche in einer Sekunde empfängt. Die *Lautstärke* dagegen bezieht sich auf die Empfindung im Ohr und wächst nur mit dem Logarithmus der Schallstärke. Die Lautstärke 0 Phon entspricht der Hörschwelle bei einer Frequenz von 1000 Hz, d. h. der Schallstärke I_0, die bei 1000 Hz gerade noch gehört wird. Durch Zusammenwirken von 10, 100 bzw. 1000 Schallquellen, von denen jede einzelne die Schallstärke I_0 am Ohr eines Beobachters erzeugt, erhält man die Schallstärken 10 I_0, 100 I_0 bzw. 1000 I_0, hingegen die Lautstärken 10, 20 bzw. 30 Phon.

Werte für Lautstärken

in Phon

Reizschwelle des Ohres	0	übliche Unterhaltungslautstärke, einzelne Schreibmaschine	60
Ticken der Taschenuhr, leises Flüstern, Blätterrauschen in leichtem Wind	10	Straßenbahn, Pferdelastwagen auf Pflaster, sehr lauter Gasthof	70
untere Grenze der üblichen Wohngeräusche, Flüstern, ruhiger Garten	20	stärkster üblicher Straßenlärm, laute Rundfunkmusik im Zimmer, Autohupe	80
sehr ruhige Wohnstraße, mittlere Wohngeräusche	30	Preßlufthämmer	90
gedämpfte Unterhaltungssprache, leise Rundfunkmusik im Zimmer	40	Nietlärm, lautestes Autohorn	100
obere Grenze der üblichen Wohngeräusche, Lautsprecher auf Zimmerlautstärke, geringster üblicher Straßenlärm, Geräusche in Geschäftsräumen	50	Kesselschmiede	110
		laufender Flugzeugpropeller in 4 bis 5 m Entfernung	120
		Schmerzschwelle des Ohres	130

Der Ultraschall. Die *obere Hörgrenze* liegt bei etwa 20000 Schwingungen in der Sekunde, wird aber nur von jugendlichen Personen erreicht. Auf Schallwellen höherer Frequenz spricht das Ohr nicht mehr an.
Solche Schallwellen sind daher unhörbar und werden als *Ultraschall* bezeichnet. Man erzeugt sie in hoher Schallstärke durch schwingende Quarzplatten, die elektrisch angeregt werden, und erzielt mit ihnen scharf begrenzte Schallstrahlen. Diese werden in wachsendem Umfange technisch, auch medizinisch verwertet. Ebenso gewinnt man durch sie sehr feinkörnige photographische Emulsionen.
Es ist gelungen, das Gebiet der Schallwellen über den Hörbereich hinaus um etwa 10 Oktaven zu erweitern und eine Wellenlänge von $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ (0,00015) cm mit einer entsprechenden Schwingungszahl von $2 \cdot 10^{8}$ (200000000 Schwingungen) in der Sekunde zu erreichen.

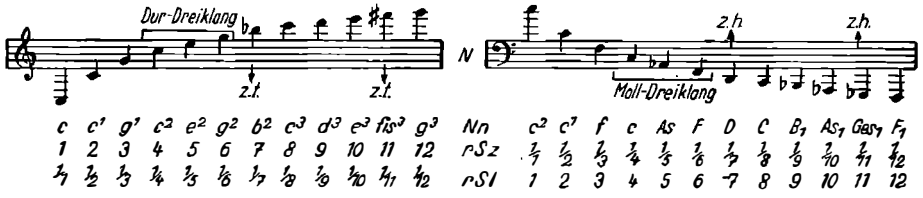
TON UND TONINTERVALLE

Ein *Ton* ist der durch regelmäßige, einfache, sonannte Sinusschwingungen hervorgerufene Gehörseindruck.
Ein *Klang* besteht aus einer Summe von nach den Gesetzen der Obertonreihe aufeinander bezogenen, gleichzeitig erklingenden einfachen Tönen. Was in der Musik als Ton bezeichnet wird ist im physikalischen Sinne bereits ein Klang, während der Musiker das Wort Klang für Intervalle und Akkorde verwendet, z. B. Dreiklang.
Das *Geräusch* wird durch ein Gemisch unregelmäßiger Schallschwingungen erzeugt, der *Knall* dagegen durch eine explosive, kurz abgebrochene Erschütterung der Luft.

Tonhöhe. Die in der Musik verwendeten absoluten Tonhöhen richten sich nach dem *Stimm-* oder *Kammerton* a^1, der meist von einer Stimmgabel erregt wird, die mit der 1939 international festgelegten Frequenz von 440 Hz (früher 435 Hz) schwingt (s. Hauptabschnitt „Mensch", Kapitel V. Sinnesorgane: Die 8 Oktaven des musikalischen Bereichs).

Größe, die die Tonhöhe bestimmt oder in Rechnungen kennzeichnet	tieferer Ton ←	höherer Ton →
Saite (bei gleicher Spannung und Stärke), Pfeife	längere	kürzere
Wellenlänge	größere	kleinere
Periode (Dauer einer Schwingung in Sekunden)	längere	kürzere
Frequenz oder Schwingungszahl (Anzahl der Schwingungen je Sekunde)	niedrigere	höhere

Obertöne und Untertöne. In der musikalischen Praxis nennt man die physikalisch als Klang bezeichneten Gehörseindrücke Töne und unterscheidet hohe und tiefe Töne. In jedem musikalischen Ton gesellen sich zum *Grundton* mehrere *Teil-* oder *Partialtöne.* Die verschiedenartige Mischung der Partialtöne ergibt die charakteristischen Unterschiede in der *Klangfarbe* gleich hoher, aber verschieden erzeugter Töne, z. B. von einer Flöte, Violine oder Trompete. Man unterscheidet *Ober-* und *Untertöne*, die in der folgenden Übersicht mit Noten *N* und Notennamen *Nn* als Beispiel angegeben sind; *rSz* gibt die relativen Schwingungszahlen, *rSl* die relativen Saitenlängen etwa an einem Monochord an.

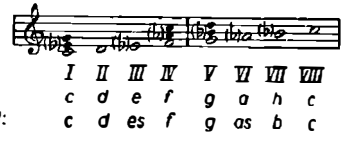


Ober- und Untertöne; N Noten, Nn Notennamen, rSz relative Schwingungszahlen, rSl relative Saitenlängen etwa an einem Monochord

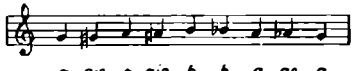
Obertöne. Die Töne b^2 und fis^3 sind zu tief (z. t.). Der Einfachheit halber bezeichnet man den *Grundton* oft als ersten *Oberton*, richtiger als ersten *Partialton* oder ersten *Naturton*, so daß die Zählung mit der der relativen Schwingungszahlen übereinstimmt. Auf Blasinstrumenten, wie Trompeten und Hörnern, kann man durch Überblasen die Reihe der Naturtöne erzeugen. Die Obertonreihe bildet den *Dur-Dreiklang* als Oberklang heraus.

Untertöne. Die Töne D und Ges_1 sind zu hoch (z. h.). Die Untertöne spielen zwar bei den üblichen Musikinstrumenten keine Rolle, wohl aber bei *elektronischen Instrumenten* wie dem *Mixtur-Trautonium.* Man beachte die spiegelbildmäßigen und reziproken Entsprechungen im Notenbild und in den Zahlen der relativen Schwingungsverhältnisse und Saitenlängen. Die Untertonreihe bildet den *Moll-Dreiklang* als Unterklang heraus.

Intervalle, Akkorde und Tonleitern. Den Höhenunterschied zweier gleichzeitig oder nacheinander erklingender Töne nennt man *Intervall* (Zwischenraum). Die Intervallnamen entsprechen den Tonstufen: I Prime, II Sekunde, III Terz, IV Quarte, V Quinte, VI Sexte, VII Septime, VIII Oktave. Dabei hören wir die Tonabstände logarithmisch (entsprechend den Empfindungsstärken des Weber-Fechnerschen Gesetzes); wir empfinden also z. B. die Sexte als Summe von Quinte und Sekunde, während sich ihre Schwingungszahl als Produkt der Frequenzen ergibt. Drei oder mehr gleichzeitig erklingende Töne ergeben einen Akkord. Von dem Verhältnis der Schwingungszahlen zueinander hängt der Grad der *Konsonanz* (Zusammenklang) von Intervallen und Akkorden ab. Den höchsten Grad der Konsonanz erreicht außer der *Prime*, dem Einklang 1 : 1, die *Oktave* mit dem relativen Schwingungsverhältnis von 1 : 2, so daß wir sie als höhere Wiederholung des tieferen Tones (und umgekehrt) empfinden. Konsonante Akkorde sind *Ruheklänge*, die einer Weiterführung nicht bedürfen, z. B. Dur- oder Moll-Dreiklänge. *Dissonanzen* (nicht zusammenstimmende Klänge) drängen nach Auflösung, d. h. Weiterführung in Konsonanzen. Die Begriffe Konsonanz und Dissonanz im Sinne von Wohlklang und Mißklang sind physiologisch, subjektiv und zeitbedingt verschieden (moderne Musik!). Sie sind außerdem von den in den verschiedenen Epochen jeweils gebräuchlichen Stimmungsprinzipien abhängig.



Diatonische Ganz- oder Halbtonschritte



Chromatische Tonschritte

Diatonische und chromatische Tonleitern. Diatonische Ganz- oder Halbtonschritte führen von einem beliebigen Ton zu dessen benachbarter, in der Notenschrift höher oder tiefer notierten Stufe, z. B. g→a, g→as, gis→a. Aus solchen Schritten setzen sich unsere Dur- und Molltonleitern zusammen (Abb.).

Die Stufen entsprechen den Intervallnamen (I Prime, II Sekunde usw.). Die Durtonleiter benutzt nur reine und große Intervalle. Charakteristisch für Moll sind die kleinen, hier durch das Vorzeichen (♭) zu erkennenden Intervalle, vor allem die kleine oder Moll-Terz (c–es) im Gegensatz zur großen oder Dur-Terz (c–e). Die drei Hauptdreiklänge in Dur oder Moll bauen sich auf der I., IV. und V. Stufe auf. Außer dem *reinen Moll* gibt es das *harmonische Moll*, in dem als VII. Stufe die große Septime wie in der Dur-Tonleiter verwandt wird. Das *melodische Moll* benutzt aufwärts große, abwärts kleine Sexte und Septime.

Chromatische Tonschritte entstehen durch Erhöhung (♯) oder Erniedrigung (♭) desselben, auf gleicher Linie oder gleichem Zwischenraum notierten Tones, z. B. g→gis, g→ges. Fügt man chromatische Halbtonschritte in die diatonische Tonleiter ein, so entsteht die aus chromatischen und diatonischen Halbtonschritten zusammengesetzte *chromatische Tonleiter*. Dabei schreibt man aufwärts die Erhöhungen, abwärts die Erniedrigungen, in der Abbildung als Ausschnitt von g^1 aus. Auf den Tasteninstrumenten werden gis = as, ces = b usw. gesetzt, mit derselben Taste angeschlagen, *enharmonisch verwechselt*.

STIMMUNGEN

Man unterscheidet *pythagoreische*, *harmonisch-reine* und *temperierte* Stimmung je nach den jeweils gewählten Grundintervallen, den diesen zugeschriebenen Schwingungsverhältnissen und der Unterteilung dieser Intervalle.

Die pythagoreische Stimmung. In der pythagoreischen Stimmung gelten nur die *reinen Intervalle* (*Oktave*, *Quinte* und *Quarte*) als Konsonanz; von ihnen aus werden die übrigen, die *großen* oder *kleinen Intervalle* berechnet.
Im frühen Mittelalter war diese Stimmung alleinherrschend. Sie wird dem bekannten griechischen Mathematiker Pythagoras zugeschrieben. Er soll sie bei Versuchen am *Monochord* entwickelt haben. Dieses Musikinstrument trägt auf einem länglichen, rechteckigen Resonanzkasten eine gespannte Saite (später auch mehrere). Zu dem *Grundton* (*Prime*), der bei Schwingungen der ganzen Saitenlänge erklingt, erhält man durch Verschieben eines beweglichen Steges die *Oktave*, die *Quinte* bzw. die *Quarte*, wenn $^1/_2$, $^2/_3$ bzw. $^3/_4$ der ganzen Saitenlänge schwingen; dabei gilt: $^1/_2 = {}^2/_3 \cdot {}^3/_4$, Oktave = Quinte + Quarte.
Die Differenz zwischen Quinte und Quarte ergibt die große Sekunde, den *Ganzton* ($^2/_3 : {}^3/_4 = {}^8/_9$). Zwei Ganztöne ergeben zusammen die *große Terz* ($^8/_9 \cdot {}^8/_9 = {}^{64}/_{81}$). Die Differenz zwischen Quarte und großer Terz ergibt die *kleine Sekunde*, den „*diatonischen*" *Halbton* ($^3/_4 : {}^{64}/_{81} = {}^{243}/_{256}$ der Saitenlänge).

Quintenzirkel und pythagoreisches Komma. Reihen wir von einem beliebigen Grundton aus 12 reine Quinten aneinander, so erhalten wir eine Tonfolge, die man wegen der oft kreis- oder spiralenförmigen Anordnung meist *Quintenzirkel* nennt. (Abb.)

Quinten:	As_2	Es_1	B_1	F	c	g	d'	a'	e^2	h^2	fis^3	cis^4	gis^4
Oktaven:	As_2		As_1	As		as		as^1		as^2		as^3	as^4

Quintenzirkel

Die 12. Quinte gis^4 ist um etwa einen Achtelton höher als die 7. Oktave as^4, denn $(^2/_3)^{12} : (^1/_2)^7 \approx 73 : 74$. Dieser Unterschied heißt *pythagoreisches Komma*.

Die harmonisch-reine Stimmung. In der harmonisch-reinen Stimmung erhält die *große Terz* das einfache Schwingungsverhältnis von 4 : 5, die *kleine Terz* das von 5 : 6; beide ergänzen sich gegenseitig zur reinen Quinte ($^4/_5 \cdot {}^5/_6 = {}^2/_3$) und zur Konsonanz des Dur- oder Moll-Dreiklanges:

Dur-Dreiklang = große Terz + kleine Terz; Moll-Dreiklang = kleine Terz + große Terz. Die anderen Intervalle lassen sich leicht ableiten (vgl. Tabelle über die Schwingungsverhältnisse der Intervalle). Die Schwingungsverhältnisse der Dur-Tonleiter können durch die folgenden ganzen Zahlen ausgedrückt werden, unter denen als Beispiel die Notennamen der C-Dur-Tonleiter angeführt worden sind:

relative Schwingungszahlen:	24	27	30	32	36	40	45	48
Notennamen als Beispiel:	c	d	e	f	g	a	h	c^1

Bei der Teilung der großen Terz in zwei große Sekunden ($^4/_5 = {}^8/_9 \cdot {}^9/_{10}$) entstehen die beiden verschiedenen Werte von 8 : 9, der *große Ganzton*, und 9 : 10, der *kleine Ganzton*. Der Unterschied zwischen ihnen entspricht dem zwischen pythagoreischer und harmonisch-reiner Terz; er heißt *syntonisches Komma* ($^8/_9 : {}^9/_{10} = {}^{80}/_{81}$) und beträgt etwa einen Zehntelton. Die harmonisch-reine Stimmung muß außerdem noch mit dem pythagoreischen Komma rechnen; sie ergibt, wie ihr Name sagt, die ungetrübtesten harmonischen Zusammenklänge, während sich das Melodieempfinden vielfach nach der pythagoreischen Stimmung richtet.
Unsere heutige Musikpraxis, vor allem der Tasteninstrumente, kann weder den Unterschied zwischen großem und kleinem Ganzton, noch zwischen den *enharmonischen Tönen* cis–des, fis–ges, gis–as, ais–b, his–c usw. berücksichtigen. Diese werden *enharmonisch verwechselt*, d. h. gleich gesetzt. Das wird ermöglicht durch die gleichschwebend-temperierte Stimmung.

Die gleichschwebend-temperierte Stimmung. In ihr wird die reine Oktave in 12 gleiche Tonstufen, die *temperierten Halbtöne*, aufgeteilt. Für das Schwingungsverhältnis dieses Halbtons ergibt sich

danach aus dem der Oktave 1 : 2 der Wert $1 : \sqrt[12]{2} = 1 : 1{,}059\,46$. Durch Multiplikation bzw. Division mit diesem Werte lassen sich die Frequenzen aller temperierten Intervalle berechnen. Sie sind alle etwas verstimmt. Bei verstimmten Intervallen entstehen aber durch Überlagerung *Schwebungen*, Intensitätsschwankungen in regelmäßigen Abständen. In einer gleichschwebend-temperierten Stimmung sind diese Schwebungen innerhalb jeder Intervallgruppe (z. B. für alle Quinten und Quarten) gleichmäßig und so geringfügig, daß sich auch das Ohr des geübten Musikers damit abfindet.

Die Schwingungsverhältnisse der Intervalle in pythagoreischer, harmonisch-reiner und temperierter Stimmung, auf den Grundton bezogen

	reine Prime, Grundton	große Sekunde	große Terz	reine Quarte	reine Quinte	große Sexte	große Septime	reine Oktave
pythagoreische Stimmung	$^1/_1$	$^9/_8$	$^{81}/_{64}$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^{27}/_{16}$	$^{243}/_{128}$	$^2/_1$
reine Stimmung	$^1/_1$	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	$^2/_1$
temperierte Stimmung	$^1/_1$	$\sqrt[12]{2^2}$	$\sqrt[12]{2^4}$	$\sqrt[12]{2^5}$	$\sqrt[12]{2^7}$	$\sqrt[12]{2^9}$	$\sqrt[12]{2^{11}}$	$^2/_1$

Von jedem gegebenen Grundton aus können die Frequenzen der angegebenen Intervalle durch Multiplikation errechnet werden. Vom Kammerton $a^1 = 440$ Hz z. B. als Grundton aus erhält man für seine große Terz cis^2 auf ganze Hz abgerundet in pythagoreischer Stimmung $440 \cdot \frac{81}{64}$ Hz $\approx$ 556 Hz, in reiner Stimmung $440 \cdot \frac{5}{4}$ Hz = 550 Hz, in temperierter Stimmung $440 \cdot \sqrt[12]{2^4}$ Hz = $440 \cdot \sqrt[3]{2}$ Hz = $440 \cdot 1{,}2599$ Hz $\approx$ 554 Hz. Die in der Tabelle angeführten großen Intervalle ergänzen sich mit den kleinen zur Oktave. Diese lassen sich also durch Differenzbildung (und ihre Schwingungszahlen als Quotienten) berechnen, z. B. die *kleine Septime* als Oktave—große Sekunde ($^2/_1 : {}^9/_8 = {}^{16}/_9$ in pythagoreischer Stimmung) oder die *kleine Terz* als Oktave—große Sexte ($^2/_1 : {}^5/_3 = {}^6/_5$ in harmonisch-reiner Stimmung).

Die Bestimmung der Schwingungsverhältnisse durch die Centrechnung. Zum einfacheren Vergleich der relativen Tonhöhenbezeichnungen rechnet die Musikforschung heute meist nach *Cents* (Zeichen C). Ein Cent ist der zwölfhundertste Teil der Oktave bzw. der hundertste Teil des temperierten Halbtons. Für das Schwingungsverhältnis des Cents ergibt sich danach aus dem der Oktave 1 : 2 der Wert $1 : \sqrt[1200]{2}$. Dem temperierten Halbton entsprechen dann 100 C und als Schwingungsverhältnis $1 : (\sqrt[1200]{2})^{100} = 1 : \sqrt[12]{2}$. Die Anzahl x der Cents, z. B. für die reine Quinte in pythagoreischer und temperierter Stimmung, läßt sich wie folgt berechnen:

$$\left(\sqrt[1200]{2}\right)^x = \frac{3}{2} \quad \text{bzw.} \quad \left(\sqrt[1200]{2}\right)^x = \sqrt[12]{2^7},$$

$$x = 1\,200 \cdot \frac{\lg 3 - \lg 2}{\lg 2}\,\text{C} \sim 702\,\text{C} \quad \text{bzw.} \quad x = 1\,200 \cdot \frac{7}{12}\,\text{C} = 700\,\text{C}.$$

Die wichtigsten auf ganze Cents abgerundeten Werte sind:

Stimmung	reine Quinte	große Terz	kleine Terz	großer Ganzton	kleiner Ganzton
pythagoreisch	702	408	294	204	—
harmonisch-rein	702	386	316	204	182
temperiert	700	400	300	200	—

Mit Hilfe dieser Werte, besonders der eingerahmten Grundwerte, lassen sich alle anderen Intervalle durch Addition oder Subtraktion ableiten, z. B. die pythagoreische große Sexte: reine Quinte + großer Ganzton oder 702 C + 204 C = 906 C. Auch Unterschiede zwischen verschiedenen Stimmungen lassen sich in Cents leicht darstellen. Darauf beruht die Bedeutung der Centrechnung für vergleichende Untersuchungen zur Volksmusik und für den Vergleich von Tonsystemen anderer,

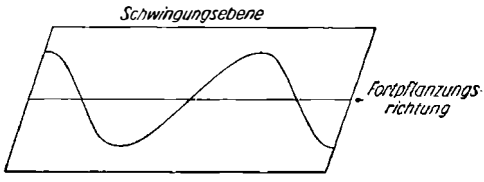
besonders außereuropäischer Völker mit unserem. Die Messung wird mit elektroakustischen Geräten ausgeführt; sie kann auch einfach und anschaulich an einem größeren Monochord demonstriert werden.

VI. Licht

Licht ist die vom menschlichen Auge wahrgenommene — also *sichtbare — elektromagnetische Strahlung*. Im übertragenen Sinne wird auch von *unsichtbarem Licht* als infraroter (ultraroter) oder ultravioletter Strahlung gesprochen. Die Lehre vom Licht heißt *Optik*.

Entstehung des Lichtes. In den meisten Fällen, abgesehen von der *Lumineszenz*, wird Licht von glühenden Stoffen abgestrahlt, z. B. von der Sonne, einer Kerze, glühender Kohle oder auch glühenden Gasen (Bogenlampe). Außer von diesen *Selbstleuchtern* geht Licht auch von nichtleuchtenden Körpern aus, die das von Selbstleuchtern empfangene Licht zurückwerfen.

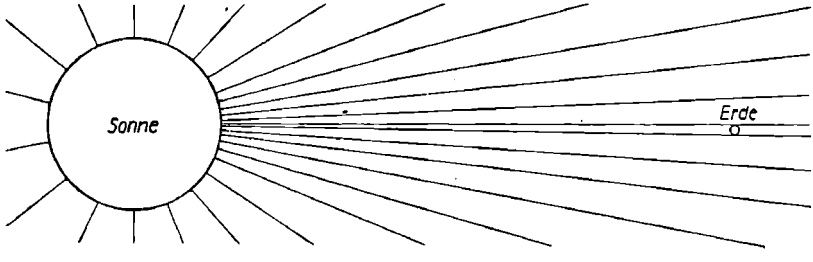
Die Wellenlänge des Lichtes. Die Grenzen der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes liegen bei etwa 0,00078 mm gegen das infrarote und bei etwa 0,00039 mm gegen das ultraviolette Licht. Der gesamte Bereich umfaßt ziemlich genau eine *Oktave*. Glühende feste Körper strahlen einen *kontinuierlich* zusammenhängenden Bereich von Schwingungen aus, deren *maximale Intensität* bei einer von der Temperatur des Strahlers abhängigen Wellenlänge liegt; wird z. B. die Temperatur eines Strahlers von 1000 °K auf 2000 °K verdoppelt, so verlagert sich das Maximum von 0,003 mm auf 0,0015 mm. Daher kann aus der spektralen Verteilung der Strahlung auf die Temperatur beispielsweise eines Fixsternes geschlossen werden. Die Schwingungen des elektromagnetischen Feldes erfolgen quer zur Fortpflanzungsrichtung (*transversale Wellen*). Dies ergibt sich daraus, daß das Licht *linear polarisiert* werden kann; dann schwingt es in einer einzigen Ebene, die in die Fortpflanzungsrichtung weist, rechtwinklig zu dieser Richtung, während bei natürlichem Licht die Schwingungsebene sich ständig um die Fortpflanzungsrichtung dreht.



Linear polarisiertes Licht

DIE AUSBREITUNG DES LICHTES

Das Licht breitet sich *geradlinig* nach allen Richtungen hin aus. Man spricht von Lichtstrahlen. Seine *Geschwindigkeit* beträgt etwa 300000 km, im luftleeren Raume nach neuesten Forschungen 299793 km in 1 s, eine Strecke, die $7^1/_2$mal so lang ist wie der Umfang der Erde. Dabei nimmt die Intensität mit dem *Quadrate der Entfernung* von der Lichtquelle (also sehr rasch) ab.



Parallelität der Sonnenstrahlen

Da die Erde der Sonne gegenüber winzig klein und zudem von der Sonne sehr weit entfernt ist, ergibt sich, daß die Strahlen des schmalen Lichtbündels, das die Erde von einem Punkte der Sonnenoberfläche aus trifft, ziemlich genau parallel sind. Dagegen sind die Strahlen, die von zwei diametral gegenüberliegenden Punkten des Sonnenrandes kommen, in einem Winkel von $^1/_2°$ gegeneinander geneigt.

DIE REFLEXION DES LICHTES

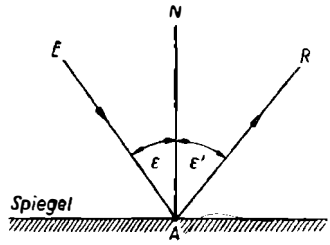
Das Reflexionsgesetz. Trifft ein Lichtstrahl auf eine *glatte* Fläche (Spiegel), so wird ein Teil von ihm verschluckt (*absorbiert*), der andere von der Fläche in den Raum zurückgeworfen (*reflektiert*). Der einfallende und der zurückgeworfene Strahl liegen mit der Normalen in einer Ebene und bilden

mit ihr gleiche Winkel: Einfallswinkel ε = Reflexionswinkel ε'. Ein rechtwinklig auftreffender Strahl wird in sich selbst zurückgeworfen. (Abb.)

Reflexionsvermögen einiger Stoffe

runde Werte in Prozenten von der Stärke des gesamten einfallenden Lichts

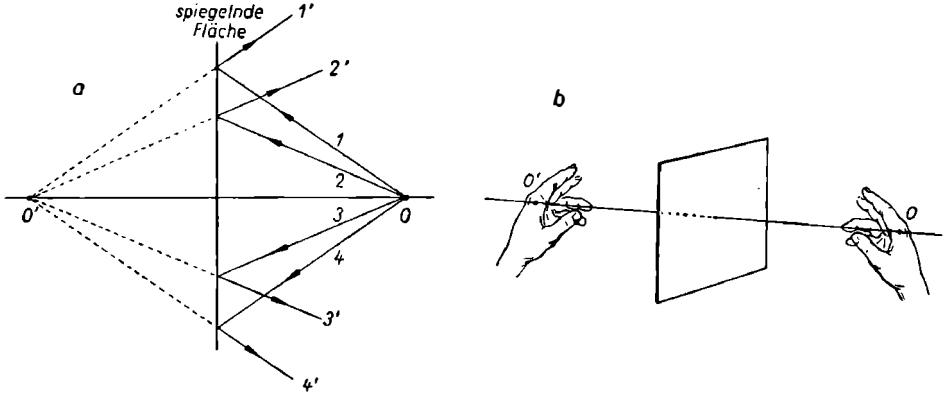
Silber	95
Spiegelglas mit Silberbelag	88
Quecksilber	73
Spiegelglas mit Quecksilberbelag	71
Nickel	62
Stahl	59
Eisen	56
Graphit	23
Glas mit der Brechzahl 1,7 an einer Fläche	7
Glas mit der Brechzahl 1,5 an einer Fläche	4



Reflexionsgesetz am ebenen Spiegel; AN Normale, EA einfallender, AR reflektierter Strahl, A Einfallspunkt, ε Einfallswinkel, ε' Reflexionswinkel

Das Reflexionsvermögen ist stark abhängig von der Wellenlänge.
Bei den meisten Körpern sind die Außenflächen nicht glatt, sondern rauh. Solche Flächen werfen das Licht mehr oder weniger gleichmäßig nach allen Seiten zurück. Für diese *diffuse Reflexion* gilt das Reflexionsgesetz nicht.

Der ebene Spiegel. Von der Lichtquelle, dem leuchtenden, zum mindesten sichtbaren Punkte *O*, gehen nach allen Seiten hin unendlich viele Strahlen aus, von denen hier nur die Strahlen 1, 2, 3, 4 wiedergegeben sind. Sie werden von der Fläche des ebenen Spiegels (*Planspiegels*) in die Richtungen 1', 2', 3', 4' zurückgeworfen, wobei es dem Beobachter „scheint", als ob sie alle von dem Punkte *O'* kämen: *O'* ist das *scheinbare* (virtuelle, d. h. nicht wirklich vorhandene), aber deutlich sichtbare Bild des Punktes *O*. *O'* liegt in genau derselben Entfernung „hinter" dem Spiegel, in der sich der Punkt *O* vor dem Spiegel befindet.

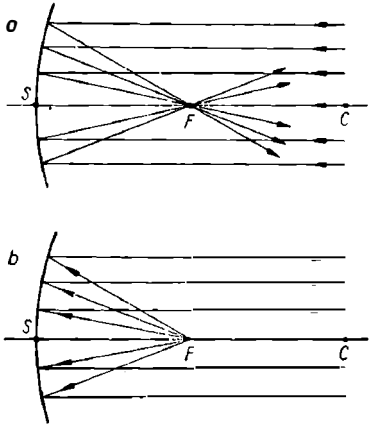


Ebener Spiegel: a Die Strahlen 1, 2, 3, 4 der Lichtquelle O werden am Spiegel so reflektiert, als kämen sie vom virtuellen Bild O' hinter dem Spiegel her; b Bild in O' und Original in O sind spiegelbildlich

Handelt es sich bei *O* um einen *ausgedehnten* (sichtbaren) Gegenstand, so gilt für jeden seiner Punkte das gleiche wie für *O*: Das Bild erscheint im Spiegel *aufrecht* und in derselben Größe, Form und Entfernung wie der Gegenstand, aber *seitenverkehrt*.

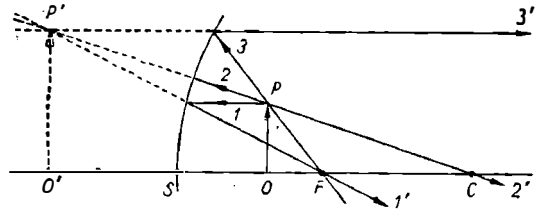
Der Hohlspiegel. Der Hohlspiegel (Konkav-, Sammel-, Vergrößerungsspiegel) ist ein Spiegel mit (meist kugelschalen-, aber auch paraboloidförmig) nach *innen* gewölbter Oberfläche.
Es gelten folgende *Gesetze*:
1. Alle parallel auf den Hohlspiegel auftreffenden Strahlen (*Parallelstrahlen*) werden so zurückgeworfen, daß sie sich in einem Punkte, dem *Brennpunkte F* (*Fokus*), sammeln, danach aber wieder strahlenförmig auseinandergehen. Im Brennpunkte kann sich eine ziemlich hohe Temperatur entwickeln, die unter Umständen leicht entzündliche Stoffe zu entflammen vermag (Abb. a).
2. Alle durch den Krümmungsmittelpunkt *C* des Hohlspiegels gehenden Strahlen werden in sich selbst zurückgeworfen. Der durch *C* gehende Strahl eines Parallelbündels trifft den Spiegel im *Scheitel S*; dieser Strahl bestimmt die *Achse* des Spiegels.

3. Befindet sich (umgekehrt) eine Lichtquelle im Brennpunkte des Spiegels, so werden sämtliche reflektierten Strahlen parallel zurückgeworfen (Verwendung des Hohlspiegels als *Scheinwerfer*). Es entsteht in endlicher Entfernung *kein* Bild, da sich die Strahlen nicht schneiden (Abb. b).



Hohlspiegel; S Scheitel, F Brennpunkt, C Krümmungsmittelpunkt, SF = FC,

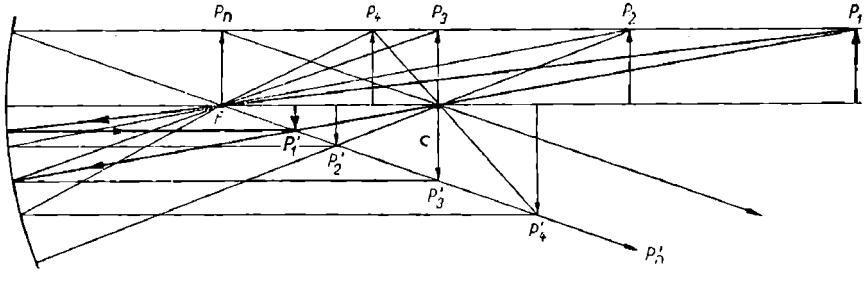
$$\textit{Brennweite } f = \frac{r}{2}$$



Virtuelles, aufrechtes, vergrößertes Bild O'P' an einem Hohlspiegel; OP Gegenstand, F Brennpunkt, C Krümmungsmittelpunkt. Von allen vom Punkt P ausgehenden Lichtstrahlen sind 3 gezeichnet: der Parallelstrahl 1 wird Brennstrahl 1'; der Strahl 2 durch den Krümmungsmittelpunkt wird in sich zurückgeworfen (2'); der Brennstrahl 3 wird Parallelstrahl 3'. Im Auge entsteht durch die zurückgeworfenen Strahlen das scheinbare Bild P' von P

4. Befindet sich ein Gegenstand *OP* zwischen Brennpunkt *F* und Spiegeloberfläche, so erscheint „hinter" dem Spiegel (z. B. Rasierspiegel) ein *virtuelles* (d. h. in Wirklichkeit nicht vorhandenes), vergrößertes, aufrechtes Bild *O'P'*.

5. Befindet sich ein Gegenstand P_1, von dem in der Zeichnung nur Strahlen von einem Endpunkt berücksichtigt sind, zwischen Brennpunkt *F* und Unendlich, so entsteht ein *wirkliches* (*reelles*), *umgekehrtes* Bild P_1', das durch Auffangen auf einem Schirme von allen Seiten sichtbar gemacht werden kann. Bild und Gegenstand sind einander ähnlich, ihre Größen verhalten sich wie ihre Abstände vom Spiegelkrümmungsmittelpunkt *C*. Bewegt sich der Gegenstand aus Unendlich dem Brennpunkte zu über P_2, P_3, P_4, . . . , P_n, so bewegt sich das Bild aus dem Brennpunkt, in dem es die Größe Null hat, in Richtung Unendlich über P_2', P_3', P_4', . . . , P_n' und wird dabei immer größer, je näher der Gegenstand an den Brennpunkt herankommt. Im Mittelpunkt *C* begegnen sich Bild und Gegenstand und sind dort gleich groß (aber entgegengesetzt gerichtet), um bei Fortsetzung der Bewegung nach beiden Seiten auseinanderzurücken, und zwar so lange, bis der Gegenstand den Brennpunkt erreicht hat.



Wirkliche (reelle) Bilder am Hohlspiegel, P_1, P_2, P_3, P_4, . . . , P_n Gegenstandspunkte, P_1', P_2', P_3', P_4', . . . , P_n' Bildpunkte

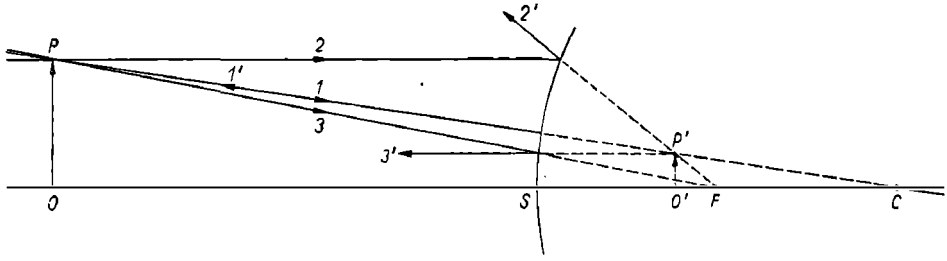
6. Der *Brennpunkt* liegt für Parallelstrahlen in der Nähe der Achse fast genau in der Mitte des in die Achse fallenden Spiegelradius.

$$\textit{Brennweite } f = \frac{r}{2}.$$

7. Die Abbildungsgleichung für den Hohlspiegel lautet:
$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$, wobei a der Abstand des Gegenstandes, a' der Abstand des Bildes vom Hohlspiegel und f die Brennweite bedeuten.

Der erhabene Spiegel. Der erhabene Spiegel (Konvex-, Verkleinerungsspiegel, Rückspiegel am Auto) ist ein Spiegel mit (meist kugelschalenförmig) nach *außen* gewölbter Oberfläche.
Es gelten folgende *Gesetze*:

1. Der erhabene Spiegel wirft die von einem Gegenstande ausgehenden Strahlen so zurück, daß sie von einem „hinter" dem Spiegel liegenden Gegenstande auszugehen scheinen. Das Bild des Gegenstandes wird als ein scheinbares (virtuelles), verkleinertes, aufrechtes Bild gesehen.



Virtuelles, aufrechtes, verkleinertes Bild O'P' an einem erhabenen Spiegel; OP Gegenstand, F Brennpunkt, C Krümmungsmittelpunkt. Von allen vom Punkt P ausgehenden Lichtstrahlen sind 3 gezeichnet: der Strahl 1 durch den Krümmungsmittelpunkt C wird in sich zurückgeworfen (1'); der Parallelstrahl 2 wird Brennstrahl 2'; der Strahl zum Brennpunkt 3 wird Parallelstrahl 3'. Das Auge sieht durch die zurückgeworfenen Strahlen das scheinbare Bild P' von P

2. Der *Brennpunkt* (Zerstreuungspunkt) liegt (auch hier fast völlig genau nur für Strahlen in der Nähe der Achse) in einer Entfernung gleich dem halben Krümmungsradius „hinter" dem Spiegel und ist der (scheinbare) Punkt, von dem aus parallel (zur Achse) eintreffende Strahlen zerstreut werden.

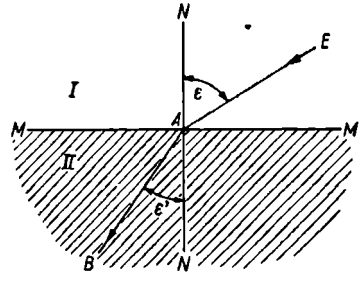
$$\textit{Brennweite } f = -\frac{r}{2}.$$

3. Die Abbildungsgleichung für den erhabenen Spiegel lautet: $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = +\frac{1}{f} = -\frac{2}{r}$.

Das negative Zeichen für a', das aus der Gleichung folgt, besagt, daß Gegenstand und Bild auf verschiedenen Seiten des Spiegels liegen.

DIE BRECHUNG DES LICHTES

Das Licht pflanzt sich in einem optisch dichteren Stoffe (*Mittel, Medium*) langsamer fort als in einem optisch dünneren. (Optische Dichte und Dichte eines Stoffes als Verhältnis der Masse zum Volumen sind verschiedene Begriffe, die aber in gewissem Zusammenhang miteinander stehen.)
Der aus einem Mittel kommende Strahl erleidet an der Grenzfläche zu einem anderen Medium eine *Ablenkung* zur Einfallsnormalen hin oder von ihr weg, je nachdem, ob das andere Mittel dichter oder dünner als das erste ist. Diese Ablenkung heißt *Brechung*.
Im *Vakuum*, d. h. im völlig luftleeren Raume, pflanzt sich das Licht unabhängig von seiner Schwingungszahl und damit seiner Farbe fort. In jedem anderen Medium nimmt im allgemeinen die Geschwindigkeit mit steigender Schwingungszahl, also von Rot nach Violett hin, ab.



Brechung eines Lichtstrahles EA an der Grenzfläche MM eines dichteren Mediums, gebrochener Strahl AB, Normale NN, Einfallswinkel ε, Brechungswinkel ε'

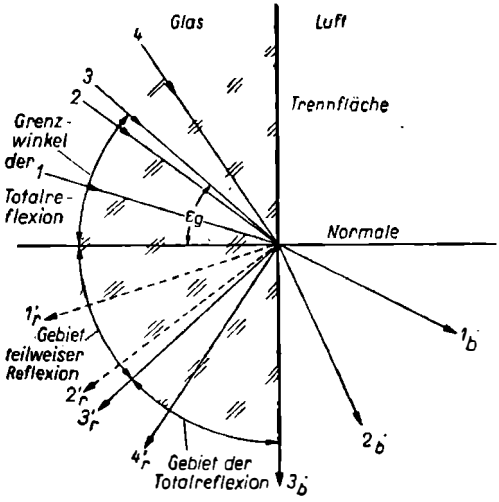
Das Brechungsgesetz. Das *Brechungsgesetz* lautet:

1. $\frac{\text{Sinus des Einfallswinkels}}{\text{Sinus des Brechungswinkels}} = \frac{\sin \varepsilon}{\sin \varepsilon'} = n$ (Brechungszahl).

Das *Brechungsverhältnis* (*Brechungszahl, -index*) zweier Medien zueinander ist für alle Einfallswinkel konstant, aber für verschiedene Stoffe verschieden. Bei den Angaben der Brechungszahlen von Stoffen ist im allgemeinen die Luft als Mittel I zugrunde gelegt.
Der Lichtstrahl E tritt bei A aus dem dünneren Mittel I (etwa Luft) in das dichtere Mittel II (etwa Wasser). Er erfährt dadurch eine Brechung nach der Einfallsnormalen NN hin. Eine derartige Brechung zur Einfallsnormalen hin findet immer statt, wenn das Licht sich in dem neuen Mittel (II)

langsamer bewegt als in dem ursprünglichen (I). Tritt das Licht vom optisch dichteren Medium in ein dünneres über, so kann der Winkel im dünneren Medium, der größer ist als der im dichteren, höchstens 90° werden. Zu diesem Winkel gehört im dichteren Medium der sogenannte *Grenzwinkel der Totalreflexion*. Alle Strahlen, die aus dem dichteren Medium mit größerem Eintrittswinkel auf die Trennfläche fallen, können nicht austreten, sondern werden total reflektiert.

Bei jedem Übergang des Lichtes von einem Medium in ein anderes mit anderer Brechzahl wird ein Teil des Lichtes reflektiert. Auch an Luftschichten, die wegen unterschiedlicher Temperatur eine unterschiedliche Brechzahl haben, findet eine Spiegelung statt (in der Wüste als „Fata morgana" bekannt), z. B. an der Luftschicht oberhalb von Straßenflächen, die durch Sonneneinstrahlung erwärmt werden.



Brechung, teilweise Reflexion und Totalreflexion von Strahlen, die aus einem dichteren Medium auf die Grenzfläche gegen ein dünneres auftreffen, 1, 2, 3, 4 einfallende Strahlen, $1'_b$, $2'_b$, $3'_b$ Strahlen nach der Brechung, $1'_r$, $2'_r$ teilweise, $3'_r$, $4'_r$ total reflektierte Strahlen; ε_g Grenzwinkel der Totalreflexion

2. Bei *isotropen Medien* — nur Kristalle sind vielfach nicht isotrop, sondern *anisotrop* — liegen einfallender Strahl, Einfallsnormale und gebrochener Strahl in derselben Ebene, der *Einfallsebene*.

Ungefähre Brechungszahlen einiger Stoffe gegen Luft

Wasserstoff	0,99985
Wasserdampf	0,99996
Sauerstoff	0,99998
Luft	1
Stickstoff	1,00001
Ammoniak	1,00008
Kohlendioxyd	1,00016
Luft gegen Vakuum	1,00029
Vakuum gegen Luft	0,99971
Eis	1,31
Wasser	1,3332
Äthylalkohol	1,3623
Kronglas (leicht)	1,5153
Bernstein	1,54
Flintglas (leicht)	1,6085
Kronglas (schwer)	1,6152
Schwefelkohlenstoff	1,6291
Flintglas (schwer)	1,7515
Flintglas (schwerstes)	1,9
Diamant	2,4173
Rutil (künstl. Titania) mittl.	2,71

Alle Angaben beziehen sich auf die Farbe des Natriumlichts, und zwar auf die *D*-Linie des Spektrums mit der Wellenlänge $\lambda = 589\ \text{nm} = 5890\ \text{Å}$.

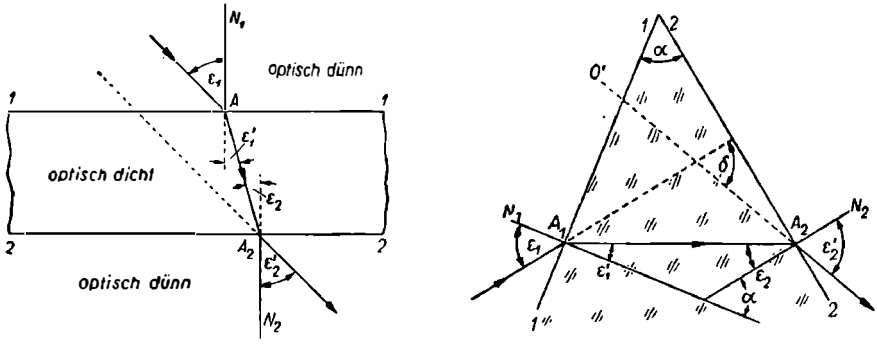
Anmerkung. Der *Diamant* hat eine große Brechungszahl gegenüber Luft. Daraus erklärt sich sein „Feuer". Künstliches Titania hat das größte Feuer, ist aber weicher als Diamant.

Doppelbrechung. In vielen Kristallen findet, soweit sie anisotrop sind, eine Aufspaltung eines einfallenden Lichtstrahles in einen *ordentlichen Strahl*, für den die Brechungsgesetze 1. und 2. gelten, und in einen *außerordentlichen Strahl*, für den das zweite Gesetz nicht gilt, statt (Doppelbrechung beim Kalkspat).

Brechung in planparallelen Platten. Planparallele (Glas-, Eis-, Gelatine-, Zelluloid- u. a.) Platten sind (wie Fensterscheiben) von zwei parallelen Ebenen begrenzt. Lichtstrahlen, die durch planparallele Platten (schräg) hindurchgehen, werden *parallel verschoben*; wir sehen also — durch eine dicke Scheibe blickend — die Gegenstände im allgemeinen nicht genau dort, wo sie tatsächlich sind. Der Lichtstrahl tritt bei A in das optisch dichtere Mittel ein und wird daher nach der Normalen hin gebrochen ($\varepsilon_1 > \varepsilon'_1$); bei A_2 tritt er wieder in das dünnere Mittel zurück und wird daher um denselben Betrag vom Lote weg gebrochen ($\varepsilon_2 = \varepsilon'_1 < \varepsilon'_2 = \varepsilon_1$). Er läuft nunmehr parallel zu seiner ursprünglichen Richtung weiter. Bei der ersten Ablenkung gilt das Brechungsverhältnis $\frac{\sin \varepsilon_1}{\sin \varepsilon'_1}$, bei der zweiten das Verhältnis $\frac{\sin \varepsilon_2}{\sin \varepsilon'_2} = \frac{\sin \varepsilon'_1}{\sin \varepsilon_1}$.

Brechung im Prisma. Das (optische) Prisma ist ein Glaskeil mit zwei Flächen 1 und 2, die eben geschliffen und poliert sind und die den *brechenden Winkel* α zwischen sich bilden; auf die Form der übrigen Begrenzungsflächen kommt es nicht an. Die Schnittlinie der beiden Ebenen heißt die *brechende Kante*. Der Strahl, der in ein Prisma eindringt, wird bei seinem Eintritt und nach seinem Durchgang durch das Prisma von der brechenden Kante *weg* (also nach dem *dickeren* Ende hin)

gebrochen, der betrachtete Gegenstand „erscheint" daher nach der brechenden Kante *hin* verschoben bzw. gedreht.



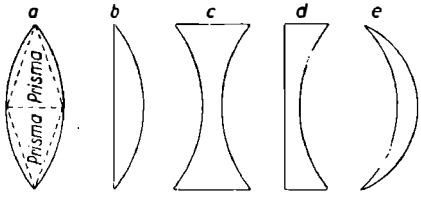
links: Brechung in einer planparallelen Platte: AN_1 bzw. A_2N_2 Normalen in den Punkten A bzw. A_2, Einfallswinkel ε_1, ε_2, Brechungswinkel $\varepsilon_1' = \varepsilon_2$, $\varepsilon_2' = \varepsilon_1$
rechts: Brechung im Prisma mit dem brechenden Winkel α; A_1N_1 und A_2N_2 Normalen, ε_1, ε_2 Einfallswinkel, ε_1', ε_2' Brechungswinkel; Ablenkung des Lichtstrahles um den Winkel $\delta = (\varepsilon_1 - \varepsilon_1') + (\varepsilon_2' - \varepsilon_2) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2' - \alpha$; das Objekt O erscheint dem Beobachter im Punkte O'

Brechung an Linsen. *Linsen* sind Gebilde aus durchsichtigem Material, die die Form eines Kugelabschnittes haben oder die man sich aus 2 Kugelabschnitten (-kappen) mit gleichem oder verschiedenem Radius zusammengesetzt denken kann.
Häufig vorkommende Linsen sind die *bikonvexen* (von der Form der Linsenfrüchte) und die *bikonkaven*, bei denen die Mitte eine geringere Dicke hat als der Außenrand. Die Linse im menschlichen *Auge* ist eine Bikonvexlinse, die Augengläser der *Alterssichtigen* sind Konvexlinsen, die der *Kurzsichtigen* Konkavlinsen.

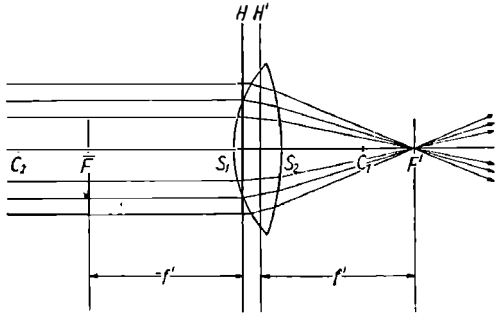
Linsengesetze

1. Da die Parallelstrahlen sowohl von rechts wie von links gegen die Linse treffen können, hat jede Linse 2 *Brennpunkte*, die ungefähr gleich weit von der Linse entfernt sind. Die von bestimmten (meist im Innern der Linse liegenden) *Hauptpunkten* ab gerechnete Entfernung zu den Brennpunkten heißt *Brennweite.*

2. Jede Linse hat eine *optische Achse* als Verbindungsgerade der Krümmungsmittelpunkte



a bikonvexe, b plankonvexe, c bikonkave, d plankonkave, e konkavkonvexe Linse



Bikonvexe Linse; C_1, C_2 Krümmungsmittelpunkte, $\bar{F}$, F' Brennpunkte, H, H' Hauptebenen, S_1, S_2 Scheitel

der beiden Flächen. Ist eine Fläche plan, so geht die optische Achse durch den Krümmungsmittelpunkt der anderen Fläche rechtwinklig zur Planfläche.

3. Alle Strahlen, die im *Dingraum* vor der Linse parallel zur optischen Achse auf die Linse treffen, werden im *Bildraum* hinter der Linse im *Bildbrennpunkt F'* gesammelt; hinter diesem laufen sie wieder auseinander, sie divergieren.

4. Strahlen, die im Dingraum vom *Dingbrennpunkt* $\bar{F}$ kommen oder durch diesen gehen, verlaufen nach der Brechung durch die Linse im Bildraum parallel zur optischen Achse.

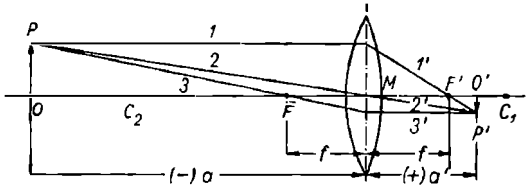
5. Alle Strahlen, die parallel zur optischen Achse einer *Konkavlinse* (Zerstreuungslinse) durch diese hindurchgehen, gehen strahlenförmig auseinander (werden zu den dickeren Stellen hin gebrochen) und *scheinen* von *einem* Punkte zu kommen, dem (*virtuellen*) *Bildbrennpunkt F'*.

6. Strahlen, die durch die Mitte der Linse (durch die optische Achse) hindurchtreten, werden nicht abgelenkt.

7. Im übrigen gelten für konvexe Linsen die Hohlspiegelgesetze, für konkave Linsen die Gesetze für den erhabenen Spiegel sinngemäß.

8. *Linsengleichung.* Hat der Gegenstand OP den Abstand a von der Linse bzw. von dem entsprechenden Hauptpunkt, das Bild $O'P'$ den Abstand a' und ist die Brennweite f, so gilt für alle Linsen die Linsengleichung

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}.$$



Reelles Bild $O'P'$ durch eine Konvexlinse; M Linsenmitte, C_1, C_2 Krümmungsmittelpunkte, F, F' Brennpunkte, f Brennweite, a Gegenstands-, a' Bildschnittweite

Im Hinblick auf die bei Linsen eindeutig festliegende *Lichtrichtung* (in zeichnerischen Darstellungen stets von links nach rechts) wird die von der Linse zum Gegenstand entgegen der Lichtrichtung weisende *Gegenstandsweite* a negativ, die ebenso weisende *Bildschnittweite* a' für virtuelle Bilder ebenfalls negativ, die für reelle Bilder dagegen positiv gerechnet.

Das Bild $O'P'$ eines Gegenstandes OP wird bestimmt durch drei Strahlen: durch den *achsenparallelen Strahl* 1, der nach dem Durchgang durch die Linse Brennstrahl 1' wird, durch den *Brennstrahl* 3, der achsenparallel (3') wird, und durch den *Linsenmittenstrahl* 2, der nicht abgelenkt wird (2'). Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $\triangle OMP \sim \triangle O'MP'$ folgt

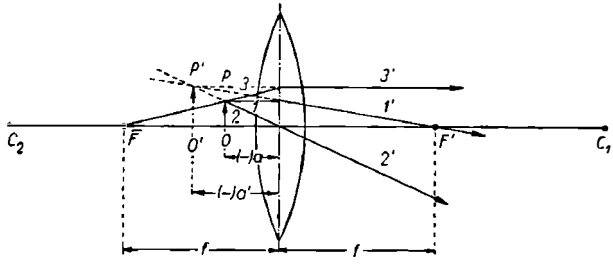
$$OP : O'P' = a : a',$$

d. h., *die Größen von Gegenstand und Bild verhalten sich wie ihre Abstände von der Linse.*

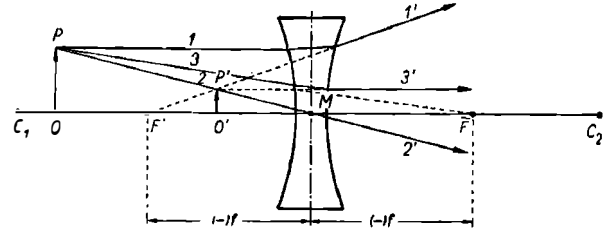
Der Lichtweg ist umkehrbar; es kann auch $O'P'$ als Gegenstand aufgefaßt werden, dann ist OP sein Bild.

Liegt der *Gegenstand außerhalb der doppelten Brennweite*, so entsteht *ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild.* Beispiel: Photoapparat, Auge.

Liegt der *Gegenstand außerhalb der einfachen, aber innerhalb der doppelten Brennweite*, so entsteht ein *umgekehrtes, vergrößertes, reelles Bild.* Beispiel: Projektionsapparat, Kino.



Lupe; Gegenstand OP, Bild $O'P'$, C_1, C_2 Krümmungsmittelpunkte, F, F' Brennpunkte, a Gegenstands-, a' Bildschnittweite



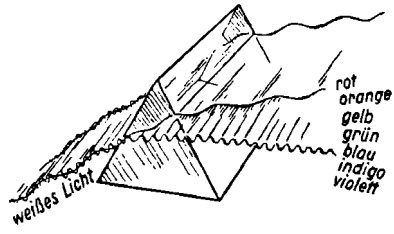
Konkavlinse; C_1, C_2 Krümmungsmittelpunkte, F, F' Brennpunkte, OP Gegenstand, $O'P'$ Bild

Lupe. Liegt der *Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite*, so entsteht ein *vergrößertes, aufrechtes, scheinbares Bild.* Im virtuellen (scheinbaren) Bild schneiden sich die Lichtstrahlen nicht; einige der Strahlen 1', 2', 3' treffen ins Auge, und dieses „sieht" in der geradlinigen Verlängerung den Punkt P'.

Konkavlinse. Für jede Lage des Gegenstands entsteht ein *verkleinertes, aufrechtes, scheinbares* Bild. Alle geschilderten Abbildungen mit Hilfe von Linsen und Spiegeln genügen nur dann so einfachen Gesetzen, wenn man von den Abbildungsfehlern absieht; werden diese berücksichtigt, so müssen eine Anzahl von Sammel- und Zerstreuungslinsen (oder Spiegeln) zusammenwirken, um einigermaßen einwandfreie Abbildungen zu erreichen. Solche Zusammenstellungen heißen *optische Systeme.* Die bekanntesten sind Objektive (für Photo, Mikro, Fernrohr oder Projektion), Okulare (augenseitig am Fernrohr oder Mikroskop) und Kondensoren zur Ausleuchtung einer Dia- oder Filmfläche und des Projektionsobjektivs.

DIE ZERLEGUNG DES LICHTES

Prismenspektren. Fällt ein Bündel paralleler weißer Lichtstrahlen (z. B. Sonnenlicht) durch einen schmalen Spalt in einen verdunkelten Raum, so werden diese Strahlen beim Durchgang durch ein in ihren Lauf gestelltes Prisma wegen der verschieden starken Brechung der verschiedenen Farben in farbige Strahlen zerlegt, die auf einem Schirm als ein ausgebreitetes *Farbenband* erscheinen; dieses weist der Reihe nach die ganz allmählich ineinander übergehenden Farben *Rot*, *Orange*, *Gelb*, *Grün*, *Blau*, *Indigo*, *Violett* auf. Das Farbenband heißt *Spektrum*, und zwar *kontinuierliches Prismenspektrum*, weil die Farben allmählich ineinander übergehen und weil dieses Spektrum durch ein Prisma erzeugt worden ist. Die Grundfarben treten auch im Regenbogen auf; dieser entsteht durch Brechung und Reflexion in Regentropfen in der Atmosphäre.



Zerlegung von weißem Licht durch ein Prisma in Spektralfarben

Jeder Farbe kommt eine bestimmte Wellenlänge und damit eine bestimmte Schwingungszahl zu, und zwar dem Rot eine Wellenlänge von etwa 780 nm abwärts bei einer Schwingungszahl von 385 Billionen Schwingungen in der Sekunde, dem Violett eine solche von etwa 390 nm aufwärts bei einer Schwingungszahl von 770 Billionen Schwingungen. Die Brechungszahl und damit die Ablenkung nehmen aber mit wachsender Schwingungszahl zu.

Emissions- und Absorptionsspektren. An Stelle von weißem Licht kann zu dem Versuch auch das Licht verwendet werden, das ein bestimmtes chemisches Element bei Anregung aussendet. Man bringt etwas Kochsalz in die nichtleuchtende Flamme eines Bunsenbrenners und erhält gelbes Natriumlicht, oder man regt in einem Gasentladungsrohr z. B. Wasserstoffgas zum Leuchten an. Das Spektrum besteht dann aus bestimmten Linien. Die Lage dieser Linien ist so genau bestimmt worden, daß aus ihrem Vorhandensein auf das Vorhandensein des zugehörigen Elements in einem leuchtenden Gas geschlossen werden kann (*Spektralanalyse*). Man nennt ein solches Emissionsspektrum *Linienspektrum*.

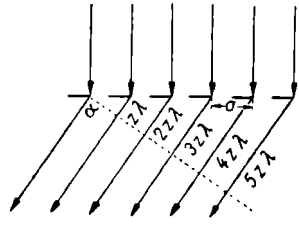
Leuchtende Moleküle, etwa von Kohlenwasserstoffen, ergeben *Bandenspektren*, in denen sich die Linien in einzelnen Gebieten zu Bändern häufen. Oft setzen die Banden an einer Stelle, der sogenannten *Kante*, scharf ein und verlaufen von dort allmählich nach dem Rot oder Violett zu.

Die Spektrallinien, die ein Gas aussendet (emittiert), verschluckt (absorbiert) es auch, wenn es von weißem Licht getroffen wird. Wird dieses Licht danach durch einen Spektralapparat zerlegt, so erscheinen an den Stellen, an denen früher die Emissionslinien zu sehen waren, *dunkle Absorptionslinien*. Im Gegensatz zu dem Emissionsspektrum spricht man dann von einem *Absorptionsspektrum*. Im Sonnenspektrum nennt man diese Absorptionslinien *Fraunhofersche Linien*. Sie entstehen in der Atmosphäre der Sonne oder der Erde.

Die Erscheinungen der Emission und Absorption lassen sich nur durch die *Quantentheorie* erklären, nach der das Licht außer als elektromagnetische Welle auch korpuskular (vgl. Korpuskel) aufgefaßt werden kann: Licht wird in genau bestimmbaren kleinsten *Lichtquanten* emittiert oder absorbiert. Das kleinste Energiequant E ergibt sich aus der Schwingungszahl ν der Strahlung und dem *Planckschen Wirkungsquantum* $h = 6{,}62 \cdot 10^{-27}$ erg · s als

$$E = h \cdot \nu.$$

Beugungsspektren. Neben Prismenspektren gibt es *Beugungsspektren*. Sie entstehen, wenn das weiße Licht nicht auf ein Prisma, sondern auf ein Beugungsgitter fällt. Das Beugungsgitter besteht aus einer planparallelen Glasplatte, die senkrecht zum Lichtstrahl gestellt wird und in die parallel zum Spalt sehr viele feine Striche geritzt sind. Man kann Gitter mit 1800 Strichen auf 1 mm herstellen.



Beugung am Gitter, schematisch

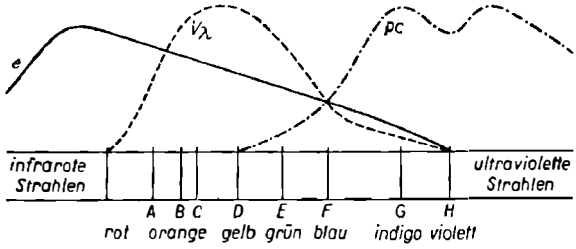
Das Licht kann nur an den schmalen, ungeritzten Flächen zwischen den Strichen die Platte durchdringen. Jeder Punkt dieser Flächen kann nach dem *Huygensschen Prinzip* als Ausgangspunkt einer neuen, sich kugelförmig ausbreitenden Welle angesehen werden. In der schematischen Abbildung ist angenommen worden, daß die in einem bestimmten Augenblick an diese Kugelflächen gelegte Tangentialebene die Neigung α gegen die Gitterebene hat. Dann sind für die durch die Gleichung

$$a \sin \alpha = z \cdot \lambda \quad (z = 1, 2, 3, \ldots)$$

bestimmte Wellenlänge λ alle Elementarwellen im gleichen Schwingungszustande. Sie verstärken sich also durch *Interferenz*. Licht einer von λ verschiedenen Wellenlänge jedoch wird in dieser Richtung α um so vollständiger durch Interferenz ausgelöscht, je größer die Anzahl der eingeritzten

Striche ist. Dagegen gibt es nach der angegebenen Gleichung zu jeder anderen Wellenlänge λ_1 einen Winkel α_1, für den gerade das Licht dieser Wellenlänge λ_1 verstärkt wird.
Je nach der Größe von $z = 1, 2, 3, \ldots$ unterscheidet man Beugungsspektren verschiedener Ordnung, 1., 2., 3., ... Ordnung.
Da die Winkel α klein sind, kann $\sin \alpha$ angenähert durch α ersetzt werden, die Ablenkung des Lichtes durch ein Gitter ist also der *Wellenlänge angenähert proportional.*

Energieinhalt der Sonnenstrahlen. Die Sonne leuchtet nicht nur, sondern sie wärmt auch und schwärzt die photographische Platte (photochemische Wirksamkeit). Aber die Energien sind ungleich über das gesamte (sichtbare und „unsichtbare") Spektrum verteilt.



Emissionskurve e eines Wärmestrahlers von rund 1000 °K, Kurve V_λ der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges, Kurve pc der photochemischen Empfindlichkeit, A, B, C, ..., H Lage der markantesten Spektrallinien (Fraunhofersche Linien) im sichtbaren Spektrum

Das Höchstmaß an *Leucht*wirkung haben die *gelben* Strahlen. Ein gelblich oder orangefarben tapezierter Raum erscheint uns daher bei gleichstarkem Tageslicht heller als ein tiefblau oder gar violett tapezierter. (Ein weiß gestrichener Raum wirkt am hellsten, weil die weiße Wand *alle* auf sie treffenden Lichtstrahlen zurückwirft.) Da das Maximum der Strahlung eines glühenden Körpers (von rund 1000 °K) im Infraroten liegt, wirken diese unsichtbaren Strahlen als Wärme. *Photochemische* Wirkungen zeigen vor allem die *violetten* und *ultravioletten* (Sonnen-) Strahlen. Nach dem Rot hin wird die photochemische Wirkung sehr gering. Trotzdem werden neuerdings auch ultrarotempfindliche (infrarotempfindliche) Filme hergestellt, mit deren Hilfe Aufnahmen auch durch ziemlich dichten Nebel hindurch möglich geworden sind.

Farben. Ein Körper, z. B. eine Blume oder ein Blatt Papier, erscheint uns in einer bestimmten Farbe. Diese Farben lassen sich in einer abgestuften kontinuierlichen Folge auf einem Kreise anordnen. Wir erhalten einen *Farbenkreis* etwa in der von Wilhelm Ostwald eingeführten Stufenfolge.
Die Körperfarbe Rot z. B. bedeutet, daß dieser Körper rotes Licht zurückwirft. Die benachbarten Farben werden zunehmend schwächer zurückgeworfen. Die weiter abstehenden Farben werden zunehmend stärker verschluckt. Die im Farbenkreis gegenüberliegende Farbe, Grün in unserem Beispiel, wird vollständig verschluckt. Solche Farbpaare heißen *Komplementärfarben.* Ein anderes Beispiel komplementärer Farben sind Gelb und Blau. Durch Mischen blauer und gelber Wasserfarbe z. B. entsteht eine Körperfarbe, die nur aus dem zwischen beiden Farben liegenden Bereiche Licht reflektiert, also grün aussieht. Da sich hierbei die Mischfarbe durch Absorption ergibt, spricht man von *subtraktiver Farbmischung.*
Additive Farbmischung dagegen erhält man etwa dadurch, daß drei Projektionsapparate je ein Lichtbündel in Orange, Grün und Violett auf dieselbe Stelle eines Schirmes projizieren. Die Stelle leuchtet dann in weißem Lichte. Auch im Auge kann die additive Farbmischung hervorgerufen werden, wenn eine Scheibe mit einer gelben und einer blauen Hälfte so schnell gedreht wird, daß sich die Farbreize im Auge überlagern. Dann sieht das Auge weiß.
Der *Vierfarbendruck* beruht auf dem Übereinanderdrucken der drei Farbplatten Gelb, Rot und Blau in Verbindung mit einer vierten Schwarzplatte. Die natürlichen Farben entstehen durch subtraktive Farbmischung. Nach dem *Agfacolorverfahren* entstehen die Farben auf den Filmen auch subtraktiv. Der Film hat auf dem Schichtträger drei Schichten: eine blau-, eine grün- und eine rotempfindliche Schicht. Je nach der Farbkomponente, die beim Entwickeln in diesen Schichten sich bildet, erscheint das Negativ in den Komplementärfarben oder ist nichtkomplementär. Im Positiv sind dann die Farbkomponenten entsprechend der Anordnung im Negativ auf die drei Schichten verteilt, so daß das Bild in den natürlichen Farben erscheint.

LICHTMESSUNG

Die *Lichtstärke*, mit der ein schwarzer Strahler bei der Temperatur des beim Druck einer physikalischen Atmosphäre erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet, wenn diese 1/600000 m² beträgt, ist die gesetzliche Maßeinheit, die *Candela* (cd). Sie entspricht der früheren *Neuen Kerze* (NK), deren Vorläufer die *Hefnerkerze* (HK) war; dies war die Lichtstärke einer mit Amylazetat gespeisten Dochtlampe (Dochtdurchmesser 8 mm, Flammenhöhe 40 mm); 1 cd = 1,0174 HK. Die Leuchtdichte wird in *Candela/Quadratmeter* gemessen, deren 10000faches, die Candela/Quadratzentimeter, als *Stilb* (sb) bezeichnet wird.

Der von einer Lichtquelle in einen bestimmten Raumwinkel ausgestrahlte *Lichtstrom* ergibt sich durch Multiplikation der Lichtstärke mit dem Raumwinkel. Die *Einheit des Lichtstromes* heißt *Lumen* (lm). Es ist das der Lichtstrom, den eine Lichtquelle der Stärke 1 cd gleichmäßig in den Raumwinkel 1 $\left(\frac{1}{4\pi} = 0{,}0796 \text{ des umgebenden Kugelraums}\right)$ aussendet. Die *Einheit der Beleuchtungsstärke* heißt *Lux* (lx). Sie liegt vor, wenn der Lichtstrom 1 lm gleichmäßig und rechtwinklig auf die Fläche 1 Quadratmeter fällt.

Lichtstärken
in Candela

Stearinkerze	rd. 1	voller Autoscheinwerfer	1000···1500
Petroleumlampe	30	Bogenlampe bei 30 Ampere	8200
elektrische Tischlampe	40···75	rotierendes Leuchtfeuer	2000000
Gaslaterne der Straße	100···1000		

Beleuchtungsstärken
in Lux

Licht vom Jupiter	0,000025	Sonnenlicht auf horizontaler	
Licht vom Vollmond	0,25	Fläche bei 45° Sonnenhöhe	rd. 66000
günstigste Beleuchtung zum Lesen	50···200		

Die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle ab; bei doppelter Entfernung von der Lichtquelle wird die Beleuchtung also auf ein Viertel abgeschwächt, wenn die räumliche Ausdehnung der Lichtquelle klein gegen den Abstand der Quelle vom Schirm ist.

VII. Wärme

Die Wärmelehre (früher Kalorik) ist die Wissenschaft, die das Wesen der Wärme und ihre Gesetze untersucht; die Thermodynamik betrachtet die unmittelbar meßbaren Größen, wie Wärmemenge, Temperatur, Druck u. a., die kinetische Wärmetheorie leitet diese Größen aus den Eigenschaften der Moleküle ab.

Das Wesen der Wärme. Die Wärme ist eine Energieform, die in der *inneren* Bewegung des Stoffes den (Eigen-) Bewegungen der Molekeln, ihren Ursprung hat. Sie ist sowohl kinetische Energie (geradlinige Geschwindigkeit der Molekeln) als auch Rotations- und Schwingungsenergie. Erhöht man diese Energien, so *erwärmt* sich der Körper. Dabei ist die Bewegung der Molekeln völlig ungeordnet. Wäre sie gleichgerichtet, so würde sich der Körper als Ganzes bewegen, und die Energie würde nicht als Wärme erscheinen.

HAUPTSÄTZE DER WÄRMELEHRE

1. Hauptsatz: Prinzip der Erhaltung der Energie. Jede Wärmemenge ist einer bestimmten Menge einer anderen Energieform gleichwertig (äquivalent). So entspricht z. B. *1 Kilokalorie einer mechanischen Arbeit von 427 Kilopondmeter* oder einer elektrischen Energie von 0,00116 Kilowattstunden. Verschwindet irgendwo eine bestimmte Energiemenge, so muß eine äquivalente Menge einer anderen Energieform entstehen. Beispielsweise verschwindet beim Abbremsen eines Autos dessen kinetische Energie; ein ihr gleicher Energiebetrag findet sich als Wärmemenge in den Bremstrommeln wieder. In einem System, dem Energie in irgendeiner Form weder zugeführt noch entnommen wird, ist *die Summe aller Energien konstant.* Es ist unmöglich, eine Maschine zu konstruieren, die Arbeit leistet, ohne daß ihr eine gleiche Energiemenge von außen zugeführt wird (Unmöglichkeit des *Perpetuum mobile erster Art*).

2. Hauptsatz: Entropiesatz. Das Prinzip der Erhaltung der Energie, das den Inhalt des 1. Hauptsatzes bildet, muß bei allen Energieumwandlungen erfüllt sein. Ob jedoch eine solche Umwandlung unter gegebenen Bedingungen möglich ist und *welcher Anteil einer Energieform* in eine andere übergeführt werden kann, darüber gibt erst der 2. Hauptsatz Auskunft. Dieser sagt aus, daß sich zwar mechanische Arbeit (z. B. durch Reibung) restlos in Wärme verwandeln läßt, daß es aber umgekehrt keine Vorrichtung gibt, mit der andauernd Wärme restlos in mechanische Arbeit übergeführt werden kann (Planck: *„Es ist unmöglich, eine periodisch funktionierende Maschine zu konstruieren, die weiter nichts bewirkt als Hebung einer Last und Abkühlung eines Wärmereservoirs;* Unmöglichkeit des *Perpetuum mobile zweiter Art*). Ein gewisser Teil der einer Wärmekraftmaschine zugeführten Wärmemenge wird auch bei einer idealen Wärmekraftmaschine unausgenutzt an die Umgebung abgegeben. Bezeichnet T die vom absoluten Nullpunkt aus gemessene Temperatur, bei

der die Wärmemenge Q der Wärmekraftmaschine zugeführt wird, und T_u die Temperatur der Umgebung, so geht mindestens die Wärmemenge $Q_u = \frac{Q}{T} \cdot T_u$ *verloren*. Das Verhältnis $\frac{Q}{T}$ einer Wärmemenge Q zu der Temperatur T, auf der sich die Wärmemenge befindet, wird Entropie genannt. Sie ist für den Energieverlust bei der Erzeugung von Arbeit aus Wärme von größter Bedeutung.

Aus dem 2. Hauptsatz folgt der wichtige Satz: Die Entropie bestimmt die Richtung, in der alle natürlichen Vorgänge verlaufen, indem nur solche spontanen Vorgänge möglich sind, die zu einer *Vermehrung der Entropie* führen. So kann z. B. ein Wärmeübergang von einem kälteren zu einem wärmeren Körper nicht von selbst stattfinden, da die Entropie sich dabei vermindern würde. Das Wachstum der Entropie ist der Grund für den einseitigen Verlauf der Naturvorgänge.

3. Hauptsatz: Nernstsches Wärmetheorem. Nach dem 2. Hauptsatz der Wärmelehre ist die Wärmetönung einer exothermen Reaktion im allgemeinen von der maximal gewinnbaren Arbeit verschieden. Ein Teil der Reaktionswärme kann nicht in Arbeit verwandelt werden. Wie aber Nernst durch Studium zahlreicher Reaktionen zeigen konnte, werden bei tiefen Temperaturen die Wärmetönungen chemischer Reaktionen und die maximal gewinnbaren Arbeiten einander gleich. Dieses experimentelle Ergebnis wurde von Nernst als allgemeines Gesetz erkannt und als Wärmesatz wie folgt formuliert: „In der Nähe des absoluten Nullpunkts wird bei chemischen Umsetzungen die Änderung der Entropie Null." In der von Planck eingeführten Erweiterung lautet der 3. Hauptsatz: „Die Entropie jedes chemisch homogenen festen oder flüssigen Stoffes ist am absoluten Nullpunkt Null." Der 3. Hauptsatz hat große Bedeutung für die Berechnung chemischer Gleichgewichte. Aus ihm lassen sich u. a. folgende Sätze ableiten: 1. Die spezifischen Wärmen der festen und flüssigen chemisch einheitlichen Stoffe werden mit Annäherung an den absoluten Nullpunkt Null. 2. Der absolute Nullpunkt kann auf keine Weise erreicht werden. 3. Der Ausdehnungskoeffizient und die Temperaturkoeffizienten anderer physikalischer Eigenschaften werden für feste und flüssige chemisch einheitliche Stoffe beim absoluten Nullpunkt Null.

Der Ursprung der Wärme

Die wichtigsten Wärmequellen sind:

die *Sonne* als natürliche, unmittelbare (und stärkste) Wärmequelle,
die *Erde* selbst (Eigenwärme im Erdinnern, die durch Radioaktivität entsteht; s. geothermische Tiefenstufe),
gespeicherte (mittelbare) *Sonnenenergie* (in Form von Holz, Kohle u. a.),
mechanische Energie als Reibung (Feuerreiben mit Hölzern, Heißlaufen von Rädern), Druck (Säge), Stoß (Hammer) u. a.,
chemische Energie als Nebenerscheinung bei den meisten Stoffumwandlungen, insbesondere bei allen Vorgängen der Verbindung mit Sauerstoff (Oxydation),
elektrische Energie (insbesondere beim Einschalten von Widerständen).

Verbrennungswärme einiger Stoffe

in cal/g

Lufttrockenes Holz	3000···4500	Holzkohle, Anthrazit	8000
trockener Torf	3500···3800	Rüböl (gereinigt)	9000
Braunkohlen(briketts)	4500···5000	Stadtgas	bis 12000
Steinkohle	7200···7800	Wasserstoff	34000

Unter *Verbrennungswärme* versteht man die Anzahl Kalorien, die 1 g des betreffenden Stoffes bei seiner (restlosen) Verbrennung entwickelt bzw. abgibt.

WÄRME UND TEMPERATUR

Temperatur ist von Wärme scharf zu *unterscheiden*. Während *Wärme* die *Energie* ist, die den (mehr oder weniger starken) Schwingungen der Molekeln innewohnt, ist *Temperatur* der *Zustand*, den diese Schwingungen hervorrufen. (Die Stöße der Moleküle werden von uns als Temperatur „empfunden".)

Die gleiche Wärmemenge (etwa von 12 Briketts) kann (in einem kleinen Zimmer oder in einem großen Saal ausgestrahlt) zu völlig verschiedenen Temperaturen führen.

Kälte ist (physikalisch gesehen) nur ein Zustand mit geringerer Wärmeenergie. Man ist aber übereingekommen, die Temperatur, die unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt, als Kälte zu bezeichnen.

Wärmemengen werden in *Kalorien* gemessen, Temperaturen in *Graden*.

Temperaturmessung. Die Temperatur wird mit Hilfe des *Thermometers* in Graden gemessen. Für die Einteilung eines Thermometers gibt es zwei natürliche *Fixpunkte*:

a) den *Gefrierpunkt* des Wassers, d. i. die Temperaturstelle, bei der (bei 760 Torr) Wasser gefriert bzw. Eis schmilzt, bei der also beide Aggregatzustände nebeneinander bestehen können (0 °C);

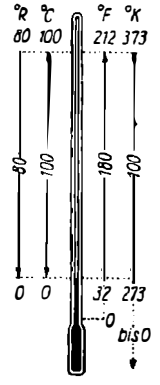
b) den *Siedepunkt* des Wassers, d. i. die Temperaturstelle, bei der unter einem Druck von 760 Torr das flüssige Wasser an allen Stellen des Gefäßes (durch die ganze Flüssigkeitsmasse hindurch) in Dampf überzugehen beginnt (100 °C).

Réaumur (°R) hat die Temperaturspanne zwischen den beiden Fixpunkten in 80 Grade eingeteilt, *Celsius* (°C) in 100 Grade, *Fahrenheit* (°F) in 180 Grade.
Der *absolute Nullpunkt* der Temperatur (an dem sich die Moleküle in Ruhe befinden) liegt bei − 273,15 °C, einem Punkte, der grundsätzlich nicht erreicht werden kann. Die *Kelvin*-Temperaturskale (°K) zählt von diesem absoluten Nullpunkte aus. „Minusgrade" gibt es bei dieser Skale nicht (− 15 °C entsprechen denach 258,15 °K, + 20 °C = 293,15 °K).

Eispunkt des Wassers: 0 °R = 0 °C = 32 °F = 273,15 °K

Siedepunkt des Wassers: 80 °R = 100 °C = 212 °F = 373,15 °K.

Von zwei recht merkwürdigen Fixpunkten ist *Fahrenheit* ausgegangen: Die Temperatur einer Kältemischung von Salmiak und Eis bezeichnete er mit 0 °F. Als zweiten Fixpunkt nahm er die Temperatur des gesunden Blutes. Die Gradeinteilung erhielt er, indem er den Unterschied zwischen diesen beiden Fixpunkten nach einem Zwölfersystem in 8 · 12 = 96 Grade einteilte. Der Schmelzpunkt von Eis lag dann bei + 32 °F und der Siedepunkt von Wasser bei 212 °F.



Vergleich der Temperaturskalen nach Réaumur, °R, Celsius, °C, Fahrenheit, °F, und Kelvin, °K

Umrechnung der Thermometergrade

$$T\,°K = (T - 273{,}15)\,°C = \frac{4}{5}(T - 273{,}15)\,°R = \left(\frac{9}{5}T - 459{,}67\right)°F$$

$$t\,°C = \frac{4}{5}t\,°R = \left(\frac{9}{5}t + 32\right)°F = (t + 273{,}15)\,°K$$

$$t\,°R = \frac{5}{4}t\,°C = \left(\frac{9}{4}t + 32\right)°F = \left(\frac{5}{4}t + 273{,}15\right)°K$$

$$t\,°F = \frac{5}{9}\cdot(t - 32)\,°C = \frac{4}{9}\cdot(t - 32)\,°R = \left(\frac{5}{9}t + 255{,}37\right)°K$$

Markante Temperaturen
zwischen 6000 °C und − 273 °C

Elektrischer Lichtbogen unter Druck	6000 °C
Sonnenoberfläche	5440 °C
elektrischer Schmelzofen	4000 °C
Glühfäden in elektrischen, gasgefüllten Lampen	3000 °C
Glühfäden in Senderöhren	1900 °C
Gasherdflamme	1600 °C
flüssiges Glas der Glasbläser	1370 °C
flüssiges Eisen der Eisengießer	1350 °C
Braunkohlenfeuerung	1100 °C
Holz- und Torffeuerung	800 °C
Dampf in Turbinen	450 °C
überhitzter Dampf der Lokomotive	350 °C
Siedepunkt des Wassers bei 760 Torr	100 °C
Temperatur des beim Bau des Simplontunnels erreichten Erdinnern	54 °C
mittlere Körperwärme der Vögel	42 °C
mittlere Körperwärme des Menschen	37 °C
Gefrierpunkt des Süßwassers	0 °C
Gefrierpunkt des Meerwassers	− 2,5 °C
Kochsalz und Schnee im Gemisch 1 : 3	− 21 °C
Temperatur der unteren Stratosphäre	− 69 °C
Kältepol der Erde (Stelle der gelegentlich niedrigsten Temperaturen)	− 90 °C
Siedepunkt der flüssigen Luft	− 193 °C
Siedepunkt des flüssigen Wasserstoffes	− 253 °C
tiefste künstlich erreichte Temperatur	− 273,139 °C
absoluter Nullpunkt, Nullpunkt der Kelvin-Temperaturskale	− 273,15 °C

DIE AUSBREITUNG DER WÄRME

Die Wärme kann sich von einem erwärmten Körper aus auf verschiedene Art ausbreiten. Der Körper kann elektromagnetische Wellen *ausstrahlen* (Wärmestrahlung). Der die Wärme darstellende Schwingungs- oder Bewegungszustand seiner Teilchen kann sich längs des Körpers fortpflanzen und bei enger Berührung auf weitere Körper übergreifen; man spricht von *Wärmeleitung*. Schließlich können Körper, besonders Gase oder Flüssigkeiten durch eigene mechanische Bewegung die Wärme transportieren (*Wärmekonvektionsströme*).

Wärmestrahlung. Neben dem Licht strahlt die Sonne Wärme aus, die den Weltenraum als Energie elektromagnetischer Wellen durchmißt. Körper, von denen diese Energie aufgenommen (*absorbiert*) wird, erwärmen sich, Körper, die die Wärmestrahlen reflektieren oder durch sich hindurchlassen, erwärmen sich nicht, z. B. die Lufthülle, die ihre Wärme erst von der erwärmten Erd- oder Wasseroberfläche erhält. Auch *alle übrigen warmen Körper* (Menschen, Tiere, Öfen, Zimmerwände) geben Wärme durch Strahlung ab. Körper, die Wärmestrahlen gut absorbieren, strahlen Wärme auch gut aus; beide Vorgänge sind einander proportional.

Wärmeleitung. Der Wärmetransport durch Leitung tritt besonders bei *festen Körpern* auf, in denen die einzelnen Molekeln ihre Wärme- (Schwingungs-) Energie von einer zur anderen weitergeben.
Gute *Wärmeleiter* sind vor allem die Metalle, schlechte Wärmeleiter u. a. Holz, Tuch, Federn, vor allem aber luftgefüllte und (erst recht) luftleere Zwischenräume (Thermosflasche).
Befinden sich in einem Gesamtkörper *Teile* mit verschiedener Temperatur, so erfolgt durch Wärmeleitung ein *Ausgleich* der Temperaturen. Dieser ist abhängig von der Größe des Temperaturunterschiedes und von der Wärmeleitfähigkeit des Stoffes.
Die *Wärmeleitfähigkeit* ist gegeben durch die Wärmemenge, die in 1 s durch eine ebene Platte eines Stoffes von 1 cm Dicke und 1 cm² Querschnitt hindurchgeht, und zwar bei einem dauernden Temperaturunterschied von 1 Grad zwischen den beiden Plattenoberflächen.
In der *Technik* sind (für bestimmte Temperaturen — in der Tabelle für 18 °C — berechnete) *Wärmeleitzahlen* üblich.

Werte für Wärmeleitfähigkeit

im Vergleich zu Silber

Silber	1,0	Sandstein	0,004	Linoleum	0,0004
Kupfer	0,95	Glas und Porzellan	0,002	Holz	0,0003
Aluminium	0,585	Wasser	0,0014	Kork	0,0001
Eisen (rein)	0,2	Schnee	0,0010	Bettfedern	0,00006
Blei	0,083	Schiefer	0,0008	Luft	0,000058
Neusilber	0,06	Wasserstoff	0,000418	Kohlendioxyd	0,00003
Marmor	0,008				

Wärmekonvektionsströme. Vor allem in der Technik erfolgt der Wärmetransport häufig durch den Transport heißer Gase oder Flüssigkeiten, z. B. in der Dampf- oder Warmwasserheizung, im Kühlmittelkreislauf von Kernreaktoren. Dabei wird benutzt, daß die Flüssigkeiten und Gase beim Erwärmen eine geringere Dichte annehmen und deshalb nach oben steigen bzw. von den schwereren, kälteren Flüssigkeits- oder Gasmassen bis zum völligen Wärmeausgleich durchdrungen werden und nach erfolgter Wärmeabgabe im Kreislauf wieder zurücksinken.
Auf der Erde spielen diese Prozesse als Wind- und Meeresströmungen eine bedeutende Rolle.

AUSDEHNUNG DURCH WÄRME

Die Wärme dehnt alle Körper aus, die festen nur wenig, die flüssigen stärker, die gasförmigen sehr stark, dabei jeden einzelnen Stoff mit einer gewissen Gleichmäßigkeit, die bei allen Gasen fast vollkommen ist.

Ausdehnungskoeffizient. Der Ausdehnungskoeffizient ist das Maß für die Ausdehnung der Stoffe; wird, z. B. bei Stäben, die Ausdehnung nur in einer Richtung gemessen, so spricht man vom *linearen*, bei Raumausdehnung von *kubischen* Ausdehnungskoeffizienten. Bei festen Stoffen in Stabform gibt der lineare Ausdehnungskoeffizient die in Metern gemessene Länge an, um die sich ein Einmeterstab bei Erwärmung um 1 grd ausdehnt; z. B. dehnt sich eine Eisenschiene von 10 m Länge bei 20 grd Erwärmung um $20 \cdot 10 \cdot 0{,}000012$ m = 0,0024 m = 2,4 mm aus.
Für Flüssigkeiten gilt der kubische Ausdehnungskoeffizient; er ist der Bruchteil, um den sich 1 Liter beim Erwärmen von 18 °C auf 19 °C ausdehnt; 50 *l* Wasser z. B. dehnen sich bei einer Erwärmung von 10 °C auf 90 °C um $50 \cdot 80 \cdot 0{,}00018\ l = 0{,}72\ l$ aus.
Für alle Gase beträgt der kubische Ausdehnungskoeffizient etwa $^1/_{273}$ des Volumens, das sie bei 0 °C und 760 Torr ausfüllen. Bei einer Temperaturerniedrigung um 1 grd vermindert ein Gas sein Volumen bei konstantem Druck um $^1/_{273}$ seines bei 0 °C gemessenen Wertes. Bei −273 °C müßte demnach sein Volumen Null werden; in Wirklichkeit tritt aber vorher Kondensation ein.

Erfolgt die Erwärmung bei *unveränderlichem Rauminhalt* (Volumen), so wächst die Spannung (der Druck) des Gases für jeden Grad Temperaturerhöhung um $^1/_{273}$ des Wertes, den sie bei 0 °C hat (Gesetz von *Gay-Lussac*).
Mit zunehmender Temperatur *vergrößern* sich die Koeffizienten etwas, in der Nähe des Schmelzpunktes erheblich; in der Nähe des absoluten Nullpunktes der Temperatur (−273 °C) werden sie *sehr klein*.
Kristalle dehnen sich in verschiedenen Richtungen verschieden aus; Kalkspat z. B. dehnt sich in der Richtung einer bestimmten Achse aus, senkrecht zu dieser aber zieht er sich zusammen.

Lineare Ausdehnungskoeffizienten

Reinmetalle		*Legierungen*	
Rhenium	0,0000040	Invar	0,0000009
Wolfram	0,0000045	Platinit	0,0000059
Platin	0,0000090	Gußeisen	0,0000090
Eisen (rein)	0,0000120	Chromstahl	0,0000110
Nickel	0,0000130	Kohlenstoffstahl	0,0000120
Gold	0,0000142	Aluminiumbronze	0,0000157
Kupfer	0,0000165	Messing	0,0000167
Aluminium	0,0000238	Zinnbronze	0,0000178
Magnesium	0,0000260		
Blei	0,0000292		
Zäsium	0,0000970		

Nichtmetalle

Quarzglas	0,0000005	Bergkristall senkrecht zur Achse	0,0000144
Diamant	0,0000013	Bakelit	0,0000300
Geräteglas (Pyrex)	0,0000033	Fichte quer zur Faser	0,0000341
Porzellan	0,0000038	in Richtung der Faser	0,0000060
Flach- und Hohlglas	0,0000081	Eiche quer zur Faser	0,0000544
Bergkristall parallel zur Achse	0,0000080	in Richtung der Faser	0,0000074

Kubische Ausdehnungskoeffizienten

Quecksilber	0,00018	Olivenöl	0,00072
Wasser	0,00018	Äthylalkohol	0,00110
Glyzerin	0,00050	Äthyläther	0,00163

Die Ausdehnung des Wassers. Die meisten Stoffe dehnen sich beim Erwärmen aus, d. h., ihre Dichte nimmt mit wachsender Temperatur ab. Wasser von 0 °C hingegen zieht sich beim Erwärmen zunächst zusammen; erst von 4 °C ab dehnt es sich beim Erwärmen aus. Bei 4 °C hat es also seine größte Dichte. Diese Anomalie des Wassers ist von großer Bedeutung für das Leben in Seen und Teichen: Bei der Abkühlung der Gewässer auf unter 4 °C bleibt das kältere Wasser an der Oberfläche; das Zufrieren erfolgt von der Oberfläche aus nach unten. Wenn das Gewässer hinreichend tief ist, sinkt die Temperatur am Boden nur wenig unter 4 °C ab.

ÄNDERUNG DES AGGREGATZUSTANDES

Schmelzen und Erstarren. Feste Stoffe gehen bei einer bestimmten Temperatur in den *flüssigen* Zustand über: sie schmelzen. Diese Temperatur heißt *Schmelzpunkt*. Flüssigkeiten erstarren bei einer bestimmten Temperatur, dem *Erstarrungspunkt*, wenn man sie abkühlt. Bei ein und demselben Stoff fallen der Schmelzpunkt und der Erstarrungspunkt zusammen; d. h., die Übergänge fest → flüssig und flüssig → fest erfolgen bei derselben Temperatur. Bei Stoffen, die bei Zimmertemperatur flüssig sind (z. B. Wasser), nennt man den Erstarrungspunkt meist *Gefrierpunkt*.
Die Wärmemenge, die gebraucht wird, einen festen Stoff bei der Schmelztemperatur in den flüssigen Zustand überzuführen, heißt *Schmelzwärme*; sie beträgt z. B. bei Wasser (Eis) 80 kcal, d. h., um 1 kg Eis von 0 °C vollständig in Wasser von 0 °C überzuführen, sind 80 kcal erforderlich (genau 79,67 kcal), die im normalen Schmelzprozeß der Umgebung entzogen werden (ausgenutzt beim Eisschrank). Beim Gefrieren des Wassers werden diese 80 kcal wieder frei und verlangsamen den Gefriervorgang.

Gefrierpunkte flüssiger Stoffe
in °C bei 760 Torr

Wasser	0	Wein	−4	Äthylalkohol	−114
Milch	−0,5	Olivenöl	−5	Benzin	−150
Meerwasser	−2,5	Quecksilber	−39		

Wasser gefriert bei 0 °C nur, wenn Fremdkörper anwesend sind. Ganz reines Wasser kann bis unter −10 °C flüssig bleiben, wenn es gleichmäßig und ohne mechanische Erschütterungen abgekühlt wird (Unterkühlung). Wird ein Stoff in einem Lösungsmittel gelöst, so liegt der Gefrierpunkt der Lösung niedriger als der des reinen Lösungsmittels: Gefrierpunktserniedrigung (z. B. Salz, Zucker in Wasser). Dies wird zum Bestimmen von Molekulargewichten benutzt.

Schmelzpunkte fester Stoffe

in °C bei 760 Torr

Butter	32	Schwefel (monoklin)	119	Gold	1063
Paraffin	40···70	Zucker	160	Kupfer	1083
Walrat (ein Wachs)	42···45	Blei	327,4	Quarz	1470
Talg (Rind)	42	Zink	419,4	Eisen	1530
Phosphor	44	Gips (gebrannt)	450	Platin	1773,5
Stearin	56	Elektron	625	Tantal	3030
Wachs (Bienen)	63	Aluminium	658	Wolfram	3400
Schwefel (rhombisch)	113	Kochsalz	800	Diamant	3500
				Graphit	3600

Amorphe (griech. gestaltlos, nicht kristallin) Stoffe wie Sand und Glas haben keine scharfe Grenze zwischen fest und flüssig; sie haben ein „Erweichungsgebiet".

Werte für die Schmelzwärme einiger Stoffe

in cal/g bzw. kcal/kg

Blei	5,5	Silber	25	Eis	80
Schwefel	9	Platin	27,2	Aluminium	94
Gold	15,9	Kupfer	42		

Sieden, Verdampfen, Kondensieren. *Flüssige* Stoffe werden beim Erwärmen in den *gasförmigen* Zustand (Dampf) übergeführt. Die Wärmemenge, die hierzu gebraucht wird, heißt *Verdampfungswärme.* Sie ist erheblich größer als die Schmelzwärme; um beispielsweise 1 kg Wasser von 100 °C in 1 kg Wasserdampf von 100 °C zu verwandeln, sind 539 kcal erforderlich. Die Temperatur, bei der die Verdampfung erfolgt, heißt *Siedepunkt.*

Bei der Rückverwandlung des (Wasser-) Dampfes in Flüssigkeit (Wasser) wird bei derselben Temperatur die im Dampf gebundene gewesene Wärme wieder frei (Überlegenheit der Dampfheizung gegenüber der Warmwasserheizung; denn der in den Röhren strömende Dampf gibt bei seiner Rückverwandlung in Wasser für 1 kg 539 kcal ab und dazu noch die Kalorien, die bei der Abkühlung des Wassers von 100 °C bis auf Zimmertemperatur frei werden). Die Temperatur nennt man in diesem Falle *Kondensationspunkt,* die freiwerdende Wärmemenge *Kondensationswärme*; Siedepunkt und Kondensationspunkt liegen bei derselben Temperatur; Verdampfungswärme und Kondensationswärme sind gleich groß. Dies gilt bei jeweils anderen Zahlenwerten für alle Stoffe.

Es gibt auch *feste* Stoffe, die unmittelbar in den *gasförmigen* Zustand übergehen, ohne sich vorher zu verflüssigen, z. B. Jod und Kampfer. Man spricht dann von *Sublimation.*

Die Verdampfungswärme einiger Stoffe

in cal/g, Siedetemperatur in °C

Stoff	Verdampfungswärme	Siedepunkt	Stoff	Verdampfungswärme	Siedepunkt
Wasser	539	100	Essigsäure	97	118
Schwefel (flüssig)	362	445	Benzol	94	81
Äthylalkohol	201	78	Äthyläther	85	35
Blei (flüssig)	200	1520	Quecksilber	75	357

Siedepunkte flüssiger und fester Stoffe

in °C bei 760 Torr

Kohlendioxyd, CO_2	− 78	Wasser (rein)	+ 100	Blei	+ 1750
Schwefeldioxyd, SO_2	− 10	Meerwasser	+ 104	Silber	+ 2170
Äther (Schwefeläther)	+ 35	Terpentinöl	+ 160	Gold	+ 2710
Schwefelkohlenstoff	+ 46	Schwefelsäure (95%)	+ 295	Eisen (rein)	+ 2730
Äthylalkohol	+ 78	Leinöl	+ 316	Nickel	+ 3177
Benzin	+ 95	Quecksilber	+ 357		
		Schwefel	+ 444		

Sobald Flüssigkeiten unter Blasenbildung (auch innerhalb der Flüssigkeit) gasförmig werden, haben sie den Siedepunkt erreicht. Gewisse *Öle* haben keinen Siedepunkt, weil sie sich zersetzen, wenn eine bestimmte Temperatur überschritten wird.
Der Siedepunkt einer Lösung liegt höher als der eines reinen Lösungsmittels. Die *Siedepunktserhöhung* wie auch die Gefrierpunktserniedrigung beträgt meist 0,1 bis 0,5 grd und wird mit Spezialthermometern gemessen.

Siedepunkt des Wassers bei geringem Druck

Torr	Höhe über Meer in m	Siedetemperatur in °C	Torr	Höhe über Meer in m	Siedetemperatur in °C
170	10985	62,8	600	1949	93,5
240	8726	70,6	650	1298	95,7
300	7182	76	700	688	97,7
350	6077	79,7	760	0	100,00
400	5094	83	780	− 220 (unter der Erdoberfläche)	100,73
450	4205	86			
500	3393	88,7			
550	2643	91,2			

Siedetemperatur des Wassers bei Überdruck
in Dampfkesseln, Druckkochtöpfen, Autoklaven u. a.,
Druck in at = 1 kp/cm²

a)

Siedetemperatur	Druck	Siedetemperatur	Druck
100 °C	1,00	250 °C	39,5
120 °C	1,95	300 °C	85,0
150 °C	4,72	350 °C	165
200 °C	15,2		

b)

at	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
°C	100	120	133	143	151	158	164	170	175	179

Bei Abnahme des Druckes, wie sie z. B. beim Aufstieg in größere Höhen auftritt, wird der Siedepunkt des Wassers erheblich niedriger. Andererseits kann der Siedepunkt durch Steigerung des Druckes erhöht werden, was technisch in Dampfkesseln und Druckkochtöpfen verwertet wird.

Gesättigter Wasserdampf

Druck at	Temperatur °C	Masse von 1 m³ Dampf in kg	Druck at	Temperatur °C	Masse von 1 m³ Dampf in kg
0,1	45	0,07	10	180	5,0
0,7	80	0,4	20	210	9,8
1	100	0,6	50	263	25
2	120	1,1	100	310	55
5	150	2,6			

Ist ein geschlossenes Gefäß teilweise mit Wasser gefüllt, so verdampft Wasser so lange, bis der Dampf eine gewisse Dichte und einen bestimmten Druck (Spannung) erreicht hat. Dampf und Flüssigkeit befinden sich nun im Gleichgewicht; der Dampf ist *gesättigt*. Je höher Temperatur und Druck steigen, desto höher ist die Sättigungsdampfdichte des Dampfes, d. h., desto mehr Wassermoleküle kann 1 m³ Raum in Dampfform aufnehmen. Dabei ist die *Spannung* gesättigter Dämpfe nur von der Temperatur abhängig, nicht vom Volumen: Wird nämlich gesättigter Dampf (bei gleichbleibender Temperatur) zusammengedrückt, so verwandelt sich ein Teil des Dampfes in

Flüssigkeit zurück; wird aber der für den (gesättigten) Dampf zur Verfügung stehende Raum (bei gleichbleibender Temperatur) vergrößert, so entwickelt sich entsprechend mehr Dampf.
Überhitzter (auch: „ungesättigter") *Dampf* ist solcher, der nicht mehr mit seiner Mutterflüssigkeit in Berührung steht und weiter erhitzt wurde.
Die ungesättigten Dämpfe bilden gewissermaßen die *Übergangsform* zwischen den *gesättigten Dämpfen* (die z. B. im Dampfkessel der Lokomotive wirksam sind) und den *permanenten Gasen* (die wir als Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxyd, Kohlendioxyd u. a. vor uns haben). Die Gesetzmäßigkeiten der gesättigten Dämpfe sind durchaus verschieden von denen der permanenten Gase; die Gesetze der Abhängigkeit des Volumens überhitzter Dämpfe von Druck und Temperatur stimmen mit den für ideale Gase gültigen Gesetzen um so besser überein, je höher die Temperatur und je niedriger der Druck ist. Der ungesättigte Wasserdampf ist ebenso völlig unsichtbar und farblos wie der gesättigte Wasserdampf, z. B. im Dampfkessel.

Verdunsten. Der Übergang eines flüssigen Stoffes in den gasförmigen Zustand wird dann Verdunsten genannt, wenn er *unterhalb* der jeweiligen Siedetemperatur des betreffenden Stoffes erfolgt. Er vollzieht sich (im Gegensatz zum Sieden oder Verdampfen) *nur an der Oberfläche* der verdunstenden Flüssigkeit. Die Verdunstung geschieht um so rascher, je höher die Temperatur und je größer die Oberfläche ist und je schneller die eben gebildeten Dämpfe entfernt werden (Trocknen der Wäsche im Wind). Beim Verdunsten wird *Wärme verbraucht* (z. B. das Anblasen zu heißer Getränke, um die Verdunstung zu beschleunigen, oder das Kältegefühl beim Übergießen der Haut mit dem leicht verdunstenden Äther). Der sog. *Taupunkt* (d. i. eine Temperatur) ist dann erreicht, wenn die durch Verdunsten in die Luft gelangte wirkliche („absolute") Feuchtigkeitsmenge durch Abkühlung allmählich den Grad der „maximalen Feuchtigkeit" erreicht, wenn also das in der Luft enthaltene Wasser gerade beginnt, sich in Form feinster Tröpfchen wieder auszuscheiden.

Spezifische Wärme und Wärmekapazität. Wärmezufuhr steigert die Temperatur eines Körpers. Es zeigt sich, daß verschiedene Stoffe bei gleicher Masse ungleiche Wärmemengen brauchen, um — von der gleichen Temperatur ausgehend — die gleiche Temperatur zu erreichen: Die verschiedenen Stoffe haben eine verschiedene *spezifische Wärme*. Und zwar hat derjenige von 2 Stoffen die größere spezifische Wärme, der bei gleicher Wärmezufuhr die geringere Temperatur erreicht.
Die spezifische Wärme eines Stoffes wird *gemessen* durch die Wärmemenge, die nötig ist, um die Temperatur von 1 g dieses Stoffes um 1 Grad zu erhöhen.
Um einen Körper von der Masse m und der spezifischen Wärme c um 1 grd zu erwärmen, ist also eine Wärmemenge nötig, die gleich ist dem Produkt aus Masse und spezifischer Wärme. Dieses Produkt bezeichnet man als *Wärmekapazität*.

Spezifische Wärme und Atomwärme einiger Metalle

	spezifische Wärme in cal/(g · grd)	Atomgewicht	Atomwärme in cal/(mol · grd)
Aluminium	0,213	26,97	5,74
Eisen	0,107	55,85	6,03
Nickel	0,105	58,69	6,28
Kupfer	0,091	63,57	5,80
Silber	0,055	107,88	5,89
Platin	0,032	195,23	6,20
Gold	0,032	197,2	6,29
Blei	0,030	207,24	6,21

Atomwärme ist die Wärmekapazität von einem Grammatom, ist also das Produkt aus Atomgewicht und spezifischer Wärme.
Die spezifische Wärme der einzelnen *Elemente*, namentlich der Metalle, ist ungefähr umgekehrt proportional dem Atomgewicht. Das Produkt aus beiden Größen, die Atomwärme, hat bei normaler Temperatur für Metalle etwa den Wert 6,2 $\frac{\text{cal}}{\text{grd} \cdot \text{mol}}$ (*Regel von Dulong-Petit*).

Spezifische Wärme einiger Flüssigkeiten bei 18 °C in cal/(g · grd)

Wasser	0,99	Benzol	0,41
Äthylalkohol	0,58	Schwefelsäure	0,34
Glyzerin	0,57	Schwefelkohlenstoff	0,24
Glyzerin (wasserfrei)	0,38	Brom	0,11
Petroleum	0,48		

Spezifische Wärme einiger Gase

in $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{grd}}$

	c_p	$k = c_p/c_v$	c_v
Luft	0,240	1,40	0,171
Sauerstoff	0,219	1,40	0,156
Stickstoff	0,248	1,40	0,177
Wasserstoff	3,41	1,41	2,42
Kohlendioxyd	0,20	1,30	0,154

Gase haben zwei spezifische Wärmen. Eine (c_v) wird bei konstantem Volumen (Rauminhalt) gemessen. Die gesamte dem Gas zugeführte Wärme erhöht die Bewegungsenergie seiner Moleküle. Die andere spezifische Wärme (c_p) wird bei konstantem Druck gemessen. Das Gas dehnt sich dabei gegen einen äußeren Druck aus. Ein Teil der zugeführten Wärme dient dazu, Arbeit gegen diesen äußeren Druck zu leisten. Es muß in diesem Falle eine größere Wärmemenge zugeführt werden, d. h., c_p ist größer als c_v.
Das Verhältnis $c_p : c_v$ wird mit k bezeichnet. Es kann unmittelbar durch Versuche bestimmt oder aus unseren Vorstellungen vom Wesen der Wärme (kinetische Wärmetheorie) abgeleitet werden. Danach sollte k für einatomige Gase den Wert $k = 5/3$ haben, für zweiatomige $k = 7/5$, für dreiatomige $k = 4/3$ und sich mit wachsender Atomzahl im Molekül dem Wert 1 nähern. Durch Messen des Verhältnisses k läßt sich also feststellen, ob das betreffende Gas ein-, zwei- oder dreiatomig ist.
Wird die spezifische Wärme nicht durch die Erwärmung von 1 g, sondern von 1 Mol des betreffenden Gases bestimmt, so erhält man die Molwärme des Gases. Sie ist das Produkt aus Molekulargewicht und spezifischer Wärme. In der folgenden Tabelle sind einige Molwärmen angegeben. Aus ihr sieht man zugleich, daß der Unterschied $c_p - c_v$, dem die gegen einen äußeren Druck geleistete Arbeit eines Mols bei Erwärmung um 1 grd entspricht, für alle Gase angenähert den gleichen Wert 2 cal/(mol · grd) hat.

Molwärme einiger Gase

in $\frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{grd}}$

	c_p	c_v	c_p/c_v	$c_p - c_v$
Helium	5,00	3,02	1,66	1,98
Argon	4,99	3,01	1,66	1,98
Wasserstoff	6,83	4,85	1,41	1,98
Stickstoff	6,98	4,99	1,40	1,99
Sauerstoff	6,97	4,99	1,40	1,98
Kohlendioxyd	8,89	6,84	1,30	2,05

VIII. Magnetismus

Für den Magnetismus hat der Mensch kein besonderes Sinnesorgan. Nur die Kraftwirkungen, die magnetisierte Körper aufeinander ausüben, lassen sich beobachten. Im Altertum kannte man die Eigenschaft der *Magnetsteine* (Magnetit, Fe_3O_4), kleine Bruchstücke des gleichen Materials anzuziehen. Von den in der Nähe der kleinasiatischen Stadt *Magnesia* gelegenen Fundorten der Magnetsteine im Altertum ist die Bezeichnung Magnetismus abgeleitet. Heute stellt man Magnete künstlich her, ihr Magnetismus übertrifft den der natürlichen Magnete um ein Vielfaches. Magnetische Wirkungen gehen auch von der fließenden Elektrizität, dem elektrischen Strom, aus. Eine stromdurchflossene elektrische Spule wirkt beispielsweise wie ein Stabmagnet.

MAGNETPOLE UND MAGNETISIERUNG

Manche Körper (z. B. Eisennägel) werden selbst zu Magneten, wenn sie in die Nähe eines Magneten oder in das Innere einer stromdurchflossenen Spule gebracht werden. Körper, die nach Aufhören der magnetischen Einwirkung ihren Magnetismus weitgehend behalten, werden *permanente Magnete* genannt. Die bekanntesten Formen sind Stab-, Hufeisen- und Topfmagnete; letztere werden z. B. in Lautsprechern benutzt. *Magnetnadeln* sind kleine Stabmagnete. Sie stellen sich auf der Erde nahezu in Nord-Süd-Richtung ein, wenn sie leicht drehbar im Schwerpunkt aufgehängt sind. Experimente mit permanenten Magneten führen zu einigen wichtigen Gesetzmäßigkeiten.

Magnetpole. Ein Magnet hat im allgemeinen *zwei Stellen stärkster Kraftwirkung*. Bei Stab- und Hufeisenmagneten liegen sie in der Nähe der beiden Endflächen. Diese Stellen werden die (magnetischen) *Pole* des Magneten genannt. Bei langgestreckten Stabmagneten sind sie nahezu punktförmig.

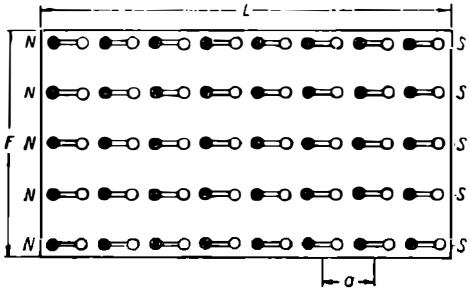
Nordpol und Südpol. Es gibt zwei Arten von Magnetpolen, *positive* (+) oder *Nordpole* und *negative* (−) oder *Südpole*. Man hat festgelegt, denjenigen Pol einer Magnetnadel als positiven Pol oder Nordpol zu bezeichnen, der sich an dem in die geographische Nordrichtung zeigenden Ende der Nadel befindet.

Kraftwirkungen zwischen den Polen. *Gleichnamige Pole* stoßen sich gegenseitig ab, *ungleichnamige* ziehen sich gegenseitig an. Dies kann leicht mit zwei Magnetnadeln nachgeprüft werden: nähert man die beiden Nadeln einander, so stellen sie sich bei hinreichend kleinem Abstand so ein, daß sich die Enden unmittelbar gegenüberstehen, die vorher in entgegengesetzte geographische Richtungen zeigten.

Magnetische Dipole. Bei jedem beliebigen Körper ist die Stärke des Nordpols gleich der des Südpols. Die Teilung eines permanenten Magneten in zwei Teilstücke ergibt immer zwei vollständige Magnete: jeder Teilmagnet enthält wieder positiven und negativen Magnetismus in gleicher Stärke. Die Fortsetzung der Teilung führt niemals auf freie magnetische Einzelpole. Die kleinsten magnetischen Mengen sind daher nicht magnetische Einzelpole, sondern magnetische *Dipole* (*Elementarmagnete*); einen Dipol kann man sich als zwei in einem bestimmten, sehr kleinen Abstand befindliche magnetische Punktpole gleicher Stärke und entgegengesetzter Polarität denken.

Dipolmoment. Jedes Atom eines permanenten Magneten stellt einen elementaren magnetischen Dipol dar. Die Stärke der magnetischen Dipole wird gemessen durch ihr *Dipolmoment m*. Das Dipolmoment $m = P \cdot l$ ist das Produkt aus der Stärke der beiden (gleich großen) magnetischen Einzelpole P und ihrem gegenseitigen Abstand l.
Die Dipolmomente der Atome werden in einer elementaren Einheit, dem *Bohrschen Magneton* $\mu_B = \mu_0 \frac{e \cdot h}{4\pi m} = 1{,}1652 \cdot 10^{-28}$ Vsm gemessen, dabei bedeuten μ_0 die Induktionskonstante, h das Plancksche Wirkungsquantum, e die elektrische Elementarladung und m die Elektronenmasse. Für die Atome eines permanenten Magneten sind die elementaren Dipolmomente kleine, im allgemeinen nicht ganzzahlige Vielfache des Bohrschen Magnetons.

Der ideale Permanentmagnet. Bei einem stabförmigen permanenten Magneten sind die atomaren magnetischen Dipole, d. h. die Elementarmagnete, (am absoluten Nullpunkt) alle parallel ausgerichtet (Abb.).
Im Innern des Magneten stehen sich die Nord- und Südpole benachbarter Elementarmagnete unmittelbar gegenüber; daher heben sich ihre Wirkungen nach außen hin auf. Hingegen sind die Nord- und Südpole an den beiden Endflächen des Magneten nicht durch benachbarte Pole entgegengesetzten Vorzeichens kompensiert, d. h., an den Endflächen treten scheinbar freie magnetische Pole auf.



Modell eines permanenten Magneten; N, S Nord-, Südpol, F Querschnittsfläche, L Länge, a Abstand der Elementarmagnete

Magnetisierung. Makroskopisch beschreibt man die *Stärke des Magnetismus* durch die Magnetisierung J. Sie ist das magnetische Moment je Volumeneinheit. Wenn sich in einem Kubikzentimeter n atomare Dipole mit dem magnetischen Moment m befinden, ist $J = m \cdot n$. Das magnetische Moment M des Magneten ergibt sich dann als Produkt $J \cdot V$ aus der Magnetisierung J und dem Volumen $V = F \cdot L$, wenn L die Länge und F die Querschnittsfläche des Magneten bedeuten. Andererseits ist das magnetische Moment M gleich dem Produkt aus dem Abstand L der Pole und der Stärke P der Pole. Es gilt also $M = J \cdot V = P \cdot L$. Setzt man hierin $V = F \cdot L$ ein, so ergibt sich für die Polstärke $P = J \cdot F$; die Polstärke eines Magneten ist also gleich dem Produkt aus Magnetisierung und Querschnittsfläche.

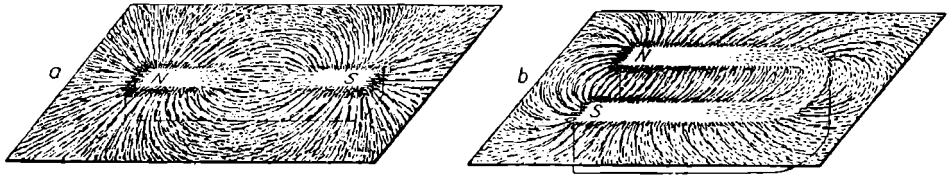
DAS MAGNETISCHE FELD

Die Kraftwirkungen, die magnetisierte Körper aufeinander ausüben, führt man auf einen besonderen *Zustand des Raumes* in der Umgebung dieser Körper zurück. Man sagt: in der Umgebung magnetischer Körper herrscht ein magnetisches Feld, das von den magnetischen Polen ausgeht.

Magnetische Feldstärke. Das magnetische Feld ist durch die in jedem Punkt des Raumes vorhandene magnetische *Feldstärke* $\mathfrak{H}$ charakterisiert. Sie ist definiert durch die Kraft, die ein (als selbständig

angenommener) magnetischer Nordpol erfährt, der die Stärke der Einheit der magnetischen Polstärke besitzt. Damit wird die Kraft $\mathfrak{K}$, die auf einen Pol der Stärke P ausgeübt wird, gleich dem Produkt aus Polstärke P und der am Ort des Pols herrschenden Feldstärke $\mathfrak{H}$; also $\mathfrak{K} = P \cdot \mathfrak{H}$.

Magnetische Feldlinien. Anschaulich wird das Magnetfeld durch *magnetische Feldlinien* beschrieben. Die Feldlinien haben in jedem Punkt die Richtung der magnetischen Feldstärke; das ist die Richtung, in die sich eine (genügend kleine) drehbare Magnetnadel einstellt. Kleine Eisenteilchen (Eisenfeilspäne), die auf eine ebene Unterlage gestreut werden, ordnen sich im Magnetfeld kettenförmig in Richtung der Feldlinien an, wenn man an die Unterlage klopft. (Abb.)



Die Magnetfelder a eines Stab- und b eines Hufeisenmagneten

Die *Dichte der Feldlinien*, d. h. die Anzahl der Feldlinien, die durch eine senkrecht zur Feldrichtung stehende Einheitsfläche hindurchgehen, ist ein Maß für den *Betrag der magnetischen Feldstärke*. Die Magnetpole eines sehr langen dünnen Permanentmagneten kann man als punktförmig ansehen. Von einem punktförmigen magnetischen Nordpol gehen die Feldlinien gleichmäßig nach allen Seiten in radialer Richtung aus. Ihre Anzahl Z ist proportional der Polstärke P. Man setzt $Z = \frac{1}{\mu_0} \cdot P$, wobei μ_0 die durch die Wahl der Maßeinheiten bestimmte *Induktionskonstante* $\mu_0 = 1{,}256637 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Vs\,A^{-1}\,m^{-1}}$ ist. Der Flächeninhalt einer um den Punktpol als Mittelpunkt gelegten Kugel mit dem Radius r beträgt $4\pi r^2$. Die magnetische Feldstärke H hat daher im Abstand r von dem Punktpol P den Betrag $H = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{P}{4\pi r^2}$, da dies die Anzahl der Feldlinien ist, die die Einheitsfläche einer konzentrischen Kugel vom Radius r durchsetzen.

Coulombsches Gesetz für Magnetpole. Bringt man einen magnetischen Punktpol der Stärke P' in eine Entfernung r von einem Punktpol der Stärke P, so werden beide mit der Kraft

$$K = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{P'P}{4\pi r^2}$$

abgestoßen oder angezogen, je nachdem die Pole entgegengesetztes oder gleiches Vorzeichen haben (*Coulombsches Gesetz für Magnetpole*). Dies ergibt sich aus der Beziehung $\mathfrak{K} = P \cdot \mathfrak{H}$ für die Kraftwirkung auf einen Pol der Stärke P', wenn man die Formel für das Magnetfeld H im Abstand r von dem Pol der Stärke P berücksichtigt.
Da in Wirklichkeit Magnetpole niemals einzeln, sondern immer paarweise auftreten, kann man die Formel für die von einem Punktpol erzeugte Feldstärke (und das Coulombgesetz) nicht direkt prüfen. Man kann aber die von einem magnetischen Dipol zweier im Abstand l befindlichen Punktpole $+P$ und $-P$ erzeugte Feldstärke ermitteln, indem man die Feldstärken der einzelnen Punktpole für jeden Ort des Raumes ausrechnet und sie vektoriell addiert. Es zeigt sich, daß die Feldlinien eines magnetischen Dipols Kreise sind, die durch die beiden Punktpole gehen. Das *Feldlinienbild des Stabmagneten*, bei dem die Pole nur näherungsweise als Punktpole angesehen werden dürfen, zeigt einen ähnlichen Verlauf.
In einem *homogenen Magnetfeld*, d. h. in einem Feld, das überall die gleiche Richtung und den gleichen Betrag H der Feldstärke hat, erfährt ein magnetischer Dipol mit dem magnetischen Moment M ein mechanisches Drehmoment $MH \cdot \sin\alpha$, das den Dipol in Feldrichtung zu drehen sucht; α ist dabei der Winkel zwischen der Richtung des Feldes und der Richtung vom Süd- zum Nordpol des Dipols.

DIE MAGNETISCHE INDUKTION

Die Linien der magnetischen Feldstärke $\mathfrak{H}$ beginnen bei einem Magneten an den Nordpolen und enden an den Südpolen. Die Richtung der Magnetisierung $\mathfrak{J}$ und des magnetischen Moments $\mathfrak{M}$ rechnet man von den Südpolen nach den Nordpolen positiv. Im Innern eines permanenten Magneten ist daher die *magnetische Feldstärke der Magnetisierung entgegen gerichtet*. Für die in einer Spule *induzierte elektrische Spannung* bei Änderung des Magnetfeldes ist nicht die magnetische Feldstärke $\mathfrak{H}$, sondern die Feldgröße $\mathfrak{B}$, die *magnetische Induktion* maßgebend. Sie setzt sich aus Feldstärke $\mathfrak{H}$ und Magnetisierung $\mathfrak{J}$ wie folgt zusammen: $\mathfrak{B} = \mu\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{J}$.

Magnetische Induktionslinien. Man kann zeigen, daß die Linien der magnetischen Induktion stets *in sich geschlossen* sind; sie haben also keinen Anfang und kein Ende. Im leeren Raum fallen sie mit den Feldstärkelinien $\mathfrak{H}$ zusammen (weil $\mathfrak{J} = 0$ ist). Im Innern magnetisierter Körper sind die $\mathfrak{B}$- und $\mathfrak{H}$-Linien im allgemeinen verschieden. Bei einem permanenten Magneten enden jene nicht auf den Südpolen, sondern laufen im Innern des Magneten von den Südpolen zu den Nordpolen zurück.

Magnetischer Fluß. Die Anzahl der Induktionslinien, die eine senkrecht auf diesen stehende Fläche F durchsetzen, wird *magnetischer Fluß* durch die Fläche F genannt. Für ein Magnetfeld konstanter Induktion B ist der magnetische Fluß Φ durch eine senkrecht auf der Richtung der Induktion stehende Fläche F gegeben durch $\Phi = B \cdot F$. Durch eine geschlossene Fläche ist stets der gesamte magnetische Fluß Null, da immer genausoviele Induktionslinien in den von der Fläche umschlossenen Raum eintreten, wie aus diesem austreten.

DAS MAGNETFELD VON STRÖMEN

Jeder elektrische Strom ist von geschlossenen magnetischen Feldlinien umgeben (*Amperesches Verkettungsgesetz*), unabhängig davon, ob der Strom in einem metallischen Leiter, in einem Elektrolyten oder im Vakuum fließt. Für einen *langen geraden Draht*, in dem ein Strom der Stärke I fließt, sind die magnetischen Feldlinien konzentrische Kreise um den Draht; die Feldstärke im Abstand r vom Draht ist $H = I/2\pi r$.
Eine *einzelne Drahtwindung*, die vom Strom I durchflossen wird (ein *Ringstrom*), verhält sich hinsichtlich des erzeugten Magnetfeldes (in einiger Entfernung von der Drahtwindung) wie ein magnetischer Dipol mit dem magnetischen Moment $M = \mu_0 I \cdot F$, wobei F die von der Windung aufgespannte Fläche und μ_0 die Induktionskonstante ist.
Für die magnetische Feldstärke im Innern einer *langen zylindrischen Spule* mit N Windungen erhält man, wenn l die Länge der Spule bezeichnet:

$$H = I \cdot N/l.$$

Die Beziehungen gelten bei Abwesenheit ferromagnetischer Stoffe.

MAGNETISCHE MAßEINHEITEN

Im praktischen (MKSA-) System mißt man die magnetische Feldstärke H in Ampere je Meter (A/m), die magnetische Induktion und die Magnetisierung J in Voltsekunden je Quadratmeter (Vs/m^2). Die Einheit des magnetischen Flusses Φ ist 1 Voltsekunde = 1 Weber (Wb). Daher schreibt man für Vs/m^2 auch Wb/m^2. Die Polstärke wird in Vs, das magnetische Moment in $Vs \cdot m$ gemessen.
Aus dem Gaußschen Maßsystem sind noch in Benutzung als Einheit der Feldstärke das *Oersted* (Oe) und als Einheit der Induktion das *Gauß* (G). Es gilt:

$$1\,\mathrm{Oe} = \frac{10^3}{4\pi}\,\mathrm{A/m}$$

$$1\,\mathrm{G} = 10^{-4}\,\mathrm{Vs/m^2}$$

MAGNETISCHE EIGENSCHAFTEN DER STOFFE

Alle Stoffe werden im Magnetfeld magnetisiert. Allerdings unterscheiden sich die verschiedenen Stoffe hinsichtlich der Stärke der Magnetisierung in einem Feld gegebener Feldstärke beträchtlich.

Die Permeabilität. Nach der Beziehung $B = \mu_0 H + J$ kommt bei Anwesenheit eines Stoffes zu der Induktion im Vakuum $B = \mu_0 H$ die Magnetisierung J hinzu. Man setzt für die Induktion B in einem Stoff, in dem die Feldstärke H herrscht: $B = \mu H$, wobei μ die *Permeabilität* des betreffenden Stoffes ist. Da im leeren Raum $B = \mu_0 H$ gilt, bezeichnet man die Induktionskonstante

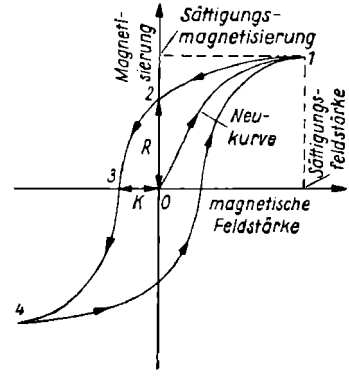
$$\mu_0 \doteq 1{,}2566 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{VsA^{-1}m^{-1}}$$

auch als Permeabilität des Vakuums. An Stelle der Permeabilität μ gibt man meist die (dimensionslose) *relative Permeabilität* $\mu_r = \mu/\mu_0$ des Stoffes an; sie sagt aus, das Wievielfache bei gegebenem Feld die Induktion in dem betrachteten Stoff von der im Vakuum ist.
Man unterscheidet dia-, para- und ferromagnetische Stoffe. Für *Para-* und *Diamagnetika* weicht die relative Permeabilität nur sehr wenig von 1 ab; für Paramagnetika ist sie kleiner, für Diamagnetika größer als 1. *Ferromagnetika* haben relative Permeabilitäten, die im allgemeinen groß gegen 1 sind; jedoch hängt bei diesen Stoffen die Permeabilität selbst noch von der Feldstärke ab. Man gibt daher bei den Ferromagnetika meist den Wert der relativen Permeabilität an, den sie in sehr schwachen Feldern annimmt (*Anfangspermeabilität*).
Werte der relativen Permeabilität kleiner (größer) als 1 bedeuten, daß die durch das Feld H in dem Material induzierte Magnetisierung der Richtung des Feldes entgegengesetzt gerichtet (gleich-

gerichtet) ist. Das ist die Ursache dafür, daß *diamagnetische Stoffe* in inhomogenen Magnetfeldern in Richtung abnehmender Feldstärke (d. h. *aus dem Feld heraus*) gedrängt werden, während *Para-* und *Ferromagnetika* eine Kraft in Richtung wachsender Feldstärke (*in das Feld hinein*) erfahren.

Diamagnetismus und Paramagnetismus. Der *Diamagnetismus* ist eine allgemeine Stoffeigenschaft; bei Vorhandensein von Para- oder Ferromagnetismus wird er von den stärkeren para- und ferromagnetischen Effekten überdeckt. Er beruht nach dem Bohrschen Atommodell darauf, daß die Elektronenbahnen in einem Magnetfeld um die Feldrichtung eine *Präzessionsbewegung* ausführen.
Paramagnetismus tritt auf, wenn die Atome, Moleküle oder Ionen auch bei Abwesenheit eines Magnetfeldes ein bestimmtes *atomares magnetisches Moment* besitzen; das ist z. B. bei den Atomen und Ionen der Übergangselemente im Periodensystem der Elemente der Fall. Ein äußeres Magnetfeld erzeugt dann entgegen der Wirkung der Wärmebewegung eine gewisse Ausrichtung der atomaren magnetischen Momente, so daß im Mittel mehr atomare Momente parallel als entgegengesetzt zum Feld gerichtet sind.
Diamagnetika sind Quecksilber, Kupfer, Gold, Blei, Wismut, Antimon, Schwefel, Graphit, die Halogene, Wasser, Alkohol und die meisten Gase; *Paramagnetika* sind Chrom, Mangan, Molybdän, Wolfram, Uran, die Platinmetalle, die Seltenen Erdmetalle und Sauerstoff.

Ferromagnetismus. Wenn das Verhältnis des Radius der Elektronenbahnen zum gegenseitigen Abstand der Atome im Kristallgitter bestimmte Werte hat, können kristalline Stoffe mit permanenten atomaren Momenten zu Ferromagnetika werden. Die magnetischen Momente der Elektronen sind dann auch ohne ein äußeres Magnetfeld beim absoluten Nullpunkt alle parallel ausgerichtet, das Material ist *spontan magnetisiert*. Bei höheren Temperaturen führen die magnetischen Momente Schwingungen um diese einheitliche Richtung aus. Bei einer bestimmten Temperatur, der *Curie-Temperatur*, verschwindet die Ordnung der atomaren Momente, und der ferromagnetische Stoff wird *paramagnetisch*. Die Parallelstellung der atomaren Momente eines Ferromagnetikums ist allerdings nur innerhalb kleiner räumlicher Gebiete, der sogenannten *Weißschen Bezirke*, verwirklicht, die im allgemeinen eine Ausdehnung von 10^{-3} bis 10^{-1} mm haben.
Im makroskopisch *unmagnetischen Zustand* hat die Magnetisierung in jedem Weißschen Bezirk eine andere Richtung, so daß der Körper nach außen hin keine magnetische Wirkung zeigt.
Durch ein *äußeres magnetisches Feld* werden die Richtungen der Magnetisierung der Bezirke in die Feldrichtung gedreht. Bei mittleren Feldstärken erfolgt dies durch plötzliches *Umklappen der Magnetisierungsrichtungen* der Bezirke (*Barkhausen-Sprünge*). Wenn die Magnetisierung im gesamten Körper parallel zum Feld ausgerichtet ist, ist das Ferromagnetikum *magnetisch gesättigt*.
Mit technisch herstellbaren Feldern kann dann die Magnetisierung nicht weiter erhöht werden; wegen $B = \mu_0 H + J$ wächst die Induktion mit zunehmendem H auch bei Sättigung (J = const) noch weiter an.
Von den chemischen Elementen sind nur *Eisen* (770 °C), *Nickel* (358 °C), *Kobalt* (1120 °C) und *Gadolinium* (16 °C) ferromagnetisch; in den Klammern sind die Curie-Temperaturen angegeben.
Technisch wichtig sind besonders die *ferromagnetischen Legierungen* von Eisen, Nickel und Kobalt untereinander und mit nicht ferromagnetischen Metallen wie Silizium, Chrom, Aluminium, Kupfer, Molybdän u. a. Ferromagnetismus tritt aber auch bei gewissen Mangan-Kupfer-Aluminium-Legierungen (*Heuslersche Legierungen*) auf. *Ferrite* sind ferromagnetische Metalloxyde der allgemeinen Zusammensetzung $MeFe_2O_4$, wobei Me ein zweiwertiges Metall wie Ni, Mn, Co, Cu u. a. bedeutet. Zu den Ferriten gehört auch Magnetit.



Hystereseschleife

Magnetische Hysterese. Die Magnetisierung der Ferromagnetika hängt nicht nur von der momentanen äußeren Feldstärke, sondern auch von der *magnetischen Vorgeschichte* ab. In einem Diagramm trägt man die Magnetisierung J über der äußeren Feldstärke H auf. Erhöht man, vom unmagnetischen Zustand (0) ausgehend (Abb.), das Feld, so wächst die Magnetisierung längs der *Neukurve* bis zur *Sättigung* (1). Wenn man die Feldstärke von da aus wieder abnehmen läßt, bleibt die Magnetisierungskurve oberhalb der Neukurve; die Magnetisierung durchläuft den oberen Ast der *Hystereseschleife*. Bei der Feldstärke Null ist im Material noch die *Remanenz-Magnetisierung* R vorhanden. Erst beim Gegenfeld K(3), das man als *Koerzitivfeldstärke* oder *Koerzitivkraft* H_c bezeichnet, verschwindet die Magnetisierung. Wächst das Gegenfeld weiter, so kehrt sich die Magnetisierung um; bei (4) ist wieder die Sättigung erreicht. Mit abnehmendem Gegenfeld durchläuft die Magnetisierung von (4) ausgehend den unteren Ast der Schleife. Die von der Hystereseschleife umschlossene Fläche ist ein Maß für die während eines Ummagnetisierungszyklus verbrauchte und in Wärme verwandelte Energie. Je nach der Größe der Koerzitivkraft H_c unterscheidet man magnetisch weiche und harte Materialien. *Magnetisch weiche Stoffe* ($H_c = 5 \cdot 10^{-3}$ bis 1 Oe;

$\mu_r = 10^5$ bis 10^2) werden als Übertrager- und Transformatorbleche verwendet; *magnetisch harte* Stoffe ($H_c = 50$ bis $2 \cdot 10^3$ Oe, $\mu_r = 20$ bis 1,1) dienen zur Herstellung permanenter Magnete. Bei einem idealen permanenten Magneten ist die Koerzitivkraft so hoch, daß die Magnetisierung durch nicht zu große äußere Felder praktisch nicht beeinflußt wird.
Ohne äußere Einwirkung bleibt die Magnetisierung eines ferromagnetischen Körpers für alle Zeiten gleich. Durch Klopfen verringert sie sich im allgemeinen. Will man einen Körper, der durch ein äußeres Feld magnetisiert wurde, wieder *entmagnetisieren*, so kann man ihn entweder einem genügend starken magnetischen Wechselfeld aussetzen, dessen Amplitude man stetig auf Null abnehmen läßt, oder man erhitzt ihn auf eine Temperatur oberhalb des Curie-Punktes und kühlt ihn dann ab.

Magnetische Feldstärken

in Oersted

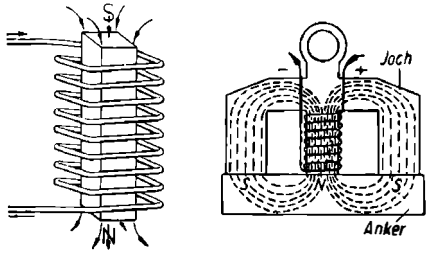
Feldstärke in der Entfernung von $^1/_2$ cm vom Zuleitungsdraht einer Glühlampe bei einer Stromstärke von $^1/_4$ Ampere	0,1
Horizontalintensität des natürlichen magnetischen Feldes der Erde in unseren Breiten	0,2
Feldstärke in einer stromdurchflossenen Spule bei 5 Ampere und 4 Windungen je cm Spulenlänge	25
Feldstärke zwischen den Polen eines mittleren Elektromagneten ohne Wasserkühlung	1000···5000
starke Elektromagnete mit Wasserkühlung erreichen	30000···40000
bei großem Aufwand lassen sich für Bruchteile von Sekunden Feldstärken erreichen von über	1000000

ELEKTROMAGNETE

Die *Richtung der magnetischen Feldlinien* im Innern einer stromdurchflossenen Spule ergibt sich aus folgender Regel: Wenn man die rechte Hand so auf die Windungen der Spule legt, daß die Finger in Stromrichtung zeigen, so gibt der abgespreizte Daumen die Richtung der Feldlinien an.

Ringspule. Bei einer Ringspule verlaufen alle Feldlinien im Innern der Spule. Bei einer Zylinderspule treten sie am Nordpol aus dem Spuleninnern aus. Im Außenraum der Zylinderspule verlaufen die Feldlinien vom Nord- zum Südpol, im Innenraum vom Süd- zum Nordpol. Füllt man den Innenraum einer Ringspule mit einem Kern aus einem weichen ferromagnetischen Material, so ändert sich die Feldstärke H bei konstanter Stromstärke nicht. Die Induktion wird aber sovielmal größer, wie die relative Permeabilität μ_r des Materials angibt. Aus der Ringspule entsteht ein *Elektromagnet*, wenn der Weicheisenkern nicht geschlossen ist, sondern einen *Luftspalt* senkrecht zur Feldrichtung hat. Falls die Breite des Luftspalts klein gegenüber dem Querschnitt der Spule ist, ist das Magnetfeld im Spalt weitgehend *homogen*. Da die Linien der magnetischen Induktion B nirgends enden, herrscht im Luftspalt praktisch die gleiche Induktion wie im Kern. Die Permeabilität der Luft unterscheidet sich fast nicht von der des Vakuums; deshalb kann man für die Induktion im Luftspalt schreiben $B = \mu_0 H_L$, wobei H_L die Feldstärke in Luft bedeutet. Im Eisen hingegen ist $B = \mu_r \mu_0 H_E$, wenn H_E die Feldstärke im Eisen bezeichnet. Daraus folgt $H_L = \mu_r H_E$; d. h., die Feldstärke im Luftspalt ist μ_r mal größer als im Eisenkern.

Zylinderspule. Bei der stromdurchflossenen Zylinderspule mit Eisenkern (Abb.) liegen die Verhältnisse ähnlich. In geringer Entfernung von den Endflächen des Kernes ist die Feldstärke etwa μ_r mal größer als die Feldstärke, die beim gleichen Strom ohne Verwendung des Eisenkernes herrschen würde. Allerdings muß man statt mit der relativen Permeabilität μ_r des Materials mit einem kleineren Wert $\mu_{r\,eff}$, der *effektiven Permeabilität*, rechnen; denn von den auf den Endflächen des Weicheisenstabes erzeugten magnetischen Polen geht ein Magnetfeld aus, das im Innern der Spule dem magnetisierenden Feld der Spule entgegengesetzt gerichtet ist und entmagnetisierend auf den Stab wirkt. Beim Einschieben des Kernes vermindert sich also das wirksame Feld (bei konstantem Strom der Spule) um das von den magnetischen Polen herrührende *entmagnetisierende Feld.*



Links: *Stromdurchflossene Zylinderspule mit Weicheisenkern*
Rechts: *Topfmagnet (schematisch)*

Topfmagnet. Beim Topfmagneten (Abb.) ist der Kraftlinienfluß durch den Anker geschlossen. Da in diesem Fall praktisch kein Luftspalt vorhanden ist, nimmt die Induktion hohe Werte an und der Anker wird mit großer Kraft am Magnetjoch festgehalten. Am Beispiel des Topfmagneten

erkennt man auch die *abschirmende Wirkung* einer Weicheisenplatte. Wenn der Anker entfernt ist, greift das Magnetfeld des Magneten weit nach unten in den Raum. Die Eisenplatte des Ankers nimmt bei ihrer Annäherung die Feldlinien in sich auf und schirmt dadurch den unter der Platte befindlichen Raum magnetisch ab. Geräte, die vor Magnetfeldern geschützt werden müssen, schließt man in einen Weicheisenkasten ein. Die Induktionslinien eines äußeren Magnetfeldes verlaufen im wesentlichen in der Wand des Kastens; der Innenraum des Kastens bleibt nahezu feldfrei.

IX. Elektrizität

Die Elektrizität selbst ist unseren Sinnesorganen nicht zugänglich. Der Name Elektrizität stammt aus dem Griechischen. Die alten Griechen kannten schon die *elektrischen Wirkungen* geriebenen Bernsteins (griech. *elektron*, Bernstein). Uns sind heute eine ganze Reihe elektrischer Vorgänge im alltäglichen Leben bekannt. Der elektrische Strom dient zur Erzeugung von Licht (Glühlampe), Wärme (Kochplatte), mechanischer Arbeit (Elektromotor) u. a. Im Gewitter erkennen wir die Wirkung der Elektrizität in der freien Natur.
Die Physik gibt uns in ihren Gesetzen eine widerspruchsfreie Erklärung aller bekannten elektrischen Erscheinungen, indem diese auf die Existenz und die Bewegung von elektrischen *Ladungen* und auf die von den Ladungen ausgehenden *Felder* zurückgeführt werden.
Man unterscheidet *ruhende* (statische), von der sich bewegenden, *strömenden* (dynamischen) Elektrizität.

REIBUNGSELEKTRIZITÄT

Beim Reiben zweier geeigneter Körper aneinander wird der eine positiv (+), der andere negativ (−) elektrisch geladen. Die Reibung dient dabei nur dazu, einen möglichst großen Teil der Oberfläche des reibenden und des geriebenen Körpers in nahe Berührung (10^{-8} cm) zu bringen. Dann gibt der eine Körper Elektronen an den anderen ab. In der Grenzschicht bildet sich eine Doppelschicht mit einer bestimmten Berührungsspannung aus. Beim Trennen der Körper werden die Feldlinien auseinandergezogen, dadurch nimmt die Spannung hohe Werte an.

Ladungstrennung durch Reiben

Stoff 1	Ladung	Stoff 2	Ladung
Bernstein	−	mit Seide	+
Hartgummi	−	mit Seide	+
Schwefel	−	mit Tuch	+
Siegellack	−	mit Katzenfell	+
Glas	+	mit amalgamiertem Leder	−

Anziehung und Abstoßung. *Gleichnamige* elektrische Ladungen (z. B. zwei elektrisch geladene Glas- oder Hartgummistäbe) stoßen einander ab, *ungleichnamige* (z. B. je ein elektrisch aufgeladener Glas- und Hartgummistab) ziehen einander an. Kleine Körper (z. B. Papierschnitzel) werden von jedem elektrisch geladenen Körper durch elektrische Influenz angezogen, bei der Berührung gleichnamig elektrisch aufgeladen und dann abgestoßen.

Leiter und Nichtleiter. Die Elektrizität hat das Bestreben, sich auf Körpern auszubreiten. Sie ist übertragbar und ableitbar. Dabei unterscheidet man:

1. *gute Elektrizitätsleiter* (alle Metalle, insbesondere Silber, Kupfer und Aluminium, alle feuchten Körper); diese leiten die Elektrizität in die Erde (Anwendung beim Blitzableiter);

2. *schlechte Elektrizitätsleiter* bzw. *Nichtleiter* (Hartgummi, Harz, Glas, Guttapercha, Seide, Siegellack, ganz trockenes Holz, Federbetten, [trockene] Luft, Porzellan u. a.); diese halten die empfangene Elektrizität fest, geben sie gar nicht oder nur sehr langsam und schwer weiter.

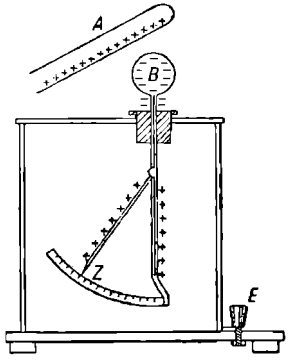
Mit Hilfe von schlechten Elektrizitätsleitern (Isolatoren) kann man Elektrizität isolieren (ital. *isola*, die Insel) und damit das Abfließen elektrischer Ladungen über unerwünschte Wege verhindern (Hochspannungsleitungen).
Zur Kennzeichnung eines Isolators kann der *Widerstand R* dienen, den ein Kubikzentimeter des Stoffes für den elektrischen Strom hat; *R* wird in Ohm, Ω, gemessen. Eine andere wichtige Konstante ist die *Durchschlagsfestigkeit U*; sie ist die in Kilovolt je Zentimeter (kV/cm) gemessene Feldstärke, die gerade ausreicht, einen Strom durch den Isolator zu schicken. Bei einem solchen *Durchschlag* steigt die Stromstärke in Bruchteilen einer Sekunde auf ein Vielfaches ihres Anfangswertes, und die durch die Stromwärme erzeugte Erwärmung führt zu einer Zerstörung des Isolators.

Elektrische Eigenschaften der Isolatoren

	R	U		R	U
Feste Körper			Quarz (⊥ Achse)	$3 \cdot 10^{16}$	—
Schiefer	10^{8}	3	Quarzglas	$10^{15} \cdots 10^{18}$	—
Marmor	10^{10}	10	Glimmer (Biotit)	$5 \cdot 10^{16}$	600
Kunstharz	$10^{8} \cdots 10^{14}$	—	Bernstein	$> 10^{19}$	—
Hartpapier	$10^{12} \cdots 10^{14}$	150···200			
Porzellan	$3 \cdot 10^{14}$	340···380	*Flüssigkeiten*		
keramische			Azeton	14	—
Sondermassen	$10^{12} \cdots 10^{15}$	bis 100	destilliertes Wasser	$10^{3} \cdots 10^{4}$	—
Glas	$5 \cdot 10^{13}$	120···200	Öl für Trans-		
Quarz (‖ Achse)	10^{14}	—	formatoren	$10^{11} \cdots 10^{12}$	250
Siegellack	$8 \cdot 10^{14}$	—	flüssige Luft	10^{16}	—
Hartgummi	$10^{16} \cdots 10^{18}$	350			

Elektrische Influenz. Influenz ist der Einfluß eines elektrisch geladenen, isolierten Körpers auf einen leitfähigen, nicht geladenen anderen Körper, wobei jener in diesem eine sogenannte *elektrische Verteilung*, eine Scheidung von positiver und negativer Elektrizität, bewirkt.

Ein *Elektroskop* besteht aus einem Metallstab, der mit Bernstein isoliert in einem Gehäuse befestigt ist. Das äußere Ende des Stabes ist meist durch eine Kugel *B* abgeschlossen; am anderen Ende ist ein sehr leicht beweglicher Aluminiumzeiger *Z* angebracht. Nähert man dem Elektroskop einen durch Reiben positiv geladenen Körper *A*, so wird der Aluminiumzeiger abgespreizt. Es muß in dem vorher *ungeladenen* Metallstab schon Elektrizität vorhanden gewesen sein, nur trat sie nicht in Erscheinung, weil die entgegengesetzten Elektrizitäten sich in ihrer Wirkung aufgehoben haben. Durch die in die Nähe gebrachte Ladung *A* tritt *Trennung* ein: Negative Elektrizität wird durch *A* angezogen („gebunden"), positive („freie") nach unten getrieben. Da sich gleichnamige Elektrizitäten abstoßen, wird der Zeiger gespreizt. Berührt man kurze Zeit die Kugel *B*, während der geladene Stab in der Nähe der Kugel bleibt, so entweicht die freie Elektrizität zur Erde. Entfernt man danach die Ladung *A*, so verteilt sich die vorher gebundene Elektrizität und spreizt aufs neue den Zeiger *Z*.



Elektroskop; A geladener Körper, B Kugel des Elektroskops, Z Zeiger, E Erdung

Elektrische Spannung. Auf elektrischen Leitern befinden sich elektrische Ladungen stets nur auf der Oberfläche. Durch die Abstoßung der gleichsinnigen Elektrizitätsteilchen entsteht ein Spannungszustand. Diese *Spannung* ist direkt proportional der Elektrizitätsmenge und umgekehrt proportional der Krümmung der Oberfläche. Sie ist also auf kleinen Kugeln größer als auf großen und erreicht in Spitzen so hohe Werte, daß die Elektrizität abströmt: *Spitzenentladung*, z. B. beim St.-Elms-Feuer auf Schiffsmasten.

Die Spannung wird in *Volt* gemessen, die Elektrizitätsmenge in *Coulomb*.

Die Spannung zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Kugeln kann so weit gesteigert werden, daß ein Ladungsausgleich durch die Luft bzw. durch ein anderes Dielektrikum unter Funkenbildung erfolgt. Die *Funkenschlagweite* hängt von der Krümmung, d. h. dem Radius der Kugeln, und von der angelegten Spannung ab.

Funkenschlagweite zwischen zwei Kugeln von 1 m Durchmesser in Luft bei 760 Torr und 20 °C; eine der beiden Kugeln ist geerdet

Abstand der Kugeln in cm	Durchschlags-spannung in Volt	Abstand der Kugeln in cm	Durchschlags-spannung in Volt
0,5	17600	15	396000
1	32400	20	514000
1,5	46200	30	729000
2	60500	40	912000
3	88000	50	1060000
4	115000	70	1280000
6	168000	100	1480000
8	220000	150	1660000
10	272000	200	1750000

Luftelektrizität und Gewitter. In der atmosphärischen Luft sind stets positiv und negativ geladene Atome (*Ionen*) enthalten. Sie entstehen ständig durch die radioaktive Strahlung der Erde und der Luft, durch die kosmische Strahlung und (in großen Höhen) durch die ultraviolette Strahlung der Sonne. Positive und negative Ionen vereinigen sich wieder zu neutralen Atomen (*Rekombination*). Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Wiedervereinigung ein. Der Gehalt an Ionen verleiht der Luft eine gewisse elektrische Leitfähigkeit.

Durch *Aufwinde* in den Gewitterwolken tritt eine Trennung der positiven und negativen Ladungen auf. Blitze und Niederschläge führen in überwiegendem Maße negative Ladungen von den Wolken auf die Erde. Hingegen werden positive Ionen in eine elektrisch gut leitende Atmosphärenschicht transportiert, die die Erde in etwa 60 bis 70 km Höhe umgibt. Als Folge dieser Ladungstrennung fließt ein ständiger *luftelektrischer Ausgleichstrom* von der positiv geladenen Ausgleichsschicht zur negativ geladenen Erdoberfläche.

Die elektrische Feldstärke beträgt in Bodennähe bei ungestörter Atmosphäre 100 bis 130 V/m. Beim Durchzug eines Gewitters steigt die Feldstärke stark an (10^4 bis 10^5 V/m) und kehrt im allgemeinen ihre Richtung um. Bei genügend hohen Feldstärken kommt es zu elektrischem Ladungsausgleich durch *Blitze*. Am häufigsten ist der *Linienblitz* zwischen Wolke und Erde oder zwischen Wolkengebieten entgegengesetzter Polarität. *Erdblitze* können bis zu 9 km, *Wolkenblitze* über 100 km lang sein. Der Durchmesser der Blitzbahn wird auf einige Zentimeter bis zu einigen Dezimetern geschätzt.

Jeder Blitz besteht aus mehreren Hauptentladungen (meist 5 bis 6, maximal 40), die alle im gleichen *Blitzkanal* erfolgen. Zwischen zwei Hauptentladungen vergehen 1 bis 30 Millisekunden, wobei jede etwa 0,04 Millisekunden dauert.

Der *Donner* ist die akustische Begleiterscheinung eines Blitzes, er rührt von der starken Erhitzung der Luft im Blitzkanal und dem damit verbundenen explosionsartigen Druckanstieg her. Das Rollen des Donners entsteht durch mehrfache Reflexion des Schalles an Wolkenschichten; er ist bis zu etwa 20 km Entfernung von der Blitzbahn hörbar. Da sich der Schall mit 0,33 km/s in Luft ausbreitet, das Licht aber mit 300000 km/s, vergehen zwischen der Beobachtung eines Blitzes und dem Hörbarwerden des Donners 3 Sekunden, wenn der Abstand zum Blitz 1 km beträgt.

Der Blitz schlägt bevorzugt in hoch aufragende, spitze Gegenstände, da in ihrer Nähe eine hohe Feldstärke herrscht. Der starke Metalldraht, der die Auffangstangen des Blitzableiters mit dem feuchten Erdreich verbindet, leitet den Blitz ohne größere Wärmeentwicklung zur Erde ab. Die Wahrscheinlichkeit des Blitzeinschlages in alleinstehende Bäume hängt von der Höhe der Bäume und davon ab, wie tief ihre Wurzeln in den Boden eindringen; sie vergrößert sich besonders, wenn die tieferen Bodenschichten größeren Wassergehalt haben.

Gewitter

Anzahl der jährlichen Gewitter auf der Erde	16 Millionen
Anzahl der Blitze (auf die ganze Erdoberfläche verteilt) in jeder Sekunde	100
die Blitze entladen sich mit Spannungen bis zu etwa	400 Millionen Volt
Spitzenstromstärke der Blitze	2000···200000 A
transportierte Ladung eines Blitzes	10···150 Coulomb
die dabei umgesetzte Energie beträgt bis zu	1700 kWh

Die relative Dielektrizitätskonstante. Die relative Dielektrizitätskonstante gibt an, wievielmal sich die Kapazität eines Kondensators vergrößert, wenn die Kraftlinien zwischen den Kondensatorplatten im Dielektrikum statt im Vakuum verlaufen. Als Kapazität C eines Kondensators bezeichnet man das Verhältnis Q/U der auf ihn gebrachten Elektrizitätsmenge Q zu der dabei angelegten Spannung U. Besteht ein Kondensator aus zwei ebenen, zueinander parallelen Metallplatten, die bei angelegter Spannung U die Elektrizitätsmenge Q enthalten, so erhöht sich bei konstanter Spannung die vom Kondensator aufgenommene Elektrizitätsmenge auf das ε-fache (auf εQ), wenn in den Zwischenraum zwischen den Platten Glas, Glimmer oder ein anderes Dielektrikum mit der relativen Dielektrizitätskonstanten ε gebracht wird. Durch das elektrische Feld zwischen den Platten des Kondensators wird das Dielektrikum polarisiert; der positiv geladenen Platte des Kondensators liegt dann eine negative Ladung des Dielektrikums gegenüber und entsprechend der negativen eine positive; dadurch erhöhen sich die Ladung des Kondensators und seine Kapazität. Kondensatoren werden in der Funktechnik, besonders in Schwingkreisen, und in der Starkstromtechnik verwendet.

Relative Diclektrizitätskonstanten einiger Stoffe

Glas	2···16	Marmor	8	Schwefelsäure	85
Bernstein	2,8	Petroleum	2,1	Helium	1,00007
Quarzglas	3,7	Benzol	2,28	Wasserstoff	1,00026
Schwefel	4	Schwefelkohlenstoff	2,6	Sauerstoff	1,00055
Glimmer	4···8	Öl	3	Luft	1,00059
Steinsalz	5,6	Glyzerin	56	Stickstoff	1,00061
Porzellan	6···7	Wasser	81		

DER ELEKTRISCHE STROM

Ein elektrischer Strom *entsteht*, wenn man die beiden Pole (+ und −) einer Spannungsquelle (z. B. einer Influenzmaschine, eines galvanischen Elements) durch einen Leiter miteinander verbindet. Als seine *Richtung* gilt die Flußrichtung der positiven Elektrizität. Den elektrischen Strom kann man an seinen *Wirkungen* (Licht- und Wärme-, chemische, magnetische oder motorische Wirkungen) erkennen. Die *Wärmewirkung* wird hervorgerufen durch die Reibung, die entsteht, wenn die Elektronen infolge der elektrischen Spannung zwischen den Molekeln eines (schlechten) Elektrizitätsleiters hindurchgepreßt werden. Schlecht leitende Drähte (großer Widerstand!) bilden daher die Grundlage aller elektrischen Heizgeräte (Tauchsieder, Heizplatte, Bügeleisen u. a.).

Das Ohmsche Gesetz. Der elektrische Strom ist gekennzeichnet durch die 3 *Grundeigenschaften* der Spannung U (in Volt, V), der Stromstärke I (in Ampere, A) und des Widerstandes R (in Ohm, Ω), die durch das Ohmsche Gesetz miteinander verbunden sind:

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}},\quad R = \frac{U}{I},\quad \text{oder Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}},\quad I = \frac{U}{R},$$

$$\text{bzw. Spannung} = \text{Stromstärke} \cdot \text{Widerstand},\quad U = I \cdot R.$$

Werte elektrischer Spannungen
in Volt

Antennenspannung, die für Empfang notwendig ist,	
für Rundfunkempfang, Mittel- und Kurzwelle	$\approx 5 \cdot 10^{-6}$
für Rundfunkempfang, UKW	$\approx (1 \cdots 2) \cdot 10^{-6}$
für Fernsehempfang	$\approx (30 \cdots 100) \cdot 10^{-6}$
Thermoelement, Konstantan-Eisen bei 1000 °C	0,058
Daniell-Element	1,1
elektrische Gebrauchselemente (Leclanché-Element)	1,5
Akkumulatoren (einzelne Zelle)	2
elektrische Hausklingelanlagen	4,5
Trockenbatterien für Taschenlampen	4,8
Lichtanlage in Autos	6
elektrische Widerstandsschweißung	0,5 ··· 10
Lichtanlage in Eisenbahnwagen	24
elektrische Lichtbogenschweißung	20 ··· 40
Telephon	60
Elektrokarren	80
elektrische Beleuchtung:	
ältere Anlagen in Städten	110
neuere Anlagen in Städten	220
Heizkörper in Straßenbahnwagen (je 2 hintereinandergeschaltet an 500 Volt)	250
Motoren der Straßenbahn und elektrischer Lokomotiven	500
Fahrdrahtspannung bei der Straßenbahn	500
Heizungsanlagen der Wagen bei elektrischen Vollbahnen	1000
Sammelleitungen für elektrische Beleuchtung in Kabeln oder auf Masten bis zu den Transformatoren in den einzelnen Dörfern	3000
Neonleuchtröhren für Lichtreklame	5000
Spannung, wie sie in den großen Dynamomaschinen der Elektrizitätswerke *ursprünglich* erzeugt wird	10000
Anodenspannung der Endröhren großer Rundfunksender	12000
Zündkerze im Automobilmotor	15000
Fahrdrahtspannung der elektrischen Vollbahnen	15000
Röntgenröhren und Funkeninduktoren	50000
Fernleitungen zu Unterwerken für den Eisenbahnbetrieb	60000
Röhrenspannung für Röntgendiagnostik	60000
höchste Betriebsspannung von Elektrostaubfiltern	80000
Röhrenspannung für Röntgen-Strukturuntersuchungen (Strahlen durchdringen 80 mm Eisen, 200 mm Aluminium)	200000
Hochspannungsleitung in Schweden	380000
Hochspannungsleitung in der UdSSR im Bau	530000
normaler van-de-Graaff-Generator	$(1 \cdots 2) \cdot 10^6$

Werte elektrischer Stromstärken
in Ampere

Bildelement in Fernsehaufnahmeröhren	1 Millionstel
Bildelement in Fernsehempfängerröhren	0,001

Röntgenröhre zur Strukturuntersuchung	0,008
photographischer Belichtungsmesser	0,01
Taschenlampe	0,2
mittlere Glühlampe	0,25
elektrisches Bügeleisen	2···3
Glühlampe für Bildprojektion	5
zulässige Dauerbelastung von Kupferdrähten von 1 mm² Querschnitt	5
gewöhnliche elektrische Sicherung	6
Bogenlampe eines Projektionsapparates	15
Endröhren großer Rundfunksender	25
Elektromotor der Straßenbahnwagen	150
Heizstrom einer großen Glühlampe für Projektion	227
Lichtbogenschweißung (geläufig)	220···360
elektrisches Schweißen	500
Beck-Bogenlampe für Scheinwerfer	1200
Dekoration mittlerer Größe bei Filmatelieraufnahmen	3000
Aluminiumerzeugung (bei nur 5 Volt)	10000
Dekoration für großes Bild bei Filmatelieraufnahmen (bei 110 Volt)	20000
Lichtbogenöfen	bis 22000
Schmelzöfen der Eisenindustrie	100000
Widerstandsschweißung (Einphasenwechselstrom)	100000
Reduktionsöfen (z. B. für Karbid; Drehstrom)	100000
Blitzstromstärke	bis 200000
Reduktionsöfen (Einphasenwechselstrom)	bis 300000
durch Kondensatorentladung während einer Zeit von $^1/_{100\,000}$ s herstellbar	1000000

Werte elektrischen Widerstandes

in Ohm

Vorschaltwiderstand bei der Straßenbahn (wird durch die Fahrkurbel mit dem ersten Kontakt eingeschaltet und mit jedem folgenden Kontakt stufenweise ausgeschaltet)	7
Bogenlampe im Betrieb	10
elektrischer Herd	12
elektrisches Bügeleisen	80
Anlasserwiderstand bei Werkstattelektromotoren (wird beim Inbetriebsetzen des Motors stufenweise ausgeschaltet)	100
Regulierwiderstand bei Schalttafel in Schulen	150
mittlere Glühlampe	500
Hochohmwiderstand im Radio (1 Megohm)	1000000

Vergleichswerte für Widerstände aus Metallen und deren Legierungen

Spezifischer Widerstand ϱ in Ω je mm² Querschnitt und 1 m Länge; *relative Werte* ϱ_{rel} der spezifischen Widerstände im Vergleich zu Kupfer als Einheit; *spezifische Leitfähigkeit*, Drahtlängen l in Metern bei 1 mm² Querschnitt (Durchmesser 1,13 mm), für die der Widerstand des Drahtes 1 Ω beträgt.

Stoff	ϱ	ϱ_{rel}	l
Silber	0,016	0,94	62,5
Kupfer	0,017	1	58,8
Gold	0,022	1,3	45,5
Aluminium	0,030	1,8	33,3
Wolfram (Hauptbestandteil der Glühlampen)	0,053	3,1	18,9
Zink	0,060	3,5	16,7
Nickel	0,07	4,1	14,3
Messing	0,08	4,7	12,5
Platin	0,105	6,2	9,5
Stahl	0,2	11,8	5,0
Blei	0,21	12,4	4,7
Quecksilber	0,95	55,9	1,1
Nickelin (54 % Cu, 26 % Ni, 20 % Zn)	0,48	28,2	2,4
Manganin (86 % Cu, 2 % Ni, 12 % Mn)	0,43	25,3	2,3
Neusilber (60 % Cu, 14 % Ni, 25 % Zn, 1 % Mn)	0,5	29,4	2,0

Anwachsen des Widerstandes bei 100 °C Temperaturzunahme

in Prozenten des ursprünglichen Widerstandes

Eisen	um 61 %	Kupfer	um 43 %	Platin	um 30 %
Wismut	um 45 %	Gold	um 39 %	Nickel	um 65 %
Silber	um 40 %	Zink	um 37 %	Konstantan	um 0,5 %
Blei	um 42 %	Aluminium	um 36 %	Manganin	um 0,2 %

Der Widerstand der *reinen Metalle* wächst mit steigender Temperatur, der eines *Kohlenfadens* sinkt dagegen. Der Widerstand mancher *Legierungen*, wie Manganin und Konstantan, erreicht bei Zimmertemperatur einen maximalen Wert, so daß der Widerstand in diesem Temperaturgebiet nur sehr wenig von der Temperatur abhängt.

Supraleitfähigkeit. Bei sehr *tiefen* Temperaturen ist der Widerstand der Metalle äußerst *gering*. In der Nähe des absoluten Nullpunktes ist er bei einigen Metallen gleich Null. Sie erreichen ihre *Supraleitfähigkeit* sprunghaft bei bestimmten Temperaturen, den *Sprungtemperaturen*, die zwischen einigen Zehntel °K und 10 °K liegen. Bei einigen Halbleitern wurden Sprungtemperaturen bis zu 25 °K festgestellt.

Supraleiter und Sprungtemperaturen

(Temperaturen in °Kelvin)

Niobium	9,22	Indium	3,40	Rhenium	0,95
Blei	7,26	Thallium	2,38	Zink	0,79
Lanthan	4,71	Titan	1,77	Zirkonium	0,70
Tantal	4,38	Thorium	1,33	Kadmium	0,54
Vanadium	4,30	Uran	1,25	Hafnium	0,35
Quecksilber	4,12	Aluminium	1,14		
Zinn	3,69	Gallium	1,07		

Elektrische Leistung

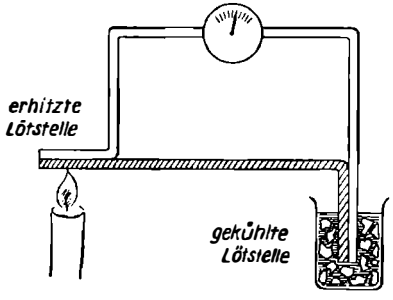
in Watt

Durchschnittliche Leistungsaufnahme (*Stromverbrauch*):

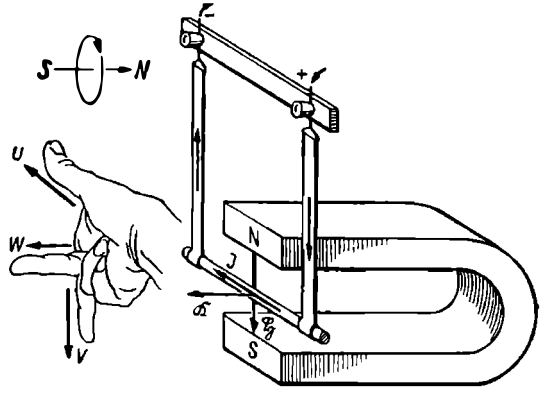
im Hörer des Telephons	0,001
Telegraph	0.2
Hausklingel	0,5
Fahrradlampe	2
im Mikrophon des Telephons	3
Ventilatormotor	20
Neonreklame-Leuchtröhre für 1 m Länge	30
mittlere Glühbirnen	40
ältere Metallfadenlampen (2 Watt je Candela)	
moderne Spiraldraht-Glühlampen (0,8 Watt je Candela)	
moderne Glühlampen ab 150 Kerzen (0,5 Watt je Candela)	
Leuchtstofflampen (0,25 Watt je Candela)	49
Staubsauger	80···150
Lichtanlage an einem Kraftwagen	100
elektrisches Bügeleisen	200···500
Tauchsieder	300···1000
elektrischer Kocher für 1 bis 1,5 *l*	600
elektrischer Kocher für 2 bis 2,5 *l*	850
Lichtanlage in einem Eisenbahnschnellzugwagen (ein Abteil: 3 Glühlampen von je 25 Watt)	1200
elektrische Herde je Heizplatte	1300
elektrischer Backofen	1600
Straßenbahnwagen	100000
elektrische Lokomotive	1300000
große Fördermaschine (max. 7500000 Watt)	3700000
größte elektrische Lokomotive der Lötschbergbahn (Schweiz)	4100000
zweiteilige elektrische Lokomotive der Gotthardbahn (Schweiz)	8800000
Lichtbogenofen (Stahlofen)	bis 9000000
Reduktionsofen, z. B. für Karbid (für 1 Tonne Karbid etwa 3000 kWh)	bis 30000000

Anmerkung. Nimmt man den Preis des Stromes mit 8 Pfennigen je Kilowattstunde (1 Kilowatt = 1000 Watt) an, so kostet der Stromverbrauch einer mittleren Glühlampe (40 W) in der Stunde $\frac{40 \cdot 8}{1000} = 0.32$ Pfennige.

Thermoelement. Ein Thermoelement liefert einen Strom (*Thermostrom*), der dadurch entsteht, daß zwei Drähte aus *verschiedenem Metall* durch zwei Lötstellen zu einem Stromkreise zusammengeschlossen und an den Lötstellen *ungleiche Temperaturen* erzeugt werden. Die elektrischen Spannungen der Thermoelemente sind gering. Sie sind um so größer, je größer der Temperaturunterschied der beiden Lötstellen ist.



Thermoelement



Leiterschaukel; N, S Nord-, Südpol, I elektrischer Strom, Magnetfeld, Kraft, U Ursache, V Vermittlung, W Wirkung

Thermoelemente eignen sich vorzüglich als *Thermometer* (Pyrometer) zum Messen höchster und tiefster Temperaturen bei hoher Empfindlichkeit auf engstem Raum. Das Wismut-Antimon-Element zeigt noch Unterschiede von $^1/_{1000}$ Grad an.
Aus der elektromotorischen Kraft und der Temperatur der einen Lötstelle läßt sich die Temperatur der anderen Lötstelle leicht errechnen.

Thermoelemente und ihre Spannungen

in Volt bei einem Temperaturunterschied von 100 grd an den Lötstellen

Bevorzugte *Metallkombinationen*:

Wismut-Antimon ($1 \cdot 10^{-4}$ Volt je Grad)	0,01
Eisen-Konstantan ($0{,}51 \cdot 10^{-4}$ Volt je Grad)	0,005
Kupfer-Konstantan ($0{,}42 \cdot 10^{-4}$ Volt je Grad)	0,004
Platin-Platinrhodium ($0{,}064 \cdot 10^{-4}$ Volt je Grad)	0,0006

Platinkombinationen im Thermoelement

bei 100 grd Temperaturunterschied zwischen beiden Lötstellen

	Spannung in V		Spannung in V
Platin-Antimon	0,00478	Platin-Zinn	0,00042
Platin-Eisen	0,00188	Platin-Blei	0,00043
Platin-Gold	0,00063	Platin-Aluminium	0,00039
Platin-Silber	0,00073	Platin-Nickel	−0,00157
Platin-Kupfer	0,00074	Platin-Konstantan	−0,00325
Platin-Zink	0,00070	Platin-Wismut (⊥ zur Achse)	−0,00520

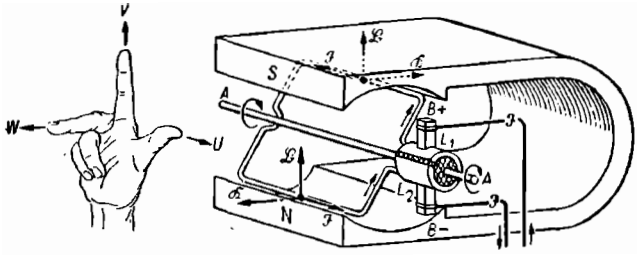
Die Spannungen der Thermoelemente von je 2 der angeführten Metalle untereinander ergeben sich aus der Differenz zwischen den Spannungen zu Platin, z. B.

Platin-Antimon 0,00478
Platin-Wismut −0,00520
} Antimon-Wismut $0{,}00478 - (-0{,}00520) = 0{,}00998$

KRAFTWIRKUNG DES FLIEßENDEN STROMES

Leiterschaukel. Zwischen den Polen eines kräftigen Magneten hängt an elektrisch leitenden Bändern ein Metallstab (Leiterschaukel). Fließt in ihm, wie im Bild angegeben, ein Strom von vorn nach hinten, so wird der Stab nach links aus dem Magnetfelde gedrückt. Die Richtung dieser Bewegung läßt sich nach der *Dreifingerregel* der rechten Hand wie folgt bestimmen: Die Ursache der Bewegung

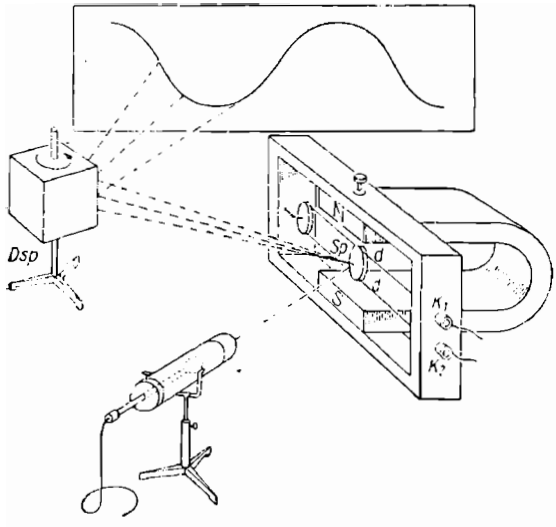
ist der fließende Strom *I*, in seine Richtung zeigt der Daumen; die Vermittlung zwischen Strom und Bewegung ist das gegebene Magnetfeld $\mathfrak{B}$, der Zeigefinger zeigt also nach unten; der Mittelfinger ist nach links gerichtet und gibt die Wirkung an; die Kraft $\mathfrak{K}$. Man kann sich die vom Strom umflossene Fläche auch als blattförmigen Magneten denken. Sein Nordpol liegt dann auf der Seite des Blattes, nach der eine *Rechtsschraube* vorwärtsrückt, die so gedreht wird, wie der Strom fließt. Im Bilde liegt also dieser Nordpol rechts und wird vom Nordpol des Hufeisenmagneten abgestoßen und nach links gedrückt.



Elektromotor (schematisch); B^+, B^- Bürsten, AA Achse, L_1, L_2 Lamellen, N, S Nord-, Südpol, I elektrischer Strom, $\mathfrak{B}$ magnetische Induktion, $\mathfrak{K}$ Kraft, U Ursache, V Vermittlung, W Wirkung

Modell eines Elektromotors. Zwischen den Polen eines kräftigen Permanentmagneten wird eine Drahtwindung so, wie die Pfeile zeigen, von einem Gleichstrom durchflossen; sie dreht sich dann im angegebenen Drehsinne um die Achse *AA*.

Nach der *Dreifingerregel* der rechten Hand ergibt sich für das untere Leiterstück: Der Daumen zeigt nach vorn, da die Ursache, der Strom *I*, nach vorn gerichtet ist, der Zeigefinger zeigt nach oben, da das vermittelnde Feld, die magnetische Induktion $\mathfrak{B}$, nach oben gerichtet ist, der Mittelfinger und damit auch die Wirkung zeigen dann nach links, wie der Vektor der Kraft $\mathfrak{K}$ angibt. Da die am oberen Leiterstück angreifende Kraft die entgegengesetzte Richtung hat, ergibt sich ein Drehmoment, das die Schleife in der angegebenen Richtung zu verdrehen sucht.



Schleifenoszillograph; K_1, K_2 Klemmen, d Schleife, Sp Spiegel, N, S Nord-, Südpol, Dsp Drehspiegel

Wenn die Drahtwindung horizontal liegt, wird das Drehmoment Null, weil die Kräfte $\mathfrak{K}$ stets in waagerechter Richtung nach links und rechts zeigen. Aus Trägheit bewegt sich die Windung im gleichen Sinne weiter; dadurch fließt der von den Bürsten *B* zugeführte Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Drahtwindung, die Kräfte $\mathfrak{K}$ kehren ihre Richtungen um, und die Leiterschleife dreht sich bei wachsendem Drehmoment weiter im gleichen Drehsinn.

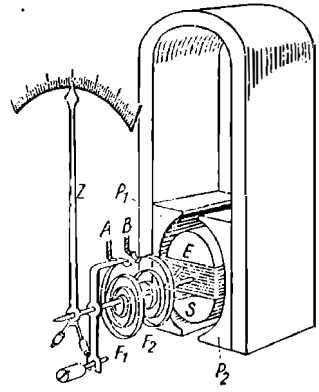
Diese Stromumkehr wird ermöglicht durch einen *Kollektor*, der im Bilde aus zwei gegeneinander isolierten *Lamellen* L_1 und L_2 eines Kupferringes besteht, die auf der Achse befestigt sind und Anfang und Ende der Drahtwindung darstellen. Die Stromzuführung zu den Lamellen erfolgt durch zwei federnd angedrückte, gut leitende *Bürsten B*, die so eingestellt sind, daß sich gerade die folgende Lamelle unter die Bürste schiebt, wenn die Windung sich aus Trägheit über ihre horizontale Lage hinausdreht.

In der Technik verwendet man an Stelle der permanenten Magnete Elektromagnete, die paarweise im Kreise auf einem Ständer (*Stator*) angebracht sind. Zu jedem dieser Magnetpaare gehört eine Spule mit vielen Windungen, die zur Verstärkung der Wirkung des vermittelnden magnetischen Feldes auf einen Eisenkern (*Rotor*) gewickelt ist. Demgemäß erhöht sich die Anzahl der Lamellen des Kollektorringes.

Oszillograph oder Schwingungsschreiber. Soll ein in der Zeit veränderlicher Strom untersucht werden, so leitet man ihn über die Klemmen K_1, K_2 durch eine einfache, leicht bewegliche *Drahtschleife d*, zwischen die ein kreisförmiger *Spiegel Sp* geklemmt ist. Die Drahtschleife befindet sich im Felde eines *Hufeisenmagneten*, kippt also den Spiegel verschieden stark, je nach der augenblicklichen Stromstärke. Ein Lichtstrahl, der durch eine Blende auf den Spiegel geworfen wird, schwankt da-

durch nach der Reflexion im Rhythmus der Stromschwankungen auf und ab. Durch einen *Drehspiegel Dsp* wird das zeitliche Nacheinander dieser verschiedenen reflektierten Strahlen in ein Nebeneinander auf dem Schirm aufgelöst. Auf dem Bildschirme erscheint dann ein *Kurvenbild des Stromverlaufs.*

Drehspulgeräte. Zwischen den Polen P_1, P_2 eines kräftigen Stahlmagneten befindet sich ein fester zylindrischer Weicheisenkern *E.* Das Magnetfeld ist deshalb auf den Raum zwischen diesem Kern und den Polen konzentriert. Dort kann sich eine feine Drahtspule *S* bewegen, wenn ein Gleichstrom sie durchfließt. Die Stromzufuhr (*A, B*) erfolgt durch zwei Spiralfedern F_1, F_2, die zugleich der Spule eine feste Nullage geben.
Die Drehspulgeräte sind Feinmeßgeräte. Besonders das *Drehspulspiegelgalvanometer* dient zum Nachweis sehr kleiner Ströme (bis 10^{-12} A). Wie der Name sagt, wird bei ihm die Drehung der Spule durch einen mitgedrehten Spiegel und einen Lichtzeiger sichtbar gemacht.

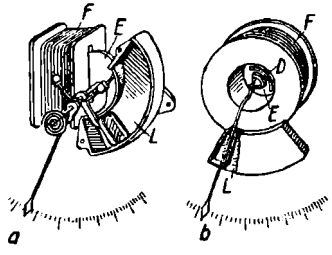


Drehspulinstrument; P_1,P_2 Pole, E Weicheisenkern, S Spule, A, B Stromzufuhr, F_1, F_2 Federn, Z Zeiger

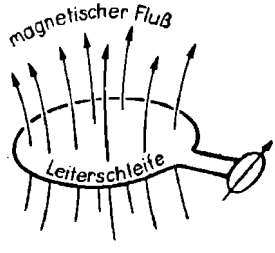
Dreheiseninstrument, Weicheiseninstrument. Das Instrument beruht darauf, daß ein Weicheisenstück unter der Wirkung des in einer Spule vom zu messenden Strom erregten Magnetfeldes magnetisiert wird. Im *Flachspulinstrument* wird das beweglich aufgehängte Eisenstück *E* in die Spule *F* hineingezogen und bewegt dabei den Zeiger mit. Im *Rundspulinstrument* liegen zwei Weicheisenstücke *D* und *E* übereinander. *D* ist fest, *E* aber beweglich und mit dem Zeiger verbunden. Fließt durch die Spule *F* ein Strom, so werden beide Weicheisenstücke gleichsinnig magnetisch und stoßen einander ab. Die Instrumente lassen sich auch für Wechselströme bis etwa 1000 Hz verwenden.

INDUKTION

Induktionsgesetz. Ändert sich der Betrag des magnetischen Flusses, der durch eine Leiterschleife tritt, so entsteht an den Enden der Leiterschleife eine *elektrische Spannung*, die der je Sekunde erfolgenden Zu- oder Abnahme des Flusses innerhalb der Leiterschleife proportional ist. Bei einer sekundlichen Änderung des magnetischen Flusses um 1 Weber = 1 Voltsekunde beträgt die induzierte Spannung gerade 1 Volt. Auf welche Weise die Änderung des magnetischen Flusses erfolgt und ob dieser von einem permanenten Magneten oder von einer vom Strom durchflossenen Spule herrührt, ist für die Größe der induzierten Spannung ohne Bedeutung; es kommt nur auf die *zeitliche Änderung der Anzahl der durch die Leiterschleife tretenden Induktionslinien* an. Die Änderung des magnetischen Flusses durch die Schleife kann hervorgerufen werden, a) indem ein permanenter Magnet auf die Schleife zu oder von ihr fort bewegt wird, b) indem die Schleife auf einen ruhenden Magneten zu oder von ihm fort bewegt wird, c) durch Drehung der Schleife in einem zeitlich sich nicht ändernden Magnetfeld, d) durch Verbiegen der Schleife und e) bei ruhender Schleife durch Schwächen oder Verstärken des Magnetfeldes, indem etwa der elektrische Strom, der eine in der Nähe der Schleife befindliche Spule durchfließt, zeitlich geändert wird.



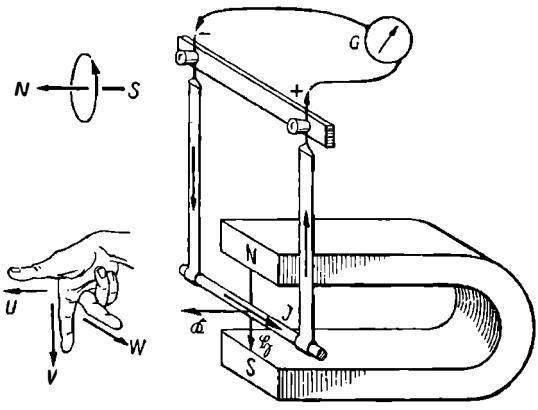
links: Dreheiseninstrument; a Flachspul-, b Rundspulinstrument, F Feldspule, E Weicheisen, D feststehende Weicheisenplatte, L Luftdämpfung



rechts: Magnetischer Fluß

Werden die Enden der Leiterschleife auf irgendeine Weise leitend verbunden, so ruft die induzierte Spannung einen elektrischen Strom in der Schleife hervor. Dieser *Induktionsstrom* hat nach der Lenzschen Regel eine solche Richtung, daß das durch ihn erzeugte Magnetfeld der Schleife der Änderung des magnetischen Flusses in der Spule entgegenwirkt. Nimmt also der magnetische Fluß zu, so ist das durch den Induktionsstrom erzeugte Magnetfeld der Schleife dem Fluß entgegen-

gesetzt gerichtet, nimmt der Fluß ab, so ist dieses ihm gleichgerichtet. Hat man statt einer Schleife *n* Schleifen, so wird in jeder Schleife eine Induktionsspannung induziert. Sind die *n* Schleifen alle hintereinandergeschaltet, so daß eine Spule von *n Windungen* entsteht, so addieren sich die Induktionsspannungen der einzelnen Windungen, d. h., man erhält gegenüber einer Windung eine *n*-mal größere Induktionsspannung bei einer Änderung des magnetischen Feldes.

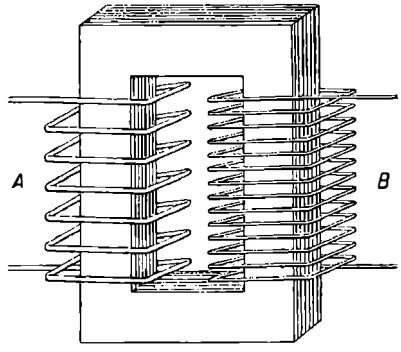


Induktionsstrom in der Leiterschaukel; G Galvanometer, N, S Nord-, Südpol, ⅋ Magnetfeld, I induzierter Strom, ℜ bewegende Kraft, **U** *Ursache,* **V** *Vermittlung,* **W** *Wirkung*

Füllt man schließlich das Innere der Spule mit einem *Weicheisenkern* aus, so vergrößert sich die etwa bei Annäherung eines permanenten Magneten an die Induktionsspule in dieser induzierte Spannung beträchtlich, da der Weicheisenkern die Induktionslinien in sich hineinzieht. Ohne Weicheisenkern streuen die Induktionslinien im gesamten Raum umher, so daß nur ein kleiner Teil des gesamten von dem permanenten Magneten ausgehenden magnetischen Flusses wirklich die Windungen der Induktionsspule durchsetzt und zur induzierten Spannung beiträgt.

Die Leiterschaukel zeigte, daß ein durch sie fließender Strom eine Bewegung hervorruft. Bewegt man umgekehrt die Schaukel nach links und schließt an die Anschlußklemmen ein empfindliches Meßgerät, etwa ein Drehspulspiegelgalvanometer *G* an, so zeigt dieses den im Bild eingezeichneten Strom an. Die *Dreifingerregel der rechten Hand* gibt das gleiche Ergebnis: Die Ursache (Daumen) ist jetzt die Bewegung nach links, die Vermittlung (Zeigefinger) ist wieder das Magnetfeld, die Wirkung (Mittelfinger) ist hier der durch die Bewegung hervorgerufene Induktionsstrom.

Nach der *Rechtsschraubenregel* erzeugt der Induktionsstrom ein Magnetfeld, dessen Nordpol links, dessen Südpol also rechts liegt, das mithin die aufgezwungene Bewegung hemmt: *Lenzsche Regel.*



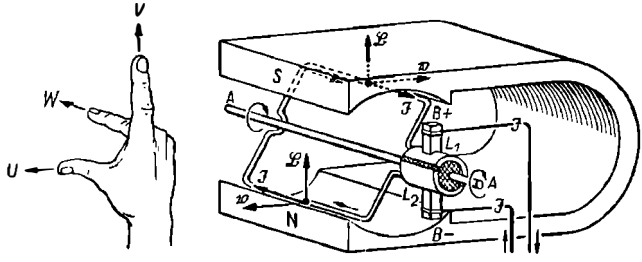
Transformator; A Primär-, B Sekundärspule

Auch in einer *Spule,* in die etwa der Nordpol eines Magneten hineingestoßen wird, entsteht ein Induktionsstrom, wenn die beiden Spulenenden leitend verbunden sind. Dieser Strom erregt ein Magnetfeld, das dem des Stabmagneten entgegengesetzt ist, die Bewegung also hemmt. Deshalb muß die stoßende Hand mehr Kraft aufbringen, als der erreichten Geschwindigkeit entspricht. Der Mehraufwand tritt uns als Stromenergie wieder entgegen.

Transformator. Die Eisenkerne zweier Spulen sind zu einem *geschlossenen magnetischen* Kreis verbunden. In die eine, die *Primärspule A,* wird ein veränderlicher Strom, meist ein Wechselstrom, geschickt. Dann wird in der anderen, der *Sekundärspule B,* eine Spannung induziert, die im Falle von Wechselstrom dieselbe Frequenz hat. Der sekundäre Strom ist dem primären stets entgegengesetzt, wirkt also der vom primären Strom hervorgerufenen Feldänderung stets entgegen. *Primär- und Sekundärspannung* verhalten sich wie die *Windungszahlen* der betreffenden Spulen. Hat z. B. eine Primärspule 300 Windungen und liegt an ihr eine Wechselspannung von 220 Volt, so entsteht an den Enden einer Sekundärspule von 3 Windungen eine Wechselspannung von 2,2 Volt, an den Enden einer Sekundärspule von 3000 Windungen aber eine Wechselspannung von 2200 Volt. Im Gegensatz hierzu stehen die *Stromstärken* in beiden Spulen im umgekehrten Verhältnis zu den Windungszahlen. Im ersten Beispiel kann der Sekundärspule eine Stromstärke von 100 Ampere entnommen werden, wenn der Primärstrom 1 Ampere betragen darf, im zweiten Beispiel dagegen nur 0,1 Ampere bei ebenfalls 1 Ampere Primärstromstärke. Man spricht im ersten Falle vom *Hinuntertransformieren,* im zweiten vom *Hinauftransformieren.*

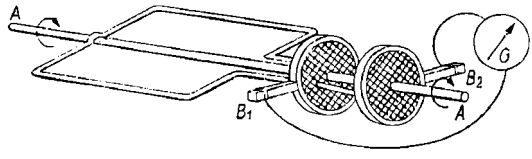
Auf der leichten Transformierbarkeit beruht die Bedeutung des Wechselstroms für unsere Technik. Nur durch die leichte Transformierbarkeit ist die Elektrizitätsversorgung eines Landes von wenigen Großkraftwerken aus über Hochspannungsleitungen bis zum Einzelverbraucher möglich.

Generatormodell. Dreht man eine über einen Widerstand kurzgeschlossene Leiterschleife im Magnetfeld, so entsteht in ihr ein Induktionsstrom, der über das durch sie erzeugte Magnetfeld die Drehung hemmt. Erfolgt die Drehung also im gleichen Sinne wie beim Motormodell, so fließt der Strom entgegengesetzt wie dort. Durch den Kollektor hat der an den Bürsten entnommene Strom immer dieselbe Richtung. In der Technik verwendet man wieder Elektromagnete anstatt des permanenten im Bilde und statt einer Leiterwindung Spulen mit vielen Windungen, die so geschaltet werden, daß zu jeder Spule eine Lamelle des Kollektors gehört.



Generatormodell (schematisch); B^+, B^- Bürsten, A A Achse, L_1, L_2 Lamellen, N, S Nord-, Südpol, $\mathfrak{v}$ Geschwindigkeit der Leiterschleife, $\mathfrak{B}$ magnetische Induktion, I induzierter Strom, **U** *Ursache,* **V** *Vermittlung,* **W** *Wirkung*

Wechselstrom. Genaueres über den Stromverlauf erfährt man, wenn Anfang und Ende mit je einem gesonderten *Schleifring* verbunden werden, wie es das Bild schematisch zeigt. *G* deutet an, daß in den äußeren Stromkreis ein empfindliches Meßgerät geschaltet ist. Wird nun die Spule langsam gedreht und trägt man die am Meßgerät abgelesenen Ausschläge senkrecht zu einer Achse der Drehwinkel oder der Zeit auf, so ergibt sich das *Bild eines Wechselstromes.* Es ist das Bild einer *Sinuskurve* (Induktionsgesetz: Änderung des magnetischen Flusses durch Drehen der Schleife). Wechselströme sind elektrische Ströme, die in bestimmten (sehr kurzen) Zeitabständen trägheitslos (d. h. ohne den geringsten Zeitverlust) ihre Stromrichtung umkehren, wobei jeweils nach dem Wechsel Stromstärke und Stromspannung sinusförmig zu einem Maximum ansteigen und von diesem zu Null absinken. Bei diesem Vorgang bewegen sich die Träger der Elektrizität im Leiter hin und her und erzeugen ein periodisch schwingendes elektromagnetisches Feld. Die Zeit, in der die Stromstärke einmal alle Phasen der Schwingung durchlaufen hat, bezeichnet man als *Periode* des Wechselstroms. Die Anzahl der Perioden in einer Sekunde gibt die *Frequenz* des Wechselstroms an. Die *Einheit der Frequenz* ist 1 Periode in 1 Sekunde = 1 Hertz (Hz). Wechselströme bis 1000 Hz nennt man *niederfrequente*, darüber hinausgehende *hochfrequente*. Die für die drahtlose Telegraphie und Telephonie benutzten Ströme haben sehr hohe Frequenzen (100000 bis 1000000000 Hz).

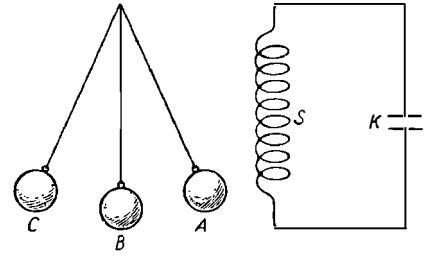


Schleifringe; A A Achse, B_1, B_2 Bürsten, G Wechselstrommeßgerät

Der technische Wechselstrom, der aus dem Dreiphasennetz (Drehstromnetz) entnommen wird, hat in fast allen europäischen Ländern eine Frequenz von 50 Hz. Bei den elektrischen Fernbahnen verwendet man in der DDR und in Westdeutschland Wechselstrom von $16^2/_3$ Hz.

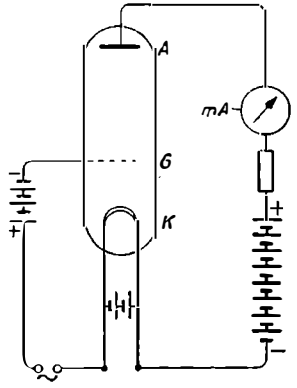
VERSTÄRKER- UND RÖNTGENRÖHRE

Selbstinduktion, Schwingkreis. Auch in einer einzelnen Spule tritt dadurch ein Induktionsstrom auf, daß die einzelnen Windungen sich gegenseitig beeinflussen. Diese Selbstinduktion hat für einen fließenden Strom dieselbe Bedeutung wie die Trägheit für eine bewegte Masse. Zur Verdeutlichung wird in der schematischen Zeichnung ein aus der Spule *S* und dem Kondensator *K* bestehender *Schwingkreis* mit einem *Pendel* verglichen. Wegen der Trägheit seiner Masse gewinnt der Pendelkörper auf dem Wege von *A* nach *B* nur allmählich seine höchste Geschwindigkeit, bewegt sich dann aber wegen der Trägheit seiner Masse mit abnehmender Geschwindigkeit weiter bis *C*. Der Betrag, um den seine *potentielle Energie* in *A* bzw. *C* größer ist als in *B*, setzt sich in *kinetische Energie* um, die in *B* ihren größten Betrag hat.

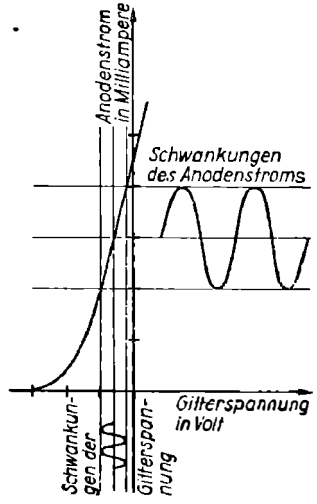


Pendel mit den Lagen A, B und C; elektrischer Schwingkreis mit Spule S und Kondensator K

Ein *Kondensator K* wird über eine Spule *S* entladen. Der Entladestrom erzeugt in der Spule ein *Magnetfeld*, das nach der Lenzschen Regel in der Spule eine Spannung induziert, die den Stromfluß zu hemmen sucht. Deshalb erreicht der Strom erst dann seinen größten Wert, wenn sich der Kondensator entladen hat. Obwohl jetzt am Kondensator keine Spannung vorhanden ist, kann der Strom nicht sofort Null werden, denn die Abnahme der Stromstärke bedingt eine Abnahme des Magnetfeldes, wodurch nach der Lenzschen Regel eine dem Strom gleichgerichtete Spannung in der Spule entsteht, die einen *allmählich abnehmenden Strom* bis zum völligen Verschwinden des Magnetfeldes aufrechterhält. Der Kondensator wird dadurch entgegengesetzt aufgeladen, und der Vorgang beginnt von neuem.



Verstärkerröhre; A Anode, K Kathode, G Gitter, mA *Strommeßgerät in Milliampere*

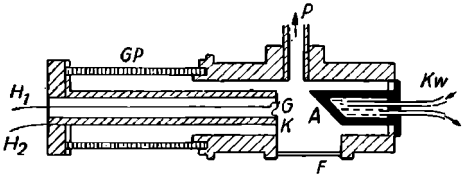


Verstärkerwirkung bei steiler Charakteristik

Auf diese Weise entstehen *elektrische Schwingungen*. Sie bestehen in einer periodischen Umwandlung der *elektrischen Feldenergie* eines Kondensators in die *magnetische Feldenergie* einer Spule und umgekehrt. Während jeder Schwingung wird jedoch ein kleiner Teil der Schwingungsenergie durch den Ohmschen Widerstand des Spulendrahtes in Wärme verwandelt. Dadurch werden die Schwingungen gedämpft, d. h., sie nehmen allmählich auf Null ab. Will man ungedämpfte Schwingungen erzeugen, wie sie heute ausschließlich in der Rundfunktechnik verwandt werden, so muß man dem Schwingkreis mit Hilfe einer Elektronenröhre in jeder Schwingungsperiode neue Energie zuführen.

Verstärkerröhre (Dreielektrodenröhre). Durch einen Elektronenstrom, der von einer *Glühkathode K* nach der *Anode A* geht, wird der Anodenstromkreis im Innern der Röhre geschlossen. Wird nun ein feines Drahtnetz, das *Gitter G*, in diesen Elektronenstrom gebracht und an eine gegenüber der Kathode negative Spannung gelegt, so wird er geschwächt. Das Milliamperemeter mA im Anodenstromkreis zeigt diese Schwächung an. Legt man an das Gitter eine Wechselspannung an, so zeigt sich, daß geringe Spannungsschwankungen am Gitter kräftige Schwankungen im Anodenstrom zur Folge haben. Trägt man die Stärke des Anodenstromes in Milliampere senkrecht zur Gitterspannung auf, so sieht man, daß die Anodenstromschwankungen um so kräftiger sind, je steiler die Kurve verläuft. Man nennt diese Kurve die *Röhrencharakteristik*. Sie zeigt den Verstärkungsgrad der Röhre.

In der modernen Rundfunktechnik verwendet man *Mehrgitterröhren* (Pentoden, Hexoden, Oktoden).



Röntgenröhre; K Kathode, A Anode, G Wolframfaden, H_1, H_2 Heizstrom, Kw Kühlwasser, F Fenster, P zur Pumpe, GP Isolierrohr

Röntgenröhre. Prallen die Kathodenstrahlen gegen ein Metall, gegen die *Antikathode*, so gehen von ihm Röntgenstrahlen aus, die um so durchdringender sind, je größer die Spannung der Röntgenröhre ist. Die Röntgenstrahlen werden in Medizin und Technik häufig verwendet. In der Tabelle sind die Bleidicken angegeben, die zum Schutze des Menschen vor den Röntgenstrahlen notwendig sind.

Erforderliche Bleidicke (in mm) zum Schutze gegen direkte Röntgenstrahlung bei einem Abstand von 2 bis 2,5 m von der Röhre

Röhrenspannung in kV	Bleidicke in mm bei Stromstärken		
	bis 5 mA	5···10 mA	30 mA
50	0,5	0,6	0,7
70	1,0	1,2	1,4
95	2	2,5	3,0
125	2,5	3	3,5
175	3	3,5	4,0
220	4	5	5,5
250	6	7	8
300	9	10	12
350	12	14	16
400	16	18	21

Die dargestellte Röntgenröhre ist eine *Glühkathodenröhre*. Die hohle Kathode K enthält einen Wolframfaden G, der elektrisch geheizt wird. Die Zuführungen des Heizstromes sind H_1, H_2. In Weißglut sendet der Wolframfaden Elektronen aus, die von der zylinderförmigen Kathode K gebündelt und durch die dort angelegte *Hochspannung* gegen die Anode A geschleudert werden. Diese besitzt meist eine Wolframplatte. Da ein großer Teil der Energie in Wärme umgewandelt wird, muß die Anode durch *Wasser (Kw) gekühlt* werden. Die Röntgenstrahlen treten durch das Fenster F aus. Der Mantel hält *Streustrahlen* zurück. Er ist mit der Anode leitend verbunden und geerdet. In P ist die *Luftpumpe* angeschlossen. GP ist ein *Hartglas-* oder *Porzellanrohr*, das die Kathode K gegen den Mantel isoliert.

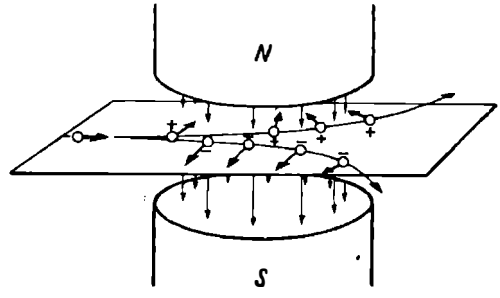
X. Kernphysik

Korpuskel. Ursprünglich verstand man unter einer *Korpuskel* ein Teilchen mit einer von Null verschiedenen Ruhmasse, unter einer *Korpuskularstrahlung* also schnell bewegte Teilchen dieser Art, z. B. α-, β-, Kathoden-, Kanal-, Anoden-, Atom- oder Molekularstrahlen zum Unterschied von *Wellenstrahlen*. Im Sinne der Quantentheorie kommen aber auch der Wellenstrahlung Teilcheneigenschaften zu; man spricht von Korpuskeleigenschaften des Lichts und rechnet das *Lichtquant* oder *Photon* zu den Elementarteilchen.

KORPUSKULARSTRAHLEN

Die bekanntesten elektrisch geladenen Korpuskeln sind das *Elektron* und die *Ionen*. Sie lassen sich durch elektrische und magnetische Felder ablenken. In einem elektrischen Felde entspricht ihre Bewegung der eines Masseteilchens im Gravitationsfeld der Erde. In einem magnetischen Felde tritt nur bei bewegten Teilchen eine Ablenkung auf, deren Richtung senkrecht auf der des Feldes und der der Bewegung steht.

Auf der wegen ihrer geringen Masse leichten *Regelbarkeit* von Elektronenströmen beruht das technisch wichtige Gebiet der *Elektronik*; zu ihm gehören die Elektronenröhren, -linsen und -mikroskope, die Kathodenstrahloszillographen, Fernsehröhren, Sekundärelektronen-Vervielfacher, Transistoren u. a.

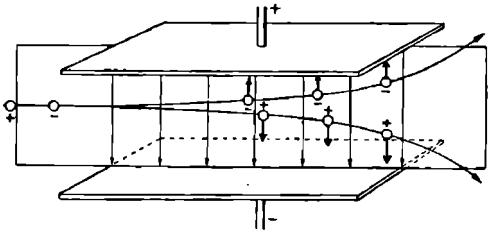


Ablenkung bewegter elektrisch geladener Teilchen in einer Ebene senkrecht zu den Kraftlinien eines Magnetfeldes. Die Pfeile an den Teilchen geben die Richtung der Kraftwirkung an

Kanalstrahlen. Ionisierte Moleküle als schnellbewegte Strahlen von Korpuskeln werden als Kanalstrahlen erzeugt. Bei einem Druck von 0,01 Torr treffen in einem Gasentladungsrohr die durch Elektronenstoß ionisierten Moleküle mit großer Geschwindigkeit auf die Kathode. Hat diese feine Öffnungen, Kanäle, so fallen die positiv geladenen Molekülionen durch die Kathode und bilden hinter ihr den Kanalstrahl. Er ist eine wichtige *Ionenquelle*.

Plasma. Ein hochionisiertes Gas, das aus freien Elektronen, Lichtquanten, Ionen und neutralen Atomen im angeregten oder Grundzustand besteht, wird als Plasma bezeichnet. Es ist eine besondere

Zustandsform des Stoffes, schirmt elektrische Felder ab und absorbiert äußere magnetische Felder; es läßt Lichtwellen fast ungestört durch, reflektiert oder absorbiert aber Radiowellen bestimmter Frequenzen. Durch ein geeignetes magnetisches Feld kann es wie in einem Gefäß (*magnetische Flasche*) zusammengehalten werden (*Pincheffekt*). Die *Magnetohydrodynamik* untersucht Strömungen im Plasma. Die Fixsterne bzw. die Wolken interstellarer Materie bestehen aus Plasma großer bzw. extrem geringer Dichte. Für technische Zwecke ist von Manfred v. Ardenne ein *Plasmabrenner* entwickelt worden.



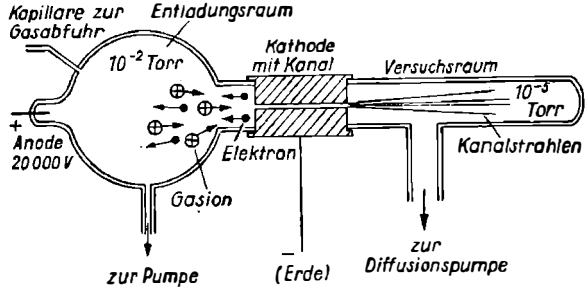
Ablenkung elektrisch geladener Teilchen in einer Ebene in Richtung eines elektrischen Feldes. Die Pfeile an den Teilchen geben die Richtung der Kraftwirkung an

Massenspektrograph. Durch eine Kombination von elektrischen und magnetischen Feldern gelingt es, Kanalstrahlen so abzulenken, daß Ionen *gleicher Massenzahl* und gleicher elektrischer Ladung im selben Punkte einer photographischen Platte auftreffen. Man spricht von *Fokussierung*, insbesondere von Richtungs- bzw. Geschwindigkeitsfokussierung, wenn die in einem Winkelbereich divergierenden Strahlen bzw. Strahlen verschiedener Geschwindigkeit in einem Punkte vereinigt werden; auch *doppeltfokussierende* Massenspektrographen sind konstruiert worden.

Die Fokussierung läßt sich erreichen durch ein elektrisches Feld zwischen ebenen oder zylinderförmig gekrümmten Platten und durch ein zu diesem und der Bewegungsrichtung der Teilchen senkrechtes magnetisches Feld.

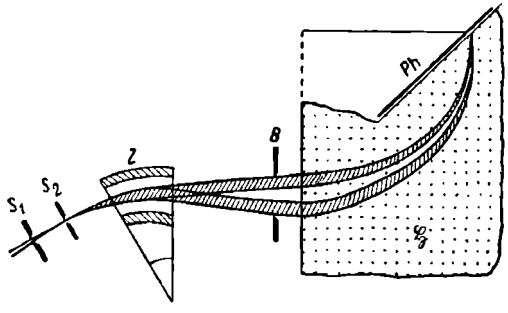
Der erste Massenspektrograph wurde von *Aston* (1919) konstruiert, spätere Verbesserungen stammen z. B. von *Dempster* und von *Mattauch*.

Bis auf 22 Reinelemente sind die übrigen Elemente Gemische verschiedener Atomarten von gleicher Kernladungs-, aber verschiedener Massenzahl. Man nennt sie wegen ihrer gleichen Stellung im Periodensystem der Elemente *Isotope* (griech. *topos*, Ort, Stelle) und kennzeichnet sie durch die *Massenzahl* als linken oberen und die *Kernladungszahl* als linken unteren Index bzw. durch die dem Namen des Elements nachgestellte Massenzahl; z. B. hat Lithium mit einer Kernladungszahl 3 die beiden stabilen Isotope Lithium 6, $^{6}_{3}Li$, und Lithium 7, $^{7}_{3}Li$.



Kanalstrahlen

Da im Massenspektrographen Teilchen mit gleicher elektrischer Ladung in einem Punkte einer photographischen Platte fokussiert werden, wenn sie gleiche Massen haben, und da die Schwärzung an dieser Stelle der Anzahl der aufgetroffenen Teilchen proportional ist, können alle Isotope und die *Häufigkeit* ihres Vorkommens bestimmt werden (*Massenspektrometer*).



Massenspektrograph nach Mattauch und Herzog (schematisch); S_1, S_2 und B Blenden, Z Zylinderkondensator, Ph Photoplatte, φ homogenes Magnetfeld

Für einige Elemente hat man folgende stabile Isotope (und relative Häufigkeiten) gefunden: Wasserstoff 1 (99,985%), 2 (0,015%), 3 (10^{-10}%); Kohlenstoff 12 (98,9%), 13 (1,1%); Sauerstoff 16 (99,76%), 17 (0,04%), 18 (0,2%); Chlor 35 (75,4%), 37 (24,6%); Zinn 112 (0,95%), 114 (0,65%), 115 (0,34%), 116 (14,24%), 117 (7,57%), 118 (24,01%), 119 (8,58%), 120 (32,97%), 122 (4,71%), 124 (5,98%).

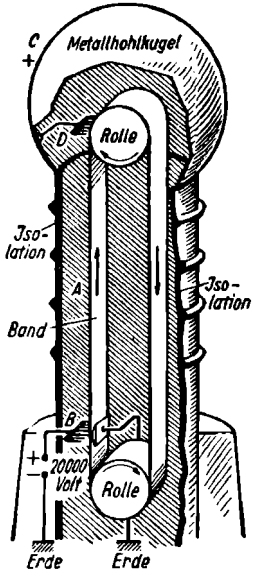
Das *Auflösungsvermögen A* ist der Quotient aus der Masse M und der Massendifferenz ΔM, wenn die Schwärzungen für die Massen M und $(M + \Delta M)$ gerade noch getrennt werden können. Es sind Auflösungsvermögen von $A = 30000$ erreicht worden. Der Massenspektrograph liefert damit die genauesten Atomgewichte.

BESCHLEUNIGUNG UND NACHWEIS DER TEILCHEN

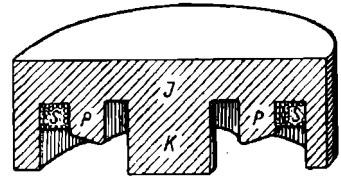
Elektrisch geladene Teilchen erhöhen ihre Geschwindigkeit durch Energieaufnahme aus einem elektrischen Feld. Danach ist eine Energieeinheit benannt worden; ein Elektron als Teilchen mit einer Elementarladung entnimmt einem elektrischen Feld der Spannung 1 Volt die Energie 1 *Elektronenvolt*, 1 eV. Es werden Energien von 300 MeV (300 Megaelektronenvolt, d. h. 300 Millionen eV) für Elektronen bzw. von 30 GeV (30 Gigaelektronenvolt, d. h. 30 Milliarden eV) für Protonen erreicht; noch wirksamere Beschleuniger sind im Bau.

Bei so starken Beschleunigungen kann die Masse der Teilchen nicht mehr als unveränderlich angenommen werden. Nach der *speziellen Relativitätstheorie* ist neben der *Ruhmasse* m_0 die vom Verhältnis ihrer Geschwindigkeit v zur Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum abhängige Masse m zu unterscheiden; für diese veränderliche Masse m gilt $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$. Sie wächst mit zunehmender Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit über alle Grenzen.

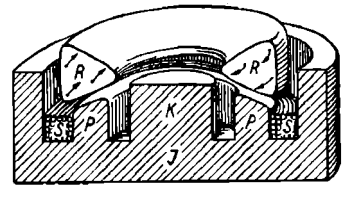
Bandgenerator. Beschleunigungen bis zu einigen MeV können mit *Beschleunigungs-* oder *Ionenrohren* mit mehreren hintereinandergeschalteten Elektroden erreicht werden. Die erforderlichen hohen Spannungen lassen sich mit Bandgeneratoren nach *van de Graaff* erzeugen. Die Wirkungsweise dieser Generatoren beruht darauf, daß im Innern einer hohlen Metallkugel kein Feld herrscht, daß also über ein bewegtes Isolierband Ladung zugeführt werden kann. Die maximal mögliche Spannung hängt von der Durchschlagsfestigkeit der Luft ab, die bei Zusätzen von Tetrachlorkohlenstoff u. a. zu komprimierter Luft besonders hoch ist. In einem Druckkessel (*Druckgenerator*) sind Spannungen von rund 5 Mill. Volt möglich.



links: Schema eines Bandgenerators; A Band, B, D Aufgeben bzw. Abnehmen von Ladungen, C Metallhohlkugel



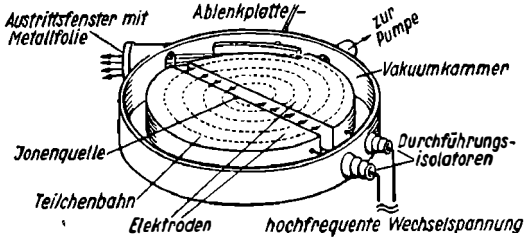
rechts: Schnitt durch ein Betatron; unter dem gehobenen oberen Joch J mit Kern K, Steuerpolschuhen P und primärer Erregerspule S sieht man die Ringröhre R, in der die Elektronen kreisen



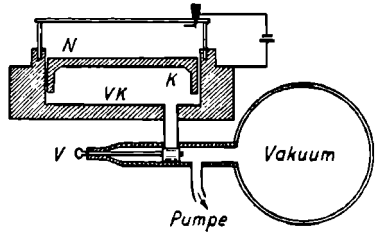
Linearbeschleuniger. Für höhere Beschleunigungen müssen den Teilchen wiederholte Impulse übermittelt werden. Ein Linearbeschleuniger hat zylinderförmige Elektroden, deren zunehmende Länge so mit der Frequenz des beschleunigenden Wechselstroms abgestimmt ist, daß ein Ionenpaket beim Durchfliegen des Raumes zwischen zwei Elektroden stets beschleunigt wird.

Kreisbeschleuniger. In Kreisbeschleunigern wird die Bahn des Teilchens durch ein *magnetisches Führungsfeld* zu einem Kreis geschlossen und durch Änderung des Führungsfeldes auf dieser Bahn gehalten. Die eigentliche Beschleunigung der Elektronen erfolgt im *Betatron* in einem elektrischen Wirbelfeld nach dem Prinzip eines Transformators, der an Stelle einer Sekundärspule eine ringförmige Vakuumkammer R hat, die die Elektronen 100000mal bis 1000000mal durchlaufen. Im *Zyklotron* (*E. O. Lawrence*, 1932) durchlaufen die Protonen, Deuteronen, α-Teilchen und anderen Ionen unter dem Zwang des Führungsfeldes zwei *Duanten*, hohle Elektroden in Form einer halben flachen Dose, und werden von einer an ihnen liegenden Wechselspannung beim Übergang von einem Duant in den anderen beschleunigt. Wegen der Massezunahme bei großen Geschwindigkeiten wird im *Synchrozyklotron* die Frequenz dieser Wechselspannung gegen Ende der Beschleunigung vermindert.

Im *Synchrotron* werden das Führungsfeld und die Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung so aufeinander abgestimmt, daß die Teilchen eine konstante Kreisbahn durchlaufen, im *Synchrophasotron* in Dubna hat sie eine Länge von 208 m.



Beschleunigung geladener Teilchen im Zyklotron (schematisch)



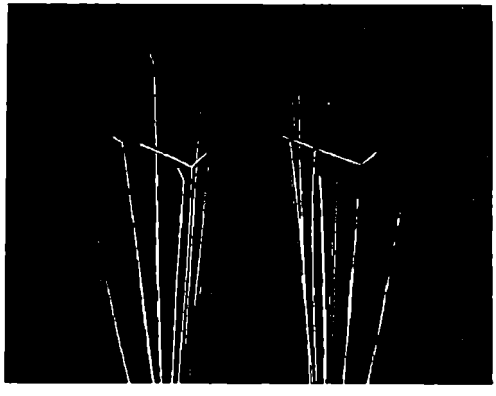
Wilsonsche Nebelkammer (schematisch)

Wirkungsquerschnitt. Korpuskelstrahlen lassen sich durch die *Wechselwirkung*, die sie mit Molekülen, Atomen und anderen stofflichen Teilchen haben, nachweisen. Dabei spielt geometrisch die Fläche, die diese Teilchen der Korpuskel senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung darbieten, eine wichtige Rolle. Sie wird Wirkungsquerschnitt genannt und hat für Moleküle eine Größe von rund 10^{-15} cm², für Kerne von rund 10^{-24} cm². Allgemeiner wird mit Wirkungsquerschnitt die Fläche bezeichnet, auf die die Korpuskel treffen muß, damit die betrachtete Wirkung (Streuung, Absorption u. a.) eintritt. Für Wechselwirkungen mit Atomkernen gilt 1 barn = 10^{-24} cm² als Einheit des Wirkungsquerschnittes. Die Tabelle zeigt für thermische Neutronen die Werte in barn für *Kernspaltung* (Spaltquerschnitt σ_f), für *Neutroneneinfang* (Einfangquerschnitt σ_c) und für *Neutronenstreuung* (Streuquerschnitt σ_s) als Wechselwirkung.

Wirkungsquerschnitte für thermische Neutronen in barn

	σ_f	σ_c	σ_s
Uran 235	590	108	8,2
Uran 238	0	2,8	8,2
natürliches Uran	3,92	3,5	8,2

Wilsonsche Nebelkammer. Fliegt ein geladenes Teilchen durch ein Gas, so spaltet es durch Stoß oder in Wechselwirkung mit seiner Ladung Elektronen aus den Gasmolekülen ab, es ionisiert sie längs seiner Bahn. Um Ionen als *Kondensationskerne* setzen sich bei *Nebelbildung* aber die ersten Wassertröpfchen ab.

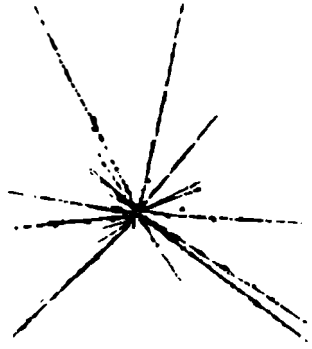


Zusammenstoß eines α-Teilchens mit einem Sauerstoffatom; der kürzere Teil der Gabel ist die Rückstoßbahn des Sauerstoffatoms

Das Gas in der Nebelkammer *N* wird mit Wasserdampf gesättigt. Durch das Ventil *V* wird die Vorkammer *VK* mit einem Vakuum verbunden, der Kolben *K* rückt nach unten und der Wasserdampf in der Nebelkammer *N kühlt sich durch die plötzliche Ausdehnung ab.* Die in diesem Augenblick entstehenden Nebeltröpfchen markieren also die Bahn des Teilchens, die photographiert werden kann. Das Bild zeigt zwei aus verschiedenen Richtungen gemachte Aufnahmen desselben Vorgangs: des Zusammenstoßes eines α-Teilchens mit einem Sauerstoffkern. Aus solchen Bildern läßt sich die genaue Lage jeder Bahn im Raume berechnen. Zugleich erkennt man auf den Bildern die *Reichweite* der α-Strahlen. Durch Verlust seiner kinetischen Energie und durch Einfangen von Elektronen wird das α-Teilchen ein Heliumatom, das nicht mehr ionisierend wirkt. Die Reichweite hängt von der Anfangsgeschwindigkeit oder der Energie des Teilchens ab.

Durchsetzt während der Aufnahme ein magnetisches Feld die Wilsonsche Nebelkammer senkrecht, so wird die Bahn eines Elektrons gekrümmt. 1932 fand *C. D. Anderson* in der Aufnahme einer von Höhenstrahlung durchsetzten Kammer zwei entgegengesetzt gekrümmte Bahnen; er hatte damit das 1928 von *P. A. M. Dirac* vorausgesagte *Positron*, das Elektron mit positiver Elementarladung, entdeckt.

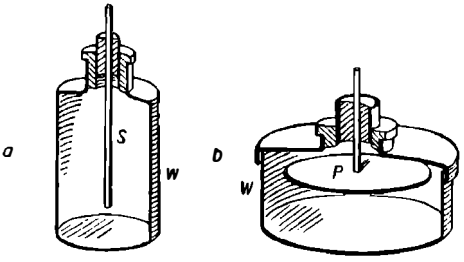
Blasenkammer. *D. Glaser* fand für energiereiche Korpuskularstrahlen ein neues Nachweisverfahren. In einem Gefäß wird eine durchsichtige *Flüssigkeit* in der Nähe des Siedepunktes durch plötzliche Druckverminderung *überhitzt*. Um die von einem durchgehenden Teilchenstrahl gebildeten Ionen entstehen durch örtliches Aufheben des Siedeverzugs *Dampfblasen*, die photographiert werden können und die Bahnspur der Teilchen sichtbar machen.



Photographische Aufnahme von Kernspuren

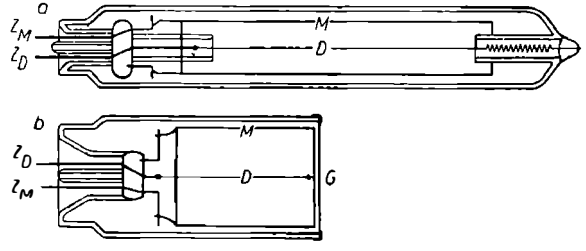
Kernplatten. Durchsetzt ein Korpuskularteilchen eine Photoemulsion vom vierfachen Bromsilbergehalt bei einem Durchmesser von 0,1 bis 0,6 μm eines Bromsilberkörnchens gegenüber 1 bis 3 μm in optischen Platten, so wird die Bahnspur ionisierender Teilchen nach dem Entwickeln als Folge schwarzer Silberkörnchen im Mikroskop sichtbar.
Diese Kernplatten lassen sich im Laboratorium verwenden, können aber auch durch Trägerraketen oder Ballone in große Höhen getragen werden und Beobachtungsmaterial liefern für die aus dem Weltenraum auftreffenden Korpuskularstrahlen. Dabei wurde eine große Anzahl neuer Teilchen, besonders *Mesonen*, entdeckt. Vereinzelt fanden sich auch *Zertrümmerungssterne*, wenn ein Kern der Emulsion durch eine energiereiche Korpuskel vollständig in kleinere Bruchstücke zerlegt wurde.

Ionisationskammern. Marie Curie verwendete in ihren Untersuchungen der Joachimsthaler Pechblende Elektroskope, um zu entscheiden, welcher Stoff stärker strahlt. Die im Gasraum des Instruments durch die Strahlung erzeugten Ionen führten je nach ihrer Anzahl zu einer mehr oder minder schnellen Entladung. In den Ionisationskammern wird dieser Effekt mit der Abänderung benutzt, daß zwischen einer Platte P bzw. einem Stab S und der Wand W ein konstantes Potential aufrechterhalten wird. Durch die Kammer fließt dann ein durch die Ionen verursachter Strom, der unter bestimmten Voraussetzungen ein Maß für die Intensität der einfallenden Strahlung ist. Als Füllung der Kammern werden Edelgase, reiner Wasserstoff, Stickstoff und andere Gase verwendet. Mit einer Füllung von Bortrifluorid oder mit Borschichten, die auf der Wand angebracht worden sind, lassen sich auch langsame *Neutronen* nachweisen, da durch eine Reaktion in den Borkernen beim Auftreffen von Neutronen Protonen frei werden, die die Gase in der Kammer ionisieren.



a Zylinder-, b Parallelplattenionisationskammer; P Platte, S Stab, W Wand

Geiger-Müller-Zählrohre. Die Eigenschaft jedes Korpuskularteilchens, beim Durchfliegen die Moleküle eines Gases zu ionisieren, haben die Physiker *H. Geiger* und *W. Müller* zum Nachweis der Teilchen ausgenutzt. In der Achse eines zylinderförmigen Glasrohres ist ein Draht D isoliert ausgespannt, der eine positive Spannung von rund 1000 Volt gegen den Zählrohrmantel M hat.



Geiger-Müller-Zählrohr; a zum Nachweis von kosmischen und γ-Strahlen, b Glockenform zum Nachweis weicher Strahlen; D Draht, M Mantel, Z_D, Z_M Zuleitungen der Spannung, G Glimmerfenster

Das Zählrohr ist mit einem Edelgas (z. B. Argon von 100 Torr) gefüllt, das Zusätze von Alkohol oder anderen organischen Dämpfen hat. Die von einem eindringenden Korpuskularteilchen gebildeten Ionen werden durch die angelegte Spannung beschleunigt und rufen durch *Stoßionisation* eine kurz dauernde Entladung hervor, die an dem sehr hohen Widerstand der Stromzuleitung einen Spannungsimpuls verursacht. Mittels eines Verstärkers und eines elektronischen Impulszählers können die das Rohr durchsetzenden Teilchen gezählt werden.

Elementarteilchen

Gruppe	Name	Symbol	Spin	Ruhmasse: bezogen auf die Ruhmasse m_e des Elektrons	Ruhmasse: Energieäquivalent in MeV	Halbwertszeit
	Photon	γ	1	0	0	∞
Leptonen	Neutrino	ν	$\frac{1}{2}$	0	0	∞
	Antineutrino	$\bar{\nu}$	$\frac{1}{2}$	0	0	∞
	Elektron	e^-	$\frac{1}{2}$	1	0,510985	∞
	Positron	e^+	$\frac{1}{2}$	1	0,510985	∞
Mesonen	μ-Mesonen	μ^-	$\frac{1}{2}$	206,9	105,7	$1{,}54 \cdot 10^{-6}$
		μ^+	$\frac{1}{2}$	206,9	105,7	$1{,}54 \cdot 10^{-6}$
	π-Mesonen	π^+	0	273,3	139,6	$1{,}77 \cdot 10^{-8}$
		π^-	0	273,3	139,6	$1{,}77 \cdot 10^{-8}$
		π^0	0	264,3	135,0	$3 \cdot 10^{-16}$
	K-Mesonen	K^+	0	966	494	$0{,}85 \cdot 10^{-8}$
		K^-	0	966	494	$0{,}85 \cdot 10^{-8}$
		K^0	0	974	498	$\approx 0{,}7 \cdot 10^{-10}$
Nukleonen	Proton	p	$\frac{1}{2}$	1836,12	938,21	∞
	Antiproton	$\bar{p}$	$\frac{1}{2}$	1836,12	938,21	∞
	Neutron	n	$\frac{1}{2}$	1838,64	939,50	≈ 700
	Antineutron	$\bar{n}$	$\frac{1}{2}$	1838,64	939,50	≈ 700
Hyperonen	Lambda-Teilchen	Λ^0	$\frac{1}{2}$	2183	1115,5	$1{,}7 \cdot 10^{-10}$
	Sigma-Teilchen	Σ^+	$\frac{1}{2}$	2328	1189,5	$0{,}6 \cdot 10^{-10}$
		Σ^-	$\frac{1}{2}$	2341	1196	$1{,}1 \cdot 10^{-10}$
		Σ^0	$\frac{1}{2}$	2333	1192	kleiner als 10^{-11}
	Xi-Teilchen	Ξ^-	?	2581	1319	$\approx 1{,}5 \cdot 10^{-10}$
		Ξ^0	?	≈ 2570	≈ 1310	$\approx 10^{-10}$

Die μ-Mesonen werden oft zu den Leptonen gerechnet. Von den Antiteilchen der Hyperonen sind bislang Anti-Sigma-Plus, $\overline{\Sigma^+}$, und Anti-Sigma-Minus, $\overline{\Sigma^-}$, nachgewiesen worden. Für Teilchen und Antiteilchen sind aus theoretischen Gründen die Massen und die Halbwertszeiten gleich.

Mit diesen Zählrohren lassen sich α-, β- und γ- sowie kosmische Strahlen nachweisen. Für weiche Strahlung, die schon von der Glaswand stark absorbiert wird, ist ein Zählrohr in *Glockenform* entwickelt worden, das an der Stirnseite durch ein Fenster G aus Glimmer von geringer Dicke abgeschlossen ist. In dem Glimmer wird die Strahlung nur wenig absorbiert.

ELEMENTARTEILCHEN

Als Elementarteilchen bezeichnet man Grundbausteine der Materie, die mit den heutigen Mitteln der Physik nicht weiter zerlegt werden können, die sich aber in vielen Reaktionen ineinander umwandeln können. Das Wissen um die Elementarteilchen ist noch lückenhaft; insbesondere ist es noch nicht gelungen, die Anzahl aller möglichen Elementarteilchen und eine natürliche Systematik abzuleiten. Der Masse nach unterscheidet man leichte (*Leptonen*), mittelschwere (*Mesonen*), schwere (*Nukleonen*) und überschwere (*Hyperonen*) Elementarteilchen; in der Tabelle sind die Massen in Vielfachen der Elektronenmasse ($m_e = 0{,}9108 \cdot 10^{-27}$ g) angeführt. Die *elektrische Ladung* ist als rechter oberer Index am Symbol angegeben; es treten eine positive (+), eine negative (−) oder keine (0) Ladung auf; beim Proton p bzw. beim Antiproton $\bar{p}$ wird die Ladung (+) bzw. (−) gewöhnlich nicht angegeben. Den *Spin* eines Elementarteilchens kann man sich in einem anschaulichen, wenn auch nicht exakten Modell als Drall, als Rotation des Elementarteilchens um eine Achse vorstellen. Er kann nur ganz- oder halbzahlige Vielfache des durch 2π geteilten Planckschen Wirkungsquantums h betragen. Elementarteilchen mit dem Spin $h/4\pi$ werden als *Fermionen*, die übrigen als *Bosonen* bezeichnet. Für zerfallende Elementarteilchen ist die *Halbwertszeit* $T_{1/2}$ angegeben. Nach Dirac existiert zu jedem Fermion ein *Antiteilchen*, das dieselbe Masse, aber entgegengesetzte elektrische Ladung und ein entgegengesetztes magnetisches Moment hat. Teilchen und Antiteilchen können entstehen, wenn bestimmte Korpuskeln auf Materie treffen; aus γ-Quanten erhält man z. B. einen *Elektronenzwilling* (Elektron und Positron) oder ein *π-Mesonenpaar* (π^+- und π^--Meson), aus π-Mesonen dagegen ein *Protonenpaar* (Proton p und Antiproton $\bar{p}$). Allerdings muß die Energie E der auftreffenden Korpuskel mindestens so groß sein, wie den Ruhmassen m_0 des Teilchenpaares nach der Einsteinschen Gleichung $E = m_0 c^2$ (c Lichtgeschwindigkeit) entspricht; das sind rund 1 MeV für den Elektronenzwilling, 280 MeV für das π-Mesonenpaar bzw. 1900 MeV für das Protonenpaar. Antiteilchen können nur eine sehr kurze Zeit existieren — auch wenn sie selbst stabil sind —, da sie sich beim Zusammentreffen mit Materie sofort mit einem (dem betreffenden Antiteilchen) entsprechenden Teilchen vereinigen, wobei die zur Paarerzeugung aufgewendete Energie wieder frei wird.

KERNREAKTIONEN

Der Atomkern. Der Durchmesser des inneren, positiv geladenen Teils jedes Atoms ist nur rund der 10000. Teil von dem des Atoms. Dieser Kern ist aus Protonen und Neutronen aufgebaut, die unter dem Oberbegriff *Nukleonen* zusammengefaßt werden, und enthält 99,95% der Masse des Atoms. Die Anzahl der *Protonen* bestimmt die *Kernladungszahl* und damit die chemische Natur des Kerns. Die Anzahl aller Nukleonen heißt *Massenzahl*. Die Summe der Massen der Protonen und der Neutronen im Kern ist aber um den *Massendefekt* größer als die wirkliche Masse des Kerns. Der Massendefekt Δm ist ein Maß für die Bindungsenergie E, die beim Zusammentreten der Nukleonen zum Kern frei geworden ist nach der Einsteinschen Gleichung $E = \Delta m \cdot c^2$, in der c die Vakuumgeschwindigkeit des Lichts ist; z. B. ist die Bindungsenergie eines Heliumkerns 28,2 MeV; bei der Bildung von 1 g Helium würden danach 162 Mill. kcal frei, eine Wärmemenge, die dem Heizwert von 20 t Steinkohle entspricht. Kerne mit gleicher Protonen-, aber verschiedener Neutronenzahl werden *Isotope* genannt, Kerne, die sich bei gleicher Protonen- und Neutronenzahl durch den verschiedenen Energieinhalt unterscheiden, *Kernisomere*, wenn ihre Lebensdauer größer als 10^{-10} s ist. Der Oberbegriff für eine Atomkernart, bei der auch der Energieinhalt berücksichtigt wird, ist *Nuklid*. Von den 103 bekannten Elementen kennt man rund 1100 Isotope, etwa 300 davon sind stabil.



Tröpfchenmodell; der schwingende angeregte Kern spaltet sich in zwei

Für den Aufbau des Kerns gibt es noch keine anschauliche Vorstellung, wohl aber einige *Kernmodelle*, die jedes bestimmte Seiten des Kernverhaltens widerspiegeln. *Bohr* z. B. verglich den Kern mit einem *Sandsack*, da sich ähnlich wie beim Auftreffen eines Geschosses auf diesen die Energie eines von außen eindringenden Nukleons in kurzer Zeit auf alle möglichen Freiheitsgrade im Kern verteilt.

Frenkel legt dagegen seinen Berechnungen ein *Tröpfchenmodell* zugrunde. Den Anziehungskräften im Tropfen entsprechen *Kernkräfte* zwischen den Nukleonen, die auch eine der Oberflächenspannung ähnliche Erscheinung hervorrufen. Die Energie eines auftreffenden weiteren Nukleons verteilt sich regellos auf die Kernteilchen und erhöht die „*Temperatur*" des Tröpfchens; der Kern ist im angeregten Zustand. Konzentriert sich die Energie auf einzelne Nukleonen, so können diese „*verdampfen*", d. h. den Kern verlassen. Bei erhöhter Temperatur sind auch Einschnürungen der Oberfläche möglich, die zur Teilung des Tropfens führen, also zu einer *Kernspaltung*. Bei genügend

	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134
81 Tl		β^-,K ~3,6 a Tl		β^- 4,2 m RaE''	β^- 4,8 m AcC''	β^- 3,1 m ThC''	β^- 2,2 m Tl	β^- 1,3 m RaC''					
82 Pb	α $1{,}4\cdot10^{17}$ a Pb	K $5\cdot10^{7}$ a Pb				β^- 3,3 h Pb	β^- 19,4 a RaD	β^- 36 m AcB	β^- 10,6 h ThB		β^- 26,8 m RaB		
83 Bi	β^+,K 74,5 d Bi	K 6,4 d Bi	K 8 a Bi	K $\sim3\cdot10^{4}$ a	α ? $>2\cdot10^{18}$ a Bi	$\beta^-(\alpha)$ 5,0 d RaE	α,β^- 2,16 m AcC	α,β^- 60,5 m ThC	α,β^- 47 m Bi	$\alpha,(\beta^-)$ 19,7 m RaC	β^- 8 m Bi		
84 Po	α,K 6,8 d Po	α,K,β^+ 5,7 h Po	α,K 2,93 a Po	α,K 103 a Po	α 138,4 d RaF	α 0,5 s AcC'	α $3\cdot10^{-7}$ s ThC'	α $4{,}2\cdot10^{-6}$ s Po	α $1{,}6\cdot10^{-4}$ s RaC'	α,β^- $1{,}8\cdot10^{-3}$ s AcA	α 0,158 s ThA	α < 10 s Po	α,β^- 3,05 m RaA
85 At	α,K 1,8 h At	K 6,3 h At	α,K 5,5 h At	α,K 8,3 h At	α,K 7,2 h At	α 0,22 s At	α $\sim10^{-6}$ s At	α $\sim2\cdot10^{-6}$ s At	α $\sim10^{-4}$ s At	α $\sim3\cdot10^{-4}$ s At	α 0,02 s At	α,β^- ~2 s At	α,β^- 0,9 m At
86 Rn	α,K 23 m Rn	α,K 30 m Rn	α,K 2,7 h Rn	α,K 15 h Rn	α 23 m Rn			α $\sim10^{-6}$ s Rn	α $\sim10^{-4}$ s Rn	α $\sim10^{-3}$ s Rn	α 0,019 s Rn	α 3,9 s An	α 51,5 s Tn
87 Fr				α,K 19,3 m Fr					α kurz Fr	α $5\cdot10^{-3}$ s Fr	α 0,02 s Fr	α 27,5 s Fr	α 4,8 m Fr
88 Ra				α 2,7 m Ra						α $\sim10^{-3}$ s Ra	α 0,03 s Ra	α 30 s Ra	α 38 s Ra
89 Ac											α < 1 s Ac	α 5,5 s Ac	α,K 2,2 m Ac
90 Th												α ~0,1 s Th	α ~1 s Th
91 Pa													α 2,0 s Pa
92 U													

Die wichtigsten

135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148
			Die wichtigsten Radionuklide mit den Kernladungszahlen Z = 81...92 und den Neutronenzahlen N=122...148; jedes Nuklid ist nach der Teilbarkeit seiner Massenzahl M=Z+N durch 4 dargestellt. s Sekunde m Minute d Tag a Jahr M = 4n M = 4n+1 M = 4n+2 M = 4n+3								
α,β^- 25 m Rn'	α 3,8 d Rn												
α,β^- 14,8 m Fr	$(\alpha),\beta^-$ 22 m Ac K												
α_1 11,7 d Ac X	α 3,64 d Th X	β^-_1 14,8 d Ra	α 1620 a Ra	β^-_1 4,2 m Ra	β^- 6,7 a MsTh1	β^-_1 kurz Ra	β^- 1 h Ra						
α,K 2,9 h Ac	α_1 10,0 d Ac	β^-,K 29 h Ac	α,β^- 21,8 a Ac	β^- 6,13 h MsTh2	β^-_1 66 m Ac	β^- <1 m Ac							
α,K 8,0 m Th	α 30,9 m Th	α_1 18,2 d Rd Ac	α 1,9 a Rd Th	α_1 7340 a Th	α $8\cdot10^4$ a Io	β^-_1 25,6 h U	α $1{,}4\cdot10^{10}$ a Th	β^- 22,4 m Th	β^- 24,1 d UX_1	$[\beta^-]$ <5 m Th			
α 1,8 m Pa	α,K 38,3 m Pa	α,K 22 h Pa	α,K 1,5 d Pa	$(\alpha),\beta^+$K 17,4 d Pa	α_1 $3{,}4\cdot10^4$ a Pa	β^- 1,3 d Pa	β^-_1 27,0 d Pa	β^- 6,7 h UZ	β^-_1 2,37 m Pa		β^- 10,5 m Pa		
α_1 1,9 m U	α,K 9,3 m U	α,K 5,8 m U	α 20,8 d U	α,K 4,5 d U	α 73,6 a U	α_1 $1{,}6\cdot10^5$ a U	α $2{,}5\cdot10^5$ a UII	α_1 $6{,}8\cdot10^8$ a Ac U	α $2{,}4\cdot10^7$ a U	β^-_1 6,8 d U	α $4{,}5\cdot10^9$ a UI	β^-_1 23,5 m U	β^- 14,1 h U

Radionuklide

hoher Temperatur kann der gesamte Tropfen verdampfen bzw. der Kern vollständig zertrümmert werden. Nach dem *Schalenmodell* schließlich sollen die Nukleonen im Kern ähnlich den Elektronen in der Atomhülle auf diskrete Schalen verteilt sein. So wie dort die Edelgasschalen, sollen hier die mit 2, 8, 20, 28, 50, 82 oder 126 Nukleonen besetzten Schalen besonders stabil sein, wie es für die Kerne von Helium, $^{4}_{2}He$, Sauerstoff, $^{16}_{8}O$, Blei, $^{208}_{82}Pb$, u. a. auch zutrifft.

Radioaktiver Zerfall. Eine Reihe von Kernen, *Radionuklide* genannt, sind von Natur aus instabli. Sie stoßen nach einer charakteristischen mittleren Lebensdauer ein Teilchen aus dem Kern und wandeln sich in andere Kerne um. Die Erscheinung wird *Radioaktivität* genannt; die auftretenden Strahlungen α-, β- bzw. γ-Strahlen. Die *α-Strahlen* sind schnell bewegte, doppelt positiv geladene Heliumionen, $^{4}_{2}He^{++}$, die *β-Strahlen* Elektronen und die *γ-Strahlen* Photonen großer Energie. Das Auftreten von α-Teilchen findet in der dem großen Massendefekt entsprechenden Bindungsenergie dieser Teilchen seine Begründung; eine Zeitlang wurde sogar angenommen, daß α-Teilchen im Kern enthalten sind. Elektronen bilden sich im Kern beim Übergang eines Neutrons in ein Proton. Bei einem Mangel an Neutronen, der bei künstlichen Radionukliden auftritt, werden auch *Positronen*, entsprechend einer Umwandlung eines Protons in ein Neutron, ausgesendet. Im *K-Einfang* oder *Elektroneneinfang* schließlich geht ein Elektron der *K*-Schale der Atomhülle in den Kern über (ein Proton wird zum Neutron), und durch Quantensprung eines Hüllenelektrons einer äußeren in die *K*-Schale wird ein *Röntgenquant* ausgesendet.

Durch den radioaktiven Zerfall entsteht ein Nuklid eines neuen Elements; die Tabelle zeigt die Änderungen der Massenzahl *M*, der Kernladungszahl *Z* und der Neutronenzahl *N*:

	α-Strahl	β-Strahl	Positronstrahl	*K*-Einfang
M	−4	0	0	0
Z	−2	+1	−1	−1
N	−2	−1	+1	+1

Man weiß nicht, wann ein bestimmtes Radionuklid zerfällt; jedes Radionuklid kann aber gekennzeichnet werden durch seine *Halbwertszeit*, d. h. die Zeit, in der die Hälfte seiner Kerne zerfallen sein wird. Die Halbwertszeiten $T_{1/2}$ schwanken zwischen großen Grenzen; für Thorium 232, $^{232}_{90}Th$, ist $T_{1/2} = 1{,}8 \cdot 10^{10}$ Jahre; für Radon, $^{222}_{86}Rn$, ist $T_{1/2} = 3{,}825$ Tage und für das Poloniumisotop, $^{212}_{84}ThC'$, ist $T_{1/2} = 10^{-9}$ Sekunden.

Radionuklide der Transurane

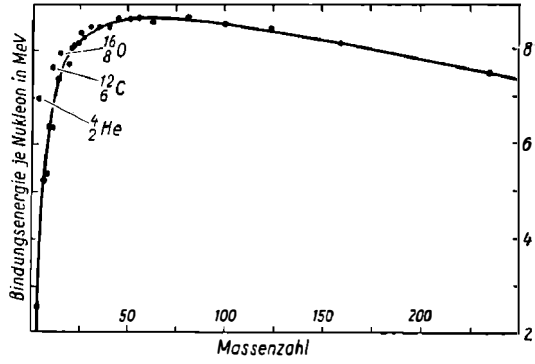
Ordnungszahl *Z* und Name		Neutronenzahl	größte und kleinste Halbwertszeit mit Neutronenzahl			
Z		*N*	*N*	$T_{1/2}$	*N*	$T_{1/2}$
93	Neptunium	138···148	144	10^6 a	147	7,3 min
94	Plutonium	138···152	145	24360 a	143	0,18 s
95	Amerizium	142···151	148	7950 a	151	25 min
96	Curium	142···154	151	$4 \cdot 10^7$ a	153	64 min
97	Berkelium	146···153	150	10^4 a	153	3,2 h
98	Kalifornium	146···156	153	800 a	146	25 min
99	Einsteinium	147, 149···157	155	480 d	157	kurz
100	Fermium	150···156	153	4,5 d	150	30 min
101	Mendelevium	156, 157	157	1,5 h	156	30 min
102	Nobelium	149, 151, 152	150	10 min	152	3 s
103	Lawrencium	154	?	?	?	?

a: Jahre, d: Tage, h: Stunden, min: Minuten, s: Sekunden

In der Tabelle sind die wichtigsten Radionuklide, nach der *Kernladungszahl Z* (Zeilen) und der Neutronenzahl *N* (Spalten) geordnet, wiedergegeben; die Massenzahlen *M* ergeben sich leicht durch Addition $M = Z + N$. Von jedem Radionuklid sind die Strahlung, die Halbwertszeit und das chemische Zeichen angegeben; heute werden alle Isotope (Zeile) mit demselben Zeichen gekennzeichnet, früher suchte man genetische oder andere Zusammenhänge in den Zeichen auszudrücken. Außer Zusatzzeichen wie A, B, C', C'' u. a. traten auch neue Namen auf, wie Mesothorium 1 und 2, Ms Th_1 und Ms Th_2, Radioaktinium bzw. -thorium, Rd Ac bzw. Rd Th.

Man unterscheidet vier *radioaktive Zerfallsreihen*, je nachdem, ob die Massenzahlen $M = Z + N$ der Elemente die Form $4n$, $(4n + 1)$, $(4n + 2)$ oder $(4n + 3)$ haben. Drei davon sind die *natürlichen Zerfallsreihen* zum Unterschied von der *Neptuniumreihe* $M = (4n + 1)$, die mit Transuranen beginnt und in der Natur nicht vorkommt; *Transurane* sind künstlich hergestellte Elemente mit den Ordnungszahlen 93 bis 103 jenseits also des Urans.
Für die Radionuklide der im Periodensystem jenseits des Urans stehenden Transurane nimmt die Halbwertszeit $T_{1/2}$ im allgemeinen schnell ab. Alle diese Kerne sind künstlich hergestellt, besonders die großer Ordnungszahl nicht in wägbaren Massen, sondern in Mengen von Tausenden oder weniger Kernen. Die Angaben der Tabelle können deshalb nicht für vollständig angesehen werden.

Künstliche Kernreaktionen. Als erstem gelang es 1919 *Rutherford*, ein stabiles Nuklid in ein anderes umzuwandeln. Er bestrahlte Stickstoff, $^{14}_{7}N$, mit α-Teilchen und erhielt unter Ausstrahlung eines Protons p das Sauerstoffisotop $^{17}_{8}O$; dafür schreibt man kurz $^{14}_{7}N + \alpha = {}^{17}_{8}O + p$ oder $^{14}_{7}N\,(\alpha, p)\,{}^{17}_{8}O$. Allgemein geht ein Kern A durch Aufnahme eines Teilchens a in einen Zwischenkern zwischen $(A + a)$ und $(B + b)$ und danach durch Aussenden des Teilchens b in den Endkern B über.
In *Einfangs-* und *Anlagerungs*reaktionen wird nur der Energieüberschuß als γ-Quant abgegeben, z. B. bei der Anlagerung eines Protons p bzw. eines Neutrons n an Fluor, $^{19}_{9}F\,(p, \gamma)\,{}^{20}_{10}Ne$ bzw. $^{19}_{9}F\,(n, \gamma)\,{}^{20}_{9}F$. Im *Kernphotoeffekt* wird ein γ-Quant (a) aufgenommen, während das ausgestoßene Teilchen b meist ein Neutron (*Photoneutron*) ist. Hat das auftreffende Teilchen sehr große Energie (rund 10^{12} eV), so zerfällt der Kern in seine Teile (*Kernexplosion*). Er kann auch in mehrere größere Bruchstücke zerfallen (*Spallation*). Die technisch wichtigsten Kernreaktionen sind die Kernspaltung und die Kernverschmelzung.
In der Abbildung sieht man, daß die *Bindungsenergie je Nukleon* für Massenzahlen um 50 am größten ist, daß also Energie gewonnen werden kann entweder durch Verschmelzen zweier leichterer Kerne oder durch Spaltung schwerer Kerne, weil sowohl die Bindungsenergie je Nukleon für den vereinigten Kern wie auch für die der Spaltstücke größer ist.



Bindungsenergie in MeV je Nukleon von stabilen Kernen in Abhängigkeit von der Massenzahl

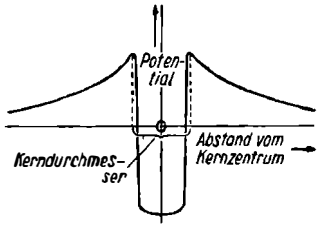
Kernverschmelzung, Kernfusion. Die Kernverschmelzung ist bislang für das Deuteron d oder ^{2}H, das Triton ^{3}H und die Lithiumsisotope 6 und 7 untersucht worden und liefert die in der Tabelle angegebenen Energien.

Fusionsreaktionen	Energie je Reaktion in MeV
^{2}H (d, n) ^{3}He	3,25
^{2}H (d, p) ^{3}H	4
^{3}H (d, n) ^{4}He	17,6
^{3}He (d, p) ^{4}He	18,3
^{6}Li (d, α) ^{4}He	22,4
^{7}Li (p, α) ^{4}He	17,3

Für ein Gramm Deuterium erhält man nach den ersten beiden Umsetzungen ein *Energieäquivalent* von 10 t Steinkohle. Um allerdings die Reaktionen einzuleiten, sind Energien zwischen 10 und 100 keV nötig, wobei in einem vollionisierten *Plasma* einer Energie von 1 keV eine Temperatur von 11,6 Mill. °K entspricht. Nach dem *Pincheffekt* läßt sich das Plasma auch durch Magnetfelder zusammen- und von den Wänden abhalten. Wegen der fast unerschöpflichen Rohstoffvorräte an Wasser und Lithium und weil die Reaktionsprodukte zum Unterschied von denen in Spaltungsreaktoren nicht radioaktiv sind, wäre die technische Durchführung dieser Reaktion von großem Wert; sie ist bislang noch nicht gelungen.

Kernspaltung. Für die im Anschluß an *Rutherford* unternommenen Versuche, Kernreaktionen durch Beschuß des Kerns mit schnellen Teilchen einzuleiten, ergab sich die Schwierigkeit, daß sich zwar elektrisch geladene Teilchen, wie Protonen, Deuteronen und schwerere Ionen, durch elektrische und magnetische Felder beschleunigen lassen, daß sie aber eine große Abstoßungskraft des positiv geladenen Kerns überwinden müssen. Durch den beständigen Austausch von Mesonen bei der wechselseitigen Umwandlung von Protonen und Neutronen ineinander entstehen die *Kernkräfte*; im Wechselspiel zwischen ihnen und den elektrischen Abstoßungskräften der Protonen bilden sich die Kräfte aus, die ein positiv geladenes Teilchen in der Nähe des Kerns überwinden muß. Stellt man sie durch ein Potential dar, so ergibt sich ein *Potentialwall*, auch *Coulomb-Barriere* genannt.

Stellt man sich in einem mechanischen Modell die Nukleonen und andere geladene Teilchen, wie Deuteron oder α-Teilchen, als schwere Kugeln vor, so zeigt der Potentialwall anschaulich, daß nur Teilchen mit genügend großer Energie bzw. Geschwindigkeit in den Kern eindringen oder ihn verlassen können. Nur für einige Teilchen besteht unter bestimmten Voraussetzungen eine Wahrscheinlichkeit dafür, den Potentialwall wie in einem Tunnel zu durchqueren (*Tunneleffekt*). Für ungeladene Teilchen existiert diese Coulomb-Barriere nicht. Nach der Entdeckung des *Neutrons* wurde deshalb versucht, Kernreaktionen mit ihm einzuleiten.



Potentialwall um einen Atomkern

Bei Versuchen dieser Art entdeckten *Otto Hahn* und *Fritz Straßmann* 1938 die *Kernspaltung*, die Zerlegung des Kerns in zwei Bruchstücke mit mittleren Massenzahlen. Spaltbar sind alle Nuklide mit einer größeren Kernladungszahl Z als die vom Platin; für Kerne mit Kernladungszahlen über der des Urans steigt sogar die Wahrscheinlichkeit einer *spontanen Kernspaltung* stark an; technisch werden nur Uran 233, Uran 235 und Plutonium 239 als *spaltbares Material* benutzt. Für Uran 235 kennt man über 200 Spaltprodukte, ihre Massenzahlen liegen am häufigsten bei 95 und bei 140.

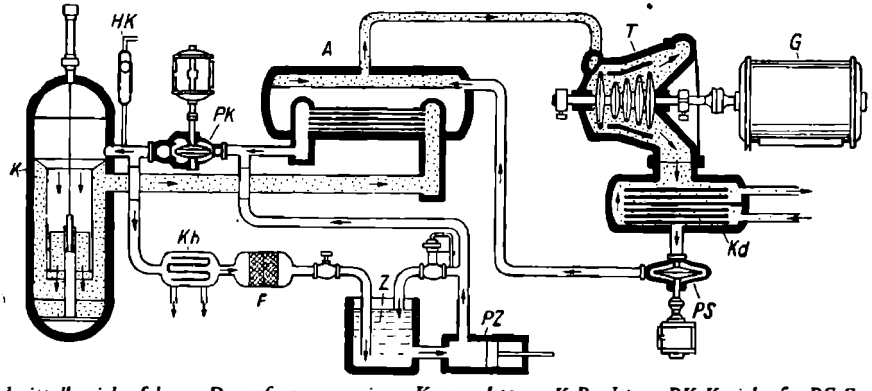
Schon 1934 hatte das Ehepaar *Frédéric* und *Irène Joliot-Curie* entdeckt, daß die aus künstlichen Kernreaktionen entstandenen Kerne oft radioaktiv, und zwar meist β-Strahler (Elektronen oder Positronen) sind. Auch die *Produkte der Kernspaltung* sind *radioaktiv*. Insbesondere aber senden sie in Zeiten zwischen 10^{-5} s und 50 s *Neutronen* aus, wie *Frédéric Joliot* fand. Diese Neutronen können in benachbarte Kerne eindringen. Sind diese spaltbar, so entwickelt sich eine *Kettenreaktion*, wenn mindestens eines der ausgestoßenen Neutronen einen neuen Kern spaltet. Die Kettenreaktion kann dadurch geregelt werden, daß die Anzahl der freien Neutronen durch *Regelstäbe* aus Borstahl oder Kadmium vermindert wird.

Durch Eindringen von Neutronen in nicht spaltbare Nuklide, z. B. Uran 238, können Kernreaktionen eingeleitet werden, die auf neues spaltbares Material führen (*Konversion*); auf Plutonium 239 führt die Reaktion $^{238}_{92}\mathrm{U}\ (\mathrm{n},\gamma)\ ^{239}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$, auf Uran 233 dagegen die Reaktion $^{232}_{90}\mathrm{Th}\ (\mathrm{n},\gamma)\ ^{233}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\beta} {}^{233}_{91}\mathrm{Pa} \xrightarrow{\beta} {}^{233}_{92}\mathrm{U}$.

Der Geschwindigkeit der Neutronen bzw. ihrem Energieinhalt E nach unterscheidet man *schnelle* ($E > 100000$ eV), *thermische* ($E < 0{,}1$ eV) und dazwischen *epithermische Neutronen*. Die Geschwindigkeit kann mittels *Moderatoren* (z. B. schweres Wasser, Graphit) herabgesetzt werden, indem die Neutronen durch Stoß in Energieaustausch mit den Kernen des Moderators treten, ohne absorbiert zu werden. Bei geeigneter Anordnung des Moderators kann er als *Reflektor* dienen, die Bewegung der Neutronen in eine bestimmte Richtung verhindern und sie in einem Gebiet konzentrieren.

KERNREAKTOR

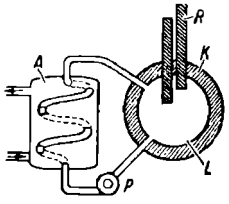
Eine technisch geregelte Kernspaltung findet im Kernreaktor statt. Die durch die Reaktion freigesetzte Energie tritt als Wärmeenergie auf und wird durch einen *Kühlmittelkreislauf* abgeführt. Von Bedeutung für diesen Kühlmittelkreislauf ist der Wärmeaustauscher A; in ihm ist der radioaktiv verseuchte Reaktorkreislauf durch Wärmeaustausch mit dem Turbinenkreislauf verbunden.



Kühlmittelkreislauf bzw. Dampferzeuger eines Kernreaktors; K Reaktor, PK Kreislauf-, PS Speise-, PZ Zusatzpumpe, A Wärmeaustauscher bzw. Dampferzeuger, T Turbine, G Generator, Kd Kondensator, Z Zusatzvolumen, F Filter, Kh Kühler, HK Hochdruckkompensator

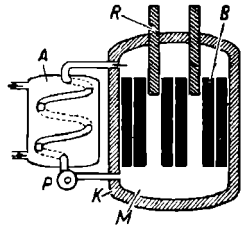
Thermische, mittelschnelle und schnelle Reaktoren. Nach der Neutronenenergie unterscheidet man thermische, mittelschnelle und schnelle Reaktoren. Die *thermischen* brauchen einen Moderator, können aber jeden Brennstoff von Natururan bis zum reinen spaltbaren Material verwenden. Die meisten bisher gebauten Reaktoren sind thermische. Die *mittelschnellen* brauchen mindestens leicht-, die *schnellen* mäßig- bis hochangereicherten Brennstoff. Der schnelle Reaktor wird für die Erzeugung von Elektroenergie in Zukunft eine Rolle spielen; er hat keinen Moderator.

Homogene und heterogene Reaktoren. Nach der *Struktur* gibt es heterogene und homogene Reaktoren. Dem *heterogenen* wird der Brennstoff in gasdicht umhüllten *Brennstoffelementen* zugeführt. Die *Brennelemente* sind gitterförmig angeordnet und vom Moderator umgeben. Leichtes oder schweres Wasser als Moderator kann zugleich als *Kühlmittel* dienen; Graphit erfordert ein gesondertes Kühlmittel (Gas, Flüssigkeit oder Metallschmelzen). Wenn die Spaltprodukte zuviel Neutronen absorbieren (*Reaktorgifte*), werden die Brennstoffelemente ausgewechselt. Dem *homogenen* Reaktor wird der Brennstoff als *Lösung* oder *Suspension* in leichtem oder schwerem Wasser zugeführt, die zugleich die Rolle des Moderators und des Kühlmittels spielen. Reaktorgifte werden kontinuierlich entfernt; wegen *Korrosionsschwierigkeiten* sind aber noch keine homogenen Leistungsreaktoren gebaut worden.



links: Schema eines homogenen Reaktors; L Brennstofflösung, R Regelstangen, K Reaktorkessel und Reflektor, P Umwälzpumpe, A Wärmeaustauscher

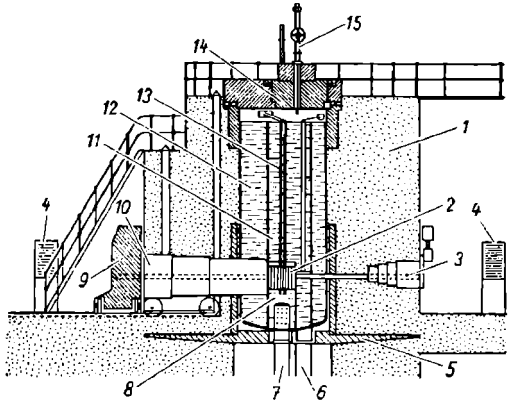
rechts: Schema eines heterogenen Reaktors; B Brennstoffelemente, R Regelstangen, K Reaktorkessel und Reflektor, M Moderator bzw. Kühlmittel, P Umwälzpumpe, A Wärmeaustauscher



Brennstoff. Natürliches Uran kann nur in thermischen und heterogenen Reaktoren verwendet werden; meist wird durch Zusätze von Uran 235, Plutonium 239 oder Uran 233 angereicherter Brennstoff benutzt. Reines Spaltmaterial kommt nur in Forschungsreaktoren vor.

Moderator. Als Moderator muß *Graphit* in größeren Mengen eingesetzt werden, weil es die Neutronenenergie nicht so wirksam herabsetzt wie Wasser. Mit *schwerem Wasser* läßt sich ein hoher Neutronenfluß erreichen, *Leichtwasserreaktoren* müssen mit angereichertem Brennstoff beschickt werden. Auch *organische Stoffe* lassen sich als Moderator und Kühlmittel einsetzen.

Kühlmittel. Als Kühlmittel erfordern *Gase* (meist Kohlendioxyd) wegen der geringen Wärmekapazität große Kühlflächen und große Pumpleistungen; besonders die graphitmoderierten Kernreaktoren in Großbritannien (Calder Hall) und ein schwerwassermoderierter Leistungsreaktor der ČSSR sind bekannt geworden. *Flüssigkeitsgekühlte* Reaktoren haben bessere Wärmeeigenschaften, aber auch größere Korrosion. Die besten Wärmeeigenschaften haben *metallgekühlte* Reaktoren, z. B. mit einer Natrium-Kalium-Legierung, die bei − 10 °C schmilzt. Der Kreislauf wird durch *magnetische Pumpen* aufrechterhalten; er erfordert aber Quecksilberzwischenschichten, um jede Berührung von Metall und Wasser auszuschließen.



Vertikalschnitt durch den Reaktor in Rossendorf; 1 Betonabschirmung, 2 aktive Zone, 3 Experimentierkanal, 4 Belüftung, 5 Reaktorgrundplatte, 6 Kühlmittelzuführung, 7 Kühlmittelabführung, 8 Moderatortank, 9 Gußeisenabschirmung, 10 thermische Säule, 11 Reflektortank, 12 Schutztank, 13 Regel- und Steuerstabantrieb, 14 Reaktordeckel, 15 Be- und Entladevorrichtung

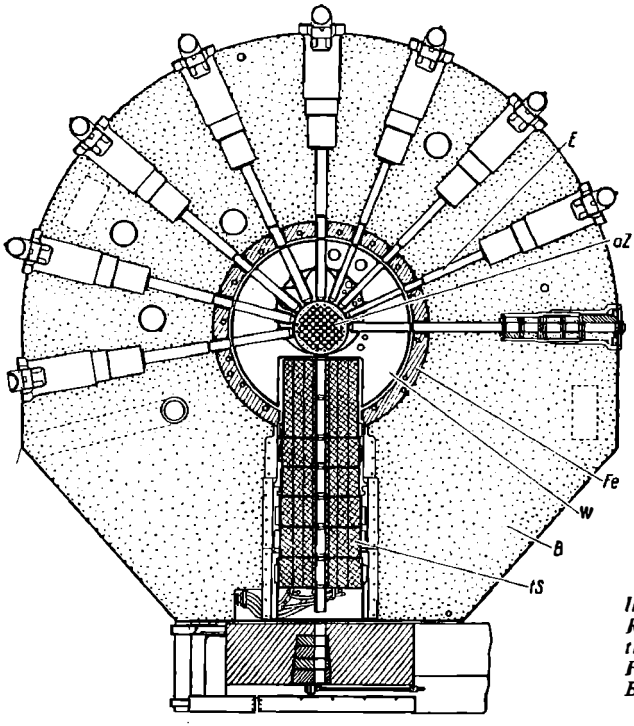
Verwendung. Der Verwendung nach überwiegen noch die *Forschungsreaktoren*, die den starken *Neutronenfluß* zur Untersuchung der Neutroneneigenschaften, zur Herstellung radioaktiver Isotope und zur Materialprüfung ausnützen oder der Erprobung neuer Reaktorprinzipien dienen. Um dem Reaktor auch thermische Neutronen entnehmen zu können, werden *thermische Säulen* eingebaut, das sind große Blöcke aus Moderatorsubstanz, meist Graphit, die bis in die aktive Zone reichen; aus ihnen können außen thermische Neutronen entnommen werden.

Bekannte Typen sind der *Schwimmbadreaktor*, in dem hochangereicherter Brennstoff von einer Brücke in einem tiefen Becken mit leichtem Wasser hängt, und der *Wasserkesselreaktor*, der in einer Kugel von rund 30 cm Durchmesser eine mit Uran 235 angereicherte wäßrige Uranylsulfatlösung und einen Reflektor von Berylliumoxyd enthält.

Brüter oder *Brutreaktoren* erzeugen mehr spaltbares Material, als sie selbst zum Betrieb brauchen. Sie sind in der UdSSR, in den USA und in Großbritannien in Betrieb, um Plutonium 239 aus Natururan zu erzeugen. Auch die Gewinnung von Uran 233 aus Thorium ist möglich.

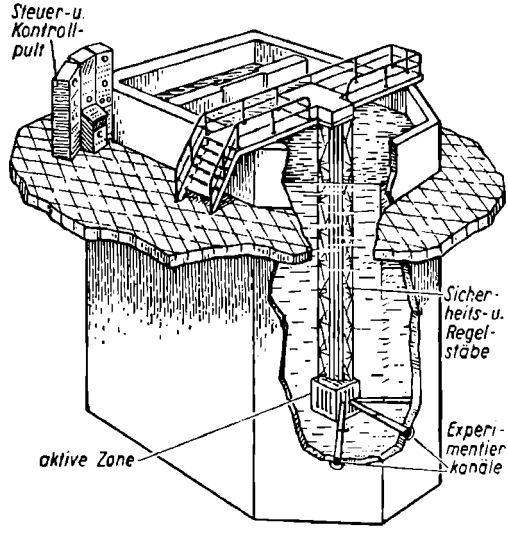
Mehrzweckreaktoren können z. B. neben der Produktion von spaltbarem Material auch zur Gewinnung elektrischer Energie ausgenutzt werden.

Leistungsreaktoren erzeugen Wärmeenergie — und daraus mechanische bzw. elektrische Energie — in Atomkraftwerken. Die *erste stationäre Anlage* wurde 1954 in der UdSSR in Betrieb genommen, die erste bewegliche zum Antrieb eines Überwasserschiffes



links: Horizontalschnitt durch den Rossendorfer Kernreaktor; aZ aktive Zone, E Experimentierkanäle, Fe Eisenringe, W Wasserschicht, B Betonwände, tS thermische Säule

rechts: Schwimmbadreaktor

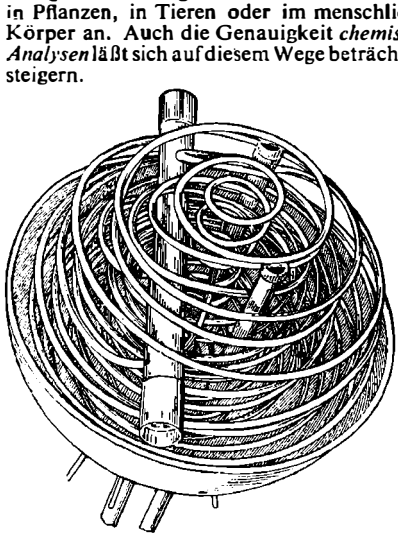


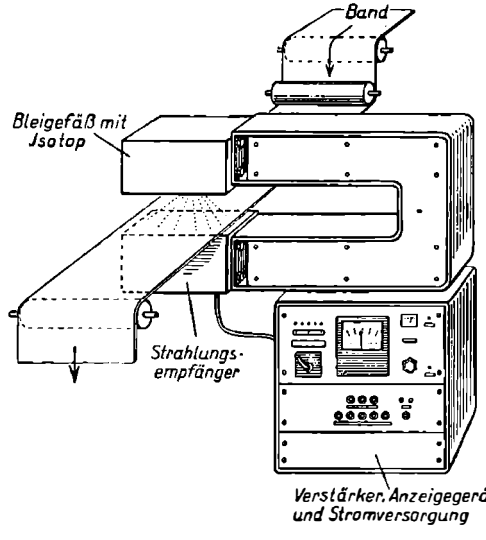
hat der *Atomeisbrecher „Lenin"*, der 1960 in Dienst gestellt wurde.

Das erste Atomkraftwerk der DDR wird einen *Druckwasserreaktor* haben. Das schwere bzw. leichte Wasser in ihm wird durch hohen Druck auch bei 250 °C flüssig gehalten. Im *Siedewasserreaktor* dagegen siedet das Wasser, wenn es die Brennelemente umströmt. Derentstandene Dampf kann sofort einer Turbine zugeführt werden.

Künstliche Isotope. Der Kernreaktor ist nicht nur als Energiequelle (Leistungsreaktor) oder als Gerät der Grundlagenforschung (Forschungsreaktor) wertvoll, er liefert auch eine große Reihe Isotope, die in vielen Gebieten, z. B. in der Technik, Metallurgie, Medizin, Biologie, Chemie, Physik, Geologie und Landwirtschaft, eingesetzt werden. *Stabile Isotope* haben dabei den Vorzug, daß die kostspieligen Einrichtungen für den biologischen Schutz der Beobachter entbehrt werden können, *radioaktive Isotope* dagegen können eben durch ihre Strahlung in kleinsten Spuren nachgewiesen werden; oft läßt sich jeder einzelne Zerfallsakt registrieren. Die wichtigsten verwendeten radioaktiven Isotope

sind Kohlenstoff 14, Natrium 22, Natrium 24, Phosphor 32, Kobalt 60. Kupfer 64, Zink 65, Strontium 89, Jod 131, Gold 198 und Polonium 210.
In der *Technik* lassen sich Messungen der Dicke, der Dichte, der Flächendichte und des Füllstandes mit Isotopen berührungslos durchführen.
In der *Gammadefektoskopie* lassen sich nicht sichtbare Fehler in Werkstoffen, z. B. Lunker, Risse, fehlerhafte Schweißnähte, zerstörungsfrei nachweisen. Im *Hochofen* und in anderen metallurgischen Prozessen können der Verschleiß des Mauerwerks, die Bewegungen des Einsatzmaterials und der Gase während des Betriebes kontrolliert werden. Die *Kobaltkanone* enthält in einer Bleikugel ein starkes Präparat Kobalt 60, von dem durch eine feine Öffnung ein intensives Strahlenbündel austritt, das zu Bestrahlungen in der Geschwulstbehandlung dient. Radioaktives Jod ist z. B. geeignet, eine *Über-* oder *Unterfunktion der Schilddrüse* festzustellen. In der Biologie und in der Landwirtschaft können chemische Umsetzungen beim Stoffwechsel oder als Folge der Düngung durch *markierte Elemente* untersucht werden; dem Element, dessen Reaktionen studiert werden sollen, wird ein radioaktives Isotop in einem bestimmten Verhältnis zugesetzt und zeigt durch Strahlung den gesamten Weg des Elementes im Boden, in Pflanzen, in Tieren oder im menschlichen Körper an. Auch die Genauigkeit *chemischer Analysen* läßt sich auf diesem Wege beträchtlich steigern.





Links: *Kühlspirale, Rohre für Regelstäbe und Experimentierkanal in der aktiven Zone eines Wasserkesselreaktors.* Rechts: *Schema einer Banddickenmessung mit Isotopen*

Leider stehen der reichen Fülle friedlicher Anwendungen der Kernphysik die Gefahren gegenüber, die der Menschheit durch Benutzung derselben Erkenntnisse zur Herstellung von Massenvernichtungsmitteln durch die herrschenden Kreise der überlebten imperialistischen Ordnung drohen. Es bedarf der ernstesten Anstrengungen aller friedliebenden Menschen, um die Gefahren zu bannen, die darin für die gesamte Menschheit liegen und um zu erreichen, daß die großen Errungenschaften der Physik nur noch zum Wohle der Menschheit angewandt werden.

XI. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.

um 550 Der griechische Philosoph *Pythagoras* und seine Schule stellen fest, daß sich bei einfachen Zahlenverhältnissen der Länge einer schwingenden Saite harmonische Tonfolgen bzw. Akkorde ergeben.

um 430 Der griechische Philosoph *Demokrit* begründet unter Mitwirkung seines Lehrers Leukipp die Lehre von den Atomen, den „unteilbaren" Urkörpern, die sich nur geometrisch nach Gestalt und Lage unterscheiden.

um 365 Der griechische Philosoph *Aristoteles* erkennt den freien Fall als beschleunigte Bewegung, lehrt aber, daß schwere Körper schneller fallen als leichte, eine Auffassung, die erst durch Galilei richtiggestellt worden ist. Ihm ist die Reflexion von Schall und Licht bekannt.

287—212 *Archimedes*, griechischer Mathematiker und Physiker. Er entwickelt Gesetze des Hebels und der schiefen Ebene und benutzt sie beim Flaschenzug und bei der *archimedischen Schraube* (Spirale). Er entdeckt den Auftrieb fester Körper in Flüssigkeiten (*archimedisches Prinzip*), das spezifische Gewicht und bestimmt den Schwerpunkt von Körpern.

um 150—100 *Heron*, griechischer Mathematiker und Physiker. Er erfindet bzw. beschreibt den *Heronsball*, durch den Wasser aus einer Röhre in fortlaufendem Strahl durch den Luftdruck empor- und ausgetrieben wird.

u. Z.

87—165 *Claudius Ptolemäus*, alexandrinischer Astronom und Geograph. Er schreibt 5 Bücher über Optik. Er bestimmt Einfalls- und Brechungswinkel für Luft-Glas, Luft-Wasser und findet den Grenzwinkel der Totalreflexion.

1214—1294 *Roger Bacon*, englischer Philosoph und Naturforscher. Er erklärt die Schwere der Körper aus der Anziehungskraft zum Erdmittelpunkt. Er entdeckt die Camera obscura und die einfache Lupe.

1452—1519 *Leonardo da Vinci*, italienischer Universalgelehrter. Er bemüht sich um eine Theorie der Wellen auf Wasseroberflächen und erkennt im Schall eine Wellenbewegung der Luft, die sich mit einer meßbaren Geschwindigkeit fortpflanzt.

1540—1603 *William Gilbert*, englischer Mediziner und Physiker. Er führt in das Gebiet der Elektrizität und des Magnetismus den Begriff der Kraftlinien ein. Er prägt die Begriffe der *Induktion* und der *magnetischen Leitfähigkeit*.

1548—1620 *S. Stevin*, niederländischer Gelehrter. Er leitet um 1585 die Unmöglichkeit des *Perpetuum mobile* aus den Gesetzen der schiefen Ebene und des Parallelogramms der Kräfte ab. Er entdeckt das *hydrostatische Gesetz*.

1564—1642 *Galileo Galilei*, italienischer Mathematiker. Er begründet die Dynamik, die Lehre von der mechanischen Bewegung. 1590 entdeckt er die Gesetze des freien Falls, 1596 die Pendelgesetze, 1600 die des senkrechten und des schiefen Wurfs. Er untersucht Tonhöhen und Schwingungszahlen, baut eines der ersten Fernrohre, entdeckt damit die ersten vier Jupitermonde und beweist das heliozentrische Weltbild.

1571—1630 *Johannes Kepler*, deutscher Astronom. Er stellt die nach ihm benannten drei Gesetze über die Planetenbewegung auf und entdeckt die Abnahme der Lichtstärke mit dem Quadrat der Entfernung. „*Dioptrice*", 1611.

1596—1650 *René Descartes*, französischer Philosoph. Er erklärt den Regenbogen nach dem Gesetz von W. *Snell* (*Snellius*, 1591—1626) durch zweimalige innere Reflexion im Tropfen. Er sucht alle Erscheinungen auf mechanische Bewegung *kleinster Teile* zurückzuführen.

1601—1665 *Pierre Fermat*, französischer Mathematiker. Er stellt das nach ihm benannte Prinzip auf, daß der Lichtweg (über Brechung oder Reflexion) stets ein Extremwert (d. h. Maximum oder Minimum) ist.

1602—1686 *Otto v. Guericke*, deutscher Physiker. Er erfindet 1650 die Luftpumpe, führt 1654 die *Magdeburger Halbkugeln* auf dem Reichstag zu Regensburg vor. Er bestimmt das spezifische Gewicht der Luft. 1663 erfindet er eine einfache Elektrisiermaschine.

1652 Deutsche Akademie der Naturforscher „*Leopoldina*" gegründet, älteste heute bestehende Akademie. Die vorher entstandenen Akademien in Italien sowie die im 17. und 18. Jahrhundert entstehenden großen europäischen Akademien bezeichnen einen bedeutenden Aufschwung der Naturwissenschaften.

1629—1695 *Chr. Huygens*, niederländischer Physiker. Er berechnet die Schwingungsdauer aus der Pendellänge und erfindet 1657 die Pendeluhr. Er begründet die Ansicht von der Wellennatur des Lichtes. Nach dem *Huygensschen Prinzip* erklärt er die Brechung und Reflexion des Lichtes. 1673 entdeckt er die Gesetze der Fliehkraft, 1676 die Polarisation des Lichtes und erklärt damit die Doppelbrechung des Kalkspats.

1643—1727 *Isaac Newton*, englischer Philosoph und Mathematiker. In seinem Hauptwerk *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie*) erklärt er die Begriffe Masse, Kraft, Gewicht, Geschwindigkeit und Beschleunigung und ergänzt die beiden Bewegungsgesetze Galileis durch ein drittes: „Kraft gleich Gegenkraft". Von da aus gelangt er zum Gravitationsgesetz und vereinigt damit die Physik der Erde und der Gestirne. In „*Optics*" lehrt er 1704 die Zerlegung des weißen Lichtes in die Spektralfarben von verschiedener Brechbarkeit. Bei Versuchen zur Beugung des Lichtes entdeckt er die *Newtonschen Ringe*. 1669 entwickelt er im Gegensatz zu Huygens seine Emissionstheorie des Lichtes.

1643 Der italienische Physiker und Mathematiker *E. Torricelli* (1608 bis 1647) erfindet das Quecksilberbarometer und stellt die Veränderlichkeit des Luftdruckes fest.

1647–1712 *D. Papin*, französischer Physiker. Er entdeckt, daß die Siedetemperatur vom Druck abhängig ist, daß sie in einem abgeschlossenen Gefäß (*Papinscher Topf*) höher ist als in der Umgebung.

1648 Der französische Philosoph und Mathematiker *Blaise Pascal* (1623 bis 1662) beobachtet, daß der Luftdruck mit zunehmender Höhe über der Erde abnimmt.

1662 und 1676 Der englische Naturforscher *Robert Boyle* (1627 bis 1691) und der französische Physiker *E. Mariotte* (1620 bis 1684) stellen das *Boyle-Mariottesche Gesetz* auf.

1676 Der dänische Astronom *Olaf Römer* (1644 bis 1710) berechnet die Lichtgeschwindigkeit aus der Verfinsterung der Jupitermonde.

um 1715 Der deutsche Physiker *G. D. Fahrenheit* (1686 bis 1736) stellt das erste Quecksilberthermometer her.

1728 Der englische Astronom *James Bradley* (1692 bis 1762) entdeckt die Aberration des Lichtes der Fixsterne.

um 1738 Der Schweizer Mathematiker *D. Bernoulli* (1700 bis 1782) stellt in seinem Hauptwerk „*Hydrodynamica*" die nach ihm benannte Gleichung über strömende Flüssigkeiten auf.

1744 Der russische Gelehrte *M. W. Lomonossow* (1711 bis 1765) veröffentlicht Abhandlungen über die Ursachen der Wärme und der Kälte, formuliert bereits im Jahre 1748 das Gesetz von der Erhaltung der Masse und der Energie.

1745 Der deutsche Kleriker *E. J. v. Kleist* (1702 bis 1748) erfindet die *elektrische Verstärkungsflasche*, die nach den späteren Erfindern *Muschenbroeck* und *Cunaeus* zu Leiden als *Leidener Flasche* bezeichnet wird.

um 1760 Der englische Chemiker *J. Black* (1728 bis 1799) begründet die Messung der Wärmemengen (Kalorimetrie). Er mißt Schmelzwärme und Verdampfungswärme verschiedener Stoffe.

1765 Praktisch verwendbare Dampfmaschine durch den Engländer *J. Watt* (1736 bis 1819); Vorläufer sind der Russe *I. I. Polsunow* und der Engländer *T. Newcomen*.

1775 Die Pariser Akademie lehnt die Annahme weiterer Vorschläge für das Perpetuum mobile ab; wichtiger Schritt zum Energiesatz.

1777 Der schwedische Chemiker *K. W. Scheele* (1742 bis 1780) findet die *strahlende Wärme*, die sich mit großer (nämlich Licht-) Geschwindigkeit fortpflanzt, ohne das dazwischenliegende Medium zu erwärmen.

1785 Der französische Mathematiker *Ch. A. Coulomb* (1736 bis 1806) findet mit Hilfe der von ihm erfundenen Drehwaage das nach ihm benannte Gesetz über Anziehung und Abstoßung im Gebiete des Magnetismus und der Elektrostatik.

1788 Formale Vollendung der Mechanik durch den französischen Mathematiker *J. L. Lagrange* (1736 bis 1813) in: „*Mécanique analytique*" (*Analytische Mechanik*). Damit gewisser Abschluß der Etappe seit Aufstellung der Infinitesimalrechnung durch Leibniz und deren Anwendung auf die Mechanik durch L. Euler, die Bernoullis u. a.

1789 Der italienische Arzt und Naturforscher *L. Galvani* (1737 bis 1798) entdeckt die Elektrizität in tierischen Präparaten (Froschschenkelversuch; Galvanismus).

1796 Der italienische Physiker *A. Volta* (1745 bis 1827) stellt seinen *Fundamentalversuch* an, bei dem Elektrizität aus der *Berührung* zweier Metalle entsteht. Er erfindet das Elektrometer und 1799 die *Voltasche Säule*.

1798 Der amerikanische Staatsmann und Physiker *Graf v. Rumford* (B. Thompson; 1753 bis 1814) erkennt in München beim Bohren von Metallrohren den Zusammenhang zwischen Wärme und Bewegung.

1798 Der englische Physiker *H. Cavendish* (1731 bis 1810) mißt mit Hilfe der Drehwaage die Dichte der Erde und die Gravitationskonstante.

1801 Der englische Mediziner *Th. Young* (1773 bis 1829) entdeckt die Interferenzerscheinungen des Lichtes, führt 1807 den Begriff der Energie ein.

1802 Der französische Physiker und Chemiker *L. J. Gay-Lussac* (1778 bis 1850) stellt das nach ihm benannte Gesetz auf.

1805 Der französische Astronom und Mathematiker *P. S. de Laplace* (1749 bis 1827) mißt die Molekularkräfte der Flüssigkeiten und stellt eine Theorie der Kapillarkräfte auf.

1811 Der italienische Physiker *A. Avogadro* (1776 bis 1856) findet das nach ihm benannte Gesetz.

1815 Der deutsche Physiker und Mathematiker *J. Fraunhofer* (1787 bis 1826) entdeckt die *Fraunhoferschen Linien* im Sonnenspektrum; zur genauen Messung der Wellenlängen erfindet er die Methoden zur Auswertung von Gitterspektren.

1816 Der französische Physiker *A. Fresnel* (1788 bis 1827) weist durch seinen Spiegelversuch die Wellennatur des Lichtes nach und stellt grundlegende Untersuchungen zur Theorie des Lichtes an.

1818 Der französische Physiker und Chemiker *P. L. Dulong* (1785 bis 1838) stellt zusammen mit *A. Th. Petit* (1791 bis 1820) das Dulong-Petitsche Gesetz auf, wonach die Atomwärme aller Metalle ungefähr 6 ist.

1820 Der dänische Physiker *H. Chr. Oersted* (1777 bis 1851) entdeckt die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom und damit den Elektromagnetismus.

1820 Der französische Physiker und Mathematiker *A. M. Ampère* (1775 bis 1836) findet im Anschluß an Oersted die Grundregeln des Elektromagnetismus. Er unterscheidet zwischen Spannung und Strom. 1822 sieht er in den Molekularströmen die Ursachen des Magnetismus.

1821 Der deutsche Physiker *Th. J. Seebeck* (1770 bis 1831) entdeckt die Thermoelektrizität und stellt 1822 eine thermoelektrische Spannungsreihe auf.

1822 Anerkennung des *heliozentrischen* Weltbilds durch die katholische Kirche.

1824 Der französische Physiker *S. Carnot* (1796 bis 1832) untersucht die Arbeitsleistung einer Wärmeeinheit in Wärmekraftmaschinen, das mechanische *Wärmeäquivalent*, und den nach ihm benannten *Kreisprozeß*.

1826 Der deutsche Physiker *G. S. Ohm* (1787 bis 1854) stellt das nach ihm benannte *Gesetz* auf.

1831 Der englische Physiker *M. Faraday* (1791 bis 1867) entdeckt die elektromagnetischen Induktionsströme, 1835 die Selbstinduktion, 1837 entwickelt er die Theorie des elektromagnetischen Feldes; die *Dielektrizitätskonstante* der Isolatoren erkennt er als maßgebend für die Kapazität. 1845 entdeckt er den Diamagnetismus und Magnetismus aller Materie, 1846 die magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes.

1832 Der deutsche Mathematiker und Physiker *C. F. Gauß* (1777 bis 1855) erfindet das Magnetometer und begründet das absolute Maßsystem der Physik.

1841 Der englische Physiker *J. P. Joule* (1818 bis 1889) findet das nach ihm benannte Gesetz, nach dem die Energie eines elektrischen Stromes in Wärmeenergie umgerechnet werden kann.

1842 Der deutsche Arzt und Physiker *Robert Mayer* (1814 bis 1878) entdeckt das Prinzip von der Erhaltung der Energie und berechnet aus der Verschiedenheit der spezifischen Wärme der Gase bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen als erster das *mechanische Wärmeäquivalent*.

1845 Gründung der *Berliner Physikalischen Gesellschaft*, aus der 1899 die *Deutsche Physikalische Gesellschaft* hervorgeht.

1847 Der deutsche Physiker und Mediziner *H. v. Helmholtz* (1821 bis 1894) begründet das Mayersche *Prinzip der Erhaltung der Kraft* mathematisch-physikalisch. Er entdeckt 1855 die Summationstöne, stellt 1857 eine Theorie der Konsonanz und Dissonanz und 1861 eine Theorie der Schwebungen und Kombinationstöne auf und gründet darauf seine Theorie der Harmonie. 1851 erfindet er den Augenspiegel. 1881 erste Vorstellung von einem *Elementarquantum* der Elektrizität.

1847 Der österreichische Physiker und Mathematiker *Chr. Doppler* (1803 bis 1853) entdeckt das nach ihm benannte Prinzip.

1850 Der deutsche Physiker *R. Clausius* (1822 bis 1888) formuliert den 2. Hauptsatz der Thermodynamik. — Von 1856 ab legt C. zusammen mit *Krönig* den Grund zur modernen *kinetischen Gastheorie*. Er berechnet die Geschwindigkeit der Moleküle und ihre *freien Weglängen*.

1853 Der englische Physiker *Lord Kelvin* (W. Thomson; 1824 bis 1907) gibt die ersten Formeln zur Berechnung der Frequenz elektrischer Schwingungen bekannt. 1854 begründet er die absolute Temperaturskale (Kelvinskale).

1855 Der deutsche Chemiker *R. W. Bunsen* (1811 bis 1899) erfindet den Bunsenbrenner, der ihm zu Versuchen mit farbigen Flammen dient. Diese führen 1859 zur *Spektralanalyse*, die er zusammen mit *R. Kirchhoff* (1824 bis 1887) begründet.

1864 Der englische Physiker *J. C. Maxwell* (1831 bis 1879) legt in Differentialgleichungen die Zusammenhänge zwischen den elektrischen und magnetischen Kräften und den Konstanten der gleichzeitig im Raume befindlichen materiellen Körper fest. Hierdurch gewinnt er theoretisch Kenntnis vom Vorhandensein elektrischer Wellen. 1871 erkennt er in den Lichtstrahlen einen Sonderfall elektromagnetischer Wellen.

1865 Der österreichische Physiker *J. Loschmidt* (1821 bis 1895) bestimmt die *Loschmidtsche Zahl*, mit deren Hilfe sich die Molekül- (bzw. Atom-) Masse in Gramm angeben läßt.

1867 Erfindung der dynamo-elektrischen Maschine durch den deutschen Ingenieur *W. v. Siemens* (1818 bis 1892). Die Entwicklung seines 1847 gegründeten kleinen Betriebes zum zweitgrößten Elektrokonzern der Welt zeigt den engen Zusammenhang von Wissenschaft und Produktion, andererseits aber auch dessen verheerende Auswirkungen unter kapitalistischen Bedingungen.

1869 Der deutsche Physiker *W. Hittorf* (1824 bis 1914) untersucht die Gase auf ihre Leitfähigkeit für Elektrizität und entdeckt die Kathodenstrahlen.

1872 Der russische Gelehrte *A. G. Stoletow* (1839 bis 1896) veröffentlicht seine „Untersuchung über die Funktion der Magnetisierung des weichen Eisens".

1879 Der österreichische Physiker *J. Stefan* (1825 bis 1893) untersucht Licht- und Wärmestrahlungen heißer Körper und findet, daß ihre Gesamtstrahlung der vierten Potenz der absoluten Temperatur proportional ist.

1881 Die Pariser Konferenz nimmt das von dem deutschen Physiker *W. Weber* (1804 bis 1891) begründete absolute elektrische Maßsystem an.

1881 Der amerikanische Physiker *A. A. Michelson* (1852 bis 1931) weist nach, daß sich das Licht auf der Erde nach allen Richtungen gleich schnell ausbreitet.

1882 Der russische Gelehrte *N. J. Shukowski* (1847 bis 1921) veröffentlicht eine Abhandlung über die „*Stabilität der Bewegung*".

1882 Der Schweizer Mathematiker *J. J. Balmer* (1825 bis 1898) stellt die Formel $\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ über die Serienbeziehung der Spektrallinien des Wasserstoffs auf.

1884 Der österreichische Physiker *L. Boltzmann* (1844 bis 1904) verbindet das Stefansche Gesetz mit dem 2. Hauptsatz der Wärmetheorie und dem aus Maxwells Gleichungen folgenden *Strahlungsdruck* (Stefan-Boltzmannsches Gesetz).

1888 *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* gegründet (*Siemens, Helmholtz*). Später in der *Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft* (1911) weitere von den Hochschulen unabhängige Forschungsinstitute unter dem Einfluß der kapitalistischen Großindustrie.

1888 Der deutsche Physiker *Heinrich Hertz* (1857 bis 1894) entdeckt experimentell die von Maxwell theoretisch gefundenen elektrischen Wellen (Grundlage der Funkentelegraphie). 1893 weist er nach, daß diese sich mit Lichtgeschwindigkeit im Raume fortbewegen, sich in Hohlspiegeln auffangen und in Prismen brechen lassen, und erkennt die elektromagnetische Natur des Lichtes.

1892 Der deutsche Physiker *P. Lenard* (1862 bis 1947) läßt die Kathodenstrahlen in die freie Luft austreten. Er erkennt in ihnen negative Elektrizität (Elektronen).

1895 Der deutsche Physiker *W. C. Röntgen* (1845 bis 1923) entdeckt die nach ihm benannten Strahlen.

1895 Der niederländische Physiker *H. A. Lorentz* (1853 bis 1928) stellt seine Elektronentheorie auf und erklärt damit den *Zeemann-Effekt* sowie die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes im magnetischen Felde. 1914 ergänzt er das klassische Relativitätsprinzip durch die *Lorentz-Kontraktion*.

1895 Der russische Physiker *A. Popow* (1859 bis 1905) erfindet bei Versuchen mit Hertzschen Wellen die Antenne und wird damit vor Marconi Erfinder der drahtlosen Telegraphie.

1895 Der russische Physiker *P. N. Lebedew* (1866 bis 1912) wiederholt die klassischen Hohlspiegelversuche von Hertz mit hundertmal kürzeren Wellen (6 mm). 1890 weist er den *Strahlungsdruck des Lichtes*, d. h. den Druck der Sonnenstrahlen gegen die Erdoberfläche, nach, und 1900 gelingt es ihm, diesen zu messen (0,7 mp auf 1 m^2 oder 300 Millionen kp auf die ganze Erde).

1896 Der französische Physiker *H. Becquerel* (1852 bis 1908) entdeckt die Radioaktivität der Uransalze.

1898 Die aus Polen stammende Physikerin *Marie Curie* geb. Sklodowska (1867 bis 1934) entdeckt zusammen mit ihrem Gatten, dem französischen Physiker *Pierre Curie* (1859 bis 1906), die radioaktiven Elemente Polonium und Radium in einem Uranmineral (Pechblende).

1900 Der deutsche Physiker *Max Planck* (1858 bis 1947) stellt seine *Quantentheorie* auf, durch die Wellen- und Korpuskelnatur des Lichtes miteinander verbunden werden. Die Quantentheorie war der entscheidende Schritt zur Erforschung der atomaren Prozesse.

1902 Der englische Physiker *E. Rutherford* (1871 bis 1937) stellt seine *Zerfallstheorie* auf, nach der sich die radioaktiven Stoffe nach Abgabe von α- oder β-Strahlen in Substanzen mit anderen Eigenschaften umwandeln. Er erkennt, daß die α-Strahlen aus Heliumkernen bestehen. 1911 *Rutherfordsches Atommodell.* 1919 zertrümmert er das Stickstoffatom und wandelt damit als erster einen Atomkern um.

1903 Der sowjetische Gelehrte *K. E. Ziolkowski* (1858 bis 1935) schafft die theoretischen Grundlagen des Raketenfluges (Erforschung der Weltenräume mit Hilfe von Rückstoßapparaten).

1905 Der Physiker *Albert Einstein* (1879 bis 1955) stellt seine *spezielle Relativitätstheorie* auf. 1905 quantentheoretische Deutung des lichtelektrischen Effekts. 1916 stellt er die *allgemeine Relativitätstheorie* auf, die auch die beschleunigten Bezugssysteme und über die Mechanik hinaus alle physikalischen Erscheinungen einschließt. Die Theorie führt zu einer abgeänderten Gravitationstheorie, die bedeutsam geworden ist für die kosmische Physik.

1908 *W. I. Lenin* zerschlägt in seinem Werk „*Materialismus und Empiriokritizismus*" die positivistischen Anschauungen *E. Machs* u. a. Die Entwicklung der Physik verlangt den Übergang zur dialektisch-materialistischen Weltanschauung, die den Physikern unter kapitalistischen Bedingungen jedoch erschwert wird. Die Erfolge der sowjetischen Physik zeigen die Fruchtbarkeit der sozialistischen Gesellschaftsordnung und der marxistischen Philosophie.

1909 Der deutsche Physiker *H. Minkowski* (1864 bis 1909) entwickelt die mathematischen Grundlagen der Relativitätstheorie.

1912 Der deutsche Physiker *M. v. Laue* (1879 bis 1960) entdeckt (gemeinsam mit *W. Friedrich* und *P. Knipping*) die Beugung der Röntgenstrahlen in Kristallen. Aus den Beugungsbildern (*Laue-Diagrammen*) lassen sich der gitterartige Feinbau, der Atomaufbau der Kristalle erkennen und die Wellenlängen der Röntgenstrahlen berechnen.

1912 Der österreichische Physiker *V. F. Hess* (geb. 1883) entdeckt bei Ballonaufstiegen die *Höhenstrahlung*, jetzt auch *kosmische Strahlung* genannt. Sie ionisiert die Luft, macht sie leitfähig und ist dadurch feststellbar.

1912 Der englische Physiker *C. T. Wilson* (geb. 1869) macht in seiner Nebelkammer durch Dampfkondensierung die Bahnen elektrisch geladener Partikel sichtbar.

1913 Der dänische Physiker *Niels Bohr* (1885 bis 1962) veröffentlicht, auf Planck und Rutherford aufbauend, grundlegende Abhandlungen über den Aufbau des Atoms (*Atommodell*). Sein *Korrespondenzprinzip* betont die Verwandtschaft von klassischer Physik und Quantentheorie. 1908 und 1921 begründet er neu das Periodensystem der Elemente nach der jeweiligen Kernladungszahl der Elemente.

1916 Der deutsche Physiker *A. Sommerfeld* (1868 bis 1951) entwickelt die Quantentheorie weiter durch die Berechnung der Feinstruktur von Spektrallinien („*Atombau und Spektrallinien*", 1919).

1920 Die englischen Physiker *J. J. Thomson* (1856 bis 1940) und *F. W. Aston* (geb. 1877) stellen fest, daß die natürlich vorkommenden Grundstoffe meist *Gemische von Isotopen* sind. — *F. W. Aston* erfindet den Massenspektrographen, mit dem die einzelnen Isotope eines Elements anteilmäßig festgestellt werden können.

1921 Die Physiker *Stern* und *Gerlach* zeigen experimentell, daß ein Atomstrahl, etwa ein Strom von Silberatomen, in einem inhomogenen Magnetfeld in so viele Teilstrahlen aufgespalten wird, wie das betreffende magnetische Atom Einstellungsmöglichkeiten zum Magnetfeld hat.

1923 Der amerikanische Physiker *A. H. Compton* (geb. 1892) entdeckt die *Streuung der Röntgenstrahlen* bei Zusammenstößen mit Elektronen, wodurch sich ihre Wellenlänge vergrößert. Dieser *Compton-Effekt* bestätigt die Lichtquantentheorie.

1924 Der französische Physiker *L. de Broglie* (geb. 1892) begründet die Wellentheorie der Materie, nach der auch bewegte Atome und Elektronen eine Wellenbewegung hervorrufen, die Wellenlänge und Geschwindigkeit aufweist.

1925 Der deutsche Atomforscher *W. Heisenberg* (geb. 1901) bemüht sich um den Aufbau einer *Quantenmechanik*, für die er 1927 die nach ihm benannte *Unbestimmtheitsrelation* einführt. Zur mathematischen Behandlung dieser Vorgänge entwickeln Heisenberg, Born und Dirac die *Matrizentheorie.* 1943 erscheint Heisenbergs „*Physik der Atomkerne*".

1925 Der österreichische Physiker *W. Pauli* (1900 bis 1958) veröffentlicht das nach ihm benannte Prinzip, nach dem jeder durch eine der vier Quantenzahlen gekennzeichnete Quantenzustand mit nur einem Elektron besetzt sein darf.

1926 Der österreichische Physiker *E. Schrödinger* (1887 bis 1961) schließt sich an *de Broglie* an und untersucht die Bewegung eines Elektrons unter dem Einfluß der Anziehung des positiven Kerns im Wasserstoffatom. Dadurch gelingt es ihm, die Bewegung des Elektrons im Wasserstoffatom quantitativ zu beschreiben. Seine Theorie wird als *Wellenmechanik* bezeichnet.

1926 Der deutsche Physiker *H. Busch* (geb. 1884) entwickelt die Theorie der Elektronenbahnen im axialsymmetrischen elektrischen bzw. magnetischen Feld und schafft damit die Grundlage der Elektronenoptik.

1927 Die Physiker *Davisson*, *Germer* und *Thomson* zeigen experimentell die Beugung von Elektronenstrahlen beim Durchgang durch Kristalle.

1928 Der englische Physiker *P. Dirac* (geb. 1902) vereinigt die Theorien von Schrödinger und Heisenberg mit der speziellen Relativitätstheorie Einsteins.

1932 Der englische Physiker *J. Chadwick* entdeckt das Neutron im Atomkern und der amerikanische Physiker *C. Anderson* das Positron in der Höhenstrahlung.

1932 Der amerikanische Physiker *E. O. Lawrence* baut das erste Zyklotron.

1934 Die französischen Physiker *Irène Joliot-Curie* (1897 bis 1956) und ihr Mann *F. Joliot* (1900 bis 1958) entdecken die künstliche Radioaktivität durch die Bestrahlung von Bor mit α-Strahlen. Beide bearbeiten die Ausnützung der Atomenergie in sogenannten *Atomsäulen*.

1935 Die sowjetischen Physiker *L. Landau* und *E. Lifschitz* geben in einer Theorie der Dispersion der Permeabilität ferromagnetischer Körper die Erklärung für den Ursprung der Weißschen Bezirke und für die bei hohen Frequenzen in ferromagnetischen Stoffen auftretenden magnetischen Verluste. Sie sagen eine durch Präzession der Elektronenspins hervorgerufene Resonanzerscheinung in ferromagnetischen Stoffen voraus, die 1946 von dem englischen Physiker *J. H. E. Griffiths* tatsächlich entdeckt wurde.

1938 Der deutsche Chemiker *Otto Hahn* (geb. 1879) entdeckt zusammen mit *Fritz Straßmann* (geb. 1902) die Spaltung des Uranatoms durch Anlagerung von Neutronen.

1942 Am 2. 12. 1942 beginnt in Chicago ein von Fermi gebauter Versuchsreaktor zu arbeiten.

1945 Erste Atombomben (USA). Zerstörung von Hiroshima und Nagasaki.

1950 *S. I. Wawilow* (1891 bis 1951), sowjetischer Physiker, Begründer der Mikrooptik, zeigt in „*Die Mikrostruktur des Lichtes*" die Beziehungen zwischen Licht und Materie, die insbesondere bei Lumineszenzerscheinungen auftreten.

1951 Die Sowjetgelehrten *N. A. Dobrotin* und *J. W. Terlezki* führen bedeutende Forschungen auf dem Gebiete der Höhenstrahlen durch.

1952 Erste thermonukleare Explosion (USA).

1954 Erstes Atomkraftwerk (in der Nähe von Moskau).

1956 *Vereinigtes Institut für Kernforschung* gegründet (Dubna bei Moskau).

1957 Erster *Sputnik* (UdSSR).

1959 Erste Raketen, die den Mond erreichen bzw. umfliegen (UdSSR).

1959 Atomeisbrecher „Lenin" ausgelaufen (UdSSR).

1961 Erste bemannte Weltraumflüge (*Wostok* I und II, UdSSR).

STOFF

INHALTSÜBERSICHT

I. *Systematische Einteilung der Stoffe* .. 260
Heterogene Stoffe 260
Homogene Stoffe 261
II. *Zustandsformen der Stoffe* 262
Gasförmige Stoffe 262
Flüssige Stoffe 269
Feste Stoffe 277
III. *Atome und Moleküle* 286
Atomgewichte und ihre Bestimmung 287
Die Elektronenhülle der Atome ... 290
Das Periodensystem der chemischen Elemente 296
Aufbau der Moleküle 300
Masse der Moleküle 301
Chemische Bindung 301
IV. *Chemische Reaktionen* 304
Grundgesetze chemischer Reaktionen 304
Das chemische Gleichgewicht 307
Die Reaktionsgeschwindigkeit 309
Die Triebkraft chemischer Reaktionen 311
V. *Elektrochemie* 311
Elektrolyte 312
Oxydation und Reduktion 314
Galvanische Elemente 314
Elektrolyse 318
VI. *Anorganische Stoffe* 320
Metalle 321
Legierungen 333
Nichtmetalle 335
Basen 340
Säuren 341
Salze 343
VII. *Organische Stoffe* 345
Kohlenwasserstoffe 345
Organische Halogenverbindungen .. 351
Nitroverbindungen 351
Sulfonsäuren 352
Amine 352
Metallorganische Verbindungen ... 353
Alkohole 353
Phenole 356
Äther 357
Aldehyde 358
Ketone 359
Karbonsäuren 360
Oxy- und Aminokarbonsäuren 365
VIII. *Organische großmolekulare Werkstoffe (Plaste, Elaste und Chemiefasern)* 366
IX. *Wichtige Jahreszahlen* 371

I. Systematische Einteilung der Stoffe

Die uns umgebenden Körper bestehen aus Stoffen; Schlüssel, Messer, Nadeln, Schreibfedern u. a. bestehen aus Stahl; Tische, Dielen, Zäune aus Holz. Andere Stoffe sind Granit, Marmor, Bronze, Eisen oder Schwefel. Jeder Stoff ist durch bestimmte Eigenschaften gekennzeichnet, z. B. durch seine Dichte, seine Farbe, seine Löslichkeit, sein chemisches Verhalten, seine elektrische Leitfähigkeit u. a. Man unterscheidet in der uns umgebenden stofflichen Welt uneinheitliche, *heterogene* Stoffe und einheitliche, *homogene* Stoffe.

Heterogene Stoffe können jede beliebige Zusammensetzung haben und weisen die Eigenschaften ihrer Bestandteile auf. Heterogene Systeme enthalten verschiedene *Phasen.* Unter einer Phase versteht man einen in sich homogenen Teil eines heterogenen Systems, der von den anderen durch eine Phasengrenzfläche (Oberfläche) getrennt ist. Eis, Wasser und Wasserdampf bilden z. B. ein dreiphasiges heterogenes System, das aus den drei nebeneinander vorliegenden Aggregatzuständen eines *reinen Stoffes* besteht. Im Granit oder in einer Mischung aus Kalk, Wasser und Sand liegen ebenfalls je drei Phasen nebeneinander vor; sie bestehen jedoch aus verschiedenen Stoffen.

HETEROGENE STOFFE

Zahlreiche Stoffe sind heterogene Gemische aus einer mehr oder weniger großen Anzahl homogener Stoffe, z. B. Gesteine, Mauern, Sand, Mörtel, Rauch u. a. Granit besteht z. B. aus den drei in sich homogenen Bestandteilen Feldspat, Quarz und Glimmer. Der allgemeinste Fall einer heterogenen Mischung liegt vor, wenn jeder Bestandteil in allen anderen grob verteilt ist. Die Teilchen liegen nebeneinander vor und haben eigene charakteristische Eigenschaften.

Der Mischungsgrad und der Zerteilungsgrad der miteinander vermengten Stoffe kann stark schwanken. *Grobdisperse Systeme* enthalten Teilchen mit einem Durchmesser von mindestens 10^{-5} cm (0,00001 cm); die Teilchen sind mit bloßem Auge oder unter dem Mikroskop sichtbar. Liegt der Teilchendurchmesser zwischen 10^{-5} und 10^{-7} cm, so heißt das System *kolloiddispers*; es gehört noch zu den heterogenen Stoffen; seine Teilchen sind nur noch im Ultramikroskop erkennbar.

Der Chemiker sucht die qualitative und quantitative Zusammensetzung eines heterogenen Stoffes kennenzulernen. Dazu trennt er die Bestandteile zunächst voneinander und untersucht sie dann einzeln weiter. Die Trennung ist bei Gemischen aus mehreren festen Stoffen unter Ausnutzung der verschiedenen Teilchendichte durch *Schlämmen* oder *Windsichten* bzw. bei verschiedenen Teilchengrößen durch *Sieben* möglich. In einer Flüssigkeit suspendierte Teilchen können durch Absitzenlassen (*Sedimentieren*) und anschließendes Abgießen der Flüssigkeit (*Dekantieren*) bzw. durch *Zentrifugieren* oder *Filtrieren* abgetrennt werden.

HOMOGENE STOFFE

Homogene Systeme bestehen aus einer einzigen Phase. Die in ihnen auftretenden Einzelteilchen sind die kleinsten Baueinheiten der Stoffe, die Atome, Moleküle oder Ionen. Sie lassen sich nicht sichtbar machen, da ihr Durchmesser kleiner ist als 10^{-7} cm. Man unterscheidet *Lösungen* und *reine Stoffe*.

Lösungen. In Lösungen liegen verschiedene Molekül- oder Atomarten nebeneinander vor. Lösungen sind homogene Gemische zweier oder mehrerer reiner Stoffe; man nennt sie *molekulardisperse Systeme* und unterscheidet feste, flüssige und gasförmige Lösungen; Messing ist z. B. eine feste Lösung von Zink und Kupfer. Eine wäßrige Zuckerlösung ist ein Beispiel für die Lösung eines festen Stoffes in einer Flüssigkeit. Gewöhnliches Wasser enthält die Gase Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxyd aus der Luft gelöst. Die Lösung zweier Flüssigkeiten ineinander liegt in einer Äthanol-Wasser-Mischung vor. Lösungen haben im allgemeinen keine konstanten Schmelz- und Siedepunkte, sondern ein *Schmelzpunkt-* und *Siedepunktintervall*. Ihre *Zusammensetzung* kann innerhalb eines bestimmten Bereichs schwanken, ist jedoch meist durch einen maximalen Wert der *Löslichkeit* der Bestandteile begrenzt. Die *Eigenschaften* der Komponenten bleiben in Lösungen nur zum Teil erhalten; so weist Salzsäure gegenüber den Bestandteilen Wasser und Chlorwasserstoff wesentlich andere Eigenschaften auf, z. B. die starke Säurenatur.

Die Ermittlung der Zusammensetzung einer Lösung beruht auf der Überführung der homogenen Mischung in ein heterogenes System, dessen Bestandteile dann auf einfachem Wege voneinander getrennt werden können. Eine in der *analytischen Chemie* sehr gebräuchliche Methode besteht z. B. darin, den betreffenden Lösungsbestandteil durch Zugabe eines *Fällungsmittels* in einen schwer löslichen *Niederschlag* überzuführen, der sich dann abfiltrieren läßt. Durch *Destillieren* wird bei erhöhter Temperatur ein leichter flüchtiger Bestandteil ausgetrieben und danach durch Abkühlen wieder kondensiert. Neben dieser Trennung durch Destillation kann ein gelöstes Salz durch *Kristallisation* abgetrennt werden. Durch Verdampfen des Lösungsmittels wird die Konzentration des gelösten Stoffes so weit erhöht, bis sich Kristalle bilden. Die Bestandteile fester Lösungen können z. B. durch *Schmelzen* oder *Sublimieren* getrennt werden, Gasmischungen durch *Kondensieren*. Ist die öftere Wiederholung dieser Operationen erforderlich, um eine vollständige Trennung zu erreichen, so spricht man von *Fraktionierung*.

Reine Stoffe. In reinen Stoffen tritt nur eine einzige Molekül- oder Atomart auf. Diese Stoffe haben unter bestimmtem Druck einen genau definierten Schmelz- und Siedepunkt. Man unterscheidet *Verbindungen* und *Elemente*.

Verbindungen. In Verbindungen bestehen die Moleküle aus verschiedenen Atomarten. Der Zusammenhalt wird durch *chemische Bindungskräfte* bewirkt. Zahlreiche Verbindungen, wie Gummi und Eiweiß, bestehen aus Makromolekülen, in denen sich die Anordnung der verschiedenen Atome sehr oft gesetzmäßig wiederholt. Dazu gehören auch die aus Ionen aufgebauten Kristalle, z. B. die aus Kochsalz. Einzelmoleküle treten in ihnen nicht auf. Der ganze Kristall ist ein (aus Kationen und Anionen aufgebautes) riesiges Molekül. Verbindungen entstehen durch Vereinigung zweier oder mehrerer verschiedener Elemente unter Aufnahme oder Abgabe von Energie (*Synthese*) und lassen sich umgekehrt durch chemische oder physikalische Einwirkungen wieder in die Elemente zerlegen (*Analyse*); aus Natrium und Chlor entsteht z. B. die Verbindung Natriumchlorid (Kochsalz), die sich unter der Einwirkung des elektrischen Stromes, durch *Elektrolyse*, wieder in Natrium und Chor überführen läßt. Da sich die Elemente im allgemeinen nur in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen vereinigen, haben Verbindungen eine konstante *Zusammensetzung* entsprechend den *stöchiometrischen Gesetzen*; 23,0 g Natrium vereinigen sich z. B. stets mit 35,46 g Chlor zu 58,46 g Kochsalz. Verbindungen haben gegenüber ihren Bestandteilen völlig neuartige, oft unerwartete Eigenschaften; so entsteht aus den aggressiven Elementen Natrium und Chlor in heftiger chemischer Reaktion das harmlose, lebensnotwendige Natriumchlorid.

Elemente. Die Moleküle der Elemente sind aus einer einzigen Atomart aufgebaut. Die elementaren Gase Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Fluor und Chlor bestehen aus zweiatomigen Molekülen, weißer Phosphor aus vieratomigen und Schwefel aus achtatomigen *Molekülen*. Bei den Edelgasen sind die kleinsten Teilchen die Atome selbst. In den Metallen sind die Atome durch die *metallische Bindung* zu einer Art Makromolekül verknüpft. Man kennt gegenwärtig insgesamt 103 Elemente. Sie sind die Bausteine der z. Z. bekannten etwa 40000 anorganischen und 600000 organischen Verbindungen. Aus ihnen baut sich die ungeheure Vielfalt der Erscheinungsformen der belebten und unbelebten Natur auf.

Mischelemente bestehen aus Atomen der gleichen chemischen Art (gleiche Kernladungszahl), aber verschiedener Masse, also aus verschiedenen *Isotopen*. Man kennt Elemente mit bis zu 10 Isotopen, die sich alle chemisch gleichartig verhalten.
Reinelemente bestehen aus Atomen der gleichen chemischen Art und der gleichen Masse; sie bestehen jeweils nur aus einem einzigen Isotop. Es gibt 22 Reinelemente: Beryllium, Fluor, Natrium, Aluminium, Phosphor, Skandium, Vanadin, Mangan, Kobalt, Arsen, Yttrium, Niob, Rhodium, Jod, Zäsium, Praseodym, Terbium, Holmium, Thulium, Tantal, Gold und Wismut. Sie haben ein fast ganzzahliges *relatives Atomgewicht*. Mit Ausnahme des Berylliums haben alle ungerade Kernladungszahlen.

II. Zustandsformen der Stoffe

Die uns umgebende stoffliche Materie tritt in drei Haupterscheinungsformen oder *Aggregatzuständen* auf. Man unterscheidet den festen, den flüssigen und den gasförmigen Zustand. Die meisten Stoffe können in allen drei Aggregatzuständen vorkommen. Je nach den Zustandsbedingungen liegt ein Stoff in fester, flüssiger oder gasförmiger Form vor; *Zustandsbedingungen* sind z. B. der Druck, der auf einem Stoff lastet, seine Temperatur, der Zerteilungsgrad (die Größe seiner Oberfläche) und bei zusammengesetzten Stoffen auch die Konzentration der Komponenten. Man nennt diese Größen *Zustandsvariablen*. Durch sie werden z. B. das *Volumen* eines Stoffes, sein *Energieinhalt* (Energiezustand) und seine *Entropie* (Ordnungszustand) festgelegt; man nennt diese Größen *Zustandsfunktionen*. Mit Hilfe dieser Funktionen läßt sich der Zustand eines Stoffes in Abhängigkeit von Druck, Temperatur, Oberfläche und Zusammensetzung beschreiben. Verfolgt man die Änderung der Zustandsfunktionen gasförmiger Stoffe mit abnehmender Temperatur und zunehmendem Druck, dann beobachtet man so lange einen gesetzmäßigen stetigen Verlauf, bis bei einer bestimmten Temperatur und bei einem bestimmten Druck die Verflüssigung beginnt. Hier treten sprunghafte Änderungen der Zustandsfunktionen auf. Durch Messen, z. B. des Volumens in Abhängigkeit von Druck und Temperatur, kann man auf diese Weise den gasförmigen Zustandsbereich abgrenzen und die Bedingungen feststellen, unter denen ein gasförmiger Stoff in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.

GASFÖRMIGE STOFFE

Der gasförmige Zustand eines Stoffes ist durch den höchsten Grad der Unordnung seiner Teilchen gekennzeichnet. Die Atome bzw. Moleküle bewegen sich völlig ungeregelt. Ihre Bewegungsrichtung ändert sich infolge sehr häufiger Zusammenstöße (10^9 bis 10^{10} je Sekunde) ständig. Die Geschwindigkeit (bei gewöhnlicher Temperatur etwa 100 bis 1000 Meter je Sekunde) ist einem dauernden Wechsel unterworfen. Erst im zeitlichen Mittel haben alle Moleküle die gleiche mittlere Bewegungsenergie (*kinetische Energie*). Diese Bewegung, die mit der Temperatur zunimmt, wirkt den schwachen Anziehungskräften zwischen den Molekülen entgegen und verhindert die Zusammenlagerung zu größeren Verbänden. Die Moleküle der Gase breiten sich deshalb so weit wie möglich aus (*Expansion der Gase*). Bei Berührung zweier Gase findet vollständige Vermischung statt (*Diffusion*). Gase lassen sich durch Druck zusammenpressen (*komprimieren*). Bei Verminderung des Druckes dehnen sie sich wieder aus. Zum Messen des Gas- bzw. Dampfdrucks dienen *Manometer*.

Normalvolumen der Gase. Das Normalvolumen v_0 der Gase ist der Rauminhalt, den das Gas unter *Normalbedingungen* einnimmt, d. h. bei einer Temperatur T_0 von 0 °Celsius oder 273 °Kelvin und unter einem Druck p_0 von 1 Atmosphäre; dabei kann entweder die technische (1 at = 1 kp/cm²) oder die physikalische Atmosphäre (1,033 kp/cm² = 760 mm Quecksilbersäule) gewählt werden.

Molvolumen der Gase. Das Molvolumen V der Gase ist der Rauminhalt, der von 1 Mol eingenommen wird. Man erhält es, indem man das Volumen v durch die Anzahl n der Mole dividiert, die in diesem Volumen enthalten sind: $V = \frac{v}{n}\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}\right)$. Unabhängig von Gestalt, Größe und Masse ihrer Moleküle haben *alle Gase*, von geringfügigen Abweichungen abgesehen, *das gleiche Molvolumen*. Es beträgt unter Normalbedingungen $V_0 = 22{,}415$ Liter. Die Gasteilchen sind unter diesen Bedingungen relativ weit voneinander entfernt, so daß ihre eigene Raumbeanspruchung praktisch noch nicht ins Gewicht fällt.

Molvolumen bei $T_0 = 273$ °K und $p_0 = 1$ at

Ideales Gas	22,415 l/mol	Stickstoff	22,404 l/mol
Helium	22,415 l/mol	Kohlendioxyd	22,262 l/mol
Wasserstoff	22,428 l/mol	Ammoniak	22,076 l/mol
Sauerstoff	22,393 l/mol		

Ideale Gase. Der ideale Gaszustand ist ein Grenzzustand; er liegt vor, wenn sich die Gasteilchen völlig unbeeinflußt voneinander bewegen, d. h. keine Kraftwirkungen aufeinander ausüben. Die Zusammenstöße erfolgen wie zwischen starren Kugeln (*elastischer Stoß*), und das *Eigenvolumen* der

Moleküle ist gegenüber dem Gesamtvolumen des Gases verschwindend klein, theoretisch hat es den Wert Null. Die Abweichungen vom theoretischen Molvolumen für ideale Gase zeigen, daß diese Forderungen bei den meisten Gasen unter Normalbedingungen nicht vollständig erfüllt sind. Der *ideale Gaszustand* läßt sich jedoch bei niedrigen Drücken (kleiner als 1 Atmosphäre) und erhöhten Temperaturen annähernd realisieren, besonders gut bei den Edelgasen. Dieser Grenzzustand der stofflichen Materie ist deshalb von Bedeutung, weil hier die Abhängigkeit des Zustands eines Gases, z. B. seines Volumens, von den Zustandsvariablen Druck und Temperatur besonders einfach ist. Unter Vernachlässigung kleinerer Effekte erfaßt man auf diese Weise das wesentliche, den allgemeinen Gaszustand beschreibende Gesetz.

Ideale Gasgesetze. Die allgemeine *thermische Zustandsgleichung* gibt die Abhängigkeit des Volumens v vom Druck p und von der Temperatur T an; dieser Zusammenhang kann durch die Funktion $v = f(p, T)$ zunächst symbolisch dargestellt werden. Schon R. Boyle (1660) und E. Mariotte (1679) sowie Gay-Lussac (1802) haben durch zahlreiche Messungen versucht, diese Funktion zu bestimmen.

Boyle-Mariotte-Gay-Lussacsches Gesetz. Das Volumen v eines Gases ist der absoluten Temperatur T direkt und dem Druck p umgekehrt proportional; natürlich ist das Volumen auch der Gasmenge, der Molzahl n, proportional:

$$v = R\,\frac{n \cdot T}{p} \quad \text{oder} \quad p\,v = n\,R \cdot T \quad \textbf{universelle Gasgleichung}$$

Der Proportionalitätsfaktor $R = \frac{p \cdot v}{T \cdot n}$ heißt *universelle Gaskonstante* und hat die Dimension $\frac{\text{Arbeit}}{\text{grd} \cdot \text{mol}}$. Arbeit kann in verschiedenen Energiemaßen angegeben werden; für die universelle Gaskonstante ergeben sich dann folgende Werte:

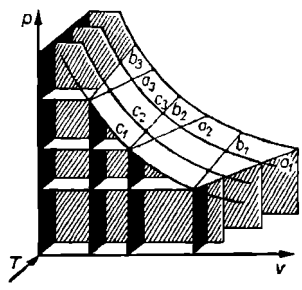
$R = 0{,}08205$ Literatmosphären/(mol · grd)
$= 8{,}314 \cdot 10^7$ erg/(mol · grd)
$= 8{,}309$ Joule/(mol · grd)
$= 1{,}9865$ cal/(mol · grd)

Mit Hilfe der universellen Gasgleichung läßt sich das Volumen eines Gases, dessen Wert bei einer bestimmten Temperatur und bei einem bestimmten Druck bekannt ist, auf jede andere Temperatur und jeden beliebigen Druck umrechnen. Dabei gilt die Einschränkung, daß die Gleichung als Zustandsgleichung für ideale Gase nur im Bereich niedriger Drücke und erhöhter Temperaturen gültig ist.

Boyle-Mariottesches Gesetz. Bei konstanter Temperatur T und konstanter Gasmenge (n Mol) ist das Volumen v dem Druck p umgekehrt proportional.

$$v = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{K}{p} \quad \text{oder} \quad p \cdot v = K$$

Wird 1 Liter Gas, das unter einem Druck von 5 Atmosphären steht, auf $^1/_2$ Liter komprimiert, dann übt es jetzt einen Druck von 10 Atmosphären auf die Gefäßwände aus. Das Gesetz beschreibt Vorgänge, die bei konstanter Temperatur ablaufen, *isotherme Zustandsänderungen*, z. B. die Kompression oder die Expansion eines Gases. Trägt man die verschiedenen Volumenwerte mit den dazugehörigen Druckwerten in ein Diagramm ein, dann erhält man eine *Isotherme*. Sie hat bei idealen Gasen die Gestalt einer gleichseitigen Hyperbel. Zu jeder Temperatur gehört eine bestimmte Isotherme. Die verschiedenen Isothermen bilden eine Kurvenschar. Jede verbindet die Punkte gleicher Temperatur auf der räumlich gekrümmten Zustandsfläche $v = f(p, T)$.



Die Zustandsänderungen eines idealen Gases als Fläche in einem v-T-p-Koordinatensystem und ihre Schnitte mit den Ebenen $p = const$ (Isobare $a_1, a_2, \ldots$), $v = const$ (Isochore $b_1, b_2, \ldots$) und $T = const$ (Isotherme $c_1, c_2, \ldots$)

Kompressibilität der Gase. Die Zusammendrückbarkeit eines Gases wird durch seinen *Kompressibilitätskoeffizienten* angegeben. Er ist definiert als die Abnahme des Volumens um den Betrag $-\Delta v$ bei einer Druckzunahme um Δp, bezogen auf das Normalvolumen v_0.

$$\varkappa = -\frac{1}{v_0} \cdot \frac{\Delta v}{\Delta p} \approx -\frac{1}{v_0}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$$

(Der Index T bedeutet: bei konstanter Temperatur.) Nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz ist $v = \frac{K}{p}$ und $\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T = -\frac{K}{p^2} = -\frac{v}{p}$. Daraus ergibt sich für $\chi = \frac{1}{p}$. Die Zusammendrückbarkeit eines Gases ist vom Druck abhängig und nimmt mit steigendem Druck ab.

Gay-Lussacsches Gesetz. Bei konstantem Druck p und konstant gehaltener Gasmenge (n Mol) ist das Volumen v der absoluten Temperatur proportional.

$$v = \frac{n \cdot R}{p} T = K \cdot T$$

Am absoluten Nullpunkt ($T = 0$) müßte das Volumen nach dieser Gleichung verschwinden ($v = 0$). Das trifft natürlich nicht zu und zeigt, daß das Gesetz nur für den Gaszustand gilt. Die Erscheinung der bei genügend tiefer Temperatur eintretenden Gasverflüssigung wird von ihm nicht beschrieben. Das Gesetz beschreibt Vorgänge, die bei konstantem Druck ablaufen, *isobare Zustandsänderungen*, z. B. die Ausdehnung eines Gases bei Erhöhung der Temperatur. Die *Isobaren* verbinden auf der Zustandsfläche ähnlich wie auf einer meteorologischen Karte die Punkte gleichen Druckes.

Ausdehnungskoeffizient. Der kubische Ausdehnungskoeffizient ist definiert als die Zunahme Δv des Volumens bei einer Temperaturzunahme um ΔT, bezogen auf das Normalvolumen v_0 bei konstantem Druck p:

$$\alpha = \frac{1}{v_0} \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta T}\right)_p \approx \frac{1}{v_0} \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

Nach dem Gay-Lussacschen Gesetz gilt für ein Gas unter Normaldruck ($p_0 = 1$ at): $v = \frac{n \cdot R}{p_0} T$.
Dann ist $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{n \cdot R}{p_0}$ und $\alpha = \frac{n \cdot R}{p_0 \cdot v_0} = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{273}$.
Der *kubische Ausdehnungskoeffizient* ist für Gase konstant. Bei einer Temperaturerhöhung um 1 Grad dehnen sich ideale Gase um $\frac{1}{273}$ ihres Normalvolumens aus.

Spannungskoeffizient. Isochore Zustandsänderungen sind Vorgänge, die bei konstantem Volumen ablaufen, z. B. die Druckerhöhung in einem Gasbehälter bei Erhöhung der Temperatur. Dabei ist der Druck der absoluten Temperatur linear proportional. Die Linien, die auf der Zustandsfläche die Punkte gleichen (konstanten) Volumens verbinden, nennt man *Isochore* oder *Isopykne*. Der Spannungskoeffizient β ist wie der kubische Ausdehnungskoeffizient α temperaturabhängig. Beide stimmen auch im Betrag überein. Bei idealen Gasen erhöht sich der Druck in einem abgeschlossenen Gefäß bei einer Temperaturerhöhung um 1 Grad um $\frac{1}{273}$ Atmosphäre.

Zwischen dem Spannungskoeffizienten β, dem Ausdehnungskoeffizienten α, dem Kompressibilitätskoeffizienten χ und dem Gasdruck p besteht die einfache Beziehung $\alpha = \chi \cdot \beta \cdot p$.

Avogadrosches Gesetz. Bei konstanter Temperatur T und konstantem Druck p enthalten gleiche Volumina aller Gase die gleiche Anzahl Mole und damit auch gleich viel Moleküle.

$$v = \frac{R \cdot T}{p} n \quad \text{oder} \quad v = K \cdot n$$

Die Molzahl n eines Stoffes ist der Quotient $n = \frac{g}{M}$ aus seiner Masse g und seinem *Molekulargewicht* M. Durch Einsetzen in die Gleichung $v = K \cdot n$ erhält man für das Molekulargewicht $M = K \cdot \frac{g}{v} = K \cdot \varrho$. Da das Verhältnis der Masse g zu dem von ihr eingenommenen Volumen v als Dichte ϱ bezeichnet wird, ist das Molekulargewicht von Gasen ihrer Dichte ϱ proportional. Die Molekulargewichte zweier Gase verhalten sich daher wie ihre Dichten.

Gasmischungen. Für Mischungen idealer Gase gelten dieselben Gesetzmäßigkeiten wie für reine Gase. Das *Gesamtvolumen* ist gleich der Summe der *Teilvolumina* oder *Partialvolumina*. Der Gesamtdruck ist gleich der Summe der *Partialdrucke* der in der Mischung enthaltenen Gase (*Daltonsches Gesetz*). Aus den Molekulargewichten der Komponenten und ihren *Molenbrüchen* ergibt sich für die Gasmischung ein mittleres Molekulargewicht.

Luft. Die Lufthülle der Erde wiegt etwa $5{,}1 \cdot 10^{15}$ t. Durch ihr Gewicht übt sie auf uns von allen Seiten gleichmäßig einen Druck aus. Dieser beträgt in Meereshöhe bei 0 °C 1 physikalische Atmosphäre oder 760 Torr. Im Wetterdienst wird der Luftdruck in Millibar angegeben; 1 physikalische Atmosphäre entspricht 1 013,25 Millibar oder 1,033 227 technischen Atmosphären.
Gemessen wird der Luftdruck mit einem Barometer. Eine Luftsäule von 8 km Höhe und 1 cm² Querschnitt übt bei 0 °C (Dichte 0,001 293 g/cm³) einen Druck von 1,033 kp auf ihre Unterlage aus. Denselben Druck erzeugt auch eine Wassersäule von 10,33 m Höhe oder eine Quecksilbersäule von 760 mm Höhe. Die Dichte der Luft ist jedoch nicht konstant. Sie ist temperaturabhängig. Selbst

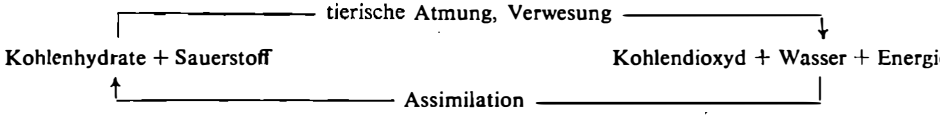
bei konstanter Temperatur nimmt sie mit zunehmender Höhe exponentiell ab (barometrische Höhenformel).
Die Lufthülle hat große Bedeutung für die Unterhaltung des Lebens auf der Erde. Die schädliche ultraviolette Sonnenstrahlung sowie die Primärteilchen der Höhenstrahlung werden bereits in den obersten Schichten der Atmosphäre absorbiert. Die von der Sonne eingestrahlte Wärme wird vorübergehend gespeichert und ihre Abstrahlung ins Weltall verzögert. Dadurch wird das Auftreten extrem hoher und extrem niedriger Temperaturen vermieden.

Zusammensetzung trockener Luft an der Erdoberfläche bis zu etwa 60 km Höhe

Bestandteil	Gew.-%	Vol.-%	Bestandteil	Gew.-%	Vol.-%
Sauerstoff	23,01	20,93	Neon	0,0012	0,00161
Stickstoff	75,51	78,10	Helium	0,00007	0,00046
Argon	1,286	0,9325	Krypton	0,0003	0,000108
Kohlendioxyd	0,04	0,03	Xenon	0,00004	0,000008
Wasserstoff	0,00005	0,00072			

Der *Edelgasgehalt* der Luft beträgt etwa 0,935 Vol.-%. Ein kleiner Saal von beispielsweise 10 m Länge, 10 m Breite und 5 m Höhe (500 m^3) enthält etwa $4^1/_2$ Kubikmeter Argon, 8 Liter Neon, 2 Liter Helium und 40 Kubikzentimeter Xenon.
Oberhalb 60 km Höhe verschiebt sich die Zusammensetzung der Luft etwas zugunsten der leichteren Elemente. Oberhalb 100 km Höhe besteht die äußerst dünne Atmosphäre hauptsächlich aus *Wasserstoff*.

Kreislauf des Sauerstoffs und des Kohlendioxyds. Durch die *Assimilation* der Pflanzen wird der Atmosphäre ständig Kohlendioxyd entzogen und Sauerstoff zugeführt. Unter der Einwirkung des Sonnenlichts (Zufuhr von Energie) vollzieht sich in Anwesenheit des Chlorophylls in den Pflanzenzellen der Aufbau von *Kohlenhydraten* (z. B. Zucker, Stärke, Zellulose) aus Kohlendioxyd und Wasser unter Abgabe von Sauerstoff. Die von den Pflanzen erzeugten Nährstoffe werden im tierischen Organismus zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge und der Körpertemperatur abgebaut. Dieser Abbau besteht ebenso wie die Verwesung aller abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe in einer Oxydation, bei der z. B. die Kohlenhydrate unter Verbrauch von Sauerstoff und Abgabe von Energie zu Kohlendioxyd und Wasser verbrannt werden. Man spricht bei diesen Vorgängen von *Dissimilation*. Das bei der tierischen Atmung frei werdende Kohlendioxyd wird von den Pflanzen wieder assimiliert. Der bei der *Assimilation* frei werdende Sauerstoff gleicht den durch die tierische Atmung bedingten Sauerstoffverlust in der Atmosphäre ständig aus. Die jährlich im Kreislauf befindliche Sauerstoffmenge (10^{11} t) ist jedoch verhältnismäßig klein im Vergleich zur Gesamtmenge (10^{15} t). Anders verhält es sich beim Kohlendioxyd. Die Menge des in der Atmosphäre in Form von Kohlendioxyd vorhandenen Kohlenstoffs ($6{,}0 \cdot 10^{11}$ t) ist nur etwas mehr als doppelt so groß wie die im Tier- und Pflanzenreich gebundene Kohlenstoffmenge ($2{,}7 \cdot 10^{11}$ t).



Kreislauf des Stickstoffs. Auf Grund der Reaktionsträgheit des Stickstoffs sind weder die Tiere noch die meisten Pflanzen dazu befähigt, Stickstoff unmittelbar zu assimilieren. Hierzu sind nur einige Bakterienarten imstande, vor allem das im Ackerboden lebende *Azetobakter* sowie das an den Wurzelknöllchen von *Leguminosen* (z. B. Erbsen, Lupinen) vorkommende *Bacterium radicicola*. Auch durch den nach Gewittern niedergehenden Regen wird dem Ackerboden Stickstoff in Form von Salpetersäure zugeführt. Die im Ackerboden vorhandenen Stickstoffverbindungen (vorwiegend Nitrate und Ammoniumsalze) dienen der Pflanze nach Aufnahme durch die Wurzeln zum Aufbau ihres Eiweißes. Tiere und Menschen decken ihren Stickstoffbedarf aus pflanzlichem Eiweiß. Die vom tierischen Organismus ausgeschiedenen Abbauprodukte der Eiweißstoffe (Harnstoff und andere Stickstoffverbindungen) sowie die bei der Verwesung von Tier und Pflanze entstehenden Nitrate und Ammoniumsalze gelangen bei der Düngung in den Ackerboden zurück. Allerdings werden dem Boden, insbesondere bei *intensiver Landwirtschaft*, mehr Stickstoffverbindungen entzogen als zugeführt. Man stellt daher den Pflanzen den notwendigen Stickstoffbedarf durch zusätzliche *künstliche Düngung* in Form geeigneter Stickstoffverbindungen zur Verfügung. Diese werden in großtechnischem Maßstab aus Luftstickstoff gewonnen (*Ammoniaksynthese*). Durch die jährliche Stickstoffentnahme der Technik (10^6 t) wird die Zusammensetzung der Luft nicht verändert, da diese Menge gegenüber der Gesamtmenge verschwindend klein ist. Außerdem werden etwa 10^6 t Stickstoff durch Verbrennen von Steinkohlen jährlich frei.

Staubgehalt der Luft. Für die unteren Schichten der Atmosphäre läßt sich ein mittlerer Staubgehalt angeben.

Landluft	0,06···0,1 mg/m³	industrielle Betriebe	1···100 mg/m³
Stadtluft	0,3···2,5 mg/m³	Abgase technischer Feuerungen	1···15 g/m³
Rußanteil in Berlin	0,14 mg/m³		

Luftfeuchtigkeit. Der in der Lufthülle der Erde bei jeder Temperatur vorhandene Wasserdampf bewirkt die Luftfeuchtigkeit. Man unterscheidet die *maximale Luftfeuchtigkeit*, d. h. die in Gramm gemessene Wasserdampfmenge, die in 1 m³ Luft bei einer bestimmten Temperatur überhaupt enthalten sein kann (Sättigungsmenge), die *absolute Luftfeuchtigkeit*, d. h. die in Gramm gemessene, zur Zeit der Messung tatsächlich in 1 m³ Luft enthaltene Dampfmenge, und die *relative Luftfeuchtigkeit*, das ist der Prozentsatz, den die absolute Feuchtigkeit von der (in Tabellen angegebenen) maximalen Feuchtigkeit beträgt; sie wird mit einem Hygrometer (griech. *hygros*, feucht) gemessen.

Werte der maximalen Luftfeuchtigkeit. Die maximale Luftfeuchtigkeit (100% relativ) ist dann vorhanden, wenn die Luft mit Wasser „gesättigt" ist, also eben beginnt, das Wasser in Form von Nebel, Tau, Wolken, Regen, Schnee u. a. auszuscheiden. Durch Abkühlen läßt sich das mit jeder Luft erreichen; die Temperatur, bei der die maximale Feuchtigkeit erreicht ist, heißt *Taupunkt*.

Maximale Luftfeuchtigkeit

Temperatur in °C	− 10	− 5	0	+ 4	+ 8	+ 12	+ 16	+ 20	+ 24	+ 28	+ 35
g/m³	2,1	3,3	4,8	6,4	8,3	10,7	13,6	17,3	21,8	27,2	39,5

Berechnung der *relativen Feuchtigkeit:* Ist bei 16 °C eine absolute Feuchtigkeit von 10,2 gemessen, so beträgt nach obiger Tabelle die relative Feuchtigkeit $= \frac{10{,}2}{13{,}6} = \frac{3}{4} = 75\,\%$. Die relative Luftfeuchtigkeit kann (insbesondere bei bewegter Luft) an verschiedenen Stellen des Luftraums sehr verschieden sein und sich schnell ändern.
Die relative Luftfeuchtigkeit kann direkt mit dem *Haarhygrometer* aus der Verlängerung eines Menschenhaares bestimmt werden. Beim *Taupunkthygrometer* ermittelt man den Taupunkt, d. h. die Temperatur, bei der sich auf einer polierten Metallplatte beim Abkühlen Tau oder Reif bildet. Das *Psychrometer* besteht aus zwei von der Luft umströmten Thermometern; das eine ist trocken und zeigt die Lufttemperatur an, das andere wird feucht gehalten und zeigt eine um so tiefere Temperatur an, eine je größere Wassermenge an ihm verdampft. Diese Wassermenge hängt aber von der Feuchtigkeit der vorbeiströmenden Luft ab.

Reale Gase. Die idealen Gasgesetze sind Grenzgesetze. Sie werden selbst bei niedrigen Drücken (unterhalb 1 at) und erhöhten Temperaturen nur annähernd erfüllt. Das Produkt aus Druck und Volumen ist über einen größeren Druckbereich im allgemeinen nicht konstant. Bei den meisten Gasen nimmt das Volumen bei gewöhnlicher Temperatur und einer Druckerhöhung zunächst in stärkerem Maße ab, als nach dem *Boyle-Mariotteschen Gesetz* zu erwarten wäre. Außer dem äußeren Druck ist noch ein *innerer Druck* wirksam, der das Volumen zusätzlich vermindert; er kann durch Anziehungskräfte zwischen den Gasteilchen erklärt werden.
Der Volumenverminderung ist durch die eigene Raumbeanspruchung der Gasteilchen eine Grenze gesetzt. Über eine bestimmte Annäherung hinaus, die dem *Eigenvolumen* entspricht, wirken zwischen den Gasteilchen *abstoßende Kräfte*. Lediglich in dem kleinen Druckbereich, in dem diese beiden entgegengesetzten Effekte sich kompensieren, ist das Boyle-Mariottesche Gesetz $p \cdot v =$ konstant scheinbar erfüllt. Bei noch höheren Drücken ist die durch eine weitere Druckzunahme hervorgerufene Volumenverminderung kleiner, als das Boyle-Mariottesche Gesetz erwarten läßt. Die Abstoßungskräfte überwiegen hier gegenüber den Anziehungskräften.
Oberhalb einer bestimmten Temperatur, der sogenannten *Boyle-Temperatur*, überwiegen bei jedem Druck die abstoßenden Kräfte. Die Zusammendrückbarkeit der Gase ist dann stets kleiner als das Boyle-Mariottesche Gesetz angibt. Für Kohlendioxyd liegt diese Temperatur bei etwa 500 °C, für Luft bei 54 °C und für Wasserstoff bei − 163 °C.
Beim Kohlendioxyd überwiegt bei gewöhnlicher Temperatur der Einfluß der *Anziehungskräfte*. Bei einer Expansion vergrößert sich der mittlere Abstand der Teilchen. Da hierbei Energie zur Überwindung der Anziehungskräfte verbraucht wird, kühlt sich das Gas ab. Auch komprimierte Luft kühlt sich bei der Expansion ab. Auf diesem Abkühlungseffekt, dem *Joule-Thomson-Effekt*, beruht die Verflüssigung der Gase, z. B. die *Luftverflüssigung* nach dem *Verfahren von Linde*. Beim Wasserstoff überwiegt bereits bei gewöhnlicher Temperatur der Einfluß der abstoßenden Kräfte. Bei der Entspannung von komprimiertem Wasserstoff wird Energie frei, und man beobachtet eine Erwärmung. Wasserstoff läßt sich nur nach Vorkühlung auf mindestens − 53 °C durch wiederholte

Kompression und anschließende Expansion verflüssigen. Die Temperatur, bei der weder eine Abkühlung noch eine Erwärmung eintritt, heißt *Inversionstemperatur*. Sie ist gleich der doppelten Boyle-Temperatur (gemessen in Kelvingraden).

Binnendruck. Durch den Binnendruck $\frac{a}{v^2}$ werden die Anziehungskräfte, die sogenannten *van der Waalsschen Kräfte*, zwischen den Gasteilchen berücksichtigt. Bei großem mittlerem Abstand zwischen den Gasteilchen (niedrige Drücke) ist ihr Einfluß verschwindend klein. Sie können im Grenzfall, d. h. bei idealen Gasen, vernachlässigt werden. Erst bei hohen Drücken werden sie in zunehmendem Maße wirksam. Der Binnendruck entspricht einem nach innen gerichteten Zug, der von dem Gas selbst ausgeht und einen Zusammenhalt der Partikel verursacht. Er wirkt stets in derselben Richtung wie der äußere Druck. Man bezeichnet ihn daher auch als *Kohäsionsdruck*. Für Kohlendioxyd beträgt der Binnendruck bei 40 °C und 100 Atmosphären äußerem Druck 731 Atmosphären. Bei Flüssigkeiten liegt er in der Größenordnung von tausend Atmosphären.

Kovolumen. Durch das Kovolumen b wird das Eigenvolumen der Gasteilchen berücksichtigt. Bei niedrigen Drücken (relativ wenig Gas in einem bestimmten Volumen) ist der prozentuale Anteil des Eigenvolumens am Gesamtvolumen verschwindend klein. Das Eigenvolumen kann daher im idealen Gaszustand vernachlässigt werden. Bei erhöhtem Druck muß man das Kovolumen vom Gesamtvolumen subtrahieren. Das Kovolumen ist eine empirisch ermittelte Konstante und hat für jedes Gas einen bestimmten Wert. Es ist gleich dem vierfachen Wert des eigentlichen *Teilchenvolumens*. Das Kovolumen ermöglicht eine Berechnung der Atom- bzw. Molekülradien der Gase.

Die van der Waalssche Gleichung. Unter Berücksichtigung der Druckkorrektion $\frac{a}{v^2}$ für den Binnendruck und der Volumenkorrektion b für das Kovolumen ergibt sich aus der universellen *Zustandsgleichung der idealen Gase* die *Zustandsgleichung der realen Gase:*

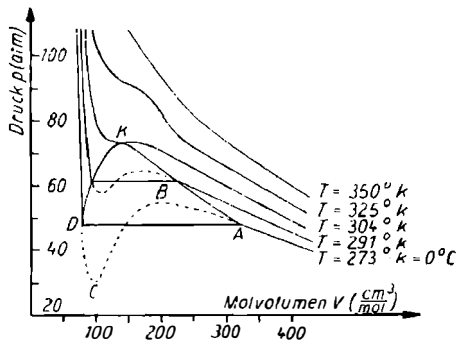
$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = R \cdot T \quad \text{für} \quad 1\ \text{Mol}\ (n = 1).$$

Die van der Waalssche Gleichung ist nicht universell, denn die Konstanten a und b haben für jedes Gas einen bestimmten Wert. Sie hängen in komplizierter Weise noch etwas vom Druck und von der Temperatur ab. Die Gleichung ist daher nur eine Näherungsgleichung. Sie gibt jedoch den Zustand der realen Gase in einem relativ großen Zustandsbereich prinzipiell richtig wieder. Dabei umfaßt sie nicht nur den gasförmigen, sondern auch den flüssigen Aggregatzustand.

Die van der Waalssche Gleichung ist eine Gleichung 3. Grades in bezug auf das Molvolumen V:

$$V^3 - \left(b + \frac{RT}{p}\right) V^2 + \frac{a}{p} V - \frac{ab}{p} = 0.$$

Sie hat wie jede *algebraische Gleichung dritten Grades* je nach dem Wert der Koeffizienten entweder 3 reelle oder eine reelle und zwei komplexe Lösungen, von denen nur die reellen physikalische Bedeutung haben. Bei hinreichend niedrigen Temperaturen ist der Wert des Koeffizienten $\left(b + \frac{RT}{p}\right)$ klein. Zu einem Druckwert p ergeben sich aus der van der Waalsschen Gleichung dann drei verschiedene Volumenwerte. Die Isothermen im V-p-Zustandsdiagramm zeigen dann einen S-förmigen Verlauf. Mit steigender Temperatur werden das Maximum und das Minimum jedoch zunehmend kleiner und flacher, und bei der *kritischen Temperatur* fallen alle drei Volumenwerte in einem Punkt, dem *kritischen Punkt*, zusammen. Die Kurve, auf der er liegt, heißt *kritische Isotherme*. Oberhalb der kritischen Isotherme gehört zu jedem Druck nur ein Volumenwert. Bei genügend hoher Temperatur geht der Verlauf der Isothermen in die Gestalt einer gleichseitigen Hyperbel über. Diese Form ist für den idealen Gaszustand charakteristisch (Boyle-Mariottesches Gesetz).



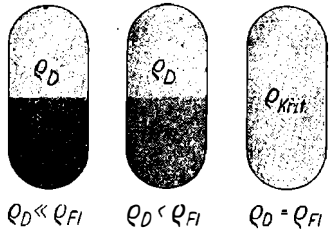
V-p-Zustandsdiagramm realer Gase; Isothermen des Kohlendioxyds, ---- nach der van der Waalsschen Gleichung berechneter Verlauf, —— tatsächlicher Verlauf

Isothermen realer Gase. Die gemessenen Isothermen realer Gase stimmen nicht mit dem S-förmigen Teil der aus der van der Waalsschen Gleichung berechneten Kurven überein. Sie zeigen in dem Maxima-Minima-Bereich einen geraden, zur V-Achse parallelen Verlauf. Das beruht auf der unter diesen Bedingungen eintretenden Gasverflüssigung; Kohlendioxyd von 0 °C (273 °K) z. B. beginnt sich oberhalb eines bestimmten Druckes (Punkt A im Diagramm) zu verflüssigen. Jede weitere, durch Druck hervorgerufene Volumenverminderung führt nicht zu einer Kompression des noch dampfförmig vorliegenden Anteils, sondern zu seiner weiteren Verflüssigung. Der

Dampfdruck über der Flüssigkeit bleibt konstant. Nachdem das gesamte Kohlendioxyd in den flüssigen Aggregatzustand übergegangen ist (Punkt *D*), beschreibt der steil ansteigende Kurvenast der Isotherme die *Kompressibilität* der Flüssigkeit. Das gerade Stück der Isothermen realer Gase entspricht also dem Zustandsbereich, in dem Dampf und Flüssigkeit nebeneinander vorliegen.

Übersättigungserscheinungen. Unter bestimmten Versuchsbedingungen lassen sich die aus der van der Waalsschen Gleichung berechneten Isothermen auch bis zum Maximum (Punkt *B*) und bis zum Minimum (Punkt *C*) realisieren. Der zwischen *B* und *C* liegende Kurventeil läßt sich physikalisch nicht verwirklichen. Die Strecke *AB* entspricht dem *übersättigten Dampfzustand.* Auf Grund einer *Hemmungserscheinung* kann die unter diesen Zustandsbedingungen zu erwartende teilweise Verflüssigung ausbleiben. Die Strecke *DC* beschreibt die Erscheinung einer *überhitzten Flüssigkeit.* Die Bildung der Dampfphase ist in diesem Falle gehemmt. Übersättigungserscheinungen beruhen auf einer verzögerten oder verhinderten Bildung von *Keimen* des neuen Aggregatzustandes; sie können z. B. durch Hinzufügen einer geringen Menge der neu zu bildenden Phase aufgehoben werden.

Der permanente Gaszustand und der Dampfzustand. Je höher die Temperatur ist, um so stärker muß ein Dampf komprimiert werden, um seine Kondensation zu erreichen (Kurve *AK*). Dabei nimmt seine Dichte zu. Demgegenüber nimmt die Dichte der Flüssigkeit mit steigender Temperatur trotz anwachsenden Druckes ab (Kurve *DK*). Im *kritischen Punkt K* ist die Dichte des Dampfes gleich der Dichte der Flüssigkeit. Diese *kritische Dichte* wird nur bei der *kritischen Temperatur* unter einem bestimmten *kritischen Druck* erreicht.



Kritischer Zustand; Annäherung der Dichten von Flüssigkeit ϱ_{Fl} und Dampf ϱ_D beim Erreichen der kritischen Temperatur

Erhitzt man Wasser in einem abgeschlossenen Gefäß über seinen Siedepunkt hinaus, dann nimmt die Dichte des Wasserdampfes immer mehr zu und die des flüssigen Wassers immer mehr ab. Bei 374,2 °C unter einem Druck von 217,5 Atmosphären verschwinden die Dichtenunterschiede und damit auch die Unterschiede zwischen Dampf und Flüssigkeit. Es entsteht eine *homogene Gasphase* mit überall gleichmäßiger Dichte.

Oberhalb der kritischen Temperatur ist die Dichte eines Dampfes unter dem kritischen oder einem höheren Druck bereits größer als die Dichte der Flüssigkeit. Daher ist eine Verflüssigung oberhalb der kritischen Temperatur auch bei keinem noch so hohen Druck möglich.

Man bezeichnet den Zustandsbereich oberhalb der kritischen Temperatur als *permanenten Gaszustand.* Die Edelgase, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff sind bei gewöhnlicher Temperatur permanente Gase. Erst wenn man sie unter die kritische Temperatur abkühlt, läßt sich ihre Verflüssigung durch Druck erreichen. Die Abkühlung ist unter Ausnutzung des Joule-Thomson-Effektes möglich. Unterhalb der kritischen Temperatur besitzen alle Gase den Charakter von Dämpfen. Dämpfe lassen sich schon durch Druck verflüssigen.

Physikalische Konstanten und kritische Daten der gasförmigen Elemente und einiger Verbindungen

Gas	Masse in g von 1 Liter bei 0 °C und 760 mm Hg	Siedepunkt in °C bei 760 mm Hg	Schmelzpunkt in °C bei 760 mm Hg	kritische Temperatur in °C	kritischer Druck in at
Helium	0,1785	− 268,98	− 272,1	− 267,9	2,26
Wasserstoff	0,08987	− 252,78	− 257,3	− 239,9	12,8
Neon	0,8990	− 246,03	− 248,6	− 228,7	26,9
Stickstoff	1,2505	− 195,81	− 210,02	− 147,1	33,5
Luft	1,2928	− 193	− 213	− 140,7	37,2
Fluor	1,695	− 188	− 220	− 101	55
Argon	1,7837	− 185,87	− 189,4	− 122,4	48,0
Sauerstoff	1,42895	− 182,97	− 218,83	− 118,8	49,7
Krypton	3,736	− 152,9	− 156,6	− 63,8	54,2
Xenon	5,891	− 107,1	− 111,5	− 16,6	58,2
Radon	9,96	− 65	− 71	—	—
Chlor	3,22	− 33,95	− 100,5	+ 144,0	76,1
Kohlendioxyd	1,9768	− 79,5	− 56	+ 31,0	73
Ammoniak	0,7714	− 33,4	− 77,7	+ 132,4	111,5
Methan	0,7168	− 161,5	− 182,5	− 82,5	45,7
Wasserdampf	0,768	+ 100,0	0,000	+ 374,2	217,5

FLÜSSIGE STOFFE

Der flüssige Zustand eines Stoffes ist durch einen gewissen Zusammenhalt seiner Teilchen gekennzeichnet. Die Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen) sind nicht an eine bestimmte Lage gebunden wie in einem Festkörper, sie sind aber auch nicht frei beweglich wie in einem Gas. Sie bleiben trotz ihrer weitgehend unregelmäßigen Bewegung stets im gegenseitigen Kräftebereich. Daher kann eine Flüssigkeit nicht wie ein Gas jedes beliebige Volumen mit gleichmäßiger Dichte ausfüllen. Flüssige Stoffe besitzen keine feste Gestalt. Ihr Volumen kann jede beliebige Form annehmen.
Flüssigkeiten und Festkörper haben eine Oberfläche. Ihre Dichte ist etwa 1 000mal größer als die gasförmiger Stoffe. Man faßt sie auch unter dem Begriff *kondensierte Stoffe* zusammen.
Der *thermische Ausdehnungskoeffizient* ist bei Flüssigkeiten etwa 3- bis 5mal kleiner als bei Gasen. Er nimmt im allgemeinen mit steigender Temperatur zu. Die *Kompressibilität* ist auf Grund der relativ hohen Dichte außerordentlich klein und liegt in der Größenordnung von $10^{-4}\,atm^{-1}$.

Verdampfen von Flüssigkeiten. Die Bewegungsenergie der Moleküle in einer Flüssigkeit schwankt ähnlich wie bei Gasen um einen bestimmten Mittelwert. Einige besonders energiereiche Moleküle können bereits unterhalb des Siedepunkts aus der Flüssigkeitsoberfläche entweichen und in den Dampfzustand übergehen. Eine Flüssigkeit hat daher einen bestimmten *Dampfdruck*, der mit zunehmender Temperatur anwächst. Aus einem offenen Gefäß kann der Dampf ständig in die Umgebung entweichen, die Flüssigkeit verdunstet. In einem abgeschlossenen Gefäß dagegen stellt sich ein bestimmter *Sättigungsdampfdruck* ein. Flüssigkeit und Dampf stehen dann miteinander im *Gleichgewicht*, d. h., die Anzahl der je Sekunde aus der Flüssigkeitsoberfläche entweichenden Moleküle ist gleich der Anzahl der Moleküle, die aus dem Dampfzustand wieder in die Flüssigkeit zurückkehren. Beim *Siedepunkt* erreicht der Dampfdruck den Wert des äußeren Druckes, der auf der Flüssigkeit lastet, unter gewöhnlichen Bedingungen also etwa den einer Atmosphäre. Die Höhe der Siedetemperatur wird also vom äußeren Druck mit bestimmt. Eine verstärkte Energiezufuhr bewirkt kein Ansteigen der Temperatur über den Siedepunkt hinaus, sondern beschleunigt lediglich den Siedevorgang. Bei der Siedetemperatur bildet sich die Dampfphase außer an der Oberfläche auch im Innern der Flüssigkeit. Die *Verdampfungswärme* ist die Wärmemenge, die aufzuwenden ist, um 1 g einer Flüssigkeit in den Dampfzustand überzuführen. Sie wird bei der Kondensation des Dampfes als *Kondensationswärme* wieder frei. Der Wert der Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme ist temperaturabhängig. Er beträgt bei 100 °C für Wasser 539 cal/g.

Erstarren von Flüssigkeiten. Beim Abkühlen einer Flüssigkeit wird die unregelmäßige Bewegung der Moleküle in zunehmendem Maße von einer Schwingungsbewegung überlagert. Beim *Erstarrungspunkt* geht die Flüssigkeit in den festen, kristallinen Aggregatzustand über. In festen Stoffen besteht die einzige Bewegungsmöglichkeit der Teilchen in einem elastischen Schwingen um bestimmte Schwerpunktlagen des Kristallgitters. Bei Stoffen, die unter normalen Umständen flüssig sind, nennt man den Erstarrungspunkt auch *Gefrierpunkt*. Die *Erstarrungswärme* ist die Wärmemenge, die beim Erstarren (Gefrieren) von 1 g einer Flüssigkeit frei wird. Sie muß beim Schmelzen als *Schmelzwärme* zugeführt werden. Das Erstarren einer Flüssigkeit macht sich an einem Knickpunkt in der Dampfdruckkurve bemerkbar. Bei festen Stoffen nimmt der Dampfdruck mit der Temperatur stärker zu als bei Flüssigkeiten.

Unpolare Flüssigkeiten. Obgleich die Moleküle einer chemischen Verbindung elektrisch neutral sind, gibt es doch sogenannte *polare Moleküle*, in denen die elektrischen Ladungen ungleichmäßig verteilt sind. Das elektrische Verhalten solcher Moleküle kann vereinfacht aufgefaßt werden als das zweier entgegengesetzt gleicher Ladungen in einem endlichen Abstand und wird durch das Produkt der Ladung mit diesem Abstand, durch das *Dipolmoment*, gekennzeichnet. Die Moleküle unpolarer Flüssigkeiten haben nur ein sehr geringes oder gar kein Dipolmoment. Die Wechselwirkungskräfte zwischen den Molekülen sind dadurch klein, und man findet auch bei verhältnismäßig schweren Molekülen relativ niedrige Schmelz- und Siedepunkte. Unpolare Flüssigkeiten haben eine wesentlich kleinere *Dielektrizitätskonstante* als polare Flüssigkeiten. Die meisten unpolaren Flüssigkeiten sind organisch-chemische Verbindungen, z. B. Kohlenwasserstoffe, Ester, Halogenverbindungen wie Tetrachlorkohlenstoff oder Trichloräthylen. Sie sind miteinander mischbar. Die meisten unpolaren (*homöopolaren*) festen Stoffe sind in ihnen löslich. Die Polarität einer organischen Verbindung nimmt jedoch mit der Anzahl bestimmter polarer Gruppen (z. B. OH-Gruppen) im Molekül zu. Je mehr OH-Gruppen vorhanden sind, um so mehr nimmt die Löslichkeit in einem unpolaren Lösungsmittel ab und um so größer wird die Verwandtschaft mit dem stark polaren Lösungsmittel Wasser.

Polare Flüssigkeiten. Diese Flüssigkeiten bestehen aus Molekülen, die ein relativ großes Dipolmoment haben und zeichnen sich durch verhältnismäßig große Werte für die Dielektrizitätskonstante aus. Auf Grund ihrer Dipolnatur neigen die Moleküle zur *Assoziation*, d. h., sie lagern sich unter Ausbildung kettenförmiger oder ringförmiger Aggregate zusammen, wobei sich jeweils das positive Ende eines Moleküls und das negative Ende des Nachbarmoleküls elektrostatisch anziehen.
Bei einigen wasserstoffhaltigen polaren Flüssigkeiten, z. B. Fluorwasserstoff, HF, Wasser, H_2O, Ammoniak, NH_3, wird der Zusammenhalt der Moleküle außer durch die elektrostatische Anziehung der Dipole noch durch eine besondere Bindungsart, die *Wasserstoffbrückenbindung*, bewirkt. Polare Flüssigkeiten haben gegenüber den unpolaren Flüssigkeiten eine erhöhte *molare Ver-*

Gegenüberstellung einiger unpolarer

Flüssigkeit	Molekulargewicht	Siedepunkt °C	Schmelzpunkt °C
Benzol	78,11	80,12	5,49
Pentan	72,14	36,2	− 130,8
Kohlendioxyd	44,01	− 78,5[1]	− 57,6[2]
Tetrachlorkohlenstoff	153,84	76,7	− 22,9
Wasser	18,016	100	0
Ammoniak	17,03	− 33,35	− 77,8
Flußsäure	20,01	19,5	− 85
Schwefeldioxyd	64,96	− 10,02	− 75,7
Blausäure	27,03	25	− 13
Azetonitril	41,05	81,6	− 44,9

[1] Sublimationspunkt
[2] Schmelzpunkt unter 5 Atmosphären

dampfungswürme, da zur Überwindung der Anziehungs- bzw. Bindungskräfte ein zusätzlicher Energieaufwand erforderlich ist. Auch die Schmelz- und Siedepunkte polarer Flüssigkeiten liegen daher bedeutend höher als die von unpolaren Flüssigkeiten ähnlicher Molekülgröße.
Polare Flüssigkeiten lassen sich meist in jedem Verhältnis miteinander mischen. Unpolare Stoffe sind in polaren Flüssigkeiten nur sehr wenig oder gar nicht löslich. Zahlreiche wenig polare Flüssigkeiten vermischen sich jedoch sowohl mit unpolaren als auch mit polaren flüssigen Stoffen; z. B. ist Alkohol (Äthanol) sowohl mit Wasser als auch mit Benzin mischbar, obwohl Wasser und Benzin sich kaum ineinander lösen. Zwischen den stark polaren und den ausgesprochen unpolaren Flüssigkeiten besteht ein stetiger Übergang.
Die stark polaren Flüssigkeiten sind besonders gute *Lösungsmittel* für salzartige Verbindungen und für solche Stoffe, die mit dem betreffenden Lösungsmittel chemisch verwandt sind; z. B. lösen sich in Wasser, H—OH, zahlreiche organische Verbindungen, deren Moleküle Hydroxylgruppen, —OH, enthalten (niedere einwertige Alkohole, die meisten mehrwertigen Alkohole wie Glykol und Glyzerin, die Zucker u. a.). Salze sind aus Ionen aufgebaut, die im Kristallgitter oft von Lösungsmittelmolekülen umgeben sind (*Solvatation*), in den Salzhydraten z. B. von Wassermolekülen. Sie brauchen beim Auflösen durch das Lösungsmittel nur voneinander getrennt zu werden (*elektrolytische Dissoziation*). Zahlreiche Verbindungen zerfallen erst unter dem Einfluß des polaren Lösungsmittels in Ionen, z. B. Chlorwasserstoff, HCl, oder Eisessig, CH_3COOH, beim Auflösen in Wasser.
Stark polare Flüssigkeiten zeigen eine *geringe Eigendissoziation*, d. h., ihre Moleküle zerfallen nur teilweise in Ionen. Sie besitzen daher zum Unterschied von unpolaren Flüssigkeiten eine zwar geringe, aber meßbare *spezifische Leitfähigkeit*. Auf Grund seiner ausgezeichneten Lösungsmitteleigenschaften ist Wasser die wichtigste polare Flüssigkeit.

Wasser. Das Wasser ist ein Oxyd des Wasserstoffs mit der chemischen Zusammensetzung H_2O. Reines Wasser ist eine geruch- und geschmacklose durchsichtige Flüssigkeit, die in dünner Schicht farblos aussieht und in dicker Schicht bläulich schimmert. Es erstarrt bei 0,0099 °C zu Eis und siedet bei 100 °C unter Bildung von Wasserdampf. Mit Luft gesättigtes Wasser erstarrt bei 0 °C.

Meerwasser. Das Wasser bedeckt etwa $^3/_4$ der Erdoberfläche. Die Ozeane enthalten ungefähr 1370 Millionen Kubikkilometer. Der mittlere *Salzgehalt* des Meerwassers beträgt 3,5 %, davon sind durchschnittlich 2,7 % Kochsalz. Könnte man alles im Meerwasser gelöste Kochsalz kristallisiert als festen Stoff gewinnen, so ließe sich damit ein Volumen ausfüllen, das etwa dem aller Kontinente oberhalb des Meeresspiegels entspricht.
Ein Liter Wasser löst bei 0 °C und 1 at Druck 28,64 cm³ *Luft* auf, die zu 36 % aus Sauerstoff und zu 64 % aus Stickstoff besteht. Die Zusammensetzung der im Wasser gelösten Luft ist also zugunsten des Sauerstoffanteils verschoben; dies ist für die Unterhaltung des tierischen Lebens im Wasser von Bedeutung.
Durch Verdunsten gelangt das Wasser in die Atmosphäre. Diese kann bis zu 4 Vol.-% in Dampfform aufnehmen. Bei Druck- und Temperaturänderungen wird es in flüssiger Form als Nebel, Wolken, Regen, oder in fester Form als Reif, Schnee oder Hagel ausgeschieden.

Regenwasser. Seiner Entstehung nach ist Regenwasser fast reines Wasser. Es enthält neben Staubteilchen nur etwas Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxyd, aus der Luft gelöst. Es vermag auf Grund seines Kohlensäuregehalts Kalk zu lösen.

Quell- und Flußwasser. Im Mittel enthält Flußwasser 0,01 bis 0,2 % gelöste Salze, vorwiegend *Sulfate* und *Hydrogenkarbonate* des Magnesiums und Kalziums, Kaliums und Natriums.

und der wichtigsten polaren Flüssigkeiten

Dielektrizitätskonstante ε	Dipolmoment μ (Debye)	Eigendissoziation	spezifische Leitfähigkeit $\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$
2,24 (20 °C)	0,08		
1,82 (20 °C)	0		
1,6 (20 °C)	0		
2,25 (20 °C)	0		
81 (18 °C)	1,85	$2\,H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$	$4{,}41 \cdot 10^{-8}$ (18 °C)
22 (− 34 °C)	1,5	$2\,NH_3 \rightleftarrows NH_4^+ + NH_2^-$	$3 \cdot 10^{-8}$ (− 37 °C)
83,6 (0 °C)	—	$3\,HF \rightleftarrows H_2F^+ + HF_2^-$	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$ (0 °C)
13,8 (14,5 °C)	1,6	$2\,SO_2 \rightleftarrows SO^{++} + SO_3^{--}$	$1 \cdot 10^{-7}$ (0 °C)
95	2,8	$2\,HCN \rightleftarrows H_2CN^+ + CN^-$	$3{,}3 \cdot 10^{-6}$ (0 °C)
38,8	3,4		$1 \cdot 10^{-7}$ (0 °C)

Als Süßwasser bezeichnet man für gewöhnlich Wasser, das weniger als 1 g trockenen Rückstand je Liter enthält.
Die gelösten Salze verhindern in vielen Fällen die unmittelbare *industrielle Verwendung* des Wassers. Beim Erhitzen im Dampfkessel wandeln sich die löslichen Hydrogenkarbonate des Kalziums und Magnesiums in schwerlösliche Karbonate um, die sich als *Kesselstein* ablagern. An den mit Kesselstein belegten Stellen kommt es zu lokalen Überhitzungen, die ein vorzeitiges Durchbrennen der Kesselwände verursachen.

Mittlerer Ionengehalt des Wassers einiger europäischer Flüsse in Milligramm je Liter

Ca^{++}	67,2	K^+	15,4	Cl^-	6,5
Mg^{++}	17,4	Na^+		SO_4^{--}	26,6
				CO_3^{--}	66,9

Mit den *Seifen* bilden die Kalzium- und Magnesiumionen schwerlösliche Salze, die Kalkseifen. Der Verbrauch an Seife wird dadurch erhöht und der Waschprozeß durch Ablagern der Kalkseifen im Gewebe beeinträchtigt. Die Schaumbildung setzt in einer Seifenlösung erst ein, nachdem alle Magnesium- und Kalziumionen in Form der schwerlöslichen Kalkseifen ausgefällt sind.
Der Gehalt an Erdalkalisalzen, die sogenannte *Härte des Wassers*, wird durch chemische Analyse bestimmt. Die *temporäre Härte*, *vorübergehende Härte* oder *Karbonathärte* verschwindet beim Kochen des Wassers, da die löslichen Hydrogenkarbonate von Kalzium, $Ca(HCO_3)_2$, und Magnesium, $Mg(HCO_3)_2$, dabei als schwerlösliche Karbonate $CaCO_3$ und $MgCO_3$ ausfallen. Die *permanente Härte*, *bleibende Härte* oder *Sulfathärte* wird durch Kalzium- und Magnesiumsulfat oder -chlorid verursacht; diese Salze bleiben beim Kochen unverändert in Lösung.

Härtegrade. Deutsche Grade: 1° = 1 Teil Kalziumoxyd, CaO, in 100000 Teilen Wasser oder 10 mg CaO in 1 Liter Wasser; 1 Teil Magnesiumoxyd, MgO, ist 1,4 Teilen CaO äquivalent.
Englische Grade: 1° = 1 Grain (0,0648 g) Kalziumkarbonat, $CaCO_3$, in 1 Gallone (4,546 Liter) Wasser oder 1 Teil Kalziumkarbonat, $CaCO_3$, in 70000 Teilen Wasser bzw. 10 mg $CaCO_3$ in 0,7 *l* Wasser.
Französische Grade: 1° = 1 Teil Kalziumkarbonat, $CaCO_3$, in 100000 Teilen Wasser oder 10 mg $CaCO_3$ in 1 *l* Wasser.
Amerikanische Grade: 1° = 1 Teil Kalziumkarbonat, $CaCO_3$, in 10000 Teilen Wasser oder 1 mg $CaCO_3$ in 1 *l* Wasser.

Vergleich der Härtegrade

	mg-Äquiv./*l*	deutsche Grade	französische Grade	englische Grade	amerikanische Grade
1 mg-Äquivalent je *l*	1	2,804	5,005	3,511	50,045
1 deutscher Grad	0,35663	1	1,7848	1,2521	17,847
1 französischer Grad	0,19982	0,5603	1	0,7015	10
1 englischer Grad	0,28483	0,7987	1,4255	1	14,253
1 amerikanischer Grad	0,01998	0,0560	0,1	0,0702	1

1 mg-Äquivalent/*l* bedeutet, soviel Milligramm Kalziumkarbonat ist in einem Liter gelöst, wie das Äquivalentgewicht angibt.

Hartes Wasser kann durch Soda oder bestimmte Phosphate enthärtet werden. Am wirksamsten ist die Wasserenthärtung mit *Ionenaustauschern*. *Weiches Wasser* ist Regenwasser oder enthärtetes Wasser. *Mineralwässer* sind Quellwässer, denen je nach den gelösten Stoffen eine besondere Heilwirkung zukommt. *Solwässer* enthalten vorwiegend Kochsalz, *Bitterwässer* Magnesiumsalze, *Schwefelwässer* Schwefelwasserstoff, *Säuerlinge* Kohlensäure und *Stahlwässer* Eisensalze.

Bezeichnung des Wassers nach seiner Härte

	mg-Äquiv./l	deutsche Grade
sehr weich	1,5	kleiner als 4
weich	1,5–3	4–8
mäßig hart	3–6	8–18
hart	6–9	18–25 oder 30
sehr hart	mehr als 9	mehr als 25 (30)

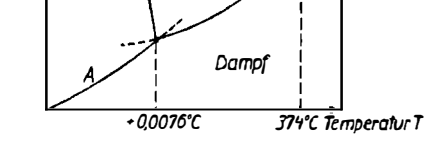
Trinkwasser. Besondere Anforderungen werden an das Trinkwasser gestellt; es muß vor allem bakterienfrei sein. In Ermangelung von *Quellwässern* nimmt man oft *Grund-* oder *Flußwasser*. Dieses wird langsam durch eine Kies- und Sandschicht filtriert, die die Bakterien zurückhält. Zur sicheren *Entkeimung* wird das Wasser noch mit Chlor oder Ozon behandelt oder mit ultraviolettem Licht bestrahlt. Den erfrischenden Geschmack verdankt es den gelösten Salzen und gelöster Kohlensäure.

Destilliertes Wasser. Das destillierte Wasser ist reines Wasser, das man durch Verdampfen und anschließende Kondensation von den gelösten Salzen abgetrennt hat. *Bidestilliertes Wasser* ist doppelt destilliert. Erst durch mehrfache Destillation unter Luftausschluß in Apparaten aus Quarz oder Edelmetallen erhält man ganz reines Wasser. Seine Leitfähigkeit ist äußerst gering (bei 18 °C $4{,}3 \cdot 10^{-8}\ \Omega^{-1}\,cm^{-1}$). Sie beruht auf der geringen Eigendissoziation in *Wasserstoffionen*, H^+, bzw. *Hydroniumionen*, H_3O^+, und *Hydroxylionen*, OH^-. Hochgereinigtes, keimfreies Wasser wird u. a. zu klinischen Zwecken, z. B. zur Herstellung von Injektionslösungen, verwendet.

Unterschied zwischen leichtem Wasser und schwerem Wasser

	H_2O	D_2O
Molekulargewicht	18,016	20,029
Schmelzpunkt	0,00 °C	3,82 °C
Siedepunkt	100,00 °C	101,42 °C
Dichte bei 20 °C in g/ml	0,9982	1,1056
Temperatur des Dichtemaximums	3,98 °C	11,6 °C
molare Schmelzwärme bei 0 °C	1,44 kcal	1,51 kcal
molare Verdampfungswärme bei 100 °C	9,73 kcal	9,96 kcal
Dielektrizitätskonstante bei 20 °C	80,1	79
Ionenprodukt bei 25 °C	$1{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}6 \cdot 10^{-15}$

Schweres Wasser. Das Oxyd des schweren stabilen Wasserstoffisotops Deuterium, D_2O, wird schweres Wasser genannt. Da der natürliche Wasserstoff zu 0,014 % aus Deuterium besteht, ist das schwere in sehr geringer Menge im natürlichen Wasser enthalten; es kann z. B. durch *elektrolytische Wasserzersetzung* angereichert werden. Große Mengen schweren Wassers werden in bestimmten Kernreaktortypen als Moderator verwendet. Das natürliche Vorkommen des Deuteriums (auf 6000 Wasserstoffatome kommt 1 Deuteriumatom) stellt ein gewaltiges Energiereservoir dar, das sich auf dem Wege der *Kernverschmelzung* nutzbar machen läßt; einem Liter Wasser entsprechen dabei rund 400 *l* Erdöl.



Schematisches Zustandsdiagramm des Wassers

Der *relative Masseunterschied* zwischen Wasserstoff und Deuterium beträgt 100 %. Er ist größer als bei den Isotopen aller anderen Elemente. Der Einfluß der Isotopenmasse auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften, der sogenannte *Isotopieeffekt*, ist daher bei den Isotopen des Wasserstoffs am größten, während er sonst relativ gering ist. Gewöhnliches Wasser und schweres Wasser haben daher etwas unterschiedliche Eigenschaften.

Zustandsdiagramm des Wassers. Eis und Wasser haben bei jeder Temperatur einen bestimmten Sättigungsdampfdruck. Trägt man den zu jeder Temperatur gehörenden Dampfdruckwert in ein rechtwinkliges Koordinatensystem ein, dann erhält man die im Zustandsdiagramm des Wassers mit *A* und *B* bezeichneten Kurven.

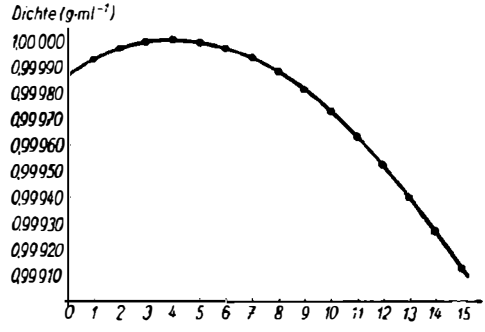
Kurve *A* kennzeichnet die Zustandsbedingungen, die vorliegen müssen, wenn Eis und Wasserdampf im stabilen Gleichgewicht nebeneinander vorliegen sollen. Man bezeichnet sie auch als *Sublimations-*

kurve. Kurve *B* trennt das Zustandsgebiet des flüssigen Wassers von dem des Wasserdampfes. Bei den durch Kurve *B* festgelegten Druck- und Temperaturwerten befinden sich Wasser und Wasserdampf miteinander im Gleichgewicht. In einem nur Wasser und Dampf enthaltenden abgeschlossenen Gefäß verteilt sich die Gesamtmenge des Wassers so auf beide Phasen, daß ein ganz bestimmter Dampfdruck entsteht. Diese *Dampfdruckkurve* einer Flüssigkeit endet am kritischen Punkt $T_{krit.}$ Der Schnittpunkt der beiden Kurven *A* und *B* ist der *Schmelzpunkt* des Eises bzw. der *Gefrierpunkt* des Wassers unter seinem eigenen Dampfdruck. Bei dieser Temperatur sind alle drei Aggregatzustände des Wassers nebeneinander beständig. Derartige Punkte in einem Zustandsdiagramm, in denen sich drei Phasen miteinander im Gleichgewicht befinden, bezeichnet man als *Tripelpunkte.* Kurve *C* gibt die Druckabhängigkeit der Schmelztemperatur des Eises wieder. Es gibt nur relativ wenige Stoffe, bei denen die Schmelztemperatur mit steigendem Druck sinkt.

Dampfdruck des Wassers bzw. Eises zwischen −60 °C und 350 °C in mm Quecksilbersäule (mm Hg)

°C	*p* (mm Hg)	°C	*p* (mm Hg)	°C	*p* (mm Hg)
−60	0,0081	10	9,209	100	760,00
−20	0,776	20	17,54	150	3571
−10	1,950	40	55,32	200	11659
−5	3,013	60	149,4	250	29818
0	4,579	80	355,1	300	64433
				350	124002

Anomalie des Wassers. Die meisten Stoffe dehnen sich beim Schmelzen aus. Belastet man sie, dann wirkt der äußere Druck der Ausdehnung entgegen, und man muß etwas mehr Energie zuführen, um den Stoff trotzdem zum Schmelzen zu bringen. Folglich liegt bei diesen Stoffen der *Schmelzpunkt unter Druck* höher. Beim Wasser sinkt jedoch der Schmelzpunkt mit zunehmendem Druck, weil die Dichte des flüssigen Wassers größer ist als die des Eises. *Wasser dehnt sich beim Erstarren aus,* um etwa $^1/_{11}$ seines Volumens; Eis schwimmt auf Wasser. Diese Ausdehnung ist für die *Verwitterung* der Gesteine von größter Bedeutung. Das Wasser dringt zunächst in Risse und Spalten ein und sprengt dann während der kälteren Jahreszeit beim Erstarren Teile des Gesteins ab. Es trägt so zur Bildung des für die Vegetation wichtigen Erdbodens bei. Die Temperaturabhängigkeit der *Dichte* des Wassers durchläuft ein Maximum. Beim Erwärmen nimmt die Dichte bis 3,98 °C zu. Oberhalb dieser Temperatur nimmt sie ab und erreicht bei etwa +8 °C wieder den Wert von 0 °C. Auf Grund dieser Tatsache kühlt sich das Wasser von Seen im Winter zunächst nur bis +4 °C ab, da das schwerere Wasser nach unten sinkt und dafür das wärmere an die Oberfläche gelangt. Bei weiterer Abkühlung bleibt das kältere Wasser oben und erstarrt schließlich zu dem ebenfalls spezifisch leichteren Eis. Die Kälte kann dadurch nur langsam in größere Tiefen vordringen.



Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur

Lösungen. Homogene Mischungen, in denen ein Bestandteil stark überwiegt, bezeichnet man als *echte Lösungen.* Der gelöste Stoff ist in dem Lösungsmittel gleichmäßig und molekular verteilt. *Flüssige Lösungen,* insbesondere wäßrige Lösungen, haben große praktische Bedeutung; sowohl die für die Lebensvorgänge in der Zelle unerläßlichen physiologisch-chemischen Reaktionen als auch der überwiegende Teil der chemischen Reaktionen in der Technik laufen in wäßrigen Lösungen ab. Die für Lösungen charakteristischen Meßgrößen und Gesetzmäßigkeiten sind bei *verdünnten Lösungen* besonders einfach, da hier die Moleküle bzw. Ionen des gelösten Stoffes im zeitlichen Mittel relativ weit voneinander entfernt sind und sich dadurch in einem dem Gaszustand ähnlichen Zustand befinden.

Konzentrationsmaße. Unter der Konzentration einer Lösung versteht man ihren Gehalt an gelöstem Stoff. Zur Angabe der Zusammensetzung von Mischungen und Lösungen dienen verschiedene Konzentrationsmaße.

Gewichtsanteil und Gewichtsprozent. Die Menge m eines gelösten Stoffes, dividiert durch die Gesamtmenge der aus mehreren Komponenten zusammengesetzten Mischung bzw. Lösung, ergibt seinen Gewichtsanteil g. Für ein aus 2 Stoffen zusammengesetztes *binäres System* gilt:

$$g_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad \text{und} \quad g_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2}.$$

Bezieht man den *Gewichtsanteil* auf 100 g Mischung bzw. Lösung, dann erhält man den Gehalt in Prozenten (*Gewichtsprozent*):

$$g_1\,\% = g_1 \cdot 100; \quad g_2\,\% = g_2 \cdot 100.$$

Eine 39 %ige Salzsäure enthält z. B. 39 g Chlorwasserstoff in 100 g Lösung. Mitunter bezieht man den Gewichtsanteil auch auf 1000 g Lösung.

Molenbruch und Molprozent. Das Verhältnis der Anzahl der Mole (n_1) des gelösten Stoffes zur Gesamtanzahl ($n_1 + n_2$) der Mole aller in der Mischung bzw. Lösung enthaltenen Stoffe ergibt den *Molenbruch* γ. In einem aus zwei Stoffen zusammengesetzten System gilt: $\gamma_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ und $\gamma_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$. Die Molenbrüche der Komponenten einer Mischung ergänzen sich zu 1: $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$.
Bezieht man den Molenbruch auf 100 Mol Mischung bzw. Lösung, dann erhält man den Gehalt in *Molprozent*:

$$\gamma_1\,\% = \gamma_1 \cdot 100; \quad \gamma_2\,\% = \gamma_2 \cdot 100.$$

Molprozente sind das 100fache des Molenbruchs. Bei Mischungen von Elementen, z. B. in Legierungssystemen, spricht man auch von *Atomprozent*.

Volumprozent. Für Mischungen aus zwei oder mehreren Flüssigkeiten werden mitunter die Volumprozente als Konzentrationsmaß verwendet. Man gibt die Anzahl Milliliter, ml, der jeweiligen Flüssigkeit an, die in 100 ml Lösung enthalten sind. Enthalten 100 ml einer Wasser-Alkohol-Mischung 40 ml reinen Alkohol, dann beträgt die Konzentration des Alkohols in der Mischung 40 Vol.-%. Man rechnet im allgemeinen lieber mit Gewichtsprozenten, da sich die Volumina zweier Komponenten beim Mischen nur selten genau addieren (nur bei *idealen Mischungen* und bei *idealen Gasen*). Meist tritt eine konzentrationsabhängige *Volumenkontraktion* oder *-dilatation* auf: z. B. ergeben 1 *l* Alkohol, C_2H_5OH, und 1 *l* Wasser nur 1,93 *l* Mischung. Die Volumenkontraktion beträgt bei diesem Mischungsverhältnis 3,5 %. In idealen Gasmischungen sind die Volumprozente mit den Molprozenten identisch.
Molalität oder Kilogrammolarität. Die Anzahl Mole des gelösten Stoffes in 1000 g Lösungsmittel wird als Molalität bezeichnet. Löst man m_2 Gramm eines Stoffes vom Molekulargewicht M_2 (Molzahl $n_2 = m_2 : M_2$) in m_1 Gramm Lösungsmittel, dann läßt sich die *Molalität* c' nach folgender Formel berechnen:

$$c' = \frac{m_2}{m_1 \cdot M_2} \cdot 1\,000 = \frac{n_2}{m_1} \cdot 1\,000.$$

Ein mit der Kilogrammolarität eng verwandtes Maß ist die häufig benutzte Angabe der *Konzentration* einer Lösung in Gramm des gelösten Stoffes je 100 g Lösungsmittel. Eine Lösung von 25 g Kochsalz, NaCl, in 100 g Wasser ist $\frac{25}{125} \cdot 100 = 20\,\%$ig. Ihre Molalität beträgt:

$$c' = \frac{25}{100 \cdot 55{,}46} \cdot 1\,000 = 4{,}51.$$

Die Lösung ist also 4,51 *molal*.

Molarität oder Litermolarität. Die Anzahl Mole des gelösten Stoffes in 1000 ml Lösung wird als Molarität bezeichnet. Eine *1-molare Lösung* enthält 1 Mol, eine 0,1-molare Lösung 0,1 Mol eines Stoffes in 1 Liter gelöst. Löst man m_2 Gramm eines Stoffes in m_1 Gramm Lösungsmittel, dann ist das Volumen der Lösung gleich der Gesamtmenge $m_1 + m_2$ geteilt durch die Dichte ϱ.
Die Litermolarität c läßt sich nach folgender Formel berechnen:

$$c = \frac{m_2 \cdot \varrho}{M_2 (m_1 + m_2)} \cdot 1\,000 = \frac{n_2 \cdot \varrho}{(m_1 + m_2)} \cdot 1\,000.$$

Da die Dichte in die Gleichung eingeht, ist die Litermolarität zum Unterschied von allen vorgenannten Konzentrationsmaßen von Druck und Temperatur abhängig. Eine 20 %ige Kochsalzlösung z. B. (Dichte bei 15 °C 1,153 g/ml) ist

$$c = \frac{20 \cdot 1{,}153}{55{,}46 \cdot (20 + 80)} \cdot 1000 = 4{,}16 \text{ molar}.$$

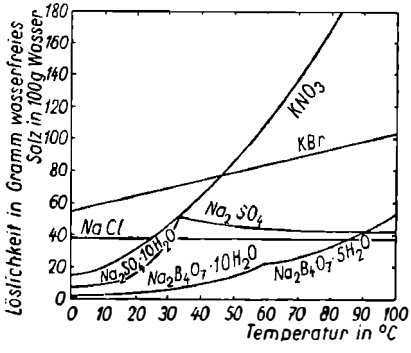
Die Molarität ist das in der Chemie am häufigsten verwendete Konzentrationsmaß.

Normalität. Die Anzahl der Grammäquivalente eines Stoffes, die in 1000 ml Lösung enthalten sind, wird als Normalität der Lösung bezeichnet. Eine 1-normale Lösung enthält 1 *Grammäquivalent* (*1 Val*) eines Stoffes im Liter gelöst. Lösungen gleicher Normalität enthalten in gleichen Raumteilen äquivalente Stoffmengen. Während z. B. eine 1-molare Salzsäure, HCl, auch 1-normal an Wasserstoffionen ist, besitzt eine 1-molare Schwefelsäure 2 Mol Wasserstoffionen je Liter, wie aus der Formel hervorgeht. Sie ist daher in bezug auf ihren Säuregehalt (Gehalt an H^+-Ionen) 2-normal. Eine 1-normale Schwefelsäure enthält daher nur 0,5 Mol H_2SO_4 je Liter gelöst, d. h., sie ist 0,5-molar. Ihr *Äquivalentgewicht* ist gleich dem halben *Molekulargewicht*. Entsprechend haben z. B. 1-normale Lösungen von verschiedenen *Oxydationsmitteln* den gleichen Oxydationswert. *Normal-Lösungen* werden meist in der *analytischen Chemie* als *Maßlösungen* verwendet.

Löslichkeitsgrade

Löslichkeitsgrad	Abkürzung	Verdünnung
in allen Verhältnissen mischbar		
leicht löslich	*l. l.*	bis 10
löslich	*l.*	10···30
schwer löslich	*schw. l.*	30···100
wenig löslich	*w. l.*	100···1000
sehr schwer (sehr wenig) löslich	*s. schw. l.*	1000···10000
unlöslich (praktisch)	*unl.*	über 10000

Löslichkeit. Die meisten Stoffe sind in einem festen oder flüssigen Lösungsmittel nur in beschränktem Umfang löslich. Beim Auflösen eines Gases, einer Flüssigkeit oder eines Salzes treten die Teilchen (Atome, Moleküle oder Ionen) durch die Oberfläche in das Lösungsmittel über. Je größer jedoch die Konzentration wird, um so mehr nimmt die Tendenz der Teilchen zu, sich aus der Lösung wieder in die Phase des aufzulösenden Stoffes zu begeben. Unter Löslichkeit versteht man die *Sättigungskonzentration* eines gelösten Stoffes. Bei dieser Konzentration herrscht *Gleichgewicht*, d. h., die Anzahl der je Sekunde in Lösung gehenden Teilchen ist gleich der Anzahl der Teilchen, die aus der Lösung in dieser Zeit wieder entweichen. Zur Bestimmung der Löslichkeit gibt man den betreffenden Stoff so lange zu einer bestimmten Menge Lösungsmittel, bis keine weitere Auflösung erfolgt und sich ein bleibender *Bodenkörper* gebildet hat. *Ungesättigte Lösungen* haben eine kleinere Konzentration als der Sättigungskonzentration entspricht. *Gesättigte Lösungen* enthalten die unter den gegebenen Bedingungen höchstmögliche Menge eines Stoffes gelöst. *Übersättigte Lösungen* lassen sich durch langsames Abkühlen heiß gesättigter Lösungen herstellen; ihr Gehalt ist größer, als die Sättigungskonzentration angibt. Die Kristallisation der festen Phase ist in solchen Fällen gehemmt. Übersättigte Lösungen sind nicht stabil (*metastabil*); sie scheiden den über die Sättigungskonzentration hinausgehenden Anteil des gelösten Stoffes beim Schütteln oder nach Zusatz einiger Kriställchen, die als Keime für die Kristallisation wirken, plötzlich aus. Manche Stoffeneigen besonders stark zur Bildung übersättigter Lösungen, z. B. Fixiersalz, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$.



Löslichkeitskurven; Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit von Kaliumnitrat, KNO_3, *Natriumchlorid,* NaCl, *Kaliumbromid,* KBr, *Natriumtetraborat,* $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ bzw. $5H_2O$, *Natriumsulfat,* Na_2SO_4

Löslichkeitsgrade. Für die im Sprachgebrauch übliche Kennzeichnung der verschiedenen Löslichkeitsgrade sind die in der Tabelle angegebenen Grenzen vereinbart worden.
Die Verdünnung ist gleich dem reziproken Wert der Konzentration; sie gibt die Gewichtsanteile des Lösungsmittels je Gewichtsanteil des zu lösenden Stoffes an.

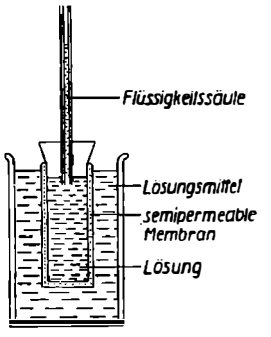
Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit. Die Löslichkeit eines Stoffes kann mit steigender Temperatur zunehmen oder abnehmen. Bei den meisten *Salzen* wächst die Löslichkeit mit steigender Temperatur an. Eine besonders starke Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit zeigt Kalisalpeter (Kaliumnitrat, KNO_3) in Wasser. Bei manchen *Salzhydraten*, wie z. B. Borax (Natriumtetraborat, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), Glaubersalz (Natriumsulfat, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) oder Soda (Natriumkarbonat, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$), bildet sich oberhalb einer bestimmten Temperatur ein Bodenkörper mit geringerem oder gar keinem Kristallwassergehalt. Die neue Phase ist schwerer löslich als die kristallwasserreichere Form. Derartige Umwandlungen des Bodenkörpers geben sich als Knickpunkt in der

Löslichkeitskurve zu erkennen. Einige Salze, z. B. Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl), zeigen nur eine sehr geringe Temperaturabhängigkeit ihrer Löslichkeit. Die Anzahl der Salze, deren Löslichkeit mit steigender Temperatur abnimmt, ist relativ klein, z. B. Natriumsulfat oberhalb 32,4 °C oder Natriumkarbonat-monohydrat oberhalb 32 °C.

Lösungswärme. Das Auflösen von Stoffen, z. B. von Salzen in Wasser, ist meist mit dem Auftreten einer Wärmetönung verbunden. Erwärmt sich die Lösung durch das Auflösen, so spricht man von *negativer Lösungswärme*, da das System Energie nach außen abgibt, beim Abkühlen von *positiver Lösungswärme*. Die Lösungswärme ist die Differenz aus zwei sich teilweise kompensierenden größeren Energiebeträgen. Der eine Energiebetrag wird bei der Auflösung eines Salzes aufgewendet, um die Anziehungskräfte der Ionen (*Gitterenergie*) zu überwinden; er bewirkt eine Abkühlung. Durch Anlagern von Wassermolekülen an die Ionen wird jedoch Energie frei (*Hydratationsenergie*), die sich als Erwärmung der Lösung bemerkbar macht. Je nachdem, welcher dieser beiden Energiebeträge überwiegt, resultiert eine positive oder negative Lösungswärme. Da in den kristallwasserreichen Salzen die Ionen bereits weitgehend hydratisiert vorliegen, lösen sie sich meist unter starker Abkühlung in Wasser auf. Ihre Löslichkeit nimmt daher mit steigender Temperatur zu. Demgegenüber löst sich wasserfreies Natriumsulfat unter starker Erwärmung in Wasser auf. Seine Löslichkeit nimmt oberhalb 32,4 °C mit steigender Temperatur ab (*Prinzip des kleinsten Zwanges*).

Löslichkeitsprodukt. Bei Elektrolyten läßt sich die Löslichkeit durch das Produkt der Konzentrationen der Ionen ausdrücken. Da Salze als *starke Elektrolyte* in Lösung vollständig in Ionen dissoziieren, gilt z. B. für eine gesättigte Kalziumsulfatlösung, wenn die Konzentration in Mol je Liter durch eckige Klammern [ ] angegeben wird, $[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = K_L = 6{,}1 \cdot 10^{-5}\ mol^2/l^2$ bei 10 °C. Die Sättigungskonzentration ergibt sich in diesem Fall als Quadratwurzel aus dem Löslichkeitsprodukt. Man verwendet diese Löslichkeitsangabe meist bei Stoffen mit relativ geringer Löslichkeit.

Henry-Daltonsches Gesetz. Die Löslichkeit c eines Gases in einem flüssigen oder festen Stoff ist bei gegebener Temperatur seinem Druck p proportional; $c = kp$. Der Proportionalitätsfaktor k heißt *Löslichkeitskoeffizient*. Das Gesetz gilt unter der Einschränkung, daß Gas und Lösungsmittel nicht miteinander reagieren. Es beschreibt also z. B. nicht die Löslichkeit von Chlorwasserstoff oder Ammoniak in Wasser.



Osmometer; Messung des osmotischen Druckes in der Pfefferschen Zelle

Osmotischer Druck. Unter *Osmose* versteht man die Diffusion von Lösungsmittelmolekülen aus einer verdünnten Lösung in eine konzentriertere Lösung durch eine *halbdurchlässige* (*semipermeable*) *Membran*. Eine derartige Scheidewand ist nur für die Lösungsmittelmoleküle, aber nicht für die Moleküle oder Ionen des gelösten Stoffes durchlässig. Die Triebkraft dieser Diffusion beruht auf dem Bestreben einer Lösung, sich zu verdünnen. Ähnlich wie man bei Gasen das Expansionsbestreben am Gasdruck erkennt, läßt sich auch das Verdünnungsbestreben einer Lösung durch einen Druck, den *osmotischen Druck*, exakt messen. Dazu bringt man ein mit einem aufgesetzten Steigrohr versehenes Gefäß, in dem sich die zu messende Lösung befindet, in ein zweites Gefäß, das mit reinem Lösungsmittel gefüllt ist. Lösung und Lösungsmittel sind durch eine semipermeable Membran getrennt. Die Lösungsmittelmoleküle dringen durch die Scheidewand in das innere Gefäß ein. Die Lösung verdünnt sich und füllt in zunehmendem Maße das Steigrohr. Durch den hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule wird jedoch dem weiteren Eindringen von Lösungsmittel ein immer größerer Widerstand entgegengesetzt. Der *hydrostatische Druck* ist gleich dem osmotischen Druck, wenn keine weitere Verdünnung der Lösung mehr erfolgt. In diesem Zustand hält der durch die Flüssigkeitssäule auf die Lösung ausgeübte Druck dem osmotischen Druck das Gleichgewicht, der also durch die Höhe der Flüssigkeitssäule meßbar ist. Der osmotische Druck einer Lösung ist der Konzentration des gelösten Stoffes proportional. *Äquimolare Lösungen* besitzen im Bereich niederer Konzentrationen den gleichen osmotischen Druck. Man nennt sie daher *isosmotisch* oder *isotonisch*.

In dem von dem deutschen Botaniker Wilhelm *Pfeffer* (1845 bis 1920) konstruierten *Osmometer* wird zur Aufnahme der Lösung ein Tongefäß verwendet, in dessen Kapillaren schwer lösliches Kupferhexazyanoferrat(II), $Cu_2[Fe(CN)_6]$, ausgefällt worden ist. Dieser Niederschlag hat die Eigenschaft einer *semipermeablen Membran*. In Ton oder anderen festen porösen Stoffen erzeugte Membranen vermögen hohen Drücken zu widerstehen und machen Messungen bis über 250 atm möglich. Für niedere osmotische Drücke verwendet man z. B. Zellophanmembranen oder auch Schweinsblasen.

Der osmotische Druck spielt in der belebten Natur eine bedeutsame Rolle, da sich die Wände tierischer und pflanzlicher Zellen wie semipermeable Membranen verhalten; z. B. beruht die Elastizität und die aufrechte Haltung der grünen *Pflanzen* auf dem osmotischen Druck der im Zellsaft gelösten Stoffe. Der osmotische Druck verleiht den Zellen eine gewisse Saugkraft, wodurch z. B. die Blattzellen von Pflanzen in der Lage sind, sich mit dem von den Wurzelfasern aufgenommenen Wasser und den in ihm gelösten Nährstoffen ausreichend zu versorgen. Auch die in den *roten Blut-*

körperchen gelösten Stoffe üben einen osmotischen Druck aus. Dieser beträgt bei der normalen Körpertemperatur 7,7 Atmosphären. Das entspricht einer etwa 0,3 molaren Lösung. *Physiologische Kochsalzlösung* (0,95 g Kochsalz in 100 g Lösung) ist mit Blut *isotonisch* und kann daher ohne weiteres injiziert werden. Kochsalzlösung, die stärker konzentriert (*hypertonisch*) ist, würde den roten Blutkörperchen Wasser entziehen, sie würden schrumpfen. Bei zu geringem Gehalt an Kochsalz (*hypotonische Lösung*) würden die Blutkörperchen laufend Wasser aufnehmen und schließlich platzen (*Plasmolyse*).

Van't Hoffsches Gesetz. In verdünnten Lösungen verhalten sich die gelösten Teilchen eines Stoffes so, als wären sie in dem von der Lösung eingenommenen Volumen gasförmig (ohne Lösungsmittel) verteilt.
Die *universelle Zustandsgleichung* idealer Gase läßt sich daher auch auf Lösungen anwenden. Dabei tritt an die Stelle des Gasdruckes p der osmotische Druck π. Die van't Hoffsche Gleichung lautet:
$\pi \cdot v = n \cdot R \cdot T$ bzw. $\pi = c \cdot R \cdot T$, wobei $c = \frac{n}{v}$ $\left(\text{Konzentration } c = \frac{\text{Molanzahl}}{\text{Volumen (Liter)}}\right)$.
in dem Konzentrationsbereich, in dem diese Gleichung weitgehend erfüllt ist, spricht man von *ideal verdünnten Lösungen*.

Dampfdruckerniedrigung, Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung. Der Dampfdruck einer Lösung ist gegenüber dem des reinen Lösungsmittels erniedrigt, da die Teilchen (Atome, Moleküle oder Ionen) des gelösten Stoffes Anziehungskräfte auf die Lösungsmittelmoleküle ausüben. Der gelöste Stoff ist bestrebt, die Moleküle des Lösungsmittels in der flüssigen Phase festzuhalten. Er setzt sowohl ihrem Entweichen in den Dampfzustand beim *Verdunsten* oder *Sieden* als auch ihrem Übergang in den festen Zustand beim *Gefrieren* einen bestimmten Widerstand entgegen, der erst überwunden werden muß. Eine Lösung erstarrt daher erst bei einer niedrigeren Temperatur und siedet erst bei einer höheren Temperatur als das reine Lösungsmittel. Der Gefrierpunkt bzw. Siedepunkt einer Lösung ist jedoch nicht konstant. Je mehr Lösungsmittel aus der Lösung auskristallisiert bzw. verdampft, um so mehr nimmt die Konzentration der Lösung zu und um so größer wird die Erniedrigung des Gefrierpunkts bzw. die Erhöhung des Siedepunkts gegenüber dem reinen Lösungsmittel.

1. *Raoultsches Gesetz.* Die Dampfdruckerniedrigung Δp einer Lösung ist der Konzentration, und zwar dem Molenbruch γ_2 des gelösten Stoffes, proportional: $\Delta p = p_0 \cdot \gamma_2 = p_0 \cdot \frac{n_2}{n_1 + n_2}$, wenn p_0 der Dampfdruck des reinen Lösungsmittels ist.

2. *Raoultsches Gesetz.* Die Gefrierpunktserniedrigung ΔT ist dem Molenbruch des gelösten Stoffes proportional. An Stelle des Molenbruchs verwendet man jedoch die Kilogrammolarität c' (Anzahl Mole des gelösten Stoffes in 1000 g Lösungsmittel), da in verdünnten Lösungen zwischen beiden Konzentrationsmaßen näherungsweise eine lineare Beziehung besteht. Mit der Gaskonstanten R, der Schmelztemperatur T in Grad Kelvin und der Schmelzwärme l_φ des Lösungsmittels erhält man:

$$\Delta T = K \cdot c' = \frac{R T^2}{1000\, l_\varphi} \cdot c'.$$

Der Proportionalitätsfaktor K heißt *kryoskopische Konstante* oder *molare Gefrierpunktserniedrigung* und hat für jedes Lösungsmittel einen charakteristischen Wert. Die Gefrierpunktserniedrigung ist unabhängig von der Natur des gelösten Stoffes. Die kryoskopische Konstante läßt sich aus der *Schmelztemperatur* T und der *spezifischen Schmelzwärme* l_φ des Lösungsmittels berechnen. In Lösungen mit bekannter Teilchenkonzentration kann man sie auch empirisch bestimmen.

Siedepunktserhöhung. Die Siedepunktserhöhung ΔT ist der Konzentration c' (Molenbruch bzw. Kilogrammolarität) des gelösten Stoffes proportional und von seiner Natur unabhängig.

$$\Delta T = E \cdot c' = \frac{R T^2}{1000\, l_v} \cdot c'.$$

Der Faktor E heißt *ebullioskopische Konstante* oder molare Siedepunktserhöhung und ist wie die kryoskopische Konstante für jedes Lösungsmittel charakteristisch. Sie läßt sich aus der *Siedetemperatur* T und der *spezifischen Verdampfungswärme* l_v berechnen oder ebenfalls empirisch bestimmen.

FESTE STOFFE

In festen Stoffen sind die Teilchen, die Atome, Moleküle oder Ionen, an bestimmte Lagen gebunden. Sie können lediglich um die Lage ihres Schwerpunktes schwingen (*Oszillation*) oder sich um ihre eigene Achse drehen (*Rotation*). Im *idealen Festkörper* befinden sich die Teilchen im höchstmöglichen Ordnungszustand. Ihre Lage ist völlig durch die regelmäßige Anordnung der Nachbarteilchen bestimmt. Dieser Zustand läßt sich bei den meisten kristallinen Stoffen bei genügend tiefen Temperaturen annähernd realisieren.

Feste Stoffe unterscheiden sich von den Flüssigkeiten durch ihre *Formbeständigkeit* oder *Elastizität*. Sie setzen der Veränderung ihrer Form durch mechanische Kräfte einen bestimmten Widerstand entgegen, der z. B. in ihrer *Härte* und *Zerreißfestigkeit* zum Ausdruck kommt. Nicht immer nimmt jedoch ein fester Körper, der sich unter der Einwirkung einer mechanischen Kraft biegen läßt, bei der Entlastung wieder seine ursprüngliche Form an. Meist beobachtet man auch bei elastischen Stoffen eine geringe *Formnachgiebigkeit* oder *Plastizität*. Die Formbeständigkeit reicht daher für die Kennzeichnung des festen Zustandes nicht aus, denn von den hochviskosen Flüssigkeiten über die plastischen festen Stoffe bis zu den elastischen Festkörpern gibt es einen stetigen Übergang. Man unterscheidet kristalline, glasartige und amorphe feste Stoffe.

Der kristalline Zustand des Festkörpers. Kristalle sind Festkörper, die durch ebene Flächen nach bestimmten Symmetriegesetzen begrenzt sind. Sie sind zum Unterschied von Gasen und Flüssigkeiten *anisotrop*, d. h., manche ihrer Eigenschaften sind richtungsabhängig. Bei Kristallen sind die mechanischen Eigenschaften (z. B. *Härte*, *Spaltbarkeit*, *thermischer Ausdehnungskoeffizient*, *Kompressibilität*, *Elastizität*) in verschiedenen Richtungen unterschiedlich, bei den meisten Kristallen (ausgenommen die des kubischen Kristallsystems) auch das optische Verhalten (z. B. die *Lichtbrechung*) und die elektrischen Eigenschaften (z. B. die *Leitfähigkeit* oder die *Dielektrizitätskonstante*). Die Richtungsabhängigkeit der chemischen Eigenschaften äußert sich bei Kristallen z. B. in der verschiedenen Wachstums- oder Auflösungsgeschwindigkeit der Kristallflächen. Gase und Flüssigkeiten sind mit Ausnahme bestimmter strömender Flüssigkeiten (sogenannte *kristalline Flüssigkeiten*) *isotrop*, d. h., sie haben in jeder Richtung die gleichen Eigenschaften. Die *Anisotropie* der Kristalle beruht auf der regelmäßigen Anordnung der Bausteine im Raum. Daher ist die *Raumgitterstruktur* das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen festen Stoffen und dem gasförmigen bzw. flüssigen Aggregatzustand. Man hat daher vorgeschlagen, den Begriff des festen Zustandes auf kristalline Stoffe zu beschränken.

Symmetrie der Kristalle. Ziel der Kristallstrukturlehre ist die Ergründung des inneren Aufbaus der Kristalle. Man bezeichnet die kleinste Baueinheit eines Kristalls als *Elementarzelle*. Diese stellt einen winzigen Ausschnitt aus dem von Atomen bzw. Ionen gebildeten räumlichen Gitter dar und ist so bemessen, daß die am makroskopischen Kristall auftretenden Symmetrieeigenschaften auch an der Elementarzelle noch erkennbar sind. Der ganze Kristall läßt sich dann durch lückenloses Zusammenfügen derartiger Elementarzellen entstanden denken. Eine *Kristallstruktur* gilt als bekannt, wenn man die Abstände aller in der Elementarzelle enthaltenen Atome bzw. Ionen sowie die auftretenden Winkel bestimmt hat; das ist mit Hilfe röntgenographischer Methoden möglich. Die Anordnung der Teilchen bestimmt also die äußere Symmetrie der Kristalle. Meist läßt sich die Symmetrie nicht sofort angeben, denn die Kristalle sind oft verzerrt und können trotz gleicher Symmetrie mit sehr unterschiedlichem *Habitus* (Erscheinungsform) auftreten. Es kommt jedoch nicht auf die Anzahl der Kristallflächen und ihre Größe an, sondern auf die Neigungswinkel gleichartiger Flächen.

Gesetz der Winkelkonstanz (Nicolaus *Steno*, 1669). In Kristallen einer bestimmten Verbindung sind die Neigungswinkel zwischen gleichartigen Flächen stets gleich.

Symmetrieelemente. Die verschiedenen *Symmetriearten* beruhen auf bestimmten *Symmetriegesetzen*, die sich am besten durch bestimmte *Symmetrieelemente* veranschaulichen lassen. Durch sie wird ausgedrückt, in welcher Symmetriebeziehung zwei oder mehrere Kristallflächen oder -punkte zueinander stehen. Die Operationen, durch die eine Kristallfläche oder ein Punkt in gleichwertige Lagen gebracht werden, bezeichnet man als *Deckoperationen*.

Symmetrie- oder Drehachsen (*Gyren*). Der Kristall wird nach Drehung um einen bestimmten Winkel in gleichwertige Lagen gebracht. Man unterscheidet 1-, 2-, 3-, 4- und 6zählige Drehachsen, je nachdem, ob dazu eine Drehung um 360°, 180°, 120°, 90° oder 60° notwendig ist. Fünfzählige Achsen fehlen in der Welt der Kristalle, obwohl regelmäßige Körper, wie z. B. das Pentagondodekaeder (begrenzt durch 12 gleichseitige Fünfecke), bekannt sind; das liegt darin begründet, daß es nicht möglich ist, den Raum durch Aneinanderreihen 5zähliger Elementarzellen gleichmäßig und lückenlos auszufüllen.

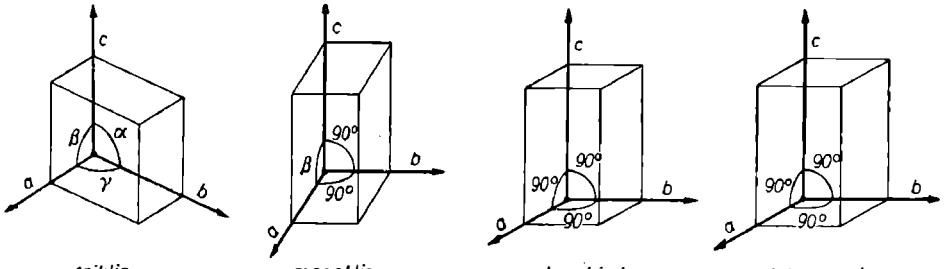
Symmetrie- oder Spiegelebene. Der Kristall läßt sich durch eine gedachte Ebene in zwei Hälften teilen, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten.

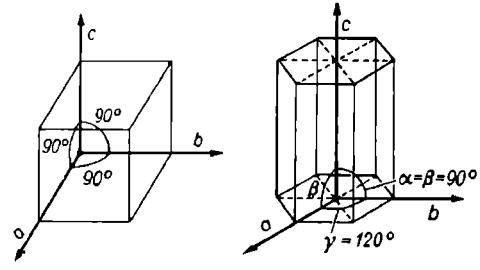
Symmetrie- oder Inversionszentrum. Eine Kristallfläche läßt sich mit einer anderen zur Deckung bringen, wenn man sie an einem Punkt, dem *Inversionszentrum*, spiegelt. Das Inversionszentrum ist mit einer 2zähligen *Drehspiegelachse* identisch, d. h., man erreicht dasselbe durch Drehung um 180° mit anschließender Spiegelung an einer Ebene senkrecht zur Drehachse.

Drehspiegelachsen (*Gyroide*). Man unterscheidet 2-, 4- und 6zählige Drehspiegelachsen. Sie entstehen durch Kombination einer Drehachse mit einer senkrecht dazu stehenden Spiegelebene. *Drehinversionsachsen* entstehen durch Kombination einer Drehachse mit einem Inversionszentrum.

Kristallklassen und Kristallsysteme. Es gibt 32 verschiedene Möglichkeiten, die in Kristallen vorkommenden Symmetrieelemente miteinander zu kombinieren. Man faßt die Kristalle dementsprechend zu 32 Klassen zusammen. Die niedrigste Symmetrie haben Kristalle der *triklin-pedialen Klasse*. Sie können nur durch Drehung um 360° in eine gleichwertige Lage gebracht werden, haben

also lediglich eine 1zählige Drehachse. Kristalle der *triklin-pinakoidalen* Klasse weisen neben der 1zähligen Drehachse noch ein Symmetrie- oder Inversionszentrum auf. Bei ihnen hat jede Kristallfläche eine Gegenfläche. Durch entsprechende Kombination weiterer Symmetrieelemente gelangt man zu Kristallklassen immer höherer Symmetrie; die höchste haben die *kubischen Klassen.*





Die 6 Kristallsysteme

Man kann die 32 Kristallklassen am einfachsten beschreiben, wenn man sie auf 6 symmetrieverschiedene Koordinatensysteme bezieht. Man unterscheidet daher zwischen 6 Kristallsystemen.

Triklines System. Die drei Koordinatenachsen a, b und c sind verschieden lang und stehen schiefwinklig aufeinander, d. h., die von ihnen gebildeten Winkel α, β und γ können beliebige Werte annehmen: $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma$. Zum triklinen System gehören 2 Kristallklassen.

Monoklines System. Von den drei ungleichen Koordinatenachsen a, b und c schneiden sich zwei schiefwinklig und die dritte steht senkrecht auf den beiden anderen: $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$. Zum monoklinen System gehören 3 Kristallklassen.

Rhombisches System. Die drei Achsen a, b und c sind verschieden lang und stehen senkrecht aufeinander: $a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90°$. Es umfaßt 3 Kristallklassen.

Tetragonales (quadratisches) System. Von den drei senkrecht aufeinanderstehenden Koordinatenachsen a, b, c sind die a- und die b-Achse gleich lang, die c-Achse ist entweder länger oder kürzer: $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90°$. Zu ihm gehören 7 Kristallklassen.

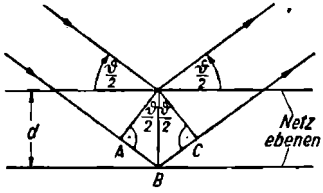
Kubisches (reguläres, isometrisches) System. Die Länge der drei senkrecht aufeinanderstehenden Koordinatenachsen a, b und c stimmt überein: $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90°$. Zum kubischen System gehören 5 Kristallklassen.

Hexagonales System. Dieses System ist durch zwei gleichwertige Achsen a und b gekennzeichnet, die einen Winkel von 120° einschließen; die c-Achse ist ungleich lang und steht senkrecht auf den beiden anderen: $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 90°$, $\gamma = 120°$. Aus praktischen Gründen wird oft noch ein 7. Kristallsystem, das *rhomboedrische oder trigonale System*, verwendet. Es läßt sich jedoch auf das hexagonale System zurückführen und als dessen Spezialfall betrachten. Das hexagonale System (einschließlich des rhomboedrischen oder trigonalen Systems) umfaßt 12 Kristallklassen.

Raumgruppen. Die 32 verschiedenen Symmetriekombinationen reichen für eine Beschreibung der Teilchenlagen noch nicht aus. Kristalle sind dadurch gekennzeichnet, daß sich beim Fortschreiten in einer bestimmten Richtung (*Translation*) gleichartige Teilchenlagen wiederholen. Man bezeichnet daher das Raumgitter der Kristalle auch als *Translationsgitter*. Die Teilchen sind in bestimmten zweidimensionalen Ebenen, den sog. *Netzebenen* oder *Gitterebenen*, angeordnet. Die besonders dicht mit Teilchen besetzten Gitterebenen entsprechen den Kristallflächen. Gleichartige Gitterebenen liegen parallel zueinander. Ihr Abstand, die Gitterkonstante, läßt sich mit Hilfe röntgenographischer Methoden bestimmen.

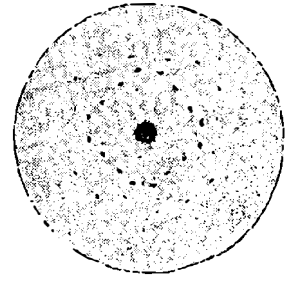
Verknüpft man die Translation mit einer Symmetrieebene oder einer Drehachse, dann ergeben sich noch zwei weitere Symmetrieelemente, die *Gleitspiegelebene* und die verschiedenen *Schraubungsachsen.* Durch Kombination dieser Symmetrieelemente mit den bereits genannten gelangt man zu 230 verschiedenen Symmetriemöglichkeiten. Die 32 Kristallklassen spalten also unter Hinzunahme von Gleitspiegelebene und Schraubungsachsen in 230 sogenannte *Raumgruppen* auf.

Röntgenstrukturbestimmung. Licht wird beim Durchgang durch einen engen Spalt, dessen Breite in der Größenordnung seiner Wellenlänge liegt, aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt (gebeugt). Dabei kommt es zu *Interferenzerscheinungen*, d. h., bei der Überlagerung der vom Spalt ausgehenden Wellenzüge wird das Licht je nach dem Gangunterschied verstärkt oder ausgelöscht. Man beobachtet hinter dem Spalt ein System heller und dunkler Streifen. Aus dem Ablenkungswinkel eines Beugungsmaximums läßt sich bei bekannter Spaltbreite die Wellenlänge des Lichts berechnen. Hierzu verwendet man häufig auch ein aus zahlreichen Spalten bestehendes *Strichgitter* oder *Beugungsgitter*. Die *Gitterkonstante g* kennzeichnet den Abstand zwischen den Beugungszentren (Spalten) und ist bei Verwendung von *monochromatischem* Licht bekannter Wellenlänge bestimmbar. Mit weißem Licht entstehen *Beugungsspektren*.



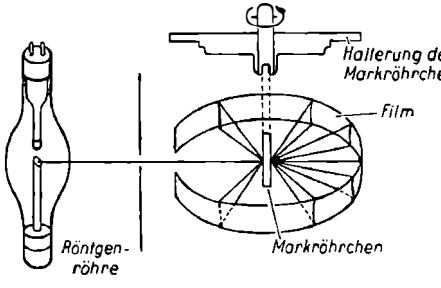
Braggsche Gleichung

Kristalle bestehen aus einem System von regelmäßig angeordneten, sehr kleinen Masseteilchen. Obwohl die Atome bzw. Ionen eine bestimmte Ausdehnung haben und in den meisten Kristallen eine weitgehende Raumerfüllung vorliegt, spricht man von sogenannten *Punktgittern*, weil sich in einem Kristall Licht geeigneter Wellenlänge ähnlich wie an einem Strichgitter beugen läßt. Da die Wellenlänge des verwendeten Lichts in der Größenordnung des Durchmessers der beugenden Teilchen (etwa 10^{-8} cm) liegen muß, kommen hierfür nur *Röntgenstrahlen* in Frage. Es entstehen Beugungsbilder, die sich hinter dem Kristall auf einer photographischen Platte sichtbar machen lassen. Aus der Verteilung der Beugungspunkte lassen sich die Symmetrie des durchstrahlten Kristalls herleiten sowie die Gitterkonstanten und damit auch die Abmessungen der Elementarzelle berechnen. Um die Atomlagen innerhalb der Elementarzelle festzustellen, muß man den Kristall nacheinander in bestimmten Richtungen durchstrahlen und die Intensität der erhaltenen Beugungsreflexe quantitativ berücksichtigen. Die Auswertung erfolgt durch eine *Fourier-Analyse*.



Nach dem Laue-Verfahren aufgenommenes Röntgenogramm von Zinkblende, ZnS, *senkrecht zur Würfelfläche durchstrahlt*

Braggsche Gleichung. Für die Strukturbestimmung der Kristalle mit Röntgenlicht ist die Gleichung $2d \cdot \sin \frac{\vartheta}{2} = n \cdot \lambda$ von grundlegender Bedeutung. Sie besagt, daß ein Beugungsreflex nur zustande kommt, wenn der Gangunterschied der interferierenden Strahlen gleich einem ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge λ des benutzten Röntgenlichtes ist; n durchläuft die Reihe der ganzen Zahlen; d gibt die Gitterkonstante, den Abstand zweier paralleler Netzebenen, an und $\frac{\vartheta}{2}$ den Beugungswinkel oder *Glanzwinkel*, d. h. den Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Gitterebene.



Versuchsanordnung beim Debye-Scherrer-Verfahren (schematisch)

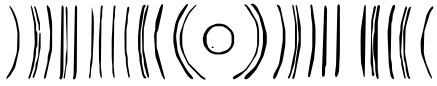
Laue-Verfahren. Ein feststehender Kristall wird von einem engen Röntgenstrahlbündel durchstrahlt, das alle Wellenlängen enthält (sogenanntes weißes Röntgenlicht). Der Glanzwinkel α ist durch die Versuchsanordnung festgelegt. Die Braggsche Gleichung wird dann nur durch ganz bestimmte Wellenlängen erfüllt.

Braggsches Verfahren. Man arbeitet mit monochromatischem Röntgenlicht von bekannter Wellenlänge λ und variiert den Glanzwinkel α, indem man den Kristall um eine bestimmte feststehende Achse dreht. Der photographische Film ist meist zylindrisch in einem bestimmten Abstand um den Kristall angeordnet.

Debye-Scherrer-Verfahren. Debye fand, daß an Stelle eines Kristalls mitunter auch ein feinkristallines Pulver verwendet werden kann, das sich in einem Markröhrchen ($\varnothing = 0{,}3$ bis $0{,}5$ mm) aus Lindemann-Glas befindet. In dem Kristallpulver sind stets genügend Kriställchen so orientiert, daß die Braggsche Gleichung trotz Anwendung monochromatischer Röntgenstrahlen erfüllt ist. Man dreht das Markröhrchen meist noch zusätzlich um seine Längsachse.

Kristallchemie. Die Kristallstrukturbestimmungen haben ergeben, daß nicht jeder Stoff im kristallinen Zustand eine besondere Teilchenanordnung aufweist, sondern daß jeweils sehr viele

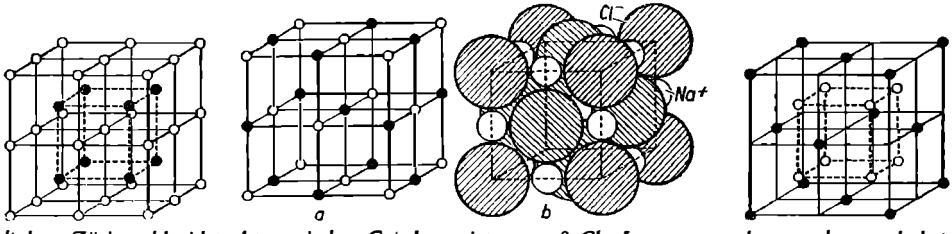
Stoffe die gleiche Kristallstruktur haben; 24 Elemente kristallisieren z. B. in der gleichen Art wie Kupfer. Sie haben den gleichen *Strukturtyp.* Häufig benennt man den Strukturtyp nach dem Stoff, bei dem er erstmals aufgefunden wurde, z. B. Steinsalz-Typ (NaCl) oder Flußspat-Typ (CaF_2). In *homöopolaren Stoffen* wird die Ausbildung einer bestimmten Kristallstruktur weitgehend durch die Richtung der von den Teilchen ausgehenden *kovalenten Bindungen* bestimmt. Für homöopolare Stoffe sind *Atomgitter* und *Molekülgitter* charakteristisch. Die Größe der Teilchen ist von untergeordneter Bedeutung. In *heteropolaren Stoffen* hängt der Strukturtyp hauptsächlich vom Formeltyp und vom Verhältnis $r_K : r_A$ der Ionenradien des Kations (r_K) und des Anions (r_A) ab. Man faßt die Verbindungen nach ihrer chemischen Formel zu Gruppen zusammen. Aus zwei Elementen können z. B. je nach der Wertigkeit Verbindungen mit dem Formeltyp AB, AB_2 oder AB_3 entstehen. In Ionengittern ist jede Ionenart bestrebt, sich mit einer möglichst großen Anzahl entgegengesetzt geladener Ionen zu umgeben. Diese Zahl, die *Koordinationszahl*, richtet sich nach dem Größenverhältnis der Kationen und Anionen. Das Radienverhältnis muß innerhalb bestimmter Grenzen liegen, wenn ein *Kristallgitter* mit bestimmter Koordinationszahl stabil sein soll.



Debye-Scherrer-Aufnahme von gepulvertem Kochsalz

Radienverhältnis $r_K : r_A$	0,15···0,23	0,23···0,41	0,41···0,73	0,73···1,00	1,0
Koordinationszahl	3	4	6	8	12

Im Zäsiumchloridgitter ist die Koordinationszahl 8 nur bis zu einem Radienverhältnis 0,73 realisierbar. Bei kleineren Werten haben nur noch 6 Anionen genügend Platz um ein Kation. Daher kristallisieren derartige Verbindungen im Steinsalzgitter mit der Koordinationszahl 6. Die untere Stabilitätsgrenze dieses Strukturtyps liegt bei dem Radienverhältnis 0,41. Die Koordinationszahl 12 findet man bei zahlreichen Metallen verwirklicht, in denen die positiven Ionen ähnlich wie in einer dichtesten Packung starrer und gleich großer Kugeln angeordnet sind.



links: Zäsiumchloridstruktur; jedes Cs^+-Ion • ist von 8 Cl^--Ionen ○ umgeben und umgekehrt.
Mitte: a Natriumchloridstruktur; jedes Na^+-Ion • ist von 6 Cl^--Ionen ○ umgeben und umgekehrt
b Raumerfüllung im Natriumchloridgitter.
rechts: Flußspatstruktur; jedes Ca^{2+}-Ion • ist von 8 F^--Ionen ○ umgeben, jedes F^--Ion von 4 Ca^{2+}-Ionen

Während in den Kristallstrukturen der *heteropolaren Verbindungen* vom Formeltyp AB Kationen und Anionen dieselbe Koordinationszahl aufweisen, sind die Strukturen der Verbindungen vom Formeltyp AB_2 oder AB_3 durch zwei *Koordinationszahlen* gekennzeichnet. Im Flußspatgitter, CaF_2, ist aus Gründen der Elektroneutralität jedes Ca^{2+}-Ion von doppelt soviel F^--Ionen umgeben als F^--Ionen von Ca^{2+}-Ionen. Im Kristallgitter des Aluminiumfluorids, AlF_3, sind 6 F^--Ionen um ein Al^{3+}-Ion angeordnet, jedes F^--Ion ist aber nur von 2 Al^{3+}-Ionen umgeben (s. Tafel S. 282).
Je größer die Ladung der Ionen ist, um so stärker machen sich homöopolare Bindungsanteile in den Kristallstrukturen bemerkbar. Bei zahlreichen Verbindungen der Formeltypen AB_2 und AB_3 kommt es daher zur Ausbildung von *Schichtgittern.*

Isomorphie. Aus Ionen aufgebaute Stoffe können im allgemeinen *Mischkristalle* bilden, wenn sie im Formeltyp und im Strukturtyp übereinstimmen und sich ihre Ionenradien nicht zu stark (im Höchstfalle um 15%) voneinander unterscheiden; Natriumchlorid, NaCl, und Silberchlorid, AgCl, können z. B. gemeinsam kristallisieren, indem die *Gitterpunkte* statistisch von Na^+- und Ag^+-Ionen besetzt werden. Bei vollständiger Isomorphie kann die Zusammensetzung der Mischkristalle jeden beliebigen Wert zwischen den reinen Komponenten annehmen (*Mischkristalle ohne Mischungslücke*). Oft liegt jedoch nur begrenzte Mischbarkeit vor (*Mischkristalle mit Mischungslücke*). Mitunter beobachtet man auch Mischkristallbildung bei Salzen mit verschiedenem Strukturtyp; z. B. zwingt das rhombisch kristallisierende Magnesiumsulfat, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, sein Kristallgitter dem monoklinen Eisensulfat, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, beim isomorphen Einbau auf. Man bezeichnet diese Erscheinung als *Isodimorphie.* Auf der isomorphen Vertretbarkeit zahlreicher Kationen beruht die zum Teil sehr komplizierte Zusammensetzung der Silikate der Erdkruste.

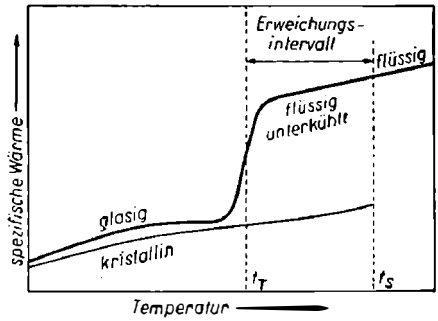
Formeltyp	Strukturtyp	Koordinationszahl	isotype Verbindungen
AB	Zäsiumchlorid, CsCl	8	Verbindungen mit großem Kation: NH_4Cl, TlCl, TlBr, CsBr, CsJ
	Natriumchlorid, NaCl	6	Halogenide von Li, Na, K, Rb; AgCl und AgBr; Oxyde und Sulfide von Mg, Ca, Sr, Ba; HgS (rot)
	Zinkblende / Wurtzit } ZnS	4	NH_4F, BeO, ZnO, HgS (schwarz), AlN
AB_2	Flußspat, CaF_2	8 und 4	SrF_2, BaF_2, PbF_2, $SrCl_2$, ZrO_2, ThO_2 u.a.; Antifluorittyp: Li_2O, Na_2O, Na_2S u.a.
	Rutil, TiO_2	6 und 3	Difluoride mit kleinem Kation, z.B. MgF_2, ZnF_2 und Dioxyde wie SnO_2, MnO_2, PbO_2
	Quarz / Tridymit / Christobalit } SiO_2	4 und 2	BeF_2, GeO_2
AB_3	z.B. AlF_3, BiF_3	6 und 2	

Modifikationen einiger Stoffe

Stoff	Modifikationen	Umwandlungstemperatur enantiotrop	Umwandlungstemperatur monotrop	Kristallstruktur
Schwefel	α-Schwefel β-Schwefel	95,6 °C		rhombisches / monoklines } Molekülgitter aus S_8-Ringen
Phosphor	schwarzer Phosphor weißer Phosphor roter Phosphor		260 °C	Schichtgitter P_4-Moleküle Schichtgitter
Kohlenstoff	Diamant Graphit		1500 °C	kubisches Zinkblendegitter (auch Diamantgitter genannt) hexagonales Schichtgitter
Eisen	α-Eisen β-Eisen (Austenit) γ-Eisen	906 °C 1401 °C		kubisch-raumzentriertes Gitter kubisch-flächenzentriertes Gitter kubisch-raumzentriertes Gitter
Quecksilbersulfid	schwarzes HgS rotes HgS (Zinnober)		280 °C	Zinkblendegitter Steinsalzgitter
Siliziumdioxyd	α-Quarz β-Quarz Tridymit Christobalit Quarzglasschmelze	575 °C 870 °C 1470 °C 1705 °C		Kristallgitter aus lauter SiO_4-Tetraedern, die räumlich über gemeinsame Ecken verknüpft sind. Die Modifikationen unterscheiden sich in der gegenseitigen Orientierung der Tetraeder

Isotypie. Im allgemeinen sind Stoffe, deren Ionenradien sich um mehr als 15% voneinander unterscheiden, nicht mehr in der Lage, Mischkristalle zu bilden, obwohl sie im Formel- und Strukturtyp übereinstimmen. Man bezeichnet sie als *isotyp*; die Verbindungen NaCl, MgO, PbS und TiC haben z. B. die gleiche Kristallstruktur (Steinsalztyp), sind aber nicht isomorph.

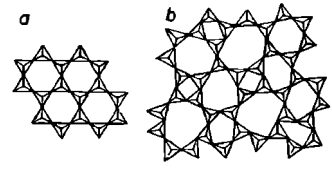
Allotropie und Polymorphie. Zahlreiche Stoffe treten je nach den *Zustandsbedingungen* (Temperatur, Druck) in verschiedenen Zustandsformen auf, die man als *Modifikationen* bezeichnet. Man nennt diese Erscheinung bei Elementen *Allotropie*, bei Verbindungen *Polymorphie*. Die Ionen derartiger Stoffe gruppieren sich oberhalb einer bestimmten Temperatur in eine andere Gitterstruktur um, die unter den neuen Bedingungen energieärmer und dadurch stabiler ist als das vorhergehende Kristallgitter unter der erhöhten Temperatur. Alle temperaturabhängigen Eigenschaften, wie z. B. Dichte, Dampfdruck, Löslichkeit, Farbe, elektrische Leitfähigkeit und andere Meßgrößen, ändern sich bei der Umwandlungstemperatur sprunghaft. Das Auftreten verschiedener Modifikationen gibt sich damit auch an einem *Knickpunkt in der Dampfdruckkurve* zu erkennen, ähnlich wie bei Änderungen des Aggregatzustandes. Oberhalb der *Umwandlungstemperatur* ist nur die energiereichere, unterhalb nur die energieärmere Modifikation beständig. Modifikationen, die sich je nach Temperaturerhöhung oder -erniedrigung wechselseitig ineinander umwandeln lassen, bezeichnet man als *enantiotrop*. Modifikationen, die sich nicht wieder ohne weiteres in eine andere Modifikation zurückverwandeln lassen, nennt man *monotrop*.



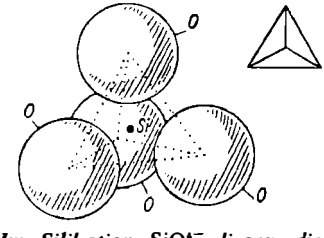
Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme eines Stoffes im kristallinen und glasartigen Zustand, t_T Transformationspunkt, t_S Schmelzpunkt

Ostwaldsche Stufenregel. Bei der Bildung eines in mehreren Zustandsformen existierenden Stoffes entsteht im allgemeinen zunächst die energiereichste Modifikation, die dann stufenweise in den energieärmsten Zustand übergeht.

Der Glaszustand des Festkörpers. Bestimmte Stoffe neigen dazu, beim Abkühlen unter den Erstarrungspunkt nicht kristallin, sondern glasig-amorph zu erstarren. Eine Glasschmelze wird mit abnehmender Temperatur immer zähflüssiger, und es entsteht allmählich ein plastischer Stoff, der unterhalb des sogenannten *Transformationspunktes* in ein starres und teilweise sogar elastisches festes Glas übergeht. Der Transformationspunkt (*Transformationsintervall*) ist ein Temperaturgebiet, das unterhalb des eigentlichen Schmelzpunktes liegt, in dem sich bestimmte Eigenschaften der Gläser (z.B. spezifische Wärme, Ausdehnungskoeffizient, Brechungsindex) besonders stark ändern. Oberhalb des Transformationspunktes beginnen Gläser allmählich zu erweichen. Ihre Eigenschaften gehen dann stetig in die der Flüssigkeit über, die man auch beim Schmelzen des kristallisierten Stoffes erhält. Gläser besitzen also keinen definierten Schmelzpunkt, sondern ein *Schmelzintervall*.



Glasstruktur; a regelmäßige Struktur eines kristallinen Silikats; b unregelmäßige Struktur des Glases



Im Silikation SiO_4^{4-} liegen die Sauerstoffatome O in den Ecken eines Tetraeders um das Siliziumatom Si

Die Silikatgläser bestehen aus einem dreidimensionalen Gerüst von SiO_4-*Tetraedern*, die über gemeinsame Ecken völlig regellos miteinander verknüpft sind. In kristallisierten Silikaten, z. B. im Quarz und in den Feldspäten, sind die Tetraeder regelmäßig miteinander verknüpft. Das *Raumgitter der Gläser* weist also zum Unterschied von kristallinen Stoffen keine Symmetrie auf, denn gleichwertige Teilchenlagen wiederholen sich nicht periodisch wie in einem Translationsgitter. Innerhalb der SiO_4-Baugruppen der Silikate existiert jedoch bei kristallinen und glasartigen Stoffen dieselbe gesetzmäßige und symmetrische Atomanordnung. Auf der weitgehenden Verknüpfung der Baugruppen beruht die große Zähigkeit (*Viskosität*) der Glasschmelzen. Die Teilchen sind in ihrer Beweglichkeit so stark gehemmt, daß eine Orientierung zu einem regelmäßig aufgebauten Kristallgitter nicht möglich ist und eine *flüssigkeitsähnliche Struktur* auch im festen Zustand erhalten bleibt. Gläser sind daher ebenso wie die gewöhnlichen flüssigen Stoffe *isotrop*. Gläser sind *metastabil*. Sie wandeln sich mitunter spontan in den stabileren kristallinen Zustand um, besonders bei

erhöhter Temperatur. Unter der Wirkung der beim *Entglasen* auftretenden Spannungen wird das Material brüchig.

Glasbildende Verbindungen. Von den binären Verbindungen sind vor allem Oxyde mit der allgemeinen Formel A_2O_3, AO_3 und A_2O_5 zur Glasbildung befähigt, z. B. Bortrioxyd, B_2O_3, Siliziumdioxyd, SiO_2, die Phosphoroxyde, P_2O_3 oder P_2O_5, Antimonoxyde, Sb_2O_3 oder Sb_2O_5, u. a. Auch Berylliumfluorid, BeF_2, sowie die Elemente Arsen, Antimon und Selen vermögen glasartig zu erstarren. Unterhalb −110 °C läßt sich auch Eis in einer glasartigen Modifikation gewinnen.

Gebrauchsgläser. Hauptbestandteil der meisten Gebrauchsgläser ist Quarzsand, SiO_2. Das aus reinem Siliziumdioxyd bestehende *Quarzglas* wird durch Schmelzen von besonders reinen Quarzarten (z. B. Bergkristall) gewonnen. Es dient zur Herstellung von Quarzgeräten und -apparaturen. Quarzglas zeichnet sich durch hohe chemische Widerstandsfähigkeit, große Temperaturbeständigkeit (es erweicht erst oberhalb 1300 °C) und einen kleinen Ausdehnungskoeffizienten ($^1/_{18}$ von gewöhnlichem Glas) aus. Quarzgeräte können rotglühend in Wasser getaucht werden, ohne zu zerspringen. Für ultraviolette Strahlen bis 200 nm ist Quarzglas durchlässig. Es neigt jedoch stark zum Entglasen, besonders oberhalb 1000 °C.

Die Silikatgläser enthalten außer Quarzsand wechselnde Mengen *Alkalimetalloxyde* (z. B. Natriumoxyd, Na_2O, Kaliumoxyd, K_2O) und *Erdalkalimetalloxyde* (z. B. Kalziumoxyd, CaO, Magnesiumoxyd, MgO), oft auch bestimmte Schwermetalloxyde (z. B. Bleioxyd, PbO, Bariumoxyd, BaO). Diese Oxyde werden meist in Form entsprechender Karbonate in die Glasschmelze eingeführt. Beim Zusammenschmelzen entstehen aus den Karbonaten die entsprechenden Silikate; Kohlendioxyd entweicht.

$$Me^I_2CO_3 + SiO_2 \rightarrow CO_2 + Me^I_2SiO_3 \quad (= Me^I_2O \cdot SiO_2)$$

$$Me^{II}CO_3 + SiO_2 \rightarrow CO_2 + Me^{II}SiO_3 \quad (= Me^{II}O \cdot SiO_2)$$

Karbonat + Quarzsand → Kohlendioxyd + Silikat

(Me^I = Na, K; Me^{II} = Ca, Mg, Pb u. a.)

Zur Herstellung bestimmter Spezialgläser ersetzt man häufig einen Teil des Siliziumdioxyds durch andere Oxyde, z. B. durch Phosphorpentoxyd, P_2O_5, Aluminiumoxyd, Al_2O_3, und Bortrioxyd, B_2O_3.

Natron-Kalk-Gläser. Gewöhnliches Gebrauchsglas (Tafelglas, Fensterglas, Spiegelglas) hat etwa die Zusammensetzung $Na_2O \cdot CaO \cdot 6\,SiO_2$ (75,5% SiO_2, 12,9% Na_2O, 11,6% CaO). *Spiegelglas* ist durch beiderseitiges Schleifen und Polieren veredeltes Tafelglas, das einseitig mit einer hauchdünnen Silberschicht belegt ist. *Flaschenglas* ist durch Verunreinigungen (wie Eisenoxyd, FeO) grün oder (durch Eisensulfid, FeS) braun gefärbt.

Sicherheitsgläser. Einschichtensicherheitsglas besteht aus einer Glasscheibe, die man in der Hitze mit kalter Luft vorsichtig abgeschreckt hat. Derartige Scheiben zerfallen auf Grund der vorhandenen Druckspannung in der Oberfläche beim Zerbrechen in krümelige Teilchen, die weniger gefährlich sind als Glassplitter. *Mehrschichtensicherheitsgläser* bestehen aus mehreren dünnen Glaslagen, die miteinander durch bestimmte organische, glasartig durchsichtige Plaste verklebt sind. Derartige Gläser sind sogar schußsicher.

Kristallgläser. Die Kristallgläser enthalten an Stelle von Natriumoxyd wechselnde Mengen an Kaliumoxyd. Das sogenannte *böhmische Kristallglas* oder *Kalkkristallglas* ist ein reines Kali-Kalk-Glas. *Bleikristallglas* enthält an Stelle von Kalziumoxyd erhebliche Mengen Bleioxyd. Es zeichnet sich durch hohes Lichtbrechungsvermögen und hohe Dichte aus und wird hauptsächlich zur Herstellung geschliffener Gebrauchs- und Luxusgegenstände verwendet. Besonders bleireich ist der Straß, dessen Lichtbrechungsvermögen mit dem des Diamanten vergleichbar ist.

Gerätegläser. Ein Gehalt an Boroxyd und Aluminiumoxyd erhöht wesentlich die Widerstandsfähigkeit des Glases gegen Säuren und Laugen sowie gegen Temperaturschwankungen. Gerätegläser werden vorwiegend zu chemischen Glasgeräten und Haushaltsgeräten verarbeitet.

Zusammensetzung einiger Gerätegläser in Prozenten

	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	BaO	Na_2O	K_2O	As_2O_3
Thüringer Glas	65,4	—	7,3	8,2	4,4	11,2	3,1	—
Jenaer Glas	74,5	4,6	8,5	0,8	3,9	7,7	—	—
Rasotherm-Glas	80,5	11,8	2,3	0,3	—	4,4	0,2	0,7
Supremax-Glas	56,4	8,9	20,1	4,8	MgO 8,7	0,6	0,6	—
Thermometerglas	67,3	2,0	2,5	7	ZnO 7	14	—	—

Optische Gläser. Einige wichtige Jenaer optische Glasarten sind in der Tabelle angeführt.

Zusammensetzung einiger optischer Gläser

Borat-Flint, S 7	56 % B_2O_3, 32 % PbO, 12 % Al_2O_3
Silikat-Flint, S 57	20 % SiO_2, 80 % PbO, 0,1 % As_2O_5
Phosphat-Kron, O 225	70 % P_2O_5, 3 % B_2O_3, 12 % K_2O, 4,0 % MgO, 10 % Al_2O_3, 0,5 % As_2O_5
Phosphat-Kron, S 40	59,5 % P_2O_5, 3,0 % B_2O_3, 28 % BaO, 8 % Al_2O_3, 1,5 % As_2O_5

Trübgläser enthalten bestimmte Stoffe, z. B. Natriumfluorid, NaF, Flußspat, CaF_2, oder Knochenasche, $Ca_3(PO_4)_2$, die sich in der Glasschmelze nicht auflösen und das Glas dadurch undurchsichtig machen. *Milchglas* enthält Titandioxyd, TiO_2, als Trübungsmittel. *Mattglas* ist oberflächlich mit Flußsäure geätztes Glas. *Farbgläser* enthalten gefärbte Metallionen gelöst oder bestimmte Metalle in kolloidaler Verteilung. *Emaille* ist ein getrübtes Glas, das auf Metalle aufgeschmolzen wird.

Spezialgläser. Gläser, welche ultraviolettes Licht absorbieren, enthalten meist Zeroxyd, Ce_2O_3. Quarzglas und Aluminiumphosphatgläser sind für ultraviolettes Licht durchlässig. *Lindemann-Glas* besteht aus Lithiumoxyd, Li_2O, Berylliumoxyd, BeO, und Boroxyd, B_2O_3, und ist sogar für Röntgenstrahlen gut durchlässig.

Der amorphe Zustand der festen Stoffe. Amorphe Stoffe sind durch die Unregelmäßigkeit der Teilchenanordnung gekennzeichnet. Sie ergeben keine oder nur stark verwaschene schwache Röntgeninterferenzen. Völlig regellos aufgebaute feste Stoffe sind jedoch relativ selten, denn bestimmte Atomabstände treten auch in amorphen Stoffen bevorzugt auf. Den amorphen Zustand findet man in den *glasig-amorphen* und den *oberflächenreichen Stoffen* annähernd verwirklicht. In letzteren ist die Oberfläche durch feine Zerteilung oder durch starke Zerklüftung außerordentlich vergrößert. Die Kristallstruktur ist dadurch weitgehend gestört; 1 g *Aktivkohle* hat z. B. eine innere Oberfläche bis zu 800 m^2. Da die Bindungskräfte der in der Oberfläche angeordneten Atome nur unvollständig abgesättigt sind, haben diese Stoffe ein hervorragendes Adsorptionsvermögen. Unter *Adsorption* versteht man die Anlagerung gasförmiger oder gelöster Stoffe an einer Oberfläche, z. B. an Aktivkohle, Silikagel oder Tonerde. Derartige Stoffe nennt man *Adsorbentien*, den adsorbierten Stoff *Adsorptiv*, beide ergeben ein *Adsorbat*. Die Bindung erfolgt insbesondere an den Ecken und Kanten, den *aktiven Stellen* auf der Oberfläche, an den Flächen der winzigen, schlecht ausgebildeten Kristallchen erst bei hohen Drücken und Konzentrationen. Die Oberfläche ist dann mit einer monomolekularen Schicht des adsorbierten Stoffes bedeckt. Die Adsorption nimmt mit abnehmender Temperatur und ansteigendem Druck bzw. wachsender Konzentration zu. Auf der unterschiedlichen Adsorbierbarkeit verschiedener Stoffe an festen Adsorbentien beruhen die Verfahren der *chromatographischen Adsorptionsanalyse*, ferner die industriell wichtige *Rückgewinnung* von flüchtigen Stoffen aus ihren mit Luft stark verdünnten Dämpfen, z. B. die Adsorption von organischen Lösungsmitteldämpfen an Aktivkohle. Auf Adsorptionserscheinungen beruht auch die katalytische Wirksamkeit vieler oberflächenreicher Stoffe. Im allgemeinen läßt sich der adsorbierte Stoff durch anschließende *Desorption* entfernen. Handelt es sich um eine festere chemische Bindung, z. B. Adsorption von Kontaktgiften auf der Oberfläche von Katalysatoren, dann spricht man von *Chemisorption*.

Chromatographische Adsorptionsanalyse. Diese Methode dient zur Trennung von gelöster, Stoffen, die an einem Adsorptionsmittel (z. B. Aluminiumoxyd, Kalziumkarbonat, Puderzucken Filterpapier, Aktivkohle, Silikagel) verschieden fest adsorbiert werden. Gibt man das Stoffgemisch auf eine *Säule* (ein senkrecht stehendes, mit Adsorptionsmitteln gefülltes Rohr), dann werden die leichter adsorbierbaren Substanzen weiter oben, die schwerer adsorbierbaren Verbindungen weiter unten festgehalten. Der *Trenneffekt* ist zunächst gering, wird aber durch Behandlung mit bestimmten Lösungsmitteln, die man durch die Säule tropfen läßt, verstärkt. Die weiter unten adsorbierten Substanzen werden leichter gegen Lösungsmittelmoleküle ausgetauscht und dadurch *desorbiert* als die oberen, sie wandern schneller durch die Säule. Durch die zahlreichen Wiederholungen der Adsorption und Desorption in einer langen Säule kann man chemisch sehr ähnliche Stoffe vollständig trennen, z. B. die verschiedenen Zucker und die Aminosäuren. Die *Blattfarbstoffe* wurden von *Zwet* erstmals auf diesem Wege getrennt. Das führte zur Bezeichnung Chromatographie. Farbige Stoffe erscheinen als getrennte Zonen auf der Säule, farblose Verbindungen müssen durch Behandlung mit bestimmten Reagenzien zu farbigen Substanzen entwickelt werden. Eine moderne Abart der Adsorptionsanalyse ist die *Papierchromatographie*. Man bringt wenige μg ($1\ \mu g = 10^{-6}$ g) eines Gemisches auf einen Papierstreifen und läßt ein Lösungsmittel von oben durchtropfen (*absteigende Papierchromatographie*) oder sich von unten hochsaugen (*aufsteigende Papierchromatographie*). Die getrennten Stoffe erscheinen nach dem Entwickeln als farbige Flecke. Die Methode ist zur Trennung geringster Mengen organischer und anorganischer Stoffe geeignet. Durch Anwendung radioaktiver Isotope läßt sich die Empfindlichkeit wesentlich erhöhen.

III. Atome und Moleküle

Alle Stoffe, anorganische und organische, sind aus Atomen [griechisch, unteilbar] aufgebaut, kleinsten Teilchen mit bestimmten chemischen und physikalischen Eigenschaften. Bei allen chemischen sowie bei den gewöhnlichen physikalischen Vorgängen bleiben die Atome erhalten. Trotzdem ist das Atom, das früher als unteilbar galt, aus noch kleineren Bestandteilen zusammengesetzt.

Aufbau der Atome. Das Atom besteht aus einem positiv geladenen *Atomkern* und einer aus Elektronen bestehenden *Atomhülle*, die die positive Ladung des Kerns kompensiert. Alle Atomkerne enthalten *Protonen* und *Neutronen*; nur der Kern des Wasserstoffatoms besteht aus einem einzigen Proton. Die Protonen sind Träger der positiven Ladung im Atomkern. Ihre Anzahl (*Kernladung*) ist der Anzahl der Elektronen in der Hülle (*Hüllenladung*) gleich. Der *Kernladungszahl* entspricht die *Ordnungszahl* im *Periodensystem der chemischen Elemente*. Kern- und Hüllenladung sind also entgegengesetzt gleich groß und heben sich im neutralen Atom auf. Geladene Atome (*Ionen*) entstehen durch Aufnahme oder Abgabe von Elektronen und haben als *Anionen* negative (−), als *Kationen* positive (+) Ladung.
Das *Proton* (chemisches Zeichen p) hat eine Masse von $1{,}6723 \cdot 10^{-24}$ g und eine positive *Elementarladung*; das *Neutron* (chemisches Zeichen n) hat eine Masse von $1{,}6747 \cdot 10^{-24}$ g, aber keine elektrische Ladung; die Masse des Elektrons ist $9{,}1055 \cdot 10^{-28}$ g, d. h. der 1836. Teil der Protonenmasse; seine Ladung, die negative Elementarladung $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, ist der des Protons bis auf das Vorzeichen gleich. Die Masse des Elektrons verhält sich zu der von 1 g wie die von 5 g zur Masse der gesamten Erde.

Größe der Atome. *Der Atomradius.* Der Abstand der äußeren Hüllenelektronen vom Atommittelpunkt kann als *Atomradius* bezeichnet werden. Seine Größe liegt etwa zwischen 0,05 nm (0,5 Å = $0{,}5 \cdot 10^{-8}$ cm) beim kleinsten Atom, dem des Wasserstoffs, und 0,26 nm (2,6 Å) beim größten Atom, dem des Zäsiums. Der Atomradius ändert sich mit zunehmender Elektronenzahl bzw. zunehmender Ordnungszahl nicht stetig, sondern periodisch, und erreicht bei den Alkalimetallen Höchstwerte. Ganz entsprechend ändert sich auch das *Atomvolumen* der Elemente in Abhängigkeit von der Ordnungszahl. Die *Atomradien* lassen sich nicht exakt definieren, da die Elektronenhülle der Atome relativ leicht deformierbar ist; sie sind z. B. im festen Zustand von der *Koordinationszahl* abhängig, d. h. von der Anzahl benachbarter Atome, von denen jedes Atom umgeben ist. Setzt man den in einer *dichtesten Kugelpackung* (Koordinationszahl 12) beobachteten Atomradius 1,00, dann beträgt der Atomradius desselben Elements in einer Struktur mit der Koordinationszahl 4 nur etwa 0,88. Die nach verschiedenen Methoden und unterschiedlichen Bedingungen durchgeführten Messungen ergeben jedoch stets Werte der gleichen Größenordnung von 10^{-8} cm. Folgende Beispiele machen die außerordentlich geringe Größe der Atome deutlich: Etwa 2 *Millionen Zäsiumatome* bilden nebeneinandergelegt eine Reihe von nur 1 mm Länge; also kann ein Mikroskop auch das größte Atom nicht sichtbar machen. Ein *Kubikmillimeter Eisen* (Stecknadelkopf) enthält 10^{20} (100 Trillionen) Atome, die aneinandergereiht eine Strecke von $2 \cdot 10^{7}$ km ergeben; das ist mehr als die 50fache Entfernung zwischen Erde und Mond. Auf jedem Millimeter dieser großen Strecke befinden sich dann immer noch 5 Millionen Atome. Es ist eine erstaunliche Leistung der Naturwissenschaft, Eigenschaften und Aufbau derartig kleiner Teilchen erkannt zu haben.
Der Kernradius beträgt nur ein Zehntausendstel des Atomradius und liegt damit in der Größenordnung von 10^{-12} cm. Den kleinsten Atomkern hat das Wasserstoffatom. Er besteht nur aus einem Proton mit einem Radius von etwa $1{,}3 \cdot 10^{-13}$ cm. Der Kernradius nimmt mit steigender Ordnungszahl stetig zu. Jedoch nur etwa der billionte (10^{12}te) Teil des von einem Atom eingenommenen Raumes entfällt auf den Kern. Denkt man sich den Kern des Wasserstoffatoms in Erbsengröße (0,5 cm Durchmesser), dann würde sich um ihn das Elektron im Abstand von etwa 90 m bewegen.

Masse der Atome. Die Atommasse setzt sich aus der Masse des Kerns und der der Hüllenelektronen zusammen. Da die *Elektronenmasse* nur 1/1836 der Protonenmasse beträgt, ist der Anteil der Elektronen an der Gesamtmasse minimal. Stets sind mehr als 99,9 % der Gesamtmasse des Atoms auf jenem winzigen Raum im Atomkern vereinigt. Die *mittlere Dichte der Kernmaterie* beträgt $2 \cdot 10^{14}$ g/cm³. Wie wenig dicht die uns umgebende stoffliche Materie ist, zeigt folgendes Beispiel: 1000 Kubikmeter Eisen enthalten weniger Masse als 1 Kubikmillimeter Atomkerne; dieser Kubikmillimeter hat die Masse von rund 7500 Tonnen, das entspricht etwa der Masse von rund 50 D-Zug-Lokomotiven. Der übrige Raum ist praktisch masseleer und nur von den zwischen Atomkern und Elektronenhülle wirkenden elektrischen Kraftfeldern erfüllt.
Das leichteste Atom ist das Wasserstoffatom. Das Bleiisotop mit der *Massenzahl* 208 ist die schwerste stabile Atomart. Alle Atomarten mit größerer Massenzahl sind radioaktiv. Die Kerne verschiedener chemischer Elemente unterscheiden sich durch ihre Kernladungszahl, durch die Anzahl der Protonen in ihrem Kern. Je nach der Anzahl der Neutronen und nach dem Verhältnis dieser beiden Anzahlen zueinander unterscheidet man verschiedene *Atomarten*. *Isotope* sind Atome, die sich in der Anzahl der Neutronen im Kern und dadurch auch in ihrer Masse unterscheiden. Sie haben dieselbe Protonenzahl und damit auch dieselbe Elektronenzahl in der Atomhülle, stimmen also in ihren chemischen Eigenschaften überein. Im allgemeinen besteht ein Element aus mehreren Isotopen. Die Gesamtheit der an der Zusammensetzung eines Elements beteiligten Isotope nennt

man eine *Plejade*. *Isotone* sind Atome, die sich bei gleicher Neutronenzahl durch die Anzahl der Protonen im Kern unterscheiden. Sie haben demzufolge verschiedene chemische Eigenschaften und gehören verschiedenen Elementen an. *Isobare* sind Atome, bei denen sich die Anzahlen der Protonen und der Neutronen zu demselben Massewert ergänzen. Sie haben bei verschiedenen Protonen- und Neutronenzahlen stets die gleiche Masse.
Jede Atomart ist durch die *Kernladungszahl Z* und die *Massenzahl M* gekennzeichnet. Die Massenzahl ist die Summe aus den Anzahlen der Neutronen und der Protonen, sie ist dem abgerundeten relativen Atomgewicht der betreffenden Atomart gleich und wird als Index links oben neben dem Zeichen des Elements angegeben. Links unten erfolgt die Angabe der Kernladungszahl; z. B. Wasserstoff $^{1}_{1}H$, Chlor $^{35}_{17}Cl$, Uran $^{238}_{92}U$. Die Angabe der Kernladungszahl ist nicht unbedingt notwendig, da die Stellung im Periodensystem der chemischen Elemente und damit auch die Kernladungszahl bereits durch das Zeichen des Elements festgelegt ist. Für $^{238}_{92}U$ wird deshalb oft Uran 238, für $^{35}_{17}Cl$ Chlor 35 gesagt. Die Anzahl der Neutronen im Kern ergibt sich aus der Differenz zwischen Massenzahl und Kernladungszahl bzw. Protonenzahl.

ATOMGEWICHTE UND IHRE BESTIMMUNG

Unter dem Atomgewicht versteht man die Masse eines Atoms. Massen werden durch Wägung bestimmt. Da die absoluten Atommassen jedoch sehr klein sind, z. B. für das Wasserstoffatom $1{,}672 \cdot 10^{-24}$ g, ist eine direkte Bestimmung auf einfache Weise nicht möglich. Auch wäre das Rechnen mit diesen kleinen Zahlen unbequem. Man hat daher lange vor Kenntnis der absoluten Atommassen *relative Atomgewichte* definiert, d. h., man hat zunächst nur das Gewichtsverhältnis bestimmt, in dem dieselbe Anzahl Atome verschiedener Elemente zueinander steht. Als Bezugsgröße wählte man das Atomgewicht des Wasserstoffs und gab ihm willkürlich den Wert 1,0000. Für den Sauerstoff ergab sich dann ein Atomgewicht von 15,87, d. h., Sauerstoff ist 15,87mal schwerer als Wasserstoff. Später einigte man sich aus Gründen der Zweckmäßigkeit auf das Atomgewicht des Sauerstoffs als Bezugsgröße und setzte dieses, damit sich die neuen relativen Atomgewichte von den alten nicht zu sehr unterschieden, zu 16,0000 fest. Das relative Atomgewicht des Wasserstoffs beträgt dann 1,008.

Das chemische relative Atomgewicht. Die Einheit des chemischen relativen Atomgewichts ist $^{1}/_{16}$ der mittleren Masse des natürlichen Sauerstoffisotopengemisches, dessen Atommasse (Atomgewicht) zu 16,0000 festgelegt wurde. Da der *natürliche Sauerstoff* aus drei Isotopen mit den Massenzahlen 16 (99,76% Häufigkeit), 17 (0,04%) und 18 (0,20%) besteht, ist die Einheit des chemischen relativen Atomgewichts ein Mittelwert, der sich aus den relativen Atomgewichten der Isotope und der prozentualen Zusammensetzung des Sauerstoffisotopengemisches ergibt. Auch die Atomgewichte aller anderen, aus mehreren Isotopen zusammengesetzten Elemente sind mittlere Atomgewichte, z. B. besteht Chlor zu 75,40% aus Chlor 35 und zu 24,60% aus Chlor 37; das *mittlere chemische Atomgewicht* beträgt 35,457. Die *Isotopenzusammensetzung* eines Elements ist auf der Erde im allgemeinen überall konstant, so daß das chemische relative Atomgewicht als mittleres Atomgewicht des *Isotopengemisches* eine charakteristische Größe des betreffenden Elements ist. Es gibt an, das Wievielfache die mittlere Atommasse eines Elements vom 16. Teil der mittleren Masse des Sauerstoffatoms ist. Elemente, von denen ein oder mehrere Isotope durch Kernumwandlung aus anderen Elementen entstehen, haben keine konstante Isotopenzusammensetzung; in den *natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen* entsteht z. B. Blei 206 aus Uran 238, Blei 207 aus Uran 235 und Blei 208 aus Thorium 232; das mittlere Atomgewicht des Bleis ist deshalb vom Fundort abhängig.
Das *Grammatom* ist die in Gramm gemessene Menge eines Elements, die seinem relativen Atomgewicht numerisch entspricht, z. B. sind 35,457 g Chlor, 55,85 g Eisen oder 1,008 g Wasserstoff jeweils 1 Grammatom des betreffenden Elements. Jedes Grammatom verschiedener Elemente enthält stets dieselbe Anzahl Atome. Entsprechend ist das *Grammolekül* (*Mol*) als die in Gramm gemessene Menge einer Verbindung definiert, die seinem *Molekulargewicht*, d. h. der Summe der Atomgewichte der im Molekül vorhandenen Atome, entspricht.

Atomgewichtsbestimmung. Das relative Atomgewicht ergibt sich experimentell als die kleinste Anzahl von Grammen eines Elements, die in einem Grammolekül der verschiedensten Verbindungen dieses Elements aufgefunden werden. Zur Atomgewichtsbestimmung ist zunächst die Ermittlung des *Molekulargewichts* dieser Verbindungen erforderlich. Anschließend wird durch *quantitative Analyse* die in je einem Grammolekül der Verbindung enthaltene Grammenge des Elements bestimmt; die kleinste Menge Wasserstoff z. B., die man in einem Grammolekül verschiedener Wasserstoffverbindungen aufgefunden hat, beträgt 1,008 g (bezogen auf Sauerstoff = 16,0000). Da 1 Atom die kleinste Menge eines Elements ist, die in ein *Molekül* eintreten kann, muß man annehmen, daß die Menge von 1,008 g einem Grammatom Wasserstoff und damit seinem Atomgewicht entspricht. Diese Annahme stand noch nie in Widerspruch zu irgendeiner Beobachtung. Ihre Richtigkeit ist außerdem durch physikalisch-chemische Messungen exakt bewiesen worden. Die *Genauigkeit* eines Atomgewichts hängt von der Genauigkeit ab, mit der sich die quantitative Analyse einer geeigneten Verbindung des Elements durchführen läßt. Die meisten Atomgewichte hat man ermittelt, indem man ein reines Halogenid des betreffenden Elements herstellte. Man bestimmte dann wiederholt die Silbermenge, die mit einer bekannten Menge des reinen Halogenids reagiert. Da

Gegenüberstellung der verschiedenen Atomgewichte einiger Elemente

Ordnungszahl	Element	Massenzahl des Isotops	relative Häufigkeit in %	physikalisches Atomgewicht der Isotopen	mittleres physikalisches Atomgewicht	mittleres chemisches Atomgewicht (1960)	auf ^{12}C bezogene Atommasse (1961)
1	Wasserstoff, H	1	99,966	1,008144	1,00828	1,0080	1,00797
		2	0,014	2,014738			
6	Kohlenstoff, C	12	98,892	12,00383	12,0149	12,011	12,01115
		13	1,108	13,00749			
8	Sauerstoff, O	16	99,759	16,00000	16,00445	16,00000	15,9994
		17	0,0374	17,00453			
		18	0,2036	18,00487			
13	Aluminium, Al	27	100	26,99010	26,99010	26,98	26,9815
16	Schwefel, S	32	95,018	31,98223	32,07456	32,066	32,064
		33	0,750	32,98193			
		34	4,215	33,97867			
		36	0,017	35,978			
17	Chlor, Cl	35	75,40	34,98006	35,47147	35,457	35,453
		37	24,60	36,97767			

man auf die möglichst genaue Kenntnis der chemischen Atomgewichte größten Wert legt, werden diese jährlich von einer *internationalen Atomgewichtskommission* kritisch geprüft und, falls genauere Atomgewichtsbestimmungen vorliegen, berichtigt. Zu den genauesten Atomgewichtsbestimmungen gehören die von Otto Hönigschmid (1878 bis 1945). Das Atomgewicht ist auch sehr genau im *Massenspektrographen* bestimmbar.

Das physikalische relative Atomgewicht. Die *Einheit* des physikalischen relativen Atomgewichts ist $^1/_{16}$ der Masse des Sauerstoffisotops $^{16}_{8}O$, dessen Atomgewicht ebenfalls zu 16,0000 festgelegt wurde. Sie ist etwas kleiner als die Einheit des *chemischen relativen Atomgewichts*, die sich auf das aus ^{16}O, ^{17}O und ^{18}O bestehende natürliche Sauerstoffisotopengemisch bezieht. Das physikalische relative Atomgewicht einer bestimmten Atomart ist unabhängig von der Isotopenzusammensetzung des Sauerstoffs und dadurch exakter definiert. Es gibt an, das Wievielfache die Masse eines Isotops von dem 16. Teil der Masse des Sauerstoffisotops ^{16}O ist, und stellt eine charakteristische Atomkonstante dar. Aus dem *Massenspektrogramm* eines Isotopengemisches kann man sowohl das physikalische relative Atomgewicht, als auch die relative Häufigkeit der Isotopen ermitteln. Durch Multiplikation der Massewerte mit ihrer Häufigkeit und Addition der Produkte erhält man das *mittlere physikalische Atomgewicht* des betreffenden Elements. Es ist um 0,0278 % größer als das mittlere chemische Atomgewicht. In der Atomphysik werden die Massewerte verschiedener Atomarten in Einheiten des physikalischen Atomgewichts angegeben. In der Chemie wird das mittlere chemische Atomgewicht benutzt. Die Tabelle enthält für einige ausgewählte Elemente die verschieden definierten Atomgewichte.

Die auf das Kohlenstoffisotop ^{12}C bezogenen relativen Atommassen (Atomgewichte). Um den Unterschied zwischen dem chemischen und dem physikalischen Atomgewicht aufzuheben, wurde auf der XXI. Konferenz der Internationalen Union für Reine und Angewandte Chemie (IUPAC) im August 1961 beschlossen, eine

Tabelle der relativen Atommassen (Atomgewichte)

Die Tabelle enthält die auf das natürliche Sauerstoffisotopengemisch bezogenen mittleren chemischen Atomgewichte (1960) und die auf das Kohlenstoffisotop ^{12}C bezogenen neuen Atommassen (1961). Von kurzlebigen natürlichen radioaktiven Elementen sowie von den künstlichen Elementen ist nur die Massenzahl des wichtigsten Isotops (in eckiger Klammer) angegeben.

Ordnungszahl	Name des Elements	Zeichen	Atomgewicht: Sauerstoffisotopengemisch = 16,0000	Atomgewicht: ^{12}C	Ordnungszahl	Name des Elements	Zeichen	Atomgewicht: Sauerstoffisotopengemisch = 16,0000	Atomgewicht: ^{12}C
89	Aktinium	Ac	[227]		10	Neon	Ne	20,183	20,183
13	Aluminium	Al	26,98	26,9815	93	Neptunium	Np	[237]	
95	Amerizium	Am	[243]		28	Nickel	Ni	58,71	58,71
51	Antimon	Sb	121,76	121,75	41	Niob(ium)	Nb	92,91	92,906
18	Argon	Ar	39,944	39,948	102	Nobelium	No	[253]	
33	Arsen	As	74,91	74,9216	76	Osmium	Os	190,2	190,2
85	Astat	At	[210]		46	Palladium	Pd	106,4	106,4
56	Barium	Ba	137,36	137,34	15	Phosphor	P	30,975	30,9738
97	Berkelium	Bk	[247]		78	Platin	Pt	195,09	195,09
4	Beryllium	Be	9,013	9,0122	94	Plutonium	Pu	[239]	
82	Blei	Pb	207,21	207,19	84	Polonium	Po	[210]	
5	Bor	B	10,82	10,811	59	Praseodym	Pr	140,92	140,907
35	Brom	Br	79,916	79,909	61	Promethium	Pm	[147]	
17	Chlor	Cl	35,457	35,453	91	Protaktinium	Pa	[231]	
24	Chrom	Cr	52,01	51,996	80	Quecksilber	Hg	200,61	200,59
96	Curium	Cm	[242]		88	Radium	Ra	226,05	
66	Dysprosium	Dy	162,51	162,50	86	Radon	Rn	[222]	
99	Einsteinium	Es	[254]		75	Rhenium	Re	186,22	186,2
26	Eisen	Fe	55,85	55,847	45	Rhodium	Rh	102,91	102,905
68	Erbium	Er	167,27	167,26	37	Rubidium	Rb	85,48	85,47
63	Europium	Eu	152,0	151,96	44	Ruthenium	Ru	101,1	101,07
100	Fermium	Fm	[253]		62	Samarium	Sm	150,35	150,35
9	Fluor	F	19,00	18,9984	8	Sauerstoff	O	16,0000	15,9994
87	Franzium	Fr	[223]		16	Schwefel	S	32,066	32,064
64	Gadolinium	Gd	157,26	157,25	34	Selen	Se	78,96	78,96
31	Gallium	Ga	69,72	69,72	47	Silber	Ag	107,880	107,870
32	Germanium	Ge	72,60	72,59	14	Silizium	Si	28,09	28,086
79	Gold	Au	197,0	196,967	21	Skandium	Sc	44,96	44,956
72	Hafnium	Hf	178,50	178,49	7	Stickstoff	N	14,008	14,0067
2	Helium	He	4,003	4,0026	38	Strontium	Sr	87,63	87,62
67	Holmium	Ho	164,94	164,930	73	Tantal	Ta	180,95	180,948
49	Indium	In	114,82	114,82	43	Technetium	Tc	[99]	
77	Iridium	Ir	192,2	192,2	52	Tellur	Te	127,61	127,60
53	Jod	J	126,91	126,9044	65	Terbium	Tb	158,93	158,924
48	Kadmium	Cd	112,41	112,40	81	Thallium	Tl	204,39	204,37
98	Kalifornium	Cf	[245]		90	Thorium	Th	232,05	232,038
19	Kalium	K	39,10	39,102	69	Thulium	Tm	168,94	168,934
20	Kalzium	Ca	40,08	40,08	22	Titan	Ti	47,90	47,90
27	Kobalt	Co	58,94	58,9332	92	Uran	U	238,07	238,03
6	Kohlenstoff	C	12,011	12,01115	23	Vanadium	V	50,95	50,942
36	Krypton	Kr	83,80	83,80	1	Wasserstoff	H	1,0080	1,00797
29	Kupfer	Cu	63,54	63,54	83	Wismut	Bi	209,00	208,980
57	Lanthan	La	138,92	138,91	74	Wolfram	W	183,86	183,85
103	Lawrencium	Lw			54	Xenon	Xe	131,30	131,30
3	Lithium	Li	6,940	6,939	70	Ytterbium	Yb	173,04	173,04
71	Lutetium	Lu	174,99	174,97	39	Yttrium	Y	88,92	88,905
12	Magnesium	Mg	24,32	24,312	55	Zäsium	Cs	132,91	132,905
25	Mangan	Mn	54,94	54,9380	58	Zer	Ce	140,13	140,12
101	Mendelevium	Md	[256]		30	Zink	Zn	65,38	65,37
42	Molybdän	Mo	95,957	95,94	50	Zinn	Sn	118,70	118,69
11	Natrium	Na	22,991	22,9898	40	Zirkonium	Zr	91,22	91,22
60	Neodym	Nd	144,27	144,24					

neue Atomgewichtseinheit zu definieren. Man bezieht die Atomgewichte auf das Kohlenstoffisotop ^{12}C, dessen Atomgewicht zu 12,00000 festgelegt wird. Die neuen Atommassen (Atomgewichte) geben an, das Wievielfache die Masse eines Isotops bzw. die mittlere Masse eines Elements vom 12. Teil der Masse des Kohlenstoffisotops ^{12}C ist.

Das absolute Atomgewicht. Da 1 Grammatom aller Elemente die gleiche Anzahl Atome enthält, geben die relativen Atomgewichte auch das Gewichtsverhältnis an, in dem einzelne Atome zueinander stehen. Um die Masse einzelner Atome, das absolute Atomgewicht, berechnen zu können, ist die Bestimmung der in einem Grammatom enthaltenen Anzahl der Atome notwendig. Diese wichtige Konstante wurde erstmals von Loschmidt ermittelt. Die *Loschmidtsche Zahl* beträgt $6{,}023 \cdot 10^{23}$ Atome je Grammatom, d. h. 55,85 g Eisen oder 1,008 g Wasserstoff enthalten die ungeheuer große Zahl von $6{,}023 \cdot 10^{23}$ Atomen. Die Übereinstimmung der nach völlig verschiedenen Bestimmungsmethoden ermittelten Werte für die Loschmidtsche Zahl gilt als ein exakter Beweis für die *objektive Realität* der Atome. Die absoluten Atomgewichte liegen in der Größenordnung von 10^{-24} bis 10^{-22} g. Sie sind mit den relativen Atomgewichten durch folgende einfache Relation verknüpft:

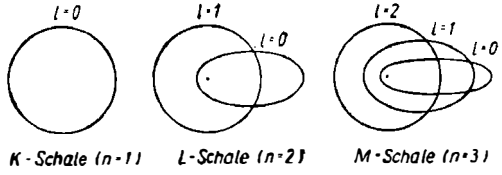
absolutes Atomgewicht · Loschmidtsche Zahl = relatives Atomgewicht.

DIE ELEKTRONENHÜLLE DER ATOME

Jedes neutrale Atom enthält in seiner Atomhülle so viele Elektronen, wie die Kernladungszahl angibt, z. B. hat Wasserstoff nur 1 Elektron, Uran dagegen 92 Elektronen. Die Elektronen sind in der Atomhülle nach bestimmten Gesetzen angeordnet. Der gesetzmäßige Aufbau der Elektronenhülle bestimmt die charakteristischen chemischen Eigenschaften der Atome, wie z. B. ihre *Wertigkeit* und ihre *Reaktionsfähigkeit*. Daher ist die Kenntnis dieses Aufbaus Voraussetzung für ein Verständnis des chemischen Verhaltens der Elemente. Im Periodensystem sind die Elemente nach ihren chemischen Eigenschaften zu Gruppen zusammengefaßt. Die Deutung des Periodensystems der chemischen Elemente hängt aufs engste mit dem Aufbau der Elektronenhülle zusammen.

Aufbau der Elektronenhülle. Nach dem Bohr-Rutherfordschen Atommodell bewegen sich die Elektronen in relativ großem Abstand mit großer Geschwindigkeit um den Kern (etwa 10^8 Umläufe je Sekunde). Die an ihnen angreifende Zentrifugalkraft wirkt der Anziehungskraft, die der positive Atomkern auf die Elektronen ausübt, entgegen. Anziehungskraft und Zentrifugalkraft sind entgegengesetzt gleich; das Elektron wird ähnlich wie ein Planet beim Umlauf um die Sonne auf seiner kreisförmigen bzw. elliptischen Bahn gehalten. Dieses anschauliche Bild von Elektronenbahnen ist nur eine Hilfsvorstellung. In Wirklichkeit läßt sich das Wesen der um das Tausendfache unter der Lichtwellenlänge liegenden Teilchen im Atominnern nicht mit grobmechanischen Vorstellungen zutreffend erfassen. Elektronen haben neben ihren *Teilcheneigenschaften* auch die *Eigenschaften einer Welle*. Ein Elektron umläuft nicht in einer bestimmten Ebene den Kern; es ist etwa auf einer Kugelschale anzutreffen; im wellenmechanischen Atommodell entspricht dem strahlungslosen Umlauf des Elektrons eine stehende räumliche Welle. Das Elektron erscheint über eine Kugelschale „verschmiert". Die Atomforschung verzichtet heute auf den Begriff der Elektronenbahnen und spricht nur von *Energiezuständen* der Elektronen. Diese ergeben sich experimentell aus den *inneren und äußeren Atomspektren*. Trotz seiner Unzulänglichkeit wird das Bohrsche Atommodell wegen seiner Anschaulichkeit hier zur Erklärung des Aufbaus der Elektronenhülle verwendet.

Die Elektronenschalen. Die Elektronenhülle ist in eine Reihe von Elektronenschalen unterteilt, die den Kern in bestimmten Abständen konzentrisch umgeben. Man bezeichnet sie mit den Buchstaben K bis Q als K-, L-, M-Schale usw. Das *maximale Aufnahmevermögen* jeder Schale beträgt $2n^2$ Elektronen, d. h., die 1. Schale ($n = 1$) ist mit 2, die 2. mit 8, die 3. mit 18, die 4. mit 32 Elektronen gesättigt. Die zu einer Schale gehörenden Elektronen bewegen sich teilweise auf *Ellipsenbahnen* unterschiedlicher Exzentrizität, wobei sich der Atomkern in einem Brennpunkt der Ellipse befindet. Die große Halbachse a jeder Ellipsenbahn ist gleich dem Radius r der dazugehörenden Kreisbahn. Dadurch haben alle zu einer Schale gehörenden Elektronen trotz verschiedener Bahnformen den gleichen mittleren Abstand vom Atomkern. Der Abstand bestimmt den *Energiezustand*. Man drückt das durch Angabe einer bestimmten *Hauptquantenzahl* n aus. Die Elektronen der K-Schale haben die Hauptquantenzahl $n = 1$, die der L-Schale $n = 2$, die der M-Schale $n = 3$ usw. Damit ist der Energiezustand eines Elektrons in der Elektronenhülle in erster Näherung festgelegt.



Unterteilung der Elektronenschalen in Zellen. Zwischen den zu einer Schale gehörenden Elektronen bestehen noch *Energieunterschiede*, die zunächst auf der *Wechselwirkung* der auf Ellipsenbahnen umlaufenden Elektronen mit den Elektronen einer inneren Schale beruhen, in die sie im

Perihel teilweise eintauchen. Diese Wechselwirkung ist um so größer, je größer die Exzentrizität der Ellipsenbahn ist. Die Anzahl der zu einer Elektronenschale gehörenden Ellipsenbahnen mit unterschiedlicher Exzentrizität ist begrenzt und stets um 1 kleiner, als die Hauptquantenzahl angibt. Zur Beschreibung dieser verschiedenen Bahnformen dient die *Nebenquantenzahl l*. Der Zusammenhang zwischen Haupt- und Nebenquantenzahl ist durch die Beziehung $l \leq n-1$ gegeben. Zur K-Schale ($n=1$, $l=0$) gehört demnach nur eine Kreisbahn, zur L-Schale ($n=2$) gehören eine Kreisbahn ($l=1$) und eine Ellipsenbahn ($l=0$). Die M-Schale ($n=3$) enthält außer einer Kreisbahn ($l=2$) zwei Ellipsenbahnen unterschiedlicher Exzentrizität ($l=1$, $l=0$), und in der N-Schale ($n=4$) treten neben der Kreisbahn ($l=3$) noch 3 Ellipsenbahnen ($l=2$, $l=1$, $l=0$) auf. Die Elektronenschalen sind also mit wachsender Hauptquantenzahl in zunehmendem Maße in *Energieniveaus* unterteilt. Man bezeichnet diese Energieniveaus auch als *Zellen* und kennzeichnet sie durch die Symbole *s*, *p*, *d* und *f*. Ihnen entsprechen die Nebenquantenzahlen 0, 1, 2 und 3. Die *s*-Zelle kann 2, die *p*-Zelle 6, die *d*-Zelle 10 und die *f*-Zelle 14 Elektronen aufnehmen. Demnach besteht die 1. Schale nur aus einer *s*-Zelle, die 2. Schale ist jedoch in *s*- und *p*-Zelle ($2+6=8$ Elektronen), die 3. Schale in *s*-, *p*- und *d*-Zelle ($2+6+10=18$ Elektronen) und die 4. Schale in *s*-, *p*-, *d*- und *f*-Zelle ($2+6+10+14=32$ Elektronen) unterteilt.

Räumlich verschiedene Elektronenbahnen innerhalb der Zellen. Innerhalb jeder Zelle kann der Energiezustand der Elektronen noch weiter differenziert sein. Die auf kreisförmiger und verschiedenen elliptischen Bahnen umlaufenden Elektronen erzeugen nämlich ein für jede Bahnform (Nebenquantenzahl *l*) charakteristisches *magnetisches Moment*. In komplizierten Atomen entsteht durch die Bewegung der übrigen Elektronen ein inneres magnetisches Feld. Das magnetische Moment kann sich nun nur in ganz bestimmter Weise zu diesem Magnetfeld räumlich einstellen, und zwar sowohl in positiver als auch in negativer Richtung. Die Anzahl der räumlichen Einstellmöglichkeiten wird durch die *magnetische Quantenzahl m* angegeben. Sie kann alle ganzzahligen Werte zwischen $+l$ und $-l$ annehmen. Damit gehören zu jeder Nebenquantenzahl $2l+1$ Werte der magnetischen Quantenzahl. Durch sie werden bestimmte räumliche Einstellungen sonst gleicher Bahnen charakterisiert. In der *s*-Zelle ($l=0$) gibt es nur eine Elektronenbahn ($m=0$), in der *p*-Zelle ($l=1$) existieren bereits 3 räumlich verschiedene Elektronenbahnen ($m=+1$, $m=0$, $m=-1$), in der *d*-Zelle ($l=2$) dementsprechend 5 und in der *f*-Zelle ($l=3$) 7. Entsprechend dem maximalen Aufnahmevermögen jeder Zelle ist jede der räumlich verschiedenen Bahnen mit 2 Elektronen besetzt.

Der Elektronenspin. Jedes Elektron hat außer dem magnetischen Moment seiner Bahn noch in sich selbst ein magnetisches Moment, das man sich durch eine Rotation um die eigene Achse entstanden denken kann. Diese *Eigenrotation*, den *Elektronendrall*, nennt man meist *Spin*. Da die Rotation sowohl im Sinne des Bahnumlaufs als auch entgegengesetzt erfolgen kann, wird das magnetische Moment des Bahnumlaufs um den Betrag des Spinmoments vermehrt oder vermindert. Man berücksichtigt das durch Angabe der *Spinquantenzahl s*. Sie kann die Werte $+\frac{1}{2}$ und $-\frac{1}{2}$ annehmen. Die beiden Elektronen jeder Elektronenbahn rotieren also in entgegengesetzter Richtung um ihre eigene Achse, man sagt, sie haben antiparallelen Spin. Daraus resultiert eine starke Wechselwirkung. Man erkennt das u. a. an dem Bestreben der Elektronen, paarweise aufzutreten, wie z. B. bei der Ausbildung einer homöopolaren chemischen Bindung.



Elektronenpaar a mit antiparallelem und b mit parallelem Spin (schematisch)

Pauli-Prinzip. Es gibt in einem Atom keine Elektronen mit völlig übereinstimmendem Energiezustand. Wenn ein Elektron einen durch bestimmte Werte der Quantenzahlen *n*, *l*, *m*, *s* charakterisierten Energiezustand hat, kann dieser nicht von einem anderen Elektron angenommen werden. Unter Berücksichtigung der 4 Quantenzahlen ist der Aufbau der ersten drei Elektronenschalen bei voller Besetzung in der Tabelle angegeben. Je nach den Werten der Quantenzahlen sind 2, 6 bzw. 10 Elektronen zu Gruppen zusammengefaßt. Auch im Periodensystem treten waagerechte Gruppen mit 2, 6 und 10 Elementen auf.

Aufbauprinzip. Das Periodensystem ergibt sich unmittelbar aus dem Aufbau der Elektronenhülle, wenn man die Reihenfolge berücksichtigt, in der die Besetzung der Energieniveaus erfolgt. Ordnet man die Atome nach steigender Kernladungszahl (Ordnungszahl) an, dann kann man sich die Elektronenhülle eines Atoms aus der des vorhergehenden durch *Anbau eines weiteren Elektrons* entstanden denken. Die Elektronen werden zunächst in die 1., dann in die 2. Schale eingebaut. Die 3. Schale wird nicht sofort vollständig aufgefüllt. Nachdem die *s*- und die *p*-Zelle besetzt sind, werden zunächst 2 Elektronen in die *s*-Zelle der 4. Schale aufgenommen, und erst dann erfolgt der Einbau von 10 Elektronen in die *d*-Zelle der 3. Schale. Dasselbe wiederholt sich beim Ausbau der höheren Elektronenschalen. Die 4. Schale ist auch nach Besetzung der *d*-Zelle noch nicht gesättigt. Ihre *f*-Zelle wird erst aufgefüllt, nachdem bereits der Ausbau der 6. Schale mit der *s*-Zelle begonnen hat. Die höheren Schalen erreichen ihre maximale Elektronenzahl nicht mehr, weil die Atomkerne radioaktiv zerfallen.

Jeder *Elektronenschale* entspricht eine *Periode* im Periodensystem. Da in ihm die Elemente nach steigender Ordnungszahl angeordnet sind, erscheinen die 10 Elemente der *d*-Zelle, die sogenannten

Übergangselemente, jeweils in der nächsthöheren Periode. Die ersten 10 Übergangselemente stehen z. B. in der 4. Periode, obwohl die Elektronen in die *d*-Zelle der 3. Schale eingebaut werden. Die 14 *Lanthanidenelemente* stehen sogar in der 6. Periode, obwohl die *f*-Zelle der 4. Schale mit Elektronen besetzt wird.
Innerhalb jeder Zelle werden im allgemeinen die Elektronenbahnen zunächst mit je einem Elektron besetzt, deren Spin zueinander parallel gerichtet ist. Erst wenn die Zelle halb besetzt ist, werden die weiteren Elektronen mit entgegengesetzter Spinrichtung eingebaut.

Verteilung der Elektronen auf die einzelnen Energieniveaus im Normalzustand der freien Atome. Die Tabelle gibt die Reihenfolge an, in der die Energieniveaus besetzt werden. Die Edelgaskonfiguration ist durch Fettdruck hervorgehoben. Elektronen, deren Anordnung noch nicht mit Sicherheit bekannt ist, sind eingeklammert.

n	1											K-Schale
l	0 *s*-Zelle											
m	0											
s	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$										
n	2											L-Schale
l	0 *s*-Zelle							1 *p*-Zelle				
m	0							$+1$	0	-1		
s	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$						$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
n	3											M-Schale
l	0 *s*-Zelle		2 *d*-Zelle					1 *p*-Zelle				
m	0	$+2$	$+1$	0	-1	-2		$+1$	0	-1		
s	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$

Aufbau der ersten drei Elektronenschalen

Innere Elektronenschalen und Valenzelektronen. Valenzelektronen sind die *äußeren Elektronen* der Atomhülle. Sie gehören einer noch unvollständig besetzten äußeren Elektronenschale an und unterscheiden sich von den Elektronen abgeschlossener oder zumindest teilweise abgeschlossener innerer Schalen durch ihre relativ leichte Abspaltbarkeit (*niedrige Ionisierungsspannung*). Bei mäßiger Energiezufuhr werden sie nicht völlig abgespalten, sondern nur auf ein unbesetztes höheres Energieniveau gehoben. Es entstehen *angeregte Atome*, die innerhalb sehr kurzer Zeit (10^{-8} Sekunden) wieder in den Grundzustand übergehen und dabei *Spektrallinien* aussenden. Die *Valenzelektronen* sind für das chemische Verhalten der Elemente verantwortlich und bestimmen im wesentlichen die chemischen Eigenschaften.

Edelgaskonfiguration. Die mit 2 Elektronen besetzte 1. Schale, die mit 8 Elektronen ebenfalls vollbesetzte 2. Schale sowie die mit 8 Elektronen teilweise aufgefüllten folgenden Schalen stellen einen besonders stabilen Zustand der Elektronenanordnung dar, die sog. Edelgaskonfiguration. Valenzelektronen fehlen bei dieser Anordnung. Daraus erklärt sich die große *Reaktionsträgheit der Edelgase*. Elemente, die im Periodensystem zwischen den Edelgasen stehen, sind reaktionsfreudig und bilden chemische Verbindungen. Sie sind bestrebt, durch Abgabe der Valenzelektronen die Konfiguration des nächstniederen Edelgases zu erreichen. Fehlen nur wenige Elektronen bis zur Edelgaskonfiguration, dann kann durch Aufnahme der entsprechenden Anzahl Elektronen die Konfiguration des nächsthöheren Edelgases erreicht werden. Im ersteren Fall entstehen positive Ionen, *Kationen*, im zweiten Fall negative Ionen, *Anionen*. Kationen und Anionen sind die Bausteine aller *heteropolaren Verbindungen*. Auch die *homöopolare chemische Bindung* sowie die Bindung der Atome in Metallen wird durch die Valenzelektronen bewirkt. Die Valenzelektronen bestimmen die *Wertigkeit* und damit auch das Atomzahlenverhältnis, in dem sich die Elemente zu Verbindungen vereinigen.

Wertigkeit. Die Atome jedes Elements sind durch bestimmte Verbindungsfähigkeiten gekennzeichnet. Die *Wertigkeit* oder *Valenz* (lat. *valere*, gelten, wert sein) bestimmt die Anzahl der anderen Atome, mit denen sich ein Atom verbinden kann. Die Wertigkeit ist die Zahl, die angibt, mit wieviel Atomen eines einwertigen Elements sich ein Atom des betrachteten Elements vereinigt. Natrium besitzt ein Valenzelektron. Dieses kann an ein Atom eines anderen Elements abgegeben werden, dem ein Elektron zur Edelgaskonfiguration fehlt, z. B. Wasserstoff, Fluor, Chlor; es entstehen die Verbindungen Natriumhydrid, NaH, Natriumfluorid, NaF, bzw. Natriumchlorid, NaCl. In ihnen ist das Natrium *elektropositiv* einwertig, Na^+. Dagegen sind die anderen Elemente *elektronegativ* einwertig gebunden, H^-, F^- bzw. Cl^-. *Man hat also bei den Elementen zwischen elektropositiver und elektronegativer Wertigkeit zu unterscheiden.* Die höchstmögliche *elektropositive Wertigkeit* ist der Anzahl der vorhandenen Valenzelektronen gleich. Die höchstmögliche *elektronegative Wertigkeit* ergibt sich aus der Anzahl der Elektronen, die bis zur nächsthöheren Edelgaskonfiguration fehlen. Dem Sauerstoff oder Schwefel fehlen zwei Elektronen bis zur Edelgaskonfiguration. In den Verbindungen Natriumoxyd, Na_2O, bzw. Natriumsulfid, Na_2S, werden daher zwei Natriumatome von einem Sauerstoff- bzw. Schwefelatom gebunden. Natrium ist auch hier *elektropositiv einwertig*, Sauerstoff bzw. Schwefel sind jedoch *elektronegativ zweiwertig*. Magnesium hat zwei Valenzelektronen und tritt in seinen Verbindungen, z. B. $MgCl_2$, MgF_2, MgH_2, MgO, MgS, elektropositiv zweiwertig auf. Kohlenstoff ist mit 4 Valenzelektronen vierwertig. Ein Atom bindet daher 4 Atome eines einwertigen Elements, z. B. im Tetrachlorkohlenstoff, CCl_4, oder Methan, CH_4, bzw. zwei Atome eines zweiwertigen Elements, z. B. im Kohlendioxyd, CO_2.

Verschiedene Wertigkeitsstufen. Die meisten Elemente können in verschiedenen Wertigkeitsstufen auftreten. Die höchstmögliche elektropositive Wertigkeit, die unter den Bedingungen einer chemischen Reaktion erreicht werden kann, ist für ein Element charakteristisch und für seine Stellung im Periodensystem entscheidend.
Die *Metalle* bilden in ihren Verbindungen im allgemeinen den elektropositiven Bestandteil. Zahlreiche Metalle bevorzugen die höchste Wertigkeitsstufe, z. B. die *Alkalimetalle*, die *Erdalkalimetalle* und die *Erdmetalle*. Es gibt jedoch auch Metalle, die Verbindungen bilden, in denen sie in einer niedrigeren elektropositiven Wertigkeitsstufe vorliegen, als ihrer Valenzelektronenzahl entspricht, z. B. Zinn, Blei und die meisten Übergangselemente.
Die *Nichtmetalle* haben ebenfalls die Fähigkeit, in verschiedenen elektropositiven Wertigkeitsstufen aufzutreten. Sie bilden aber auch Verbindungen, in denen sie elektronegative Wertigkeit besitzen. So tritt Stickstoff (5 Valenzelektronen) maximal elektropositiv fünfwertig auf, z. B. im Distickstoffpentoxyd, N_2O_5, und in der Salpetersäure, HNO_3; er kann aber auch Verbindungen bilden, in denen er elektronegativ dreiwertig ist, z. B. im Ammoniak, NH_3; dem Stickstoff fehlen drei Elektronen zur Edelgaskonfiguration. Entsprechend tritt Schwefel (6 Valenzelektronen) sowohl elektropositiv sechswertig, z. B. im Schwefeltrioxyd, SO_3, in der Schwefelsäure, H_2SO_4, und im Schwefelhexafluorid, SF_6, als auch elektronegativ zweiwertig auf, z. B. im Schwefelwasserstoff, H_2S. Chlor kann auf Grund des Vorhandenseins von 7 Valenzelektronen in seinen Verbindungen sowohl den elektropositiv siebenwertigen Zustand annehmen, z. B. im Dichlorheptoxyd, Cl_2O_7, und in der Perchlorsäure, $HClO_4$, als auch elektronegativ einwertig auftreten, z. B. im Chlorwasserstoff, HCl. Zwischen der höchstmöglichen elektropositiven und der elektronegativen Wertigkeit liegen im allgemeinen mittlere Wertigkeitsstufen, die ebenfalls realisierbar sind. Man bezeichnet die verschiedenen Wertigkeitsstufen eines Elements auch als *Oxydationsstufen.*

Elektronegativität. Unter Elektronegativität versteht man das Bestreben eines Elements, Elektronen zu binden. Ob ein Element in eine Verbindung mit elektropositiver oder mit elektronegativer Wertigkeit eintritt, hängt weitgehend von der Elektronegativität der Reaktionspartner ab.
Die Metalle folgen im Periodensystem auf die Edelgase. Ihre Valenzelektronen sind relativ locker gebunden. Bei ihnen wird die Edelgaskonfiguration am einfachsten durch Abgabe der wenigen Valenzelektronen erreicht. Daher haben die Alkalimetalle mit nur einem Valenzelektron relativ geringe Elektronegativitäten. Bei ihnen ist das Bestreben, elektropositiv aufzutreten, am stärksten ausgeprägt. Die niedrigste Elektronegativität hat das Zäsium.
Die Nichtmetalle stehen im Periodensystem vor den Edelgasen. Ihre Valenzelektronen sind fester gebunden als bei den Metallen. Die Edelgaskonfiguration wird am einfachsten durch Aufnahme einiger Elektronen erreicht. Daher weisen die Halogene mit nur einem fehlenden Elektron relativ hohe Elektronegativitäten auf. Bei ihnen ist das Bestreben, elektronegativ aufzutreten, stark ausgeprägt. Fluor hat die größte *Elektronegativität*, dann folgt Sauerstoff. Die Elektronegativität der Elemente nimmt von links unten nach rechts oben im Periodensystem zu. Auf Grund dieser Gesetzmäßigkeit haben die Metalle in Verbindungen mit Nichtmetallen stets elektropositive, die Nichtmetalle elektronegative Wertigkeit. Zur Ausbildung elektropositiver Wertigkeitsstufen kommt es bei den Nichtmetallen nur, wenn sie mit solchen Nichtmetallen Verbindungen eingehen, deren Elektronegativität größer ist als ihre eigene. Die höchstmögliche elektropositive Wertigkeit betätigen die Elemente bei der Vereinigung mit Sauerstoff oder Fluor, den Elementen größter Elektronegativität. Verbindungen mit elektropositivem Fluor können nicht existieren, da es kein Element mit größerer Elektronegativität gibt. Auch Sauerstoff tritt stets elektronegativ zweiwertig auf. Nur gegenüber dem noch elektronegativeren Fluor muß man ihm im Sauerstofffluorid, OF_2, elektropositive Wertigkeit zuschreiben.

Verteilung der Elektronen auf die einzelnen Energieniveaus im Normalzustand der freien Atome

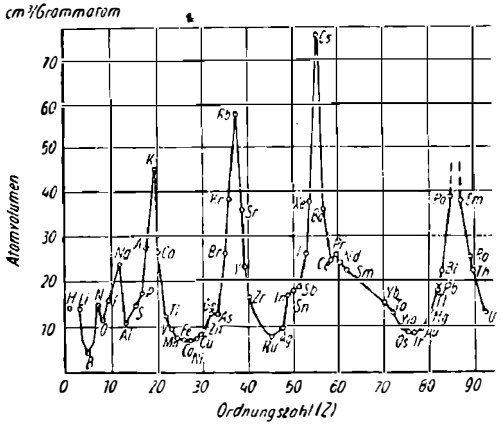
Ordnungszahl Z	Elektronenschale	K	L	M	N	O	P	Q
	Hauptquantenzahl n	1	2	3	4	5	6	7
	Zellen	*s*	*s p*	*s p d*	*s p d f*	*s p d f*	*s p d*	*s*
	Nebenquantenzahl l	0	0 1	0 1 2	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2	0
1	Wasserstoff	1						
2	Helium	**2**						
3	Lithium	2	1					
4	Beryllium	2	2					
5	Bor	2	2 1					
6	Kohlenstoff	2	2 2					
7	Stickstoff	2	2 3					
8	Sauerstoff	2	2 4					
9	Fluor	2	2 5					
10	Neon	**2**	**2 6**					
11	Natrium	2	2 6	1				
12	Magnesium	2	2 6	2				
13	Aluminium	2	2 6	**2 1**				
14	Silizium	2	2 6	2 2				
15	Phosphor	2	2 6	2 3				
16	Schwefel	2	2 6	2 4				
17	Chlor	2	2 6	2 5				
18	Argon	**2**	**2 6**	**2 6**				
19	Kalium	2	2 6	2 6	1			
20	Kalzium	2	2 6	2 6	2			
21	Skandium	2	2 6	2 6 1	2			
22	Titan	2	2 6	2 6 2	2			
23	Vanadin	2	2 6	2 6 3	2			
24	Chrom	2	2 6	2 6 5	1			
25	Mangan	2	2 6	2 6 5	2			
26	Eisen	2	2 6	2 6 6	2			
27	Kobalt	2	2 6	2 6 7	2			
28	Nickel	2	2 6	2 6 8	2			
29	Kupfer	2	2 6	2 6 10	1			
30	Zink	2	2 6	2 6 10	2			
31	Gallium	2	2 6	2 6 10	2 1			
32	Germanium	2	2 6	2 6 10	2 2			
33	Arsen	2	2 6	2 6 10	2 3			
34	Selen	2	2 6	2 6 10	2 4			
35	Brom	2	2 6	2 6 10	2 5			
36	Krypton	**2**	**2 6**	**2 6 10**	**2 6**			
37	Rubidium	2	2 6	2 6 10	2 6	1		
38	Strontium	2	2 6	2 6 10	2 6	2		
39	Yttrium	2	2 6	2 6 10	2 6 1	2		
40	Zirkonium	2	2 6	2 6 10	2 6 3	1		
41	Niob	2	2 6	2 6 10	2 6 4	1		
42	Molybdän	2	2 6	2 6 10	2 6 5	1		
43	Technetium	2	2 6	2 6 10	2 6 6	1		
44	Ruthen	2	2 6	2 6 10	2 6 7	1		
45	Rhodium	2	2 6	2 6 10	2 6 8	1		
46	Palladium	**2**	**2 6**	**2 6 10**	**2 6 10**			
47	Silber	2	2 6	2 6 10	2 6 10	1		
48	Kadmium	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2		
49	Indium	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 1		
50	Zinn	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 2		

Ordnungszahl Z	Elektronenschale	K	L	M	N	O	P	Q
	Hauptquantenzahl n	1	2	3	4	5	6	7
	Zellen	s	$s\ p$	$s\ p\ d$	$s\ p\ d\ f$	$s\ p\ d\ f$	$s\ p\ d$	s
	Nebenquantenzahl l	0	0 1	0 1 2	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2	0
51	Antimon	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 3		
52	Tellur	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 4		
53	Jod	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 5		
54	Xenon	**2**	**2 6**	**2 6 10**	**2 6 10**	**2 6**		
55	Zäsium	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	1	
56	Barium	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	2	
57	Lanthan	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6 1	2	
58	Zer	2	2 6	2 6 10	2 6 10 (1)	2 6 (1)	(2)	
59	Praseodym	2	2 6	2 6 10	2 6 10 (3)	2 6	(2)	
60	Neodym	2	2 6	2 6 10	2 6 10 4	2 6	2	
61	Promethium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 (5)	2 6	(2)	
62	Samarium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 6	2 6	2	
63	Europium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 7	2 6	2	
64	Gadolinium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 7	2 6 1	2	
65	Terbium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 8	2 6 1	2	
66	Dysprosium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 (9)	2 6 (1)	(2)	
67	Holmium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 (10)	2 6 (1)	(2)	
68	Erbium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 (11)	2 6 (1)	(2)	
69	Thulium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 13	2 6	2	
70	Ytterbium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6	2	
71	Lutetium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 1	2	
72	Hafnium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 2	2	
73	Tantal	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 3	2	
74	Wolfram	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 4	2	
75	Rhenium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 5	2	
76	Osmium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 6	2	
77	Iridium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 7	2	
78	Platin	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9	1	
79	Gold	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	1	
80	Quecksilber	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2	
81	Thallium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 1	
82	Blei	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 2	
83	Wismut	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 3	
84	Polonium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 4	
85	Astat	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 5	
86	Radon	**2**	**2 6**	**2 6 10**	**2 6 10 14**	**2 6 10**	**2 6**	
87	Franzium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	1
88	Radium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	2
89	Aktinium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 1	2
90	Thorium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 (2)	(2)
91	Protaktinium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 (3)	(2)
92	Uran	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 (4)	(2)
93	Neptunium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (5)	2 6	(2)
94	Plutonium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (5)	2 6 (1)	(2)
95	Amerizium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (6)	2 6 (1)	(2)
96	Curium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (7)	2 6 (1)	(2)
97	Berkelium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (8)	2 6 (1)	(2)
98	Kalifornium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (9)	2 6 (1)	(2)
99	Einsteinium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (10)	2 6 (1)	(2)
100	Fermium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (11)	2 6 (1)	(2)
101	Mendelevium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (12)	2 6 (1)	(2)
102	Nobelium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (13)	2 6 (1)	(2)
103	Lawrencium	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 (14)	2 6 (1)	(2)

Wasserstoff nimmt eine Mittelstellung ein. In den Wasserstoffverbindungen der Nichtmetalle ist er elektropositiv einwertig, z. B. im Chlorwasserstoff, HCl, im Wasser, H_2O, im Ammoniak, NH_3, und bis zu einem gewissen Grad auch im Methan, CH_4. Seine Elektronegativität ist kleiner als die der anderen Nichtmetalle. Daher bildet er in diesen Verbindungen den elektropositiven Bestandteil. In den Wasserstoffverbindungen der Metalle, insbesondere in den salzartigen Hydriden, tritt Wasserstoff elektronegativ einwertig auf. Die Elektronegativität der meisten Metalle ist kleiner als die des Wasserstoffs. Daher bildet er in diesen Verbindungen den elektronegativen Bestandteil.

DAS PERIODENSYSTEM DER CHEMISCHEN ELEMENTE

Das Periodensystem wurde 1869 von dem russischen Chemiker Dimitrij I. Mendelejew und etwa gleichzeitig von Lothar Meyer aufgestellt. Die ersten Ansätze stammen von Döbereiner. Er wies 1829 nach, daß sich verschiedene Elemente ihrem chemischen Verhalten nach zu Gruppen von je drei Elementen (*Triaden*) zusammenfassen lassen, in denen die Atomgewichtsunterschiede jeweils annähernd gleich sind (*Triadenregel*). J. A. R. Newlands entdeckte 1864, daß bei der Anordnung der Elemente nach steigendem Atomgewicht jeweils nach sieben Elementen eins folgt, das dem Anfangsglied der Reihe ähnlich ist (*Gesetz der Oktaven*). Mendelejew erkannte im Periodensystem eine allgemeine Gesetzmäßigkeit, die die Beziehungen der Elemente zueinander wiedergibt. Er wies auf einige noch nicht entdeckte Elemente hin, sagte mit Hilfe des Periodensystems ihre Eigenschaften voraus und zeigte damit den Weg, sie aufzufinden, z. B. für Germanium (*Ekasilizium*), Gallium (*Ekaaluminium*) und Skandium (*Ekabor*). Mendelejew und Meyer ordneten die Elemente nach der Größe ihrer Atomgewichte an. Die Reihe der Elemente ließ dann eine periodische Wiederkehr bestimmter Eigenschaften erkennen.



Periodische Änderung des Atomvolumens in Abhängigkeit von der Ordnungszahl

Mendelejew untersuchte die Beziehungen zwischen dem Atomgewicht und den Eigenschaften der Elemente unter besonderer Berücksichtigung der *Wertigkeit*. Die höchstmögliche elektropositive Wertigkeit ändert sich in der Reihe der Elemente (El) periodisch von I bis VII. Dadurch ändert sich z. B. auch der Formeltyp der höchsten Oxyde und Fluoride periodisch.

Valenzelektronenzahl	I	II	III	IV	V	VI	VII
Oxyd	El_2O	ElO	El_2O_3	ElO_2	El_2O_5	ElO_3	El_2O_7
Fluorid	ElF	ElF_2	ElF_3	ElF_4	ElF_5	ElF_6	ElF_7

Die Radien der höchstwertigen elektropositiven Ionen ändern sich ebenfalls periodisch, sie nehmen in der angegebenen Reihenfolge ab. Dadurch nimmt auch ihre Neigung zur Bildung von basischen Hydroxyden von I bis VII ab. Ihre Neigung zur Bildung von Säuren nimmt entsprechend zu.
Meyer entdeckte die Periodizität des *Atomvolumens*. Das Atomvolumen ($cm^3 \cdot mol^{-1}$) erhält man durch Division des Atomgewichts durch die Dichte. Um alle Elemente sinnvoll vergleichen zu können, bezieht man ihre Atomvolumina durch Extrapolation auf den absoluten Nullpunkt. Die so definierten Atomvolumina sind jedoch nur ein angenähertes Maß für die wahren Atomvolumina, da die Packung der Atome im festen Zustand nicht bei allen Elementen gleich dicht ist.
Die Spannung, die notwendig ist, um ein Valenzelektron aus dem Atomverbande abzutrennen, die *Ionisierungsspannung* der Elemente, ändert sich mit der Ordnungszahl ebenfalls periodisch. Die größte Ionisierungsspannung besitzen die Edelgase, die kleinste die Alkalimetalle.
Auf Grund der Periodizität der Eigenschaften ordneten Mendelejew und Meyer die Elemente so an, daß chemisch ähnliche Elemente untereinanderstehen. Heute weiß man, daß nicht das *Atomgewicht*, sondern die *Kernladungszahl* für die Einordnung eines Elements in das Periodensystem maßgebend ist (*Ordnungszahl*). Die Kernladungszahl gibt die Anzahl der Protonen (Kernladungen) im Atomkern und damit auch die Anzahl der Elektronen in der Atomhülle an. Die Struktur der Elektronenhülle liegt dem Periodensystem der chemischen Elemente zugrunde.

Die waagerechten Reihen. Den durch die Buchstaben K bis Q oder durch die Hauptquantenzahl 1 bis 7 gekennzeichneten Elektronenschalen entsprechen die 7 waagerechten *Reihen* oder *Perioden*, z. B. Natrium, Magnesium, Aluminium, Silizium, Phosphor, Schwefel, Chlor, Argon. Die Unter-

teilung der Elektronenschalen in *Zellen* erkennt man an den verschiedenen waagerechten Elementgruppen innerhalb einer Periode, z. B. an der aus nur zwei Elementen bestehenden 1. Periode (entsprechend nur einer *s*-Zelle) sowie an den in 2 und 6 Elemente (entsprechend einer *s*- und *p*-Zelle) unterteilten folgenden beiden Achterperioden. In der 4., 5. und 6. Periode schieben sich je 10 *Übergangselemente* (*d*-Zelle) mit einander ähnlichen Eigenschaften dazwischen, und in der 6. Periode kommen außerdem noch 14 *Lanthanidenelemente* (*f*-Zelle) mit weitgehend übereinstimmenden Eigenschaften hinzu.

Übergangselemente. Alle Übergangselemente sind Metalle. Sie unterscheiden sich in der Anzahl der Elektronen in der *d*-Zelle der nach innen nächsten Schale. Ihre chemische Verwandtschaft beruht auf dem Vorhandensein zweier Valenzelektronen in der *s*-Zelle der äußeren Schale (vgl. Tabelle: Verteilung der Elektronen auf die einzelnen Energieniveaus im Normalzustand der freien Atome).

Zweiwertigkeit. Die beiden Valenzelektronen werden relativ leicht abgegeben. Die Übergangsmetalle können daher in ihren Verbindungen *elektropositiv zweiwertig* auftreten. In Ausnahmefällen wird ein Elektron in die *d*-Zelle der nächstinneren Schale gezogen, z. B. beim Chrom und Kupfer. Derartige Elemente treten daher auch *einwertig* auf. Palladium ist *nullwertig*, da beide Valenzelektronen zur vollständigen Auffüllung der *d*-Zelle der inneren Schale gebraucht werden. In der mit Elektronen vollständig besetzten *d*-Zelle liegt eine stabile Elektronenanordnung vor, die ähnlich wie die *Edelgaskonfiguration* (vollständig besetzte *s*- bzw. *s*- und *p*-Zelle) angestrebt wird. Palladium gehört daher zu den *Edelmetallen*, d. h. es besitzt keine große Neigung, chemische Verbindungen zu bilden. Auch die Edelmetallnatur der um das Palladium bzw. um das Platin in der folgenden Periode gruppierten Elemente Rhodium, Silber, Iridium und Gold läßt sich ähnlich erklären.

Höhere Wertigkeitsstufen. Außer den beiden Valenzelektronen in der äußeren Schale können auch die *d*-Elektronen der nach innen nächsten Schale zur Ausbildung von Valenzen herangezogen werden. Dadurch treten auch höhere Wertigkeitsstufen als +II auf. Die höchstmögliche Wertigkeitsstufe liegt vor, wenn neben den *s*-Elektronen auch sämtliche *d*-Elektronen abgegeben werden. Die *maximale Wertigkeit* nimmt vom Skandium zum Mangan von +III bis +VII zu. Skandium tritt dreiwertig auf, Titan maximal vier- und Chrom maximal sechswertig. Mangan ist in der Übermangansäure, $HMnO_4$, und ihren Salzen elektropositiv siebenwertig, und Ruthenium und Osmium liegen in ihren Tetroxyden, RuO_4 bzw. OsO_4, wahrscheinlich sogar achtwertig vor. Im allgemeinen werden vom Mangan ab jedoch nicht mehr alle *d*-Elektronen bei der Bildung von Verbindungen abgegeben; Eisen tritt z. B. vorwiegend nur noch zwei- und dreiwertig auf. Die Elektronen sind zunehmend fester gebunden. Beim Zink ist die *d*-Zelle voll besetzt. Es tritt nur zweiwertig auf, da lediglich die beiden äußeren Valenzelektronen noch abgegeben werden können.

Lanthanidenelemente. Bei den auf das Lanthan folgenden 14 Elementen werden die Elektronen in die *f-Zelle der 4. Elektronenschale* eingebaut. In der 5. Schale sind die *s*- und *p*-Zelle bereits aufgefüllt (stabile Edelgaskonfiguration beim Xenon). Auch die *s*-Zelle der 6. Schale ist mit 2 Elektronen bereits besetzt (Zäsium und Barium); nur diese Elektronen und ein weiteres beim Lanthan, das in der *d*-Zelle der 5. Schale untergebracht wird, kommen als Valenzelektronen in Frage. Von den in der *f*-Zelle der 4. Schale eingebauten Elektronen können nur noch in Ausnahmefällen Bindungen ausgehen. Die Lanthanidenelemente treten daher elektropositiv dreiwertig auf. Sie bilden mit den ebenfalls dreiwertigen Elementen Lanthan, Yttrium und Skandium die Gruppe der *Seltenen Erdmetalle.* Die *Seltenen Erden*, die Oxyde dieser Metalle, sind in geringer Menge weit verbreitet und mit 0,01 bis 0,02 % in stärkerem Maße am Aufbau der Erdrinde beteiligt als z. B. Blei oder Kobalt.

Lanthanidenkontraktion. Die Radien der dreiwertigen Ionen nehmen vom Zer zum Lutetium von 0,118 nm (1,18 Å) auf 0,099 nm (0,99 Å) stetig ab. Die *Elektronenhülle* wird durch das Anwachsen der Kernladung in zunehmendem Maße *kontrahiert.* Darauf beruht die geringfügige, stetige Änderung bestimmter Eigenschaften innerhalb der Reihe der Lanthaniden, ohne die eine Trennung der chemisch außerordentlich ähnlichen Elemente nicht möglich wäre. Zur Trennung sind besonders Ionenaustauschverfahren geeignet.

Auf der Lanthanidenkontraktion beruht die außerordentlich große Ähnlichkeit zwischen den auf das Lutetium folgenden *Übergangselementen* und ihren leichteren Homologen. Die Ionenradien nehmen in einer Spalte des Periodensystems von oben nach unten zu. Diese Zunahme wird bei den Übergangselementen der 6. Periode durch die Schrumpfung der Ionenradien bei den davorstehenden Lanthaniden kompensiert. Zirkon und Hafnium, Niob und Tantal, Molybdän und Wolfram haben fast die gleichen Atom- und Ionenradien. Infolge *Tarnung* durch das viel häufigere Zirkon wurde das Hafnium erst relativ spät (1922) entdeckt.

Farbe der dreiwertigen Ionen. Die *f*-Zelle umfaßt 7 räumlich verschiedene Elektronenbahnen, die zunächst mit je einem Elektron besetzt werden. In der mit 7 Elektronen halbbesetzten Zelle (Gadolinium) liegt eine relativ stabile, bevorzugte Elektronenanordnung vor, ähnlich wie beim Lanthan (unbesetzte *f*-Zelle) und beim Lutetium (vollständig besetzte *f*-Zelle). La^{3+}-, Gd^{3+}- und Lu^{3+}-Ionen sind daher farblos. Die Ionen der dazwischenliegenden Elemente sind farbig. Etwa in der Mitte ist die Lichtabsorption am weitesten in den sichtbaren Bereich verschoben. Die Elektronen sind hier besonders beweglich.

La^{3+}	Ce^{3+}	Pr^{3+}	Nd^{3+}	Pm^{3+}	Sm^{3+}	Eu^{3+}	Gd^{3+}
farblos	farblos	gelbgrün	rotviolett	rot	tiefgelb	fast farblos	farblos

Gd^{3+}	Tb^{3+}	Dy^{3+}	Ho^{3+}	Er^{3+}	Tm^{3+}	Yb^{3+}	Lu^{3+}
farblos	fast farblos	blaß gelbgrün	braungelb	tiefrosa	blaßgrün	farblos	farblos

Wertigkeit der Lanthaniden. Auf Grund der bevorzugten Elektronenanordnung im Gd^{3+}- und Lu^{3+}-Ion können die davorstehenden Elemente Europium und Ytterbium auch in den zweiwertigen Zustand übergeführt werden. Das hinter dem Gadolinium stehende Terbium sowie das auf Lanthan folgende Zer können unter bestimmten Bedingungen vierwertig auftreten.

Aktinidenelemente. Die Elektronenkonfiguration der auf das Aktinium folgenden 14 Elemente ist nicht mit Sicherheit bekannt. Zahlreiche Eigenschaften sprechen dafür, sie als die schwereren *Homologen der Lanthanidenelemente* zu betrachten; Curium tritt z. B. wie Gadolinium bevorzugt dreiwertig auf. Sämtliche Elemente sind radioaktiv. Die auf Uran folgenden Elemente, die *Transurane*, sind nur künstlich durch Kernreaktionen herstellbar. Sie sind mit steigender Ordnungszahl zunehmend kurzlebiger.

Die Spalten. Die senkrechten Spalten bilden die eigentlichen Gruppen des Periodensystems. Untereinanderstehende Elemente haben gleiche *Valenzelektronenzahl* und damit gleiche *Wertigkeit*. Sie bilden Verbindungsreihen mit gleichem *Formeltyp*, z. B. CO_2, SiO_2, GeO_2, SnO_2, PbO_2 bzw. TiO_2, ZrO_2, HfO_2, ThO_2. Die im Periodensystem über bzw. unter einem Element stehenden anderen Elemente bezeichnet man als seine leichteren bzw. schwereren *Homologen*. Die *chemischen Eigenschaften* der Elemente einer Gruppe sind grundsätzlich *ähnlich*. Sie ändern sich von Element zu Element *stetig* und *gesetzmäßig*. Manche Eigenschaften treten mit steigendem Atomgewicht zunehmend hervor, andere schwächen sich ab. Die *Atom-* und *Ionenradien* (Ionen gleicher Wertigkeit) nehmen innerhalb einer Gruppe von oben nach unten zu. Das wirkt sich oftmals auf das analytische Verhalten aus, indem die Löslichkeit eines schwerlöslichen Niederschlags zu- oder abnimmt. So nimmt z. B. die *Löslichkeit der Silberhalogenide* vom Silberfluorid zum Silberjodid ab. Die *Basizität der Oxyde und Hydroxyde* nimmt in einer Gruppe von oben nach unten zu. Lithiumhydroxyd ist die schwächste Base der Alkalimetalle, Zäsiumhydroxyd die stärkste Base überhaupt.
Die verschiedene *Beständigkeit bestimmter Wertigkeitsstufen* ist für die Elemente einer Gruppe ebenfalls charakteristisch; z. B. nimmt in der Reihe Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut die Beständigkeit der elektronegativ dreiwertigen und der elektropositiv fünfwertigen Oxydationsstufe ab und die der elektropositiv dreiwertigen Oxydationsstufe zu. Man unterscheidet Haupt- und Nebengruppen.

Hauptgruppen. Entsprechend den Achterperioden gibt es 8 Hauptgruppen: *Alkalimetalle* (I), *Erdalkalimetalle* (II), *Erdmetalle* (III), *Kohlenstoffgruppe* (IV), *Stickstoffgruppe* (V), *Chalkogene* (VI), *Halogene* (VII), *Edelgase* (VIII bzw. 0). Die Gruppennummer ist gleich der Anzahl der vorhandenen Valenzelektronen. Sie gibt die von I bis VII ansteigende höchste elektropositive Wertigkeit der Hauptgruppenelemente an. Die Elemente der IV., V., VI. und VII. Hauptgruppe treten auch elektronegativ auf. Ihre maximale elektronegative Wertigkeit fällt in der angegebenen Reihenfolge von –IV auf –I.
Da sich benachbarte Hauptgruppenelemente durch die *Valenzelektronenzahl* in der äußersten Elektronenschale unterscheiden, sind die Unterschiede im chemischen Verhalten besonders stark ausgeprägt, z. B. zwischen Natrium, Magnesium, Aluminium, Silizium, Schwefel und Chlor. Zwischen dem ersten Element der ersten Hauptgruppen und dem 2. Element der jeweils folgenden besteht eine gewisse Verwandtschaft (1. *Schrägbeziehung im Periodensystem*). Li^+- und Mg^{2+}-Ionen, Be^{2+}- und Al^{3+}-Ionen verhalten sich auf Grund ihrer etwa gleich großen Ionenradien analytisch ähnlich.

Nebengruppen. Zu jeder Hauptgruppe gehört eine Nebengruppe von übereinanderstehenden Übergangselementen. Die *Valenzelektronen* der Nebengruppenelemente verteilen sich zum Unterschied von den entsprechenden Hauptgruppenelementen auf 2 Elektronenschalen. Aluminium hat 3 Elektronen in der äußeren Schale, Skandium dagegen hat 2 Elektronen in der *s*-Zelle der äußeren Schale und 1 in der *d*-Zelle der nächsten nach innen. Chlor weist 7 Elektronen in der äußeren Schale auf, Mangan dagegen 2 in der *s*-Zelle der äußeren Schale und 5 in der *d*-Zelle der nächstinneren Schale. Jedes 2. Hauptgruppenelement leitet zum 1. Nebengruppenelement über, z. B. Silizium zum Titan, Phosphor zum Vanadin, Schwefel zum Chrom, Chlor zum Mangan (2. *Schrägbeziehung im Periodensystem*). Die *Eisenmetalle* Eisen, Kobalt, Nickel, die *leichten Platinmetalle* Ruthenium, Rhodium, Palladium und die *schweren Platinmetalle* Osmium, Iridium, Platin werden zur VIII. Nebengruppe zusammengefaßt. Es folgen die Elemente der I. und II. Nebengruppe. Letztere treten nur zweiwertig auf, da aus der vollbesetzten *d*-Zelle keine Elektronen mehr abgegeben werden (Quecksilber tritt auch einwertig auf). Die Elemente der ersten Nebengruppe treten deshalb auch einwertig auf, weil bei ihnen eins der beiden äußeren Elektronen zur vollständigen Besetzung der *d*-Zelle hineingezogen wird.

Periode	Haupt-											gruppen					
	I	II										III	IV	V	VI	VII	VIII
Wertigkeit gegen Sauerstoff	+1	+2										+3	+4	+5	+6	+7	0
Wertigkeit gegen Wasserstoff	+1	+2										+3	±4	-3	-2	-1	0
1	^{1}H 1,0080																^{2}He 4,003
2	^{3}Li 6,940	^{4}Be 9,013										^{5}B 10,82	^{6}C 12,011	^{7}N 14,008	^{8}O 16,0000	^{9}F 19,00	^{10}Ne 20,183
3	^{11}Na 22,991	^{12}Mg 24,32	Nebengruppen (Übergangselemente) III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	^{13}Al 26,98	^{14}Si 28,09	^{15}P 30,975	^{16}S 32,066	^{17}Cl 35,457	^{18}Ar 39,944
4	^{19}K 39,100	^{20}Ca 40,08	^{21}Sc 44,96	^{22}Ti 47,90	^{23}V 50,95	^{24}Cr 52,01	^{25}Mn 54,94	^{26}Fe 55,85	^{27}Co 58,94	^{28}Ni 58,71	^{29}Cu 63,54	^{30}Zn 65,38	^{31}Ga 69,72	^{32}Ge 72,60	^{33}As 74,91	^{34}Se 78,96	^{35}Br 79,916	^{36}Kr 83,80
5	^{37}Rb 85,48	^{38}Sr 87,63	^{39}Y 88,92	^{40}Zr 91,22	^{41}Nb 92,91	^{42}Mo 95,95	^{43}Tc 99	^{44}Ru 101,1	^{45}Rh 102,91	^{46}Pd 106,4	^{47}Ag 107,880	^{48}Cd 112,41	^{49}In 114,82	^{50}Sn 118,70	^{51}Sb 121,76	^{52}Te 127,61	^{53}J 126,91	^{54}Xe 131,30
6	^{55}Cs 132,91	^{56}Ba 137,36	^{57}La 138,92	^{72}Hf 178,6	^{73}Ta 180,95	^{74}W 183,92	^{75}Re 186,31	^{76}Os 190,2	^{77}Ir 192,2	^{78}Pt 195,23	^{79}Au 197,0	^{80}Hg 200,61	^{81}Tl 204,39	^{82}Pb 207,21	^{83}Bi 209,00	^{84}Po 210	^{85}At 210	^{86}Rn 222
7	^{87}Fr 223	^{88}Ra 226,05	^{89}Ac 227	^{90}Th 232,05	^{91}Pa 237	^{92}U 238,07	^{93}Np 237	^{94}Pu 242	^{95}Am 243	^{96}Cm 247	^{97}Bk 249	^{98}Cf 251	^{99}Es 254	^{100}Fm 253	^{101}Md 256	^{102}No 254	^{103}Lw	

Transurane

Lanthaniden

^{58}Ce 140,13	^{59}Pr 140,92	^{60}Nd 144,27	^{61}Pm 145	^{62}Sm 150,35	^{63}Eu 152,0	^{64}Gd 157,26	^{65}Tb 158,93	^{66}Dy 162,51	^{67}Ho 164,94	^{68}Er 167,27	^{69}Tm 168,94	^{70}Yb 173,04	^{71}Lu 174,99

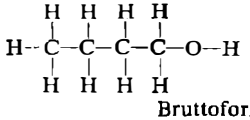
Periodensystem der chemischen Elemente; links oben neben dem Elementsymbol ist die Ordnungszahl angegeben, darunter das relative Atomgewicht

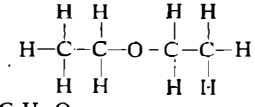
AUFBAU DER MOLEKÜLE

Moleküle oder Molekeln (lat. *molecula*, Verkleinerungsform von *moles*, Masse) sind aus zwei oder mehreren Atomen aufgebaut, die durch chemische Bindungskräfte zusammengehalten werden. Die Moleküle der Elemente bestehen aus chemisch gleichartigen Atomen, die der Verbindungen aus verschiedenen Atomen. Die Zusammensetzung eines Moleküls wird durch die chemische Formel angegeben. Die *Summen-* oder *Bruttoformel* setzt sich aus den Zeichen aller an der Zusammensetzung beteiligten Elemente zusammen. Sind in einem Molekül mehrere Atome desselben Elements vorhanden, so wird das durch eine als Index geschriebene Zahl rechts unten neben dem Elementsymbol berücksichtigt; z. B. bestehen das Wasserstoffmolekül, H_2, aus zwei Wasserstoffatomen, das Sauerstoffmolekül, O_2, aus zwei und das Ozonmolekül, O_3, aus drei Sauerstoffatomen, das Wassermolekül, H_2O, aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom und das Wasserstoffperoxydmolekül, H_2O_2, aus zwei Wasserstoff- und zwei Sauerstoffatomen. Ein Phosphorsäuremolekül, H_3PO_4, ist aus drei Wasserstoff-, einem Phosphor- und vier Sauerstoffatomen zusammengesetzt, Butanol und Diäthyläther, $C_4H_{10}O$, dagegen beide aus vier Kohlenstoff-, 10 Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Die *Bau-* oder *Strukturformel* läßt erkennen, welche Atome innerhalb eines Moleküls unmittelbar miteinander verbunden sind. *Isomere Verbindungen* können nur durch ihre Strukturformel voneinander unterschieden werden; sie haben dieselbe Bruttoformel. Die Bindung der Atome innerhalb des Moleküls erfolgt durch ein oder mehrere gemeinsame *Elektronenpaare*. Jedem Elektronenpaar entspricht in der Strukturformel ein *Bindungs-* oder *Valenzstrich*. Die Anzahl der von einem Atom ausgehenden Bindungsstriche hängt von der Wertigkeit des betreffenden Atoms ab.

H—H
Wasserstoffmolekül

O=O
Sauerstoffmolekül

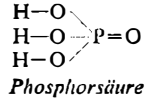




Bruttoformel $C_4H_{10}O$

n-*Butanol*

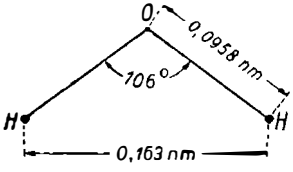
Diäthyläther



Phosphorsäure

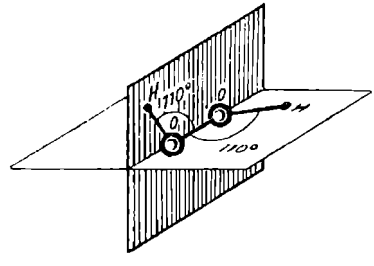
Die durch Strukturformeln vermittelte Vorstellung vom Bau der Moleküle ist jedoch unvollkommen. Zur genauen Kenntnis einer Molekülstruktur gehören sämtliche *Bindungsabstände* zwischen je zwei Atomen sowie die *Bindungswinkel*. Der Bindungswinkel des Wassers beträgt am Sauerstoff 106° (Abb.).

Im Wasserstoffperoxyd bildet jedes der beiden Wasserstoffatome mit der O—O-Achse einen Winkel von 110°, beide sind aber gegeneinander um 90° verdreht (Abb.). In der Phosphorsäure sind die drei



Links: *Wassermolekül*

Rechts: *Wasserstoffperoxydmolekül*



OH-Gruppen und der doppelt gebundene Sauerstoff um das Phosphoratom tetraedrisch angeordnet. Die vom Kohlenstoff ausgehenden vier Valenzen sind in die Ecken eines regulären Tetraeders gerichtet. Man muß sich daher die Strukturformeln, insbesondere die der organischen Verbindungen, stets räumlich vorstellen. Während die Aufstellung einer Strukturformel meist mit Hilfe chemischer Methoden möglich ist, erfolgt die Untersuchung der verfeinerten Molekülstruktur vorwiegend mit physikalischen Hilfsmitteln, z. B. durch *Röntgenstrahlen-* und *Elektronenbeugungsmessungen*, neuerdings auch durch Messung der Beugung von *Neutronenstrahlen*, ferner durch spektroskopische Methoden sowie durch *magnetische Messungen*. Auf Metalle und Legierungen, zahlreiche Nichtmetalle, wie z. B. Bor, Kohlenstoff und Silizium, sowie auf alle *aus Ionen aufgebauten Verbindungen* läßt sich der Molekülbegriff nicht uneingeschränkt anwenden. Die von den Atomen ausgehenden Bindungskräfte werden in diesen Stoffen nicht auf einem begrenzten Raum abgesättigt, so daß sich *riesige, makromolekulare Atom- oder Ionengitter* ausbilden. Das sichtbare Teilchen eines derartigen Stoffes, z. B. ein kleiner Kristall, stellt dann in gewissem Sinne das eigentliche Molekül dar. Die chemische Formel ist bei diesen Stoffen nicht ein Symbol für die Moleküle, sondern gibt nur die stöchiometrische Zusammensetzung an.

MASSE DER MOLEKÜLE

Die Molekülmasse setzt sich aus den Einzelmassen der am Aufbau des Moleküls beteiligten Atome zusammen. Die *Molmasse* wird durch das relative *Molekulargewicht* angegeben; sie ist der Summe der relativen Atomgewichte im Molekül gleich und entspricht der Masse von $6{,}02 \cdot 10^{23}$ Einzelmolekülen. Die dem Molekulargewicht entsprechende Grammenge eines Stoffes heißt 1 *Grammmolekül* oder kurz 1 *Mol*; Wasser, H_2O, hat z. B. das Molekulargewicht 18,016 g/mol (1,008 + 1,008 + 16,000 = 18,016), n-Butanol und Diäthyläther, $C_4H_{10}O$, haben das Molekulargewicht 74,124 g/mol (4 · 12,011 + 10 · 1,008 + 16,000 = 74,124).

Molekulargewichtsbestimmung. Die Bestimmung der relativen Molekulargewichte braucht meist nicht so genau zu erfolgen wie die Bestimmung der relativen Atomgewichte, da es häufig nur darauf ankommt, zu entscheiden, ob die durch eine chemische Analyse ermittelte Bruttoformel einer Verbindung zwei- oder mehrfach zu nehmen ist, z. B. ob einem *Arsenikmolekül* die Formel As_2O_3 oder As_4O_6 zukommt oder ob *Traubenzucker* die Formel CH_2O, $C_2H_4O_2$, $C_3H_6O_3$ oder $C_6H_{12}O_6$ hat. Bei *Elektrolyten* bietet die Molmasse- oder Molekulargewichtsbestimmung die Möglichkeit, die *elektrolytische Dissoziation* in Lösungen zu studieren. Die Methoden der Molekulargewichtsbestimmung sind von der Molekülgröße abhängig. Von *niedermolekularen Stoffen* (Moleküle mit weniger als 1000 Atomen) läßt sich das Molekulargewicht im gasförmigen Zustand auf der Grundlage der *idealen Zustandsgleichung* oder *universellen Gasgleichung* bestimmen: $p \cdot v = n \cdot R \cdot T$. Die Molzahl n ist gleich der Einwaage g in Gramm, dividiert durch das gesuchte Molekulargewicht M. Dann ist $M = \frac{g \cdot R \cdot T}{p \cdot v}$. Bei der Methode nach Victor Meyer mißt man die Dampfdichte $\frac{g}{v}$ bei konstantem Druck p und konstanter Temperatur T und kann das Molekulargewicht auf diese Weise berechnen. Für Stoffe, die sich nicht unzersetzt verdampfen lassen, macht die Messung des *osmotischen Druckes* π eine Molekulargewichtsbestimmung möglich. Die Methode beruht auf der *van't Hoffschen Gleichung*: $\pi \cdot v = n \cdot R \cdot T$. Danach besitzt eine 1molare Lösung $\left(\frac{n}{v} = \frac{1\text{ mol}}{1\,l}\right)$ unter *Normalbedingungen* den osmotischen Druck von 22,4 Atmosphären, das entspricht einer Wassersäule von 224 m Höhe. Das Verfahren ist sehr empfindlich, aber experimentell schwierig, da ideale *semipermeable Membranen* schwer realisierbar sind. Bequemer ist es, die Dampfdruckerniedrigung einer Lösung bzw. die dadurch bedingte Gefrierpunktserniedrigung (*Kryoskopie*) und Siedepunktserhöhung (*Ebullioskopie*) zu messen. Die Gefrierpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung ΔT ist nach dem *Raoultschen Gesetz* der Molzahl n des gelösten Stoffes proportional, $\Delta T = K \cdot n = K \cdot \frac{g}{M}$ bzw. $\Delta T = E \cdot \frac{g}{M}$ (K = kryoskopische Konstante, E = ebullioskopische Konstante). ΔT ist mit einem Beckmann-Thermometer (Unterteilung in 0,01 grd), mit einem *Thermoelement* oder neuerdings mit *Thermistoren* sehr genau meßbar. *Makromolekulare Stoffe* (Moleküle mit mehr als 1000 Atomen) lassen sich nicht unzersetzt verdampfen. Auf Grund des hohen Molekulargewichts ist die *Molarität* ihrer Lösungen gering und nur die Messung des osmotischen Druckes ist für eine Molekulargewichtsbestimmung empfindlich genug; andere Methoden sind z. B. die *Endgruppenbestimmung*, *Viskositätsmessungen* und die Messung der *Sedimentationsgeschwindigkeit* in der Ultrazentrifuge.

CHEMISCHE BINDUNG

Der Zusammenhalt von Atomen innerhalb von Molekülen und Kristallgittern wird durch zwischenatomare Kräfte bewirkt; sie beruhen auf der Wechselwirkung der elektrostatischen und elektromagnetischen Felder die von den Elektronenhüllen, insbesondere von den Valenzelektronen der miteinander verbundenen Atome ausgehen. Für die ersten Elemente im Periodensystem sind die Elektronen der äußeren Schale in der Tabelle durch Punkte angegeben:

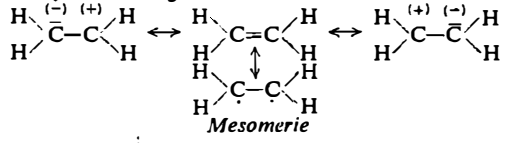
H·								He:	K-Schale
Li·	Be:	B:	·C:	·N:	·Ö:	·F:		:Ne:	L-Schale
Na·	Mg:	Al:	·Si:	·P:	·S:	·Cl:		:Ar:	M-Schale

Man unterscheidet verschiedene Arten der chemischen Bindung, für die die von Kossel und Lewis 1916 begründete *Elektronentheorie der Valenz* oder *Oktett-Theorie* eine anschauliche Erklärung gibt. Die auf der Grundlage des Bohrschen Atommodells aufgestellte Theorie geht von der Stabilität einer mit 8 Elektronen besetzten äußeren Elektronenschale aus, wie sie bei den *Edelgasen* vorkommt (Ne, Ar in der Tabelle), und führt die Reaktionsfähigkeit aller übrigen Atome auf ihr Bestreben zurück, durch Vereinigung mit anderen Atomen ebensolche Edelgaskonfigurationen zu erhalten.

Heteropolare Bindung, polare oder Ionenbindung, Ionenbeziehung, Elektrovalenz. Diese Bindungsart beruht auf der *elektrostatischen Anziehung* entgegengesetzt geladener Ionen. Diese entstehen beim Übergang eines oder mehrerer Elektronen aus der äußeren Elektronenschale des einen Atoms in die des anderen, wodurch beide Bindungspartner vollbesetzte äußere Elektronenschalen erhalten; z. B. hat Natrium, Na, außer den beiden inneren abgeschlossenen Elektronenschalen ein Valenz-

elektron in der M-Schale, Chlor, Cl, dagegen hat 7 Valenzelektronen. Bei der Vereinigung zu Kochsalz, NaCl, wird dem Natrium das Valenzelektron durch das Chlor entrissen, und die entstehenden Ionen erhalten dadurch Edelgaskonfiguration. In *heteropolaren Stoffen*, z. B. den Salzen, wirkt die elektrostatische Anziehung *gleichmäßig nach allen Richtungen*, und jede Ionenart ist bestrebt, sich mit einer möglichst großen Anzahl von Ionen entgegengesetzter Ladung zu umgeben. Diese Anzahl, die *Koordinationszahl*, hängt besonders vom Radienverhältnis der Kationen und Anionen ab. Heteropolare Stoffe sind durch *hohe Schmelzpunkte* gekennzeichnet und haben meist *kristalline Struktur*.

Homöopolare Bindung, unpolare oder Elektronenpaarbindung, Atombindung, Kovalenz. Diese chemische Bindung zwischen zwei Atomen ist gekennzeichnet durch ein oder mehrere gemeinsame *Elektronenpaare*, die durch Vereinigung einzelner (einsamer) Elektronen der beiden Atome entstehen, z. B. bei der Vereinigung von zwei Chloratomen zu einem Chlormolekül $:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{Cl}}}\cdot + \cdot\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{Cl}}}: \rightarrow :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{Cl}}}:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{Cl}}}:$. Nach der Oktett-Theorie von Lewis gehört das Bindungselektronenpaar *beiden Atomen gemeinsam* an, für beide ist dadurch die *Edelgaskonfiguration* verwirklicht. Sie wird im Sauerstoffmolekül, $\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{O}}}::\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{O}}}$, durch zwei, im Stickstoffmolekül, $:\mathrm{N}:::\mathrm{N}:$ durch drei gemeinsame Elektronenpaare für beide Bindungspartner erreicht. In analoger Weise verbinden sich die Atome aller Nichtmetalle untereinander, z. B. Kohlenstoff mit Wasserstoff zu Methan, $\cdot\dot{\underset{\cdot}{\mathrm{C}}}\cdot + 4\,\mathrm{H}\cdot \rightarrow \mathrm{H}:\ddot{\underset{\mathrm{H}}{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{C}}}}:\mathrm{H}$. An Stelle des Bindungselektronenpaares schreibt man meist einen *Valenzstrich* und deutet auch die *unbeanspruchten Elektronenpaare* gegebenenfalls durch Striche an, z. B. $\mathrm{H}-\underline{\ddot{\mathrm{O}}}-\mathrm{H}$, $|\mathrm{N}\equiv\mathrm{N}|$, $|\underline{\ddot{\mathrm{Cl}}}-\underline{\ddot{\mathrm{Cl}}}|$. Die *Achsen des Dralls* oder *Spins* der beiden Bindungselektronen sind entgegengesetzt gerichtet (*antiparallel*).
Die von einem Atom ausgehenden Atombindungen sind im allgemeinen gleichwertig. Das ist nur möglich, wenn man annimmt, daß vorher *gepaarte Valenzelektronen* vor der Verbindungsbildung unter Energieaufwand *entkoppelt* werden; Kohlenstoff z. B. hat ein Elektronenpaar in der *s*-Zelle und zwei ungepaarte Elektronen in der *p*-Zelle; nach der Entkoppelung sind alle Elektronen ungepaart, eins in der *s*-Zelle und drei in der *p*-Zelle. Den Ausgleich der noch vorhandenen Energieunterschiede bezeichnet man als Vermischung oder *Hybridisierung*. Es resultieren vier gleichwertige Elektronenbahnen, die bei der Verbindungsbildung mit den Elektronenbahnen der anderen Atome in Wechselwirkung treten. Die homöopolare Bindung ist zum Unterschied von der heteropolaren Bindung *gerichtet*, z. B. zeigen die vier Atombindungen des Kohlenstoffs in die Ecken eines regulären Tetraeders, der Winkel zwischen zwei Bindungen (*Valenzwinkel*) beträgt 109°. Die *Schmelzpunkte* homöopolarer Stoffe schwanken innerhalb weiter Grenzen, je nachdem, ob die Verbindung in einem Atomgitter von makromolekularem Ausmaß kristallisiert, z. B. Diamant, oder ob sich nur kleinere Moleküle bilden können, z. B. Wasserstoff. Bei allen homöopolaren Verbindungen aus verschiedenartigen Atomen ist die Bindung *polarisiert*, d. h. das Bindungselektronenpaar ist in Richtung auf den Bindungspartner verschoben, der die größere *Elektronegativität* besitzt. Dadurch entstehen *Dipole*, die u. a. für den zwischenmolekularen Zusammenhalt derartiger Stoffe in Molekülgittern verantwortlich sind. Die polarisierte homöopolare Bindung stellt einen *Übergang zur heteropolaren Bindung* dar.
Zur Erklärung der an einer *Doppelbindung*, z. B. der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung, $\rangle\mathrm{C}=\mathrm{C}\langle$, auftretenden Erscheinungen müssen neben dem Elektronenpaar der einfachen Atombindung (Elektronen 1. Art oder *σ-Elektronen*) zwei weitere Elektronen (2. Art oder *π-Elektronen*) angenommen werden. Die *π*-Elektronen haben antiparallelen Spin und sind weniger fest gebunden als die *σ*-Elektronen. Verbindungen mit solchen Doppel- oder Dreifachbindungen sind besonders *reaktionsfähig*, vor allem, wenn sie in einer Molekel mehrfach vorkommen. Dabei kann die Molekel je nach den Reaktionsbedingungen so reagieren, als ob das *π*-Elektronenpaar in Richtung auf das eine oder andere C-Atom verschoben wäre. Diese Erscheinung wird als *Mesomerie* bezeichnet. Der wahre Zustand solcher Molekeln, der sich durch eine eindeutige Strukturformel nicht ausdrücken läßt, liegt zwischen mehreren durch Formeln beschreibbaren *Grenzzuständen*, wobei die wahre Struktur sich je nach den äußeren Bedingungen, z. B. benachbarten Fremdmolekeln oder Einstrahlung von Lichtenergie, mehr oder weniger einer der mesomeren Grenzformeln nähert. Für Äthylen sind folgende *Grenzformeln* möglich:

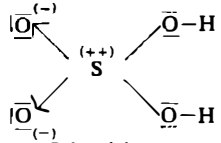


Mesomerie

Eine besondere Form der Mesomerie findet sich bei den sogenannten aromatischen Verbindungen, deren Grundkörper das *Benzol*, $\mathrm{C_6H_6}$, ist.

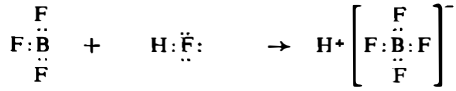
Koordinative Bindung. Die koordinative Bindung ist eine homöopolare Bindung, bei der das gemeinsame *Elektronenpaar* von einem der beiden Bindungspartner stammt; $A: + B \rightarrow \overset{+}{A}:\overset{-}{B}$. Auf

die Atomart *B* entfällt im gebundenen Zustand 1 Elektron mehr als im ungebundenen Zustand, die Elektronenzahl der Atomart *A* wird dementsprechend um 1 Elektron vermindert. Dadurch entsteht *zusätzlich eine Ionenbeziehung*, eine polare Bindung, die der unpolaren, homöopolaren Bindung überlagert ist. Man bezeichnet die koordinative Bindung auch als *halbpolare* oder *semipolare Doppelbindung* und kennzeichnet sie durch einen Pfeil, der auf das elektronenpaaraufnehmende Atom gerichtet ist, z. B. in Schwefelsäure, H_2SO_4.



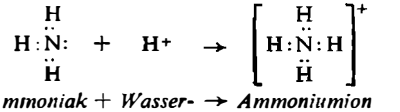
Schwefelsäure

Die semipolare Doppelbindung ist für die Entstehung *komplexer Ionen* von entscheidender Bedeutung. Borfluorid, BF_3, vereinigt sich mit Fluorwasserstoff durch Anlagerung eines Fluoridions in seine Elektronenpaarlücke zu Fluorborwasserstoffsäure, HBF_4:



Borfluorid + Fluorwasserstoff → Fluorborwasserstoffsäure

Man nennt Verbindungen wie Borfluorid elektronensuchend (*elektrophil*), sie haben sauren Charakter. Ammoniak, NH_3, ist wegen seines überschüssigen Elektronenpaares am Stickstoff kernsuchend (*nukleophil*), hat basische Eigenschaften und bildet durch Aufnahme eines Wasserstoffions aus Säuren das Ammoniumion. Bor bzw. Stickstoff sind nun auch *koordinativ gesättigt*.

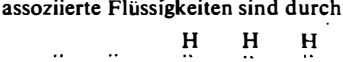


Ammoniak + Wasserstoffion → Ammoniumion

Das physikalische Verständnis für den Zusammenhalt zweier Atome durch ein gemeinsames Elektronenpaar erbrachte die Quantentheorie der Elektronenpaarbindung. In ihr werden die Welleneigenschaften der Elektronen berücksichtigt. Durch Überlagerung der Wellen mehrerer Elektronen in der Atomhülle erscheint das Atom als sehr kompliziertes, räumlich schwingendes System mit Knotenpunkten, -linien und -flächen stehender Wellen. Die Bindung zwischen zwei Atomen hat man sich durch Resonanz zwischen bestimmten stehenden Wellen beider Atome zu erklären. Die Bindungselektronen erscheinen als Bahnen, die dem Molekül als Ganzem zugeordnet werden müssen (*Molekülbahntheorie*).

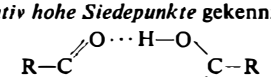
Metallische Bindung. Metalle sind aus positiven Metallionen und abgespaltenen Valenzelektronen aufgebaut, die wie ein Elektronengas den Zwischenraum zwischen den meist hochsymmetrisch angeordneten Ionen ausfüllen und ihren Zusammenhalt bewirken. Das Elektronengas erklärt die *Leitfähigkeit*, die leichte *Elektronenabgabe* beim Glühen oder Belichten und andere Eigenschaften der Metalle. Der Zusammenhalt positiver Ionen durch ein Elektronengas kann nur verstanden werden, wenn man die Wellennatur der Elektronen berücksichtigt.

Molekülbindung, van der Waalssche Bindung, Restvalenzbindung. Zwischen den Molekülen und sogar zwischen den Edelgasatomen bestehen schwache Anziehungskräfte geringer Reichweite, die den Zusammenhalt im flüssigen und festen Zustand bedingen. Sie werden besonders wirksam bei Molekülen mit polarisierten Bindungen oder mit gewinkelter Struktur, weil diese häufig ein Dipolmoment besitzen. Eine besondere Art der zwischenmolekularen Wechselwirkung ist die *Wasserstoffbrückenbindung*, die besonders bei Verbindungen auftritt, die Wasserstoff an Sauerstoff oder Stickstoff gebunden enthalten. Die Moleküle derartiger Verbindungen, z. B. Wasser, H_2O, Fluorwasserstoff, HF, Ammoniak, NH_3, aber auch Alkohole, R—OH, und Karbonsäuren, R—COOH (R bedeutet einen Kohlenwasserstoffrest), neigen stark zur *Assoziation*, indem ein Wasserstoffatom zum Sauerstoff-, Fluor- bzw. Stickstoffatom des benachbarten Moleküls eine lockere Bindung herstellt. Stark assoziierte Flüssigkeiten sind durch *relativ hohe Siedepunkte* gekennzeichnet.



Assoziation im Fluorwasserstoff

im Wasser



2 ringförmig assoziierte Karbonsäuremoleküle

IV. Chemische Reaktionen

Chemische Reaktionen bestehen in einer Umwandlung von Stoffen unter Bildung andersartiger neuer Stoffe, der Reaktionsprodukte, wobei gleichzeitig eine bestimmte Energiemenge abgegeben oder aufgenommen wird. *Exotherme Reaktionen* laufen unter Abgabe von Energie ab, z. B. unter Entwicklung von Wärme, Licht oder Elektrizität; wichtige exotherme Reaktionen sind z. B. die Verbrennungsprozesse. *Endotherme Reaktionen* bedürfen der Energiezufuhr, z. B. findet der Aufbau der Kohlenhydrate aus Kohlendioxyd und Wasser in den grünen Pflanzen nur unter Einwirkung von Sonnenenergie statt (*Assimilation*). Jede chemische Reaktion läßt sich so leiten, daß die umgesetzte Energie in Form von Wärme auftritt. Man gibt die *Reaktionswärme* Q meist in Kilokalorien (kcal) an und bezieht sie auf einen der Reaktionsgleichung entsprechenden Formel- oder Molumsatz. Bei *exothermen Reaktionen* spricht man von *positiver Wärmetönung*, schreibt aber $-Q$, entsprechend einer Wärmeabgabe, bei *endothermen Reaktionen* von *negativer Wärmetönung*, schreibt aber $+Q$, entsprechend einer Wärmeaufnahme. Diese in der physikalischen Chemie gebräuchliche Definition hat sich noch nicht allgemein durchgesetzt; es werden häufig noch die umgekehrten Vorzeichen verwendet.

Allgemeine Form einer Reaktionsgleichung

$$\underset{\text{Ausgangsstoffe}}{A + B} \quad \rightleftarrows \quad \underset{\text{Reaktionsprodukte}}{C + D} \qquad \underset{\text{Wärmetönung}}{\pm Q}$$

Die Reaktionswärme Q kann entweder bei konstantem Druck oder bei konstantem Volumen gemessen werden. Chemische Reaktionen sind häufig mit einer Volumenänderung verbunden, besonders wenn gasförmige Stoffe an ihnen beteiligt sind. Jeder Volumenänderung entspricht ein Energiebetrag, der gleich dem Produkt aus dem Druck p und der Volumenänderung ΔV ist, $p \cdot \Delta V =$ Volumenarbeit. Bei einer unter Volumenzunahme ablaufenden Reaktion wird daher die bei konstantem Druck gemessene Reaktionswärme Q_p um den Betrag $p \cdot \Delta V$ kleiner sein als die bei konstantem Volumen gemessene Reaktionswärme Q_V, die auftritt, wenn man das System an der Ausdehnung hindert. $Q_p - Q_V = p \cdot \Delta V$. Man bezeichnet die bei konstantem Druck gemessene Reaktionswärme auch als *Enthalpie*.

GRUNDGESETZE CHEMISCHER REAKTIONEN

Gesetz von der Erhaltung der Masse (M. W. Lomonossow, 1748, A. L. Lavoisier, 1785). Die gesamte Masse der an einer chemischen Reaktion beteiligten Stoffe bleibt unverändert (1. *chemisches Grundgesetz*). Die Masse der Ausgangsstoffe ist gleich der Masse der Reaktionsprodukte. Zum Unterschied vom Gleichheitszeichen (=) in einer mathematischen Gleichung gibt der für chemische Reaktionen verwendete Doppelpfeil ($\rightleftarrows$ oder $\rightleftharpoons$) die Umkehrbarkeit der Reaktion an, gibt an, daß zwischen Hin- und Rückreaktion ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, das *chemische Gleichgewicht*. Bei allen chemischen Reaktionen ist weder ein Gewinn noch ein Verlust an Masse feststellbar. Genaugenommen gilt das jedoch nur unter Einbeziehung der Wärmetönung, denn jedem Energiebetrag E entspricht nach der *Einsteinschen Gleichung* $E = m \cdot c^2$ eine bestimmte Masse m (c = Lichtgeschwindigkeit). Bei einer Wärmetönung von -100 kcal tritt ein Gewichtsverlust von $5 \cdot 10^{-9}$ g ein. Diese äußerst kleine Masse läßt sich jedoch auch mit den empfindlichsten Waagen nicht mehr feststellen.

Stöchiometrische Gesetze. Es bestehen empirisch aufgefundene Gesetzmäßigkeiten über die *Mengenverhältnisse*, in denen die Stoffe miteinander reagieren. Die bei der Vereinigung verschiedener Elemente auftretenden Gewichtsverhältnisse veranlaßten J. Dalton 1807 zur Aufstellung der ersten wissenschaftlich begründeten *Atomhypothese*. Nach dieser Hypothese besteht jedes Element aus kleinsten, chemisch nicht weiter zerlegbaren Teilchen, den *Atomen*, die untereinander die gleiche Masse (gleiches Gewicht) haben.

Gesetz der konstanten Gewichtsverhältnisse (J. L. Proust, 1799). Die Gewichtsmengen und damit auch die Massen zweier sich zu einer chemischen Verbindung vereinigenden Elemente stehen zueinander in einem bestimmten (konstanten) Verhältnis (2. *chemisches Grundgesetz*).
Die Verbindungen Wasser, Chlorwasserstoff und Ammoniak z. B. enthalten die jeweiligen Elemente stets in folgendem Gewichtsverhältnis:

Verbindung	Elemente	Gewichtsverhältnis a	b	c	Formel
Wasser	Sauerstoff : Wasserstoff	7,936 : 1 =	8,000 : 1,008 =	16,000 : 2 · 1,008 = O : 2 H	H_2O
Chlorwasserstoff	Chlor : Wasserstoff	35,175 : 1 =	35,456 : 1,008 =	35,456 : 1,008 = Cl : H	HCl
Ammoniak	Stickstoff : Wasserstoff	4,632 : 1 =	4,669 : 1,008 =	14,008 : 3 · 1,008 = N : 3 H	NH_3

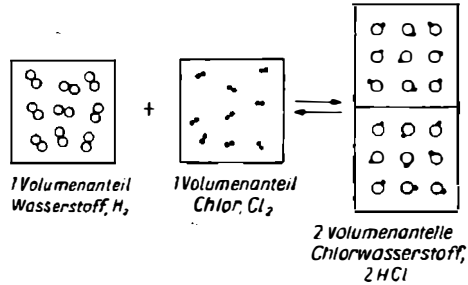
Jedem Zahlenverhältnis entspricht ein Bruch, der beliebig erweitert oder gekürzt werden darf, ohne daß sich sein Wert ändert; durch Multiplikation mit dem Faktor 1,008 lassen sich z. B. die experimentell gefundenen Gewichtsverhältnisse (a) so erweitern, daß sie durch die Einheit des *relativen chemischen Atomgewichts* ausgedrückt werden können (b). Im Chlorwasserstoff sind 35,456mal soviel Gramm Chlor und 1,008mal soviel Gramm Wasserstoff enthalten wie $^1/_{16}$ der Masse des natürlichen Sauerstoffisotopengemisches angibt. Wasser enthält auf 1,008 Gramm Wasserstoff 8,000 Atomgewichtseinheiten Sauerstoff. Man bezeichnet die Menge eines Elements, die von 1 *Grammatom* eines anderen einwertigen Elements, z. B. von 1,008 g Wasserstoff, gebunden wird, als sein *Äquivalentgewicht* oder *Grammäquivalent*, abgekürzt *Val* (von *aequivalens*, gleichwertig). Das Äquivalentgewicht ist eine experimentelle Größe. Die kleinstmögliche Menge eines Elements, die in 1 *Grammolekül* (1 *Mol*) einer Verbindung eintreten kann, wird durch das Atomgewicht angegeben; es ist z. B. beim Sauerstoff doppelt und beim Stickstoff dreimal so groß wie das Äquivalentgewicht. Unter Berücksichtigung der relativen Atomgewichte ergeben sich aus den Gewichtsverhältnissen (c) die chemischen Formeln der Verbindungen. An die Stelle der Atomgewichte treten die Elementsymbole. In den chemischen Formeln kommt das Gesetz der konstanten Gewichtsverhältnisse anschaulich zum Ausdruck.

Daltonide und Berthollide. Man bezeichnet alle Verbindungen mit genau stöchiometrischer Zusammensetzung, für die also das Gesetz der konstanten Proportionen exakt erfüllt ist, als *Daltonide*. J. Dalton vertrat die Ansicht, daß alle Verbindungen eine genau definierte Zusammensetzung haben müßten. C. L. Berthollet dagegen untersuchte zahlreiche Verbindungen, deren Zusammensetzung innerhalb bestimmter Grenzen schwanken kann. Man nennt diese Verbindungen auch *Berthollide*, z. B. Wolframbronzen, zahlreiche Oxyde und Sulfide der Übergangsmetalle sowie die intermetallischen Verbindungen.

Gesetz der mehrfachen (multiplen) Gewichtsverhältnisse (Dalton, 1808). Können sich zwei Elemente in mehreren Gewichts- bzw. Massenverhältnissen miteinander verbinden, so stehen die Massen des einen Stoffes, die sich mit einer bestimmten Masse des anderen Stoffes verbinden, zueinander im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen (3. *chemisches Grundgesetz*); Wasserstoff und Sauerstoff können sich z. B. zu Wasser und Wasserstoffperoxyd vereinigen, Kohlenstoff bildet mit Sauerstoff Kohlenmonoxyd und Kohlendioxyd und Stickstoff läßt sich mit Sauerstoff sogar zu 5 verschiedenen Oxyden verknüpfen.

Sowohl in den beiden Wasserstoffoxyden als auch in den Kohlenstoffoxyden steht der Sauerstoffgehalt im Verhältnis 1 zu 2. Das Gesetz beruht auf der Eigenschaft zahlreicher Elemente, in *verschiedenen Wertigkeitsstufen* aufzutreten. Die Äquivalentgewichte der Elemente sind je nach der Wertigkeitsstufe, die sie bei der Verbindungsbildung betätigen, verschieden, stehen jedoch im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen zueinander.

Gesetz der äquivalenten Gewichtsverhältnisse (J. B. Richter, 1791). Die Elemente vereinigen sich stets im Verhältnis bestimmter Verbindungsgewichte (Äquivalentgewichte) oder ganzzahliger Vielfacher dieser Gewichte zu chemischen Verbindungen.



Chemisches Volumengesetz

Chemisches Volumengesetz (Gay-Lussac und A. v. Humboldt, 1808). Die Volumina der an einer Reaktion beteiligten gasförmigen Stoffe stehen im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen zueinander. Das Gesetz wird durch das *Avogadrosche Gesetz* (A. Avogadro, 1811) verständlich, wonach gleiche Volumina aller Gase gleich viele Moleküle enthalten. Die verschiedenen Moleküle reagieren miteinander unter Bildung neuer, anders zusammengesetzter Moleküle. Ist das Reaktionsprodukt gasförmig, dann steht sein Volumen ebenfalls in einem ganzzahligen Verhältnis zum Volumen der Ausgangsstoffe.

Bestünden Wasserstoff und Chlor anstatt aus zweiatomigen aus einatomigen Molekülen, dann würde bei der Vereinigung gleicher Volumina Wasserstoff und Chlor nur ein Volumen Chlorwasserstoff gebildet werden. Das bei der Vereinigung von Wasserstoff mit Chlor auftretende Volumenverhältnis ist also ein Beweis für den molekularen Aufbau dieser beiden elementaren Gase.

Stöchiometrisches Rechnen. Die Grundlagen des chemischen Rechnens sind die relativen Atomgewichte, die chemischen Formeln und Gleichungen, verschiedene Gesetze und die Meßergebnisse bei chemischen Reaktionen. Stöchiometrische Berechnungen sind besonders häufig in der quantitativen chemischen Analyse.

Das Rechnen mit Atomen und Molekülen. Die *chemischen Zeichen* der Elemente symbolisieren nicht nur bestimmte chemische Eigenschaften, die für das jeweilige Element charakteristisch sind, sondern drücken auch eine *bestimmte Menge des Elements* aus, und zwar so viel, wie das relative Atomgewicht

angibt. Man bezeichnet diese Menge als 1 Grammatom des betreffenden Elements. Sie ist gleich der Masse von $6{,}023 \cdot 10^{23}$ Atomen (*Loschmidtsche Zahl*); H bedeutet z. B. 1 Grammatom oder 1,008 g Wasserstoff; 2 H dagegen 2 Grammatome oder 2,016 g Wasserstoff; Cl schließlich 1 Grammatom oder 35,456 g Chlor.

Verbindung	Elemente	Gewichtsverhältnis a	b	c	Formel
Wasser	Sauerstoff : Wasserstoff	17,936 : 1 =	8,000 : 1,008 =	16,000 : 2 · 1,008 = O : 2H	H_2O
Wasserstoffperoxyd	Sauerstoff : Wasserstoff	1,872 : 1 =	16,000 : 1,008 =	2 · 16,000 : 2 · 1,008 = 2O : 2H	H_2O_2
Kohlenmonoxyd	Kohlenstoff : Sauerstoff	5,332 : 1 =	8,000 : 6,006 =	16,000 : 12,011 = O : C	CO
Kohlendioxyd	Kohlenstoff : Sauerstoff	2,664 : 1 =	16,000 : 6,006 =	2 · 16,000 : 12,011 = 2O : C	CO_2

Die *chemischen Formeln* sind die Zeichen der chemischen Verbindungen; sie bestehen aus den Symbolen aller an der Zusammensetzung der Verbindung beteiligten Elemente. Bindet ein Grammatom eines Elements mehrere Grammatome eines anderen Elements, dann wird das durch eine als Index geschriebene Zahl rechts unten neben dem Elementsymbol berücksichtigt; im Kalziumchlorid, $CaCl_2$, binden z. B. 2 Grammatome Cl^--Ionen je 1 Grammatom Ca^{2+}-Ionen; im Aluminiumsulfat, $Al_2(SO_4)_3$, 3 Grammatome SO_4^{2-}-Ionen je 2 Grammatome Al^{3+}-Ionen, wobei innerhalb der SO_4^{2-}-Ionen auf 1 Grammatom Schwefel 4 Grammatome Sauerstoff entfallen. Durch die *chemische Formel* wird die Menge einer Verbindung angegeben, die dem Formelgewicht gleich ist, d. h. gleich der Summe der in der Formel auftretenden Atomgewichte. Man bezeichnet diese Menge als 1 Grammolekül oder 1 Mol der betreffenden Verbindung. 1 Mol Kohlendioxyd, CO_2, sind 44,011 g (12,011 + 2 · 16); 1 Mol Aluminiumsulfat, $Al_2(SO_4)_3$, sind [2 · 26,98 + 3(32,06 + 4 · 16)] g = 342,14 g. Für Stoffe, die aus Molekülen aufgebaut sind, gibt die chemische Formel gleichzeitig die Zusammensetzung des Moleküls an. Man ersieht aus der Formel direkt die Anzahl der miteinander zu einem Molekül verknüpften Atome, z. B. Sauerstoff, O_2, Wasser, H_2O, Kohlendioxyd, CO_2, Ammoniak, NH_3. Bei diesen Verbindungen stimmt das Formelgewicht mit dem Molekulargewicht überein; es ist der Masse von $6{,}023 \cdot 10^{23}$ Molekülen gleich. Bei *Ionenverbindungen*, z. B. $CaCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, ist der Molekülbegriff gegenstandslos, denn der ganze Kristall ist ein riesiges Makromolekül; beim Kalziumchlorid z. B. ist jedes Ca^{2+}-Ion von 6 Cl^--Ionen und jedes Cl^--Ion von 3 Ca^{2+}-Ionen umgeben (Rutilstruktur). Trotzdem spricht man auch bei diesen Verbindungen von Grammolekülen bzw. Molen und meint damit das Formelgewicht. Über das Molekulargewicht wird bei diesen Verbindungen mit der chemischen Formel nichts ausgesagt.

Das Rechnen mit chemischen Gleichungen. Jede chemische Reaktion läßt sich durch eine Reaktionsgleichung beschreiben, in der die chemischen Formeln der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte sowie die auftretende Wärmetönung angegeben werden. Bei der Verbrennung von Kohlenstoff vereinigen sich die Kohlenstoffatome mit denen des Luftsauerstoffs unter Bildung von gasförmigem Kohlendioxyd.

$$(1) \qquad C + O_2 \rightleftarrows CO_2 \qquad -94{,}0 \text{ kcal}$$
$$12{,}011 \text{ g} + 32{,}00 \text{ g} = 44{,}011 \text{ g}$$

Bei beschränktem Luftzutritt bildet sich Kohlenmonoxyd.

$$(2) \qquad C + {}^1/_2\, O_2 \rightleftarrows CO \qquad -26{,}4 \text{ kcal}$$
$$12{,}011 \text{ g} + 16{,}00 \text{ g} = 28{,}011 \text{ g}$$

Kohlenmonoxyd kann zu Kohlendioxyd weiter verbrannt werden.

$$(3) \qquad CO + {}^1/_2\, O_2 \rightleftarrows CO_2 \qquad -67{,}6 \text{ kcal}$$
$$28{,}011 \text{ g} + 16{,}00 \text{ g} = 44{,}011 \text{ g}$$

Gleichung (1) ergibt sich durch Addition der beiden Teilvorgänge (2) und (3). Da fossile Kohle in der Hauptsache aus Kohlenstoff besteht, sind diese Reaktionsgleichungen von großer praktischer Bedeutung.

Die meisten Berechnungen lassen sich mit Hilfe der Dreisatzrechnung durchführen. 12,011 g Kohlenstoff verbrauchen zur vollständigen Verbrennung 32,00 g Sauerstoff, das sind unter *Normalbedingungen* (0 °C und 1 at Druck) 22,415 Liter. 1 kg reiner Kohlenstoff braucht zur vollständigen Verbrennung $\frac{32 \cdot 1{,}000}{12{,}01}$ kg = 2,6 kg Sauerstoff. Da 0,032 kg Sauerstoff bei 0 °C und 1 at Druck ein Volumen von 22,415 Liter einnehmen (Molvolumen), errechnet sich für 2,6 kg ein Volumen von

$\frac{2{,}6 \cdot 22{,}415}{0{,}032}\ l = 1{,}82\ m^3$ Sauerstoff. Der Sauerstoffgehalt der Luft ist 20,93 Vol.-%. Zur vollständigen Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff werden also $\frac{1{,}82}{20{,}93} \cdot 100\ m^3 = 8{,}6\ m^3$ Luft gebraucht. 12,011 g Kohlenstoff liefern bei der Verbrennung eine Wärmemenge von 94 kcal. Die bei der Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff frei werdende Wärmemenge beträgt dann $\frac{1000}{12{,}011} \cdot 94\ kcal = 7820\ kcal$. Unter dem *Heizwert* eines Brennstoffes versteht man die Wärmemenge, die bei der Verbrennung von 1 kg frei wird.

Die Reduktion von Eisenoxyd, z. B. von Roteisenstein, Fe_2O_3, im Hochofen verläuft hauptsächlich nach folgender Gleichung:

$$Fe_2O_3 + 3\,CO \rightleftarrows 2\,Fe + 3\,CO_2 \quad -8\ kcal$$
$$159{,}70\ g + 3 \cdot 28{,}011\ g = 2 \cdot 55{,}85\ g + 3 \cdot 44{,}011\ g$$

Aus 159,7 g Eisenoxyd entstehen 111,7 g Eisen. 1 Tonne Eisenoxyd ergibt dann $\frac{111{,}7}{159{,}7}\ t = 0{,}7\ t$ Eisen. Zum Erzeugen von $3 \cdot 28{,}011\ g = 84{,}033\ g$ Kohlenmonoxyd sind $3 \cdot 12{,}011\ g = 36{,}033\ g$ Kohlenstoff erforderlich. Die zur Reduktion von 1 t Eisenoxyd erforderliche Kohlenstoffmenge (meistens in Form von Koks zugesetzt) beträgt daher $\frac{36{,}033}{159{,}7}\ t = 226\ kg$. In Wirklichkeit liegt der Kohleverbrauch bedeutend höher, da ein großer Teil der eingesetzten Kohle verbrannt wird, um die hohen Temperaturen im Hochofen (bis zu 1600 °C) zu erreichen.

DAS CHEMISCHE GLEICHGEWICHT

Es gibt keine chemische Reaktion, bei der sich die Ausgangsstoffe vollständig in die Reaktionsprodukte umwandeln. Jede Reaktion verläuft nur bis zu einem Gleichgewichtszustand, in dem alle beteiligten Stoffe noch in endlichen Mengen vorhanden sind. In *heterogenen Systemen* kann zwar eine Phase bei der Reaktion völlig verschwinden, z. B. festes Jod bei der Reaktion mit Wasserstoff zu Jodwasserstoff, $H_2 + J_2 \rightleftarrows 2\,HJ \quad -2{,}5$ kcal; in der Gasphase bleiben jedoch nachweisbare Mengen zurück. In *homogenen Systemen*, z. B. in Gas- oder Flüssigkeitsmischungen oder Lösungen, ist jede chemische Reaktion unvollständig. Das liegt daran, daß die Reaktionsprodukte unter Rückbildung der Ausgangsverbindungen reagieren (Rückreaktion zum Unterschied von der Hinreaktion). Im chemischen Gleichgewicht ist die Geschwindigkeit der Hinreaktion gleich der Geschwindigkeit der Rückreaktion. Das chemische Gleichgewicht ist ein *dynamisches Gleichgewicht*. Die Moleküle reagieren auch dann noch untereinander weiter, wenn die Reaktion nach außen hin scheinbar zum Stillstand gekommen ist.

Massenwirkungsgesetz (C. M. Guldberg und P. Waage, 1867). Im Gleichgewichtszustand ist der Quotient aus dem Produkt der Konzentrationen der Reaktionsprodukte und dem Produkt der Konzentrationen der Ausgangsstoffe einer Konstanten K gleich, deren Zahlenwert nur vom Druck und von der Temperatur abhängt. Auf die allgemeine Gleichung $A + B \rightleftarrows C + D \mp Q$ angewendet, lautet das Massenwirkungsgesetz, wenn die Konzentrationen durch eckige Klammern angegeben werden:

$$\frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]} = K$$

Der Wert der Gleichgewichtskonstanten K ist von der Konzentration der Reaktionspartner unabhängig. Je größer die eingesetzte Menge der Ausgangsstoffe ist, um so größer ist auch die Menge der Reaktionsprodukte. Die Konzentrationen stellen sich stets so ein, daß sich derselbe Wert der Gleichgewichtskonstanten ergibt. Man schreibt nach Übereinkunft die Konzentrationen der Reaktionsprodukte stets in den Zähler der Massenwirkungsgleichung; dann bedeuten große Werte von K, daß im Gleichgewicht die Endprodukte der Reaktion stark überwiegen, kleine Werte von K, daß nur ein geringer Stoffumsatz stattgefunden hat. Der Wert von K ist also ein Maß für die Gleichgewichtslage des reagierenden Systems und damit für die Ausbeute der erwünschten Reaktionsprodukte. Vereinigen sich die Reaktionspartner in verschiedenen Molzahlen miteinander, dann erscheinen diese *Molzahlen* in der Massenwirkungsgleichung als *Exponent der Konzentrationen* der betreffenden Stoffe. Stickstoff vereinigt sich mit 3 Mol Wasserstoff unter Bildung von 2 Mol Ammoniak, $N_2 + 3\,H_2 \rightleftarrows 2\,NH_3 \quad -22{,}1$ kcal (*Ammoniaksynthese*) oder $N_2 + H_2 + H_2 + H_2 \rightleftarrows NH_3 + NH_3 \quad -22{,}1$ kcal. Die Massenwirkungsgleichung lautet dann

$$\frac{[NH_3] \cdot [NH_3]}{[N_2] \cdot [H_2] \cdot [H_2] \cdot [H_2]} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3} = K$$

Der Wert von K ist im allgemeinen je nach dem Konzentrationsmaß, das man zum Beschreiben der Zusammensetzung des Systems verwendet, verschieden. Nach der thermodynamischen Ableitung gilt das Massenwirkungsgesetz genaugenommen nur, wenn man die Konzentrationen der Reaktionspartner in *Molenbrüchen* γ angibt. Bei kleinen Konzentrationen sind die Molenbrüche

jedoch dem in der Chemie am häufigsten gebrauchten Konzentrationsmaß, der *Molarität c* (Anzahl Mole in einem Liter), annähernd proportional, $\gamma = k_1 \cdot c$. Bei Gasreaktionen verwendet man an Stelle der Konzentrationen auch häufig die *Partialdrücke p*. Zwischen ihnen und der Konzentration c in Mol je Liter ergibt sich aus der Zustandsgleichung der idealen Gase der Zusammenhang $c = \frac{n}{v}\left(\frac{\text{Molanzahl}}{\text{Liter}}\right) = \frac{1}{RT} \cdot p = k_2 \cdot p$.

Für Reaktionen, die ohne Änderung der Gesamtmolzahl ablaufen, heben sich die Umrechnungsfaktoren k_1 bzw. k_2 aus der Massenwirkungsgleichung heraus, K ist dann K_c bzw. K_p gleich. Ein Beispiel hierfür ist das Jodwasserstoffgleichgewicht, in dem die Molzahl der Ausgangsstoffe gleich der Molzahl der Reaktionsprodukte ist, $H_2 + J_2 \rightleftarrows 2\,HJ$.

$$\frac{\gamma_{H_2} \cdot \gamma_{J_2}}{\gamma_{HJ}^2} = K = \frac{k_1 \cdot c_{H_2} \cdot k_1 \cdot c_{J_2}}{k_1^2 \cdot c_{HJ}^2} = K_c = \frac{k_2 \cdot p_{H_2} \cdot k_2 \cdot p_{J_2}}{k_2^2 \cdot p_{HJ}^2} = K_p.$$

Bei Reaktionen mit Änderung der Molzahl, z. B. beim Ammoniaksynthesegleichgewicht, kürzt sich der Umrechnungsfaktor nicht heraus und geht in den Wert der Gleichgewichtskonstante ein. Das Massenwirkungsgesetz ist exakt nur erfüllt, wenn man bestimmte Korrekturgrößen berücksichtigt, die *Aktivitätskoeffizienten*, die der gegenseitigen Behinderung der Moleküle Rechnung tragen. Sowohl die Geschwindigkeit der Hinreaktion als auch die der Rückreaktion hängt von der Anzahl der Zusammenstöße der miteinander reagierenden Teilchen in der Zeiteinheit ab. Diese Anzahl ist um so größer, je freier und ungehinderter die Teilchenbewegung ist, am größten bei *idealen Gasen*, deren Teilchen nur im Augenblick des Zusammenstoßes in Energieaustausch treten und die sonst keinerlei Kraftwirkungen aufeinander ausüben. In Wirklichkeit bestehen stets schwache *Wechselwirkungskräfte* zwischen den Teilchen, z. B. van der Waalssche Anziehungs- oder Abstoßungskräfte, zwischen Molekülen mit einem Dipolmoment zusätzlich *Dipolkräfte* und zwischen Ionen entgegengesetzter Ladung besonders starke *Coulombsche Kräfte*. Die Anzahl der auf eine Gefäßwand in der Zeiteinheit auftreffenden Teilchen ist kleiner als im Grenzfall einer völlig ungehinderten Bewegung. Damit ist auch der Gasdruck p (der Impuls, der in der Zeiteinheit auf die Flächeneinheit übertragen wird) kleiner als bei idealen Gasen. Auch die wirksame Konzentration eines Stoffes in Lösungen oder Mischungen ist auf Grund der Wechselwirkungskräfte zwischen den Teilchen kleiner als die tatsächliche Konzentration. Man bezeichnet die wirksame Konzentration als *Aktivität a*. Sie ist gleich dem Produkt aus tatsächlicher Konzentration c und dem Aktivitätskoeffizienten f, der im allgemeinen kleiner als 1 ist, $a = f \cdot c$. Bei Gasen bezeichnet man das Produkt aus dem Partialdruck p und dem Aktivitätskoeffizienten f auch als *Fugazität*. Unter Einbeziehung der Aktivitätskoeffizienten lautet die quantitativ gültige Form des Massenwirkungsgesetzes

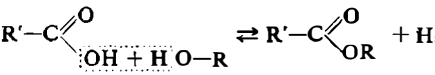
$$K_a = \frac{a_C \cdot a_D}{a_A \cdot a_B} = \frac{c_C \cdot f_C \cdot c_D \cdot f_D}{c_A \cdot f_A \cdot c_B \cdot f_B} = \frac{c_C \cdot c_D}{c_A \cdot c_B} \cdot \frac{f_C \cdot f_D}{f_A \cdot f_B} = K_c \cdot K_f.$$

Es ist also genaugenommen nicht der Quotient aus den Produkten der Konzentrationen, sondern der aus dem Produkt der Aktivitäten der Reaktionsprodukte und dem Produkt der Aktivitäten der Ausgangsstoffe konstant. Bei *idealen Gasen* und *ideal verdünnten*, d. h. sehr stark verdünnten *Lösungen* sind die Wechselwirkungskräfte vernachlässigbar klein und die Aktivitätskoeffizienten praktisch 1. Aktivität und Konzentration stimmen dann überein, $K_f = 1$, $K_a = K_c$. Bei *höheren Konzentrationen* (höheren Drücken) treten in zunehmendem Maße Abweichungen auf. Der *Aktivitätskoeffizient* jedes Reaktionspartners hängt in komplizierter Weise von der Konzentration sämtlicher anderen Stoffe ab, die an der chemischen Reaktion beteiligt sind. Die Größe K_f hat bei jeder Gleichgewichtszusammensetzung einen anderen Wert. Dementsprechend ist auch der Quotient aus den Produkten der Konzentrationen, die Größe K_c, nicht konzentrationsunabhängig. Das Produkt aus K_f und K_c ergibt stets den Wert der thermodynamischen Gleichgewichtskonstante K_a. Man bestimmt die Aktivitätskoeffizienten meist empirisch. Für ideal verdünnte Elektrolytlösungen ist auch eine theoretische Berechnung möglich (*Debye-Hückelsche Theorie*).

Prinzip des kleinsten Zwanges (Le Chatelier, 1884; Braun, 1888). Übt man auf ein im Gleichgewicht befindliches System durch Änderung der äußeren Bedingungen einen *Zwang* aus, so verschiebt sich das Gleichgewicht derart, daß es dem äußeren Zwang *ausweicht*. *Eis* von 0° schmilzt unter Druck, da sein Volumen um etwa $^1/_{11}$ größer ist als das des flüssigen Wassers. Es weicht dem von außen ausgeübten Zwang aus, indem es in einen Zustand größerer Dichte übergeht. Der Schmelzpunkt von Stoffen, die sich beim Schmelzen ausdehnen, liegt unter Druck bei höherer Temperatur. Die Überwindung des äußeren Zwanges macht einen zusätzlichen Arbeitsaufwand und damit die Zufuhr einer größeren Wärmemenge erforderlich. Aus demselben Grund sieden Flüssigkeiten unter erhöhtem Druck stets höher als unter normalen Druckverhältnissen oder unter vermindertem Druck. Auch bei chemischen Reaktionen läßt sich die Gleichgewichtslage beeinflussen, z. B. durch Änderung der Konzentration eines Reaktionspartners oder durch Veränderung der äußeren Bedingungen, wie Druck und Temperatur.

Gleichgewichtsverschiebung durch Konzentrationsänderung. Jede chemische Reaktion läuft um so vollständiger ab, je weitgehender man die Reaktionsprodukte aus dem Gleichgewicht entfernt. Soll eine bestimmte Menge eines Ausgangsstoffes möglichst quantitativ reagieren, so wird

man sie mit einem großen *Überschuß* des anderen Stoffes umsetzen. Der Wert der Gleichgewichtskonstanten bleibt in jedem Fall unverändert. Bei der möglichst quantitativen Veresterung eines wertvollen Alkohols, R—OH, wird man die jeweilige Karbonsäure, R'—COOH, im Überschuß anwenden. Das Reaktionsgleichgewicht wird dadurch zugunsten der Esterbildung, R'—C(=O)—OR, in Richtung des oberen Pfeils verschoben.



$$R'—COOH + NaOH \rightleftarrows R'—COONa + H_2O.$$

Die *Rückreaktion*, die Hydrolyse oder Verseifung eines Esters, führt ebenfalls nur zu einem Gleichgewichtszustand. Wenn man die Karbonsäure, R'—COOH, jedoch mit Natronlauge neutralisiert, verläuft die Reaktion praktisch quantitativ, weil die Säure unter Bildung des Salzes, R'—COONa, aus dem Gleichgewicht entfernt wird.

Gleichgewichtsverschiebung durch Veränderung der Reaktionstemperatur. Die bei einer chemischen Reaktion umgesetzte Wärmeenergie wird entweder dem Wärmeinhalt der Umgebung entnommen (endotherme Reaktionen) oder an die Umgebung abgeführt (exotherme Reaktionen). Das Reaktionsgleichgewicht liegt daher bei *endothermen Reaktionen* um so mehr auf der Seite der Reaktionsprodukte, je stärker die *Wärmezufuhr von außen* ist. Dagegen sind für einen möglichst vollständigen Ablauf *exothermer Reaktionen tiefe Umgebungstemperaturen* günstig. Die durch eine Temperaturänderung bewirkte Gleichgewichtsverschiebung läßt sich quantitativ durch Messen der *Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten* erfassen. Unter Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit der Reaktionswärme ist der negative natürliche Logarithmus der Gleichgewichtskonstanten der absoluten Temperatur T umgekehrt proportional; die Gleichgewichtskonstante und damit die Ausbeute einer Reaktion lassen sich also von einer Temperatur auf eine beliebige andere Temperatur umrechnen. Über größere Temperaturbereiche hinweg muß jedoch die Temperaturabhängigkeit der Reaktionswärme zusätzlich berücksichtigt werden.

Gleichgewichtsverschiebung durch Änderung des Druckes. Bei Reaktionen, die unter Änderung des Volumens ablaufen, verschiebt sich das Gleichgewicht *mit zunehmendem Druck im Sinne einer Volumenverringerung.* Die Bildung von *Ammoniak* wird also bei der Synthese aus Stickstoff und Wasserstoff durch Druck begünstigt, $N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$. Bei der *Schwefelsäuregewinnung* durch katalytische Oxydation von Schwefeldioxyd zu Schwefeltrioxyd durch Luftsauerstoff, $2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$, kann man auf eine Druckerhöhung verzichten, da die Volumenverminderung besonders bei Anwendung von Luft ($^4/_5$ Stickstoff) gering ist.

DIE REAKTIONSGESCHWINDIGKEIT

Die Geschwindigkeit, mit der ein instabiles chemisches System dem stabilen Gleichgewichtszustand zustrebt, wird durch die *Konzentrationsabnahme* oder *Konzentrationszunahme* eines Reaktionspartners in der Zeiteinheit gemessen. Chemische Reaktionen verlaufen häufig über mehrere Stufen, wobei instabile *Zwischenprodukte* gebildet werden, die in der Gesamtreaktionsgleichung nicht auftreten. Der Reaktionsablauf ist meist komplizierter, als die Reaktionsgleichung angibt. Die Aufklärung von Reaktionsmechanismen gehört zu den Aufgaben der *chemischen Kinetik*, eines Teilgebiets der *physikalischen Chemie*. Man ermittelt zunächst das Geschwindigkeitsgesetz einer Reaktion, indem man die Konzentrationsänderung irgendeines Reaktionspartners in Abhängigkeit von der Zeit verfolgt. Die Reaktionsgeschwindigkeit φ kann durch die Abnahme der Konzentration eines Ausgangsstoffes um $-dc_A$ je Zeitintervall dt ausgedrückt werden, $\varphi = -\frac{dc_A}{dt}$. Da die Reaktionsgeschwindigkeit von der Anzahl der Zusammenstöße in der Zeiteinheit abhängt, besteht oft ein einfacher Zusammenhang mit der Konzentration der Ausgangsstoffe. Bei der Vereinigung von Wasserstoff und Jod zu Jodwasserstoff, $H_2 + J_2 \rightarrow 2HJ$, ist die Reaktionsgeschwindigkeit proportional der Wasserstoff- und Jodkonzentration, $\varphi_1 = k_1 \cdot c_{H_2} \cdot c_{J_2}$. Beim Zerfall von Jodwasserstoff in Jod und Wasserstoff, $2HJ \rightarrow H_2 + J_2$, ist sie dem Quadrat der Jodwasserstoffkonzentration proportional, $\varphi_2 = k_2 \cdot c_{HJ}^2$. Die Konstanten k_1 und k_2 bezeichnet man als *Geschwindigkeitskonstanten*. Beide Reaktionen sind *bimolekular*, d. h., die Umsetzung findet während des Zusammenstoßes je zweier Teilchen statt. Man bezeichnet alle chemischen Vorgänge, deren Reaktionsgeschwindigkeit dem Produkt zweier Konzentrationen bzw. dem Quadrat einer Konzentration proportional ist, als *Reaktionen zweiter Ordnung. Reaktionen dritter und höherer Ordnung* sind relativ selten, da der gleichzeitige Zusammenstoß von mehr als zwei Teilchen sehr unwahrscheinlich ist. Es gibt auch Zerfalls- und Umlagerungsreaktionen, die keiner vorherigen Zusammenstöße bedürfen und daher *monomolekular* ablaufen. Bei *Reaktionen erster Ordnung*, wie z. B. beim radioaktiven Zerfall instabiler Atomkerne, ist die Reaktionsgeschwindigkeit proportional der in jedem Augenblick noch vorhandenen Konzentration, $\varphi = k \cdot c$ oder $-\frac{dc}{dt} = k \cdot c$.

Nicht jeder Zusammenstoß zwischen zwei Teilchen führt zu einer Umsetzung. Da in Gasen unter Normalbedingungen jedes Molekül etwa 10^9- bis 10^{10}mal je Sekunde mit anderen Molekülen zusammenstößt, müßte eine Reaktion bereits innerhalb einiger 10^{-9} Sekunden praktisch beendet sein. Viele Reaktionen brauchen aber für ihren Ablauf 10^2 bis 10^6 Sekunden und mehr. Das liegt daran, daß die Teilchen nur miteinander reagieren können, wenn ihr augenblicklicher Energieinhalt einen gewissen Betrag, die sogenannte *Aktivierungsenergie* E_A, überschreitet. Der Anteil der reaktionsbereiten Teilchen in einem bestimmten Volumen ist temperaturabhängig und beträgt $e^{-\frac{E_A}{RT}} = \exp(-E_A/RT)$. Da die Geschwindigkeitskonstante k die Anzahl der Zusammenstöße angibt, die zu einer Reaktion führen, folgt die Beziehung $k = k_0 \exp(-E_A/RT)$ (*Arrheniussche Gleichung*). Die Geschwindigkeitskonstante k ist gleich dem Bruchteil der Gesamtstoßzahl k_0, denn der Ausdruck $\exp(-E_A/RT)$ ist stets kleiner als 1. Neben der Aktivierungsenergie bewirkt noch der sogenannte *sterische Faktor* eine Erniedrigung der Geschwindigkeitskonstanten. Nur solche Zusammenstöße führen zur Umsetzung, bei denen die Teilchen zueinander eine *günstige Lage* einnehmen. Durch die Arrheniussche Gleichung wird die *Temperaturabhängigkeit* der Geschwindigkeitskonstanten und damit auch die der Reaktionsgeschwindigkeit wiedergegeben. Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt bei einer Temperaturerhöhung um 10 grd etwa um das 2- bis 4fache zu (*van't Hoffsche Regel*), bei manchen biochemischen Vorgängen sogar um das 7fache. Eine chemische Reaktion wird also durch eine Temperaturerhöhung von 100 grd um mindestens das $2^{10} \cong 1000$-fache beschleunigt. Diese starke Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit erklärt, warum manche Reaktionen bei gewöhnlicher Temperatur außerordentlich langsam, praktisch überhaupt nicht ablaufen; eine Gasmischung aus Wasserstoff und Sauerstoff ist z. B. beliebig lange haltbar, obwohl das chemische Gleichgewicht fast vollständig auf der Seite des Wassers liegt. Ebenso müßten die meisten organischen Verbindungen bereits bei Zimmertemperatur durch den Luftsauerstoff oxydiert werden. Man bezeichnet derartige Systeme als *metastabil*. Sie streben bei erhöhter Temperatur oder unter Mitwirkung von Katalysatoren mit einer meßbaren Reaktionsgeschwindigkeit dem stabilen Gleichgewichtszustand zu. Bei bestimmten exothermen Reaktionen kann die Reaktionsgeschwindigkeit durch die frei werdende Wärme so stark erhöht werden, daß die Reaktion einen *explosionsartigen Verlauf* nimmt.

Katalyse. Als Katalyse bezeichnet man die *Beschleunigung chemischer Reaktionen* in Gegenwart bestimmter Stoffe, der *Katalysatoren*. Diese treten zwar mit den reagierenden Stoffen in Wechselwirkung, liegen aber nach Ablauf der Reaktionen unverändert vor. Ihre Wirkung beruht häufig auf einer *Erniedrigung der Aktivierungsenergie*. Dadurch wird die Reaktionsgeschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeit der Gleichgewichtseinstellung, erhöht. Die Gleichgewichtslage selbst läßt sich durch einen Katalysator nicht beeinflussen. Einige technisch wichtige exotherme Reaktionen würden jedoch ohne Katalysator erst in einem Temperaturbereich mit genügend großer Geschwindigkeit ablaufen, in dem das Gleichgewicht bereits weitgehend nach der Seite der Ausgangsstoffe (Rückreaktion) verschoben ist. Durch die Anwendung von Katalysatoren lassen sich derartige Prozesse bereits bei bedeutend niedrigeren Temperaturen durchführen, bei denen das Gleichgewicht genügend weit auf der Seite der Reaktionsprodukte (Hinreaktion) liegt. Bei manchen Synthesen entstehen mehrere Verbindungen in unterschiedlicher Ausbeute nebeneinander. Durch *selektiv wirkende Katalysatoren* kann die Reaktion in diese oder jene Bahn gelenkt werden; dadurch wird es möglich, bestimmte Reaktionsprodukte in guter Ausbeute zu erhalten; Kohlenmonoxyd, CO, läßt sich z. B. je nach dem verwendeten Katalysator zu verschiedenen Verbindungen hydrieren.

Hydrieren von Kohlenmonoxyd durch selektiv wirkende Katalysatoren

Katalysator	Produkt
$CO + H_2$ → Nickel, Kobalt, Eisen, 250 °C	Methan, CH_4
$CO + H_2$ → Eisen, 10 at	gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe
$CO + H_2$ → Zinkoxyd, Chromoxyd, 450 °C, 200 at	Methanol, CH_3OH
$CO + H_2$ → ultraviolettes Licht	Formaldehyd, CH_2O

Gegenwärtig werden in der *Industrie* etwa 300 katalytische Prozesse durchgeführt. Die Jahresproduktion einiger Produkte beläuft sich auf Hunderttausende von Tonnen. Auch die meisten *physiologisch-chemischen Reaktionen*, der Aufbau und Abbau organischer Verbindungen in der lebenden pflanzlichen und tierischen Zelle, alle Stoffwechselprozesse, sind katalytische Vorgänge. Fermente, Hormone, Enzyme und Vitamine haben hier die Rolle von Katalysatoren.

Bei der *homogenen Katalyse* bildet der Katalysator mit den reagierenden Stoffen eine einheitliche Gas- oder Lösungsphase. Häufig nimmt er unmittelbar unter Bildung einer instabilen *Zwischen-*

verbindung an der Reaktion teil. Die Zwischenverbindung reagiert sofort unter Rückbildung des Katalysators weiter. Man nennt derartige Katalysatoren *Überträger*; Stickstoffmonoxyd, NO, dient z. B. bei der katalytischen Oxydation von Schwefeldioxyd, SO_2, zu Schwefeltrioxyd, SO_3 im Bleikammerverfahren als Sauerstoffüberträger.

$$(1)\ NO + {}^1/_2O_2 \rightleftharpoons NO_2; \quad (2)\ SO_2 + NO_2 \rightleftharpoons SO_3 + NO; \quad (3)\ SO_2 + {}^1/_2O_2 \rightleftharpoons SO_3.$$

Das nach Gleichung (1) gebildete Stickstoffdioxyd, NO_2, oxydiert SO_2 zu SO_3 unter Rückbildung von Stickstoffmonoxyd [Gleichung (2)]. Beide Teilreaktionen laufen schneller ab als die Gesamtreaktion [Gleichung (3)].

Die *heterogene Katalyse* oder *Kontaktkatalyse* beruht auf einer Oberflächenwirkung. Der Katalysator liegt meist in fester Form vor und befindet sich in feinverteiltem Zustand. Die *Katalysatoroberfläche* muß *möglichst groß* sein. Um bei der erhöhten Reaktionstemperatur ein Zusammensintern zu vermeiden, trägt man den Katalysator auf ein poröses Material auf, den sogenannten *Träger*, z. B. Silikagel oder Alumiumoxyd. Die reagierenden Teilchen werden in der Katalysatoroberfläche unter der Wirkung unabgesättigter Bindungskräfte in einen *reaktionsbereiten Zustand* übergeführt. Die Wirksamkeit eines Katalysators und seine die Reaktionsrichtung bestimmenden Eigenschaften lassen sich durch Zusatz geringer Beimengungen verändern. Man bezeichnet diesen Vorgang als *Modifizierung*. Stoffe, die die Aktivität eines Katalysators herabsetzen, nennt man *Kontaktgifte*, Zusätze, die seine Wirksamkeit erhöhen, *Promotoren*. Manche Beimengungen wirken je nach der zugesetzten Menge als Promotoren oder als Kontaktgifte. Die systematische Entwicklung derartiger *Mischkatalysatoren*, die besonders durch A. Mittasch eingeleitet wurde, bildet die Grundlage der modernen katalytischen Großindustrie.

DIE TRIEBKRAFT CHEMISCHER REAKTIONEN

Chemische Reaktionen laufen nur von selbst ab, wenn sie imstande sind, Arbeit zu leisten. Die bei einer chemischen Reaktion umgesetzte Energie kann zwar stets vollständig in Wärme umgewandelt und auf diesem Wege gemessen werden, es kann aber nicht die gesamte Energie Q, die bei einer chemischen Reaktion frei wird, in Arbeit, z. B. in mechanische Energie, umgewandelt werden. Nach dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre muß ein bestimmter Anteil der umgesetzten Energie stets in Form von Wärme auftreten. Dieser Anteil, die *reversible Reaktionswärme*, ist gleich dem Produkt $T \cdot \Delta S$ aus der absoluten Temperatur T und der mit der Reaktion verbundenen Entropieänderung ΔS. Nur die Differenz zwischen Q_p bzw. Q_v und der reversiblen Reaktionswärme $T \cdot \Delta S_p$ bzw. $T \cdot \Delta S_v$ läßt sich in Form von Arbeit nutzbar machen; die Indizes p bzw. v bezeichnen die Messung der Größen Q und ΔS bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen. Diese Beziehungen werden durch die *Gibbs-Helmholtzschen Gleichungen* wiedergegeben:

$$N = Q_p - T \cdot \Delta S_p \quad \text{bzw.} \quad N = Q_v - T \cdot \Delta S_v.$$

Die *maximale Nutzarbeit* N ist ein quantitatives Maß für die Triebkraft einer chemischen Reaktion. Ihr Wert muß stets negativ sein, wenn ein Vorgang von selbst ablaufen soll. Die maximale Nutzarbeit kann in einer Arbeit leistenden Wärmekraftmaschine, z. B. einer Dampfmaschine, einem Explosionsmotor oder in einem stromliefernden galvanischen Element, nur annähernd realisiert werden, da durch Reibung oder andere sogenannte *irreversible Vorgänge* stets Verluste eintreten, die die maximal gewinnbare Arbeit herabmindern. Die Bemühungen sind darauf gerichtet, Maschinen zu konstruieren, bei denen die abgegebene Arbeit möglichst weitgehend der maximal erreichbaren Nutzarbeit N entspricht. In galvanischen Elementen läßt sich die maximale Nutzarbeit und damit die Triebkraft einer Reaktion durch Messen der zwischen den Elektroden bestehenden Spannungsdifferenz bestimmen. Da zwischen der *Gleichgewichtskonstanten* K und der *Triebkraft* N die Beziehung $N = -R \cdot T \cdot \ln K$ besteht, ist auf elektrochemischem Weg auch eine Bestimmung der Gleichgewichtskonstante möglich

Durch die Gibbs-Helmholtzschen Gleichungen wird verständlich, warum auch bestimmte *endotherme Vorgänge* von selbst ablaufen können, z. B. die Auflösung eines Salzes in Wasser unter Abkühlung. Die Wärmetönung Q_p bzw. Q_v ist bei diesem Vorgang positiv, die Entropieänderung ΔS_p bzw. ΔS_v ist ebenfalls stark positiv (Übergang aus dem geordneten kristallinen in den ungeordneten gelösten Zustand). Da $T \cdot \Delta S_p$ bzw. $T \cdot \Delta S_v$ größer ist als Q_p bzw. Q_v, ergibt sich für N ein negativer Wert, d. h., das System kann Arbeit leisten. Damit ist die thermodynamische Bedingung für den spontanen Ablauf eines Vorganges erfüllt.

V. Elektrochemie

Die Elektrochemie ist die Lehre von den Zusammenhängen zwischen elektrischen und chemischen Erscheinungen. Der Zusammenhalt der Atome wird in den Stoffen durch chemische Bindungskräfte bewirkt, die im wesentlichen elektrischer Natur sind. Zahlreiche Stoffe sind aus entgegengesetzt geladenen Teilchen, den *Ionen*, aufgebaut. Bei allen *Oxydations-* und *Reduktionsvorgängen* findet zwischen den Reaktionspartnern ein Übergang von Elektronen statt. Man kann derartige chemische

Reaktionen in galvanischen Elementen zur *Erzeugung von Gleichstrom* ausnutzen. Die Umkehrung ist die *Elektrolyse*, bei der durch Einwirkung von Gleichstrom chemische Reaktionen hervorgerufen werden.

ELEKTROLYTE

Elektrolyte sind Stoffe, deren Lösungen oder Schmelzen den elektrischen Strom leiten. Die *Leitfähigkeit* beruht auf der *Wanderung von Ionen*, das sind positiv oder negativ geladene Atome und Atomgruppen; sie werden durch die Angabe der Ladungen gekennzeichnet, z. B. das Wasserstoffion, H^+, das Ammoniumion, NH_4^+, die Metallionen Na^+, Ca^{2+}, Fe^{2+} und Fe^{3+}, das Hydroxylion, OH^-, und die negativ geladenen Säurereste, das Chloridion, Cl^-, das Sulfidion, S^{2-}, das Sulfition, SO_3^{2-}, das Sulfation, SO_4^{2-}, das Phosphation, PO_4^{3-} u. a. Die positiv geladenen Ionen bezeichnet man als *Kationen*, die negativ geladenen als *Anionen*.

Zu den echten Elektrolyten gehören die aus Kationen und Säureanionen aufgebauten *Salze*, und die aus Kationen und Hydroxylionen bestehenden starken *Basen*. Beim Auflösen dieser Stoffe in Wasser oder einem anderen polaren Lösungsmittel mit hoher Dielektrizitätskonstante ε wird die elektrostatische Anziehungskraft der entgegengesetzt geladenen Ionen entsprechend dem *Coulombschen Gesetz* auf den Bruchteil $^1/_\varepsilon$ geschwächt. Oft reicht dann die normale Wärmebewegung bereits aus, um die Ionen voneinander zu trennen und im Lösungsmittel zu verteilen. Säuren sind potentielle Elektrolyte. Bei ihnen erfolgt die Bildung von Wasserstoffionen und Säureanionen erst beim Auflösen in einem polaren Lösungsmittel. Wasser ist das am besten geeignete Lösungsmittel für Elektrolyte. Die Wasserstoffionen der Säuren vereinigen sich mit den Wassermolekülen zu *Hydroxonium-* bzw. *Hydroniumionen*, H_3O^+. Den beim Auflösen der Säuren, Basen und Salze eintretenden Zerfall in positiv und negativ geladene Ionen bezeichnet man als *elektrolytische Dissoziation* (Svante Arrhenius, 1884). Neben der Erniedrigung der elektrostatischen Anziehungskraft durch die Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels ist insbesondere die *Solvatation* der in Lösung gehenden Ionen die Ursache für das Zustandekommen der elektrolytischen Dissoziation. Unter Solvatation versteht man die *Anlagerung von Lösungsmittelmolekülen* an Kationen und Anionen. Die Anlagerung von Wassermolekülen heißt *Hydratation*. Die dabei frei werdende *Hydratationsenergie* ist meist größer als der zur Trennung der Kationen und Anionen aufzuwendende Energiebetrag; das erkennt man z. B. daran, daß zahlreiche wasserfreie Salze sich unter Wärmeentwicklung in Wasser auflösen. Die Hydratation der Ionen nimmt mit abnehmendem *Ionenradius* zu. Li^+-Ionen umgeben sich mit 13, Na^+-Ionen mit 8 bis 9 und K^+-Ionen mit etwa 4 Wassermolekülen; Cl^--Ionen sind in Lösung durch 3 Wassermoleküle hydratisiert. Auch in festen Stoffen liegen die Ionen häufig hydratisiert vor, z. B. in den *Salzhydraten*. Das Wasserstoffion, H^+, ist in Lösung besonders fest an ein Wassermolekül zum Hydroxoniumion, H_9O^+, gebunden. Dieses ist von 3 weiteren und in der *äußeren Hydrathülle* von noch mehr Wassermolekülen umgeben. Die hydratisierten Hydroxoniumionen werden auch *Hydroniumionen* genannt. Man unterscheidet starke und schwache Elektrolyte.

Starke Elektrolyte. Salze, starke Säuren und starke Basen sind in wäßriger Lösung *praktisch vollständig* in Ionen dissoziiert, z. B. Natriumchlorid, NaCl, in Na^+- und Cl^--Ionen, Schwefelsäure, H_2SO_4, in H^+- bzw. H_3O^+-Ionen und HSO_4^--Ionen und Kalziumhydroxyd, $Ca(OH)_2$, in Ca^{2+}- und zwei OH^--Ionen. Die *Teilchenkonzentration* ist in einer Elektrolytlösung auf Grund dieses Zerfalls in Ionen entsprechend *vervielfacht*. Eine 1-molare Natriumchloridlösung enthält im Liter 1 Mol Na^+- und 1 Mol Cl^--Ionen, insgesamt also 2 Mol Teilchen. Der *osmotische Druck* einer derartigen Lösung ist daher doppelt so groß wie in der 1-molaren Lösung eines nicht dissoziierenden Stoffes, z. B. einer 1-molaren Zuckerlösung. Dasselbe gilt für die *Dampfdruck-* und *Gefrierpunktserniedrigung* sowie für die *Siedepunktserhöhung*. Durch Messen dieser Effekte kann man experimentell feststellen, in wieviel Ionen ein Elektrolyt beim Auflösen zerfällt. Bei niedrigen Konzentrationen werden für Natriumchlorid, NaCl, 2, für Kalziumhydroxyd, $Ca(OH)_2$, 3 und für gelbes Blutlaugensalz, Kaliumhexazyanoferrat(II), $K_4[Fe(CN)_6]$, 5 Teilchen gefunden. Mit steigender Konzentration beobachtet man jedoch in zunehmendem Maße Abweichungen von diesen Zahlen nach kleineren Werten zu. Das beruht auf der *gegenseitigen Behinderung* der entgegengesetzt geladenen Ionen. Ihre Bewegungsfreiheit wird durch die elektrostatische Anziehung stark beeinträchtigt. Man muß daher bereits in sehr verdünnten Lösungen die *Aktivitätskoeffizienten* berücksichtigen. Nach einer von Debye und Hückel stammenden Theorie kann man die Aktivitätskoeffizienten für einzelne Ionen bis zu Konzentrationen von etwa 0,01 mol/l berechnen. Bei höheren Konzentrationen müssen die Aktivitätskoeffizienten empirisch ermittelt werden, indem z. B. die Abweichungen des osmotischen Drucks, der Gefrierpunktserniedrigung und der Siedepunktserhöhung von den theoretisch zu erwartenden Werten gemessen werden.

Schwache Elektrolyte. Schwache Säuren und schwache Basen sind in Lösung unvollständig, häufig nur sehr wenig in Ionen dissoziiert. Zwischen den undissoziierten Teilchen und den Ionen besteht ein *Dissoziationsgleichgewicht*, auf das sich das *Massenwirkungsgesetz* anwenden läßt. Je kleiner die Dissoziationskonstante K ist, um so geringer ist die Dissoziation. Essigsäure, CH_3COOH, dissoziiert z. B. in wäßriger Lösung in Wasserstoffionen, H^+, und Azetationen, CH_3COO^-.

$$CH_3COOH \rightleftarrows H^+ + CH_3COO^-; \quad \frac{[H^+]\,[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = K = 1{,}75 \cdot 10^{-5}.$$

Eine 0,1-molare Essigsäure, $[CH_3COOH] = 0{,}1$, enthält also etwa 10^{-3} mol H^+- und ebensoviel CH_3COO^--Ionen im Liter, $[H^+] = [CH_3COO^-] = \sqrt{1{,}75 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}} \approx 10^{-3}$ mol/*l*. Von 0,1 mol Essigsäure sind etwa 0,001 mol in Lösung dissoziiert, das ist 1%. Die Ionenkonzentration ist in diesem Fall 100mal kleiner als die Gesamtkonzentration der Säure. Man kann daher bei Lösungen schwacher Elektrolyte die Aktivitätskoeffizienten bis zu bedeutend höheren Konzentrationen vernachlässigen als bei starken Elektrolyten

Dissoziationsgrad. Der Dissoziationsgrad α gibt den *Bruchteil der gelösten Moleküle* eines Elektrolyten an, *der in Ionen dissoziiert* ist. Er ist stets kleiner als 1 und hängt von der Konzentration ab. Bezeichnet man die Gesamtkonzentration einer Lösung mit c, z. B. 0,1-molare Essigsäure ($c = 0.1$ mol/*l*), dann ist $\alpha \cdot c$ der Anteil, der in Ionen dissoziiert ist, und $c - c \cdot \alpha = (1 - \alpha) \cdot c$ der undissoziierte Anteil. Für einen in zwei Teilchen zerfallenden *binären Elektrolyten* wie die Essigsäure ergibt sich aus der Massenwirkungsgleichung zwischen Dissoziationsgrad α, der Konzentration c und der Dissoziationskonstanten K eine Beziehung, die als *Ostwaldsches Verdünnungsgesetz* bekannt ist.

$$\frac{\alpha \cdot c \cdot \alpha \cdot c}{(1 - \alpha)\, c} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \cdot c = K.$$

Der Dissoziationsgrad α nimmt mit wachsender Konzentration ab. Man kann ihn durch *Leitfähigkeitsmessungen* sowie durch Messung des *osmotischen Drucks*, der *Siedepunktserhöhung* oder *Gefrierpunktserniedrigung* einer Lösung bestimmen.

Ionendissoziation des Wassers. Manche Lösungsmittel, unter ihnen das Wasser, sind zu einem sehr geringen Anteil in Ionen gespalten. Für Wasser gilt folgendes Dissoziationsgleichgewicht:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-, \quad \frac{[H^+]\,[OH^-]}{[H_2O]} = K = 1{,}8 \cdot 10^{-16}.$$

Da der Anteil des in Ionen dissoziierten Wassers verschwindend klein ist gegenüber der Gesamtmenge kann man die in einem Liter enthaltene Molzahl Wasser als konstant betrachten und in die Dissoziationskonstante mit einbeziehen. Bei 25 °C enthält ein Liter Wasser 997 : 18 = 55,3 mol/*l*.

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 1{,}8 \cdot 10^{-16} \cdot 55{,}3 = 1{,}0 \cdot 10^{-14}.$$

Das *Ionenprodukt* des Wassers (Wasserstoffionenkonzentration mal Hydroxylionenkonzentration) ist eine konstante Größe und hat bei 25 °C den Wert 10^{-14}. Das heißt, in einem Liter Wasser sind $1{,}008 \cdot 10^{-7}$ g Wasserstoffionen und $17{,}008 \cdot 10^{-7}$ g Hydroxylionen enthalten, zusammen also $18{,}016 \cdot 10^{-7}$ g dissoziierte Wassermoleküle. Die *Wasserstoffionenkonzentration* ist gleich der Hydroxylionenkonzentration und hat den Wert

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}.$$

Gibt man Säure zum Wasser, erhöht also die Wasserstoffionenkonzentration, so muß die Hydroxylionenkonzentration entsprechend geringer werden, da das Produkt beider eine Konstante ist. Bei Laugenzusatz muß sich entsprechend die Wasserstoffionenkonzentration verringern. Die *Wasserstoffionenkonzentration* allein ist also bereits ein *Maßstab für saure oder alkalische Reaktion.* Eine neutrale Reaktion setzt gleiche Wasserstoff- und Hydroxylionenkonzentrationen voraus: $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$. In einer *sauren Lösung* ist die Wasserstoffionenkonzentration größer als 10^{-7}, in einer *alkalischen Lösung* ist sie kleiner als 10^{-7}.

Man gibt in der Praxis den *Wasserstoffionengehalt* einer Lösung häufig nicht durch die Konzentration an, sondern durch den *negativen Logarithmus der jeweiligen Wasserstoffionenkonzentration* unter Weglassen des negativen Vorzeichens und bezeichnet diese Größe als *p*H-*Wert*: $pH = -\lg [H^+]$. Neutrales Wasser hat den Wert $pH = -\lg [10^{-7}] = 7$, eine saure Lösung mit einer Wasserstoffionenkonzentration von z. B. 10^{-3} mol/*l* (0,1-molare Essigsäure) den Wert $pH = 3$. Für eine alkalische Lösung berechnet sich die Wasserstoffionenkonzentration aus dem Ionenprodukt des Wassers. Eine 0,1-molare Natronlauge, $[OH^-] = 0{,}1$, hat die Wasserstoffionenkonzentration von 10^{-13} mol/*l* und damit den *p*H-Wert 13.

$pH < 7$	$pH = 7$	$pH > 7$
saure Reaktion	neutrale Reaktion	alkalische Reaktion

Zahlreiche Reaktionen verlaufen nur innerhalb bestimmter *p*H-Wert-Grenzen, bzw. ihr optimaler Ablauf ist an bestimmte *p*H-Werte gebunden. Man bestimmt den *p*H-Wert meist kolorimetrisch oder potentiometrisch. Am bequemsten ist die *kolorimetrische Methode* mit Hilfe von *Indikatoren*, das sind organische Farbstoffe, deren Farbe sich in einem bestimmten *p*H-Bereich ändert (*Umschlagspunkt*). *Universalindikatoren* sind Indikatorengemische, die bei den einzelnen *p*H-Werten charakteristische Mischfarben annehmen. Zu den genauesten Methoden gehört die *potentiometrische p*H-*Wertmessung* mit der *Wasserstoffelektrode.*

Pufferlösungen. Lösungen, die eine schwache Säure oder Base *und deren Salze* in vergleichbarer Menge enthalten, z. B. Essigsäure, CH_3COOH, und Natriumazetat, CH_3COONa, oder Ammoniak, NH_3, und Ammoniumchlorid, NH_4Cl, können *Wasserstoff- und Hydroxylionen* abfangen, chemisch binden und damit unwirksam machen. Ihr *p*H-Wert ist weitgehend unempfindlich gegen Zusatz weiterer Säure oder Base; z. B. wird die stark dissoziierte Salzsäure, die viele Wasserstoffionen enthält, bei Zugabe zu einer aus *Essigsäure* und *Natriumazetat* bestehenden Pufferlösung weitgehend unwirksam gemacht, nämlich in Kochsalz und schwach dissoziierte Essigsäure verwandelt. Pufferlösungen werden überall dort angewendet, wo für den Ablauf einer chemischen Reaktion die *Einhaltung eines bestimmten pH-Wertes* erforderlich ist. Sie spielen eine große Rolle in biologischen Systemen, denn der *p*H-Wert beeinflußt den Zustand aller Stoffe, die selbst schwache Basen oder Säuren sind, z. B. die Eiweißstoffe. Da die Stoffwechselvorgänge mit der Erzeugung von Säuren und Basen verknüpft sind, müssen die Körperflüssigkeiten, z. B. das Blut, zur Verhinderung lebensschädigender Verschiebungen des *p*H-Wertes gepuffert sein. Blut ist im wesentlichen durch Kohlensäure, H_2CO_3, und Natriumhydrogenkarbonat, $NaHCO_3$, gepuffert.

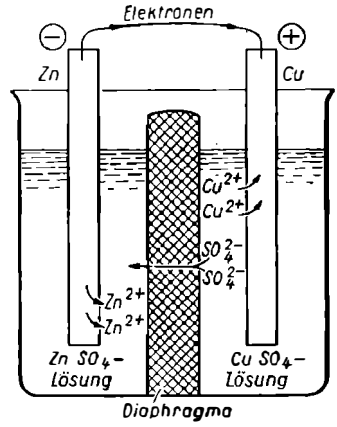
OXYDATION UND REDUKTION

Jeder Oxydations- und Reduktionsvorgang ist mit einem *Elektronenaustausch* zwischen den miteinander reagierenden Stoffen verbunden. *Oxydation bedeutet Elektronenabgabe, Reduktion* beruht auf *Elektronenaufnahme*. Ein Stoff wird oxydiert, wenn ihm durch ein Oxydationsmittel Elektronen entzogen werden. Das *Oxydationsmittel* wird dabei reduziert. Ein Stoff wird reduziert, wenn ihm durch ein Reduktionsmittel Elektronen zugeführt werden. Das *Reduktionsmittel* wird dabei oxydiert. Oxydations- und Reduktionsvorgänge sind stets miteinander gekoppelt. Man bezeichnet sie daher auch als *Reduktions-Oxydations-Systeme* oder kurz als *Redox-Systeme*; ein einfacher Redoxvorgang ist z. B. die Abscheidung von Kupfer auf einem Zinkblech, das in eine Kupfersulfatlösung eintaucht. Die Kupferionen, Cu^{2+}, der Kupfersulfatlösung werden durch Zink zu metallischem Kupfer reduziert und das Zink zu Zinkionen, Zn^{2+}, oxydiert, $Cu^{2+} + Zn \rightleftarrows Zn^{2+} + Cu$. Chlor vereinigt sich mit Natrium zu Natriumchlorid (Kochsalz), $2\,Na + Cl_2 \rightleftarrows 2\,NaCl$.
Der *Sauerstoff* tritt in seinen Verbindungen stets *elektronegativ* auf (mit Ausnahme von Verbindungen mit Fluor). Jede Vereinigung mit Sauerstoff ist daher mit einer Oxydation und jeder Sauerstoffentzug mit einer Reduktion verbunden. Alle *Verbrennungsprozesse* bestehen in einer Oxydation des jeweiligen Stoffes unter gleichzeitiger Reduktion des Sauerstoffs, z. B. die Verbrennung von Kohle zu Kohlenmonoxyd, CO, bzw. Kohlendioxyd, CO_2, die Verbrennung der Kohlenwasserstoffe und der meisten anderen organischen Verbindungen zu Kohlendioxyd und Wasser, die Vereinigung der Metalle mit Sauerstoff zu Metalloxyden u. a. Die in der Metallurgie wichtige *Reduktion der Metalloxyde* zu Metallen durch Kohlenstoff, Kohlenmonoxyd oder Wasserstoff beruht auf einem Sauerstoffentzug durch diese Reduktionsmittel.
Wasserstoff tritt in seinen Verbindungen mit Nichtmetallen in der Oxydationsstufe +I auf. Er gibt sein Elektron an den Bindungspartner mehr oder weniger weitgehend ab und bewirkt dadurch seine *Reduktion*. Chlor wird z. B. durch Wasserstoff zu Chlorwasserstoff, HCl, reduziert, Sauerstoff zu Wasser, H_2O, oder zu Wasserstoffperoxyd, H_2O_2, Stickstoff zu Ammoniak, NH_3, oder zu Hydrazin, N_2H_4. Man nennt derartige Reaktionen *Hydrierung* (*Wasserstoffanlagerung*). Hydrierungsreaktionen sind besonders in der organischen Chemie von Bedeutung, z. B. die Kohlehydrierung, die Fetthärtung, die Hydrierung der Aldehyde zu primären und die Hydrierung der Ketone zu sekundären Alkoholen. Durch Oxydationsmittel können die Wasserstoffverbindungen wieder oxydiert werden. Chlorwasserstoff z. B. durch Sauerstoff zu Chlor, $4HCl + O_2 \rightleftarrows 2Cl_2 + 2H_2O$, Wasser durch Fluor zu Sauerstoff, $2H_2O + 2F_2 \rightleftarrows 4HF + O_2$, Ammoniak zu Stickstoff, unter bestimmten Bedingungen auch zu Distickstoffoxyd, N_2O, und Stickstoffmonoxyd, NO. In all diesen Fällen wird der Wasserstoffverbindung durch das Oxydationsmittel der Wasserstoff entzogen. Reaktionen, die unter Abspaltung von Wasserstoff verlaufen, bezeichnet man als *Dehydrierung*. Methanol, CH_3OH, wird z. B. an einer glühenden Kupferspirale zu Formaldehyd, CH_2O, oxydiert (dehydriert) und Äthan, C_2H_6, durch katalytische Dehydrierung in Äthylen, C_2H_4, übergeführt.

GALVANISCHE ELEMENTE

Galvanische Elemente sind elektrochemische Geräte, in denen die bei Reduktions-Oxydations-Vorgängen frei werdende Energie zu einem bestimmten Anteil in elektrische Energie umgewandelt wird. Der Reduktions- und der Oxydationsvorgang laufen räumlich getrennt an zwei *Elektroden* ab, die durch einen leitenden Draht verbunden sind. Die in dem Draht fließenden Elektronen stellen den erzeugten elektrischen Gleichstrom dar. Elektroden bestehen in galvanischen Elementen aus einem stromleitenden Material, an dessen Oberfläche die stromliefernden Reaktionen ablaufen. Häufig ist das Elektrodenmaterial direkt an dem stromerzeugenden Vorgang beteiligt.
Das *Daniell-Element* besteht aus einer Kupferelektrode, die in eine Kupfersulfatlösung eintaucht, und einer Zinkelektrode in einer Zinksulfatlösung (Abb.). Beide Lösungen sind durch eine poröse Scheidewand, ein *Diaphragma*, getrennt, das die Vermischung der beiden Lösungen durch Diffusion verhindert. Verbindet man die beiden Elektroden durch einen leitenden Draht, so gehen Zinkionen, Zn^{2+}, von der Zinkelektrode in Lösung (*Oxydation*, $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$), die zurückbleibenden

Elektronen fließen durch den äußeren Leiter zur Kupferelektrode und dienen dort zur Abscheidung der Kupferionen, Cu^{2+}, aus der Lösung (*Reduktion*, $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$). Gleichzeitig wandern die in der Kupfersulfatlösung verbleibenden Sulfationen, SO_4^{2-}, durch das Diaphragma in die Zinksulfatlösung und dienen dort zur Kompensierung der positiven Ladung der neu hinzugekommenen Zinkionen. Beim Eintauchen eines *Zinkbleches* in eine *Kupfersulfatlösung* vollzieht sich derselbe Redoxvorgang wie im Daniell-Element, nur daß bei dieser Anordnung kein Strom gewonnen werden kann und die gesamte Reaktionsenergie in Form von Wärme auftritt.



Daniell-Element (schematisch)

Der Anteil der bei einer Redoxreaktion umgesetzten Gesamtenergie, der sich maximal in elektrische Energie umwandeln läßt, ergibt sich aus den *Gibbs-Helmholtzschen Gleichungen* als die maximale Nutzarbeit N, die gleichzeitig ein quantitatives Maß für die Triebkraft der Redoxreaktion darstellt. Man kann die Triebkraft N in galvanischen Elementen durch eine elektrische Spannung E zwischen den Elektroden messen: $N = z \cdot F \cdot E$, wobei z die Anzahl der bei dem Redoxvorgang umgesetzten Elektronen bedeutet, und $F = 96490$ Coulomb (*Faradaysche Zahl*) die Strommenge angibt, die in einer Elektrolyse ein Grammäquivalent eines Stoffes an einer Elektrode absetzt.

Elektrodenpotential. Die in einem galvanischen Element zwischen den beiden Elektroden gemessene elektrische Spannung, auch *elektromotorische Kraft* genannt, entspricht einer *Spannungs-* oder *Potentialdifferenz* zwischen den Einzelpotentialen, die sich an der Oberfläche der Elektroden ausbilden. Jede Elektrode nimmt beim Eintauchen in eine Lösung ihrer Ionen ein elektrisches Potential an. Die Potentialbildung beruht auf dem *elektrolytischen Lösungsdruck*; darunter versteht man das Bestreben der Metalle und zahlreicher Nichtmetalle, unter Bildung von Ionen in Lösung zu gehen. Taucht man z. B. ein Zinkblech in eine wäßrige Zinksulfatlösung, dann treten einige Zinkionen, Zn^{2+}, aus dem Metall in die Lösung über und die zurückbleibenden Elektronen laden das Metall negativ auf (Zinkelektrode). Zwischen der Lösung und dem Metall entstehen zwei unmittelbar aneinandergrenzende Schichten flächenhaft verteilter elektrischer Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens, eine *elektrische Doppelschicht*, die den eigentlichen Sitz des Elektrodenpotentials darstellt. Dem elektrolytischen Lösungsdruck ist der *osmotische Druck*, das Bestreben einer Lösung, sich zu verdünnen, entgegengerichtet. Bei edlen Metallen ist der osmotische Druck der gelösten Ionen größer und bei unedlen Metallen kleiner als der elektrolytische Lösungsdruck. Ein edles Metall, das in seine Metallsalzlösung eintaucht, z. B. Silber in Silbernitratlösung (*Silberelektrode*), lädt sich daher positiv auf, denn einige Metallionen treten von der Lösung auf die Metalloberfläche über, und die Lösung bleibt negativ geladen zurück. Die *Wasserstoffelektrode* besteht aus einem von Wasserstoff umspülten Platinblech, das in eine wäßrige Lösung mit beliebiger Wasserstoffionenkonzentration eintaucht. Der Wasserstoff löst sich in der Platinoberfläche teilweise atomar auf und ist bestrebt, sich unter Abgabe seines Elektrons in Form positiver Wasserstoffionen, H^+, bzw. Hydroniumionen, H_3O^+, zu lösen. Das Platinblech lädt sich daher schwach negativ auf. Chlor geht von einer Platinoberfläche in Form negativer Chloridionen (*Chlorelektrode*) in Lösung. Man nennt die Kombination einer Elektrode mit einer Lösung ihrer Ionen auch *Halbelement*. Die Elektrodenpotentiale dieser Halbelemente hat man bisher noch nicht absolut ermitteln können. Man kann die Potentiale nur *relativ in bezug auf andere Elektroden* bestimmen, indem man zwei Einzelelektroden bzw. Halbelemente zu einem *galvanischen Element*, auch *galvanische Kette oder Zelle* genannt, kombiniert und die Potentialdifferenz mißt. Nach Übereinkunft bezieht man jedes Elektrodenpotential auf die *Normalwasserstoffelektrode*, deren Eigenpotential zu Null festgelegt worden ist. Die Normalwasserstoffelektrode liegt vor, wenn ein Platinblech bei 18 °C in eine Säurelösung der Wasserstoffionenaktivität 1 eintaucht, z. B. in 1,184molare Salzsäure, und von Wasserstoff von 1 at Druck umspült wird.

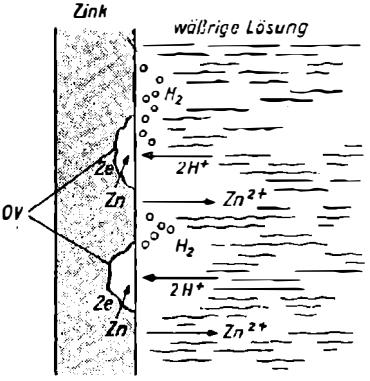
Nernstsche Gleichung. Die Nernstsche Gleichung gibt die Abhängigkeit des Elektrodenpotentials E von der absoluten Temperatur T und der Konzentration bzw. Aktivität der potentialbildenden Ionen in der Lösung wieder; sind E_0 das Normalpotential, $R = 8{,}309$ Joule/(mol · grd) die universelle Gaskonstante, z die Anzahl der umgesetzten Elektronen, $F = 96490$ Coulomb die Faradaysche Zahl und bedeuten [Ox.] die Aktivität bzw. Konzentration der oxydierten Teilchen bzw. [Red.] die der reduzierten Teilchen, so gilt

$$E = E_0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{[\text{Ox.}]}{[\text{Red.}]};$$

für 18 °C = 291 °K erhält man nach Umrechnung des natürlichen in den dekadischen Logarithmus:

$$E = E_0 + \frac{0{,}058}{z} \lg \frac{[\text{Ox.}]}{[\text{Red.}]}.$$

Ein Platindraht, der in eine Lösung eintaucht, die bestimmte Ionen in einer höheren und einer niederen Oxydationsstufe enthält, nimmt ein Potential an, das vom Konzentrationsverhältnis der beiden Ionenarten abhängt. Für eine Eisenlösung, die sowohl Fe^{3+}- als auch Fe^{2+}-Ionen enthält, gilt die Gleichung $E = E_0 + 0{,}058 \lg \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]}$, $(z = 1)$. Häufig besteht bei den Metallelektroden die Konzentration der reduzierten Teilchen, [Red.], aus dem Elektrodenmaterial selbst. Da der *Molenbruch* eines reinen Stoffes gleich 1 ist, vereinfacht sich die Nernstsche Gleichung in diesen Fällen zu $E = E_0 + \frac{0{,}058}{z} \lg[\text{Ox.}]$. Das *Potential von Metallelektroden*, die in eine Lösung ihres Metallsalzes eintauchen, hängt also bei konstanter Temperatur nur von der *Konzentration der Metallionen in der Lösung* ab. Für eine Zinkelektrode $(z = 2)$ gilt die Beziehung $E_{Zn} = E_{0_{Zn}} + \frac{0{,}058}{2} \lg[Zn^{2+}]$, für eine Silberelektrode $(z = 1)$ $E_{Ag} = E_{0_{Ag}} + 0{,}058 \lg[Ag^+]$. Das Potential einer Wasserstoffelektrode hängt bei einer Atmosphäre Wasserstoffdruck nach der Gleichung $E_H = E_{0_H} + 0{,}058 \lg [H^+]$ von der Wasserstoffionenkonzentration bzw. -aktivität $[H^+]$ ab. Bei der Konzentration 1 mol/*l*, genaugenommen bei der Aktivität 1, fällt der logarithmische Ausdruck in der Nernstschen Gleichung fort, denn $\lg 1 = 0$. Die gegen die Normalwasserstoffelektrode gemessenen Elektrodenpotentiale sind dann gleich den jeweiligen Normalpotentialen, $E = E_0$. Das Normalpotential der Wasserstoffelektrode E_{0_H} ist definitionsgemäß gleich 0.



Lokalelemente auf einer Zinkoberfläche, durch die die Korrosion beschleunigt wird; OV oberflächliche Verunreinigungen, die edler sind als Zink, zu denen die Elektronen hinfließen und an denen die Wasserstoffionen der Lösung entladen werden

Mit Hilfe der Nernstschen Gleichung lassen sich Konzentrationsbestimmungen durch Spannungsmessungen durchführen. Die *potentiometrische pH-Wert-Messung* beruht auf der Gleichung $E_H = 0{,}058 \lg [H^+]$ bzw. $E_H = -0{,}058\, pH$; beträgt z. B. die mit einer Wasserstoffelektrode gegen die Normalwasserstoffelektrode gemessene Spannung $E_H = -0{,}116$ Volt, dann hat die Lösung den *p*H-Wert 2 oder eine Wasserstoffionenkonzentration von 10^{-2} mol/*l*. In der Praxis werden an Stelle der empfindlichen Wasserstoffelektrode meist andere, bequemer zu handhabende Elektroden verwendet, z. B. die *Chinhydronelektrode* oder *Glaselektroden*, deren Potential ebenfalls von der Wasserstoffionenkonzentration abhängt. Als Bezugselektrode dient an Stelle der Normalwasserstoffelektrode vielfach die *Kalomelelektrode*. Sie besteht aus metallischem Quecksilber, Hg, das mit einer Kaliumchloridlösung, die an Kalomel, Hg_2Cl_2, gesättigt ist, in Berührung steht.

Durch potentiometrische Messungen kann man den Ablauf chemischer Reaktionen verfolgen, wenn man eine Elektrode verwendet, die auf eine Ionenart anspricht, deren Konzentration im Verlauf der Reaktion zu- oder abnimmt. Bei chemischen Reaktionen, die weitgehend quantitativ ablaufen, beobachtet man in der Nähe des chemischen Gleichgewichts eine sprunghafte Spannungsänderung, so daß auf diesem Wege auch der Endpunkt einer Reaktion bestimmt werden kann.

Elektrochemische Spannungsreihe
Anordnung der Metalle nach der Größe ihrer Normalpotentiale

Red. Ox. + e	E_0 (Volt)	Red. Ox. + e	E_0 (Volt)
$K \rightleftarrows K^+ + e$	−2,92	$Co \rightleftarrows Co^{2+} + 2e$	−0,29
$Ca \rightleftarrows Ca^{2+} + 2e$	−2,76	$Ni \rightleftarrows Ni^{2+} + 2e$	−0,25
$Na \rightleftarrows Na^+ + e$	−2,71	$Sn \rightleftarrows Sn^{2+} + 2e$	−0,16
$Mg \rightleftarrows Mg^{2+} + 2e$	−2,40	$Pb \rightleftarrows Pb^{2+} + 2e$	−0,13
$Al \rightleftarrows Al^{3+} + 3e$	−1,69	$H_2 \rightleftarrows 2H^+ + 2e$	0,00
$Mn \rightleftarrows Mn^{2+} + 2e$	−1,10	$Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e$	+0,35
$Zn \rightleftarrows Zn^{2+} + 2e$	−0,76	$Ag \rightleftarrows Ag^+ + e$	+0,81
$Cr \rightleftarrows Cr^{3+} + 3e$	−0,51	$Hg \rightleftarrows Hg^{2+} + 2e$	+0,86
$Fe \rightleftarrows Fe^{2+} + 2e$	−0,44	$Au \rightleftarrows Au^{3+} + 3e$	+1,38
$Cd \rightleftarrows Cd^{2+} + 2e$	−0,40	$Pt \rightleftarrows Pt^{2+} + 2e$	+1,60

Die *unedelsten Metalle* stehen am Beginn, die *edelsten* am Ende der Reihe. Jedes Element scheidet alle nach ihm folgenden aus deren Metallsalzlösungen aus. *Oxydierbarkeit, Löslichkeit in Säuren* und *elektrolytischer Lösungsdruck* nehmen in der Reihe von oben nach unten ab. Taucht man 2 Me-

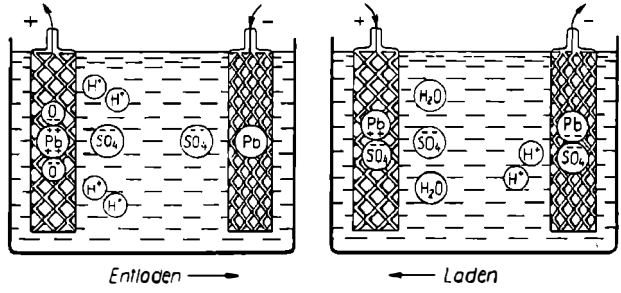
talle in eine Lösung ihrer Salze und bringt die Lösungen, durch ein Diaphragma getrennt, in leitende Verbindung, dann ist das weiter *oben* stehende Metall *negativer*, das weiter *unten* stehende *positiver Pol*. Die Normalpotentiale sind für die oberhalb vom Wasserstoff, H_2, stehenden Metalle negativ. Diese sind unedler als Wasserstoff und lösen sich daher in Säuren unter Wasserstoffentwicklung auf. Für die unterhalb des Wasserstoffs stehenden Metalle sind die Normalpotentiale positiv. Sie lösen sich in nichtoxydierenden Säuren, z. B. in Salzsäure, nicht auf. Zahlreiche Werkstoffmetalle können sich auf Grund ihres unedlen Charakters in Wasser unter Wasserstoffentwicklung auflösen, besonders unter dem Einfluß von Luftsauerstoff, der den Wasserstoff oxydiert. Darauf beruht die oberflächliche *Korrosion* dieser Metalle, z. B. das Rosten von Eisen. Häufig sind dabei submikroskopisch kleine galvanische Elemente, sogenannte *Lokalelemente*, wirksam. In einer erweiterten elektrochemischen Spannungsreihe lassen sich auch Nichtmetalle sowie die Normalpotentiale von allen Oxydations- und Reduktionsvorgängen einordnen.

Normalpotentiale einiger Nichtmetalle und einiger Ionenumladungen

Red.	Ox.	+ e	E_0 (Volt)
S^{2-}	$\rightleftarrows S$	+ 2e	− 0,51
Fe^{2+}	$\rightleftarrows Fe^{3+}$	+ e	+ 0,75
$2Cl^-$	$\rightleftarrows Cl_2$	+ 2e	+ 1,36
$Mn^{2+} + 4H_2O$	$\rightleftarrows MnO_4^- + 8H^+$	+ 5e	+ 1,52
Pb^{2+}	$\rightleftarrows Pb^{4+}$	+ 2e	+ 1,69
$2F^-$	$\rightleftarrows F_2$	+ 2e	+ 2,8

Technisch wichtige galvanische Elemente. Von der großen Zahl der möglichen galvanischen Elemente haben einige praktische Bedeutung erlangt.

Bleiakkumulator. Dieser Akkumulator enthält in einem säurefesten Gehäuse aus Glas oder Hartgummi 20%ige Schwefelsäure der Dichte 1,15 bis 1,24 g/cm³, in der sich zwei oder mehr Gitterplatten aus Hartblei eng gegenüberstehen. Die braune, mit Bleidioxyd, PbO_2, gefüllte Platte ist der positive Pol, die graue, mit feinverteiltem Blei gefüllte der negative. In diesem Zustand ist der Akku geladen und wirkt als *galvanisches Element*. Verbindet man beim Entladen die beiden Pole, dann reagiert am negativen Pol das Blei mit der Schwefelsäure unter Abgabe von 2 Elektronen zu Blei(II)-sulfat, $Pb + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2H^+ + 2e$. Das Blei wird zu zweiwertigem Blei oxydiert. Die Elektronen fließen durch den äußeren Leiter als elektrischer Gleichstrom zum positiven Pol und bewirken hier eine Reduktion des vierwertigen Bleis im Bleidioxyd zu zweiwertigem Blei, das mit Schwefelsäure ebenfalls Blei(II)-sulfat ergibt, $PbO_2 + 2H^+ + 2e + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$. In der Abbildung ist die technische Stromrichtung vom Plus- zum Minuspol angegeben. Durch Addition der beiden Gleichungen erhält man die Gesamtreaktionsgleichung des im Bleiakkumulator ablaufenden Redoxvorganges:



Bleiakkumulator (schematisch)

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{\text{Laden}}{\overset{\text{Entladen}}{\rightleftarrows}} 2\,PbSO_4 + 2H_2O.$$

Beim Entladen entsteht auf beiden Gitterplatten weißes Bleisulfat. Schwefelsäure wird dabei verbraucht, ihre Dichte nimmt ab. Beim Laden werden diese Vorgänge durch Zuführen von Gleichstrom an den Elektroden wieder rückgängig gemacht. Das Laden des Akkus ist eine *Elektrolyse*. Die Schwefelsäurekonzentration steigt wieder auf den ursprünglichen Wert. Der Bleiakkumulator liefert 2,0 bis 2,02 Volt Spannung, seine Kapazität beträgt 4 Amperestunden je dm² Plattengröße, der Nutzeffekt ist 80%.

Nife- und Stahlakkumulator. Im geladenen *Nifeakkumulator* (Ni: Nickel, Fe: Eisen; auch *Edison-Akkumulator*) stehen sich je eine mit Eisenpulver und je eine mit Nickel(III)-

hydroxyd bedeckte Platte in Kalilauge gegenüber. Die chemischen Reaktionen beim Entladen und Laden sind:

$$Fe + 2\,Ni(OH)_3 \underset{\text{Laden}}{\overset{\text{Entladen}}{\rightleftarrows}} Fe(OH)_2 + 2\,Ni(OH)_2.$$

Die Spannung beträgt 1,2 bis 1,4 Volt, der Nutzeffekt nur 50%. Der Nifeakkumulator zeichnet sich durch eine günstigere Nutzlast, größere Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen und Entnahme großer Stromstärken vor dem Bleiakkumulator aus. Sein Nutzeffekt steigt auf 57%, wenn man an Stelle von Eisen *Kadmium* verwendet. Eine Abart ist der *Stahlakkumulator*. Er besteht aus vernickelten Stahlelektroden, die in verdünnte Kalilauge eintauchen, die etwas Lithiumhydroxyd enthält. Sein Wirkungsgrad ist 72%.

Leclanché-Element. In diesem galvanischen Element dienen amalgamiertes *Zink* (meist in Form eines Zinkbechers) als negativer und ein mit *Braunstein*, MnO_2, umgebener *Kohlestab* als positiver Pol in *Ammoniumchloridlösung*. Bei Stromfluß gehen Zinkionen in Lösung und vereinigen sich mit mehreren Ammoniakmolekülen, NH_3, die aus dem Ammoniumchlorid, NH_4Cl, stammen, zu komplexen Kationen, $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$. Die Wasserstoffionen der dadurch frei werdenden Salzsäure, HCl, werden in demselben Maße am Kohlestab zu Wasserstoff entladen. Dieser wird von Braunstein zu Wasser oxydiert. Das Leclanché-Element liefert eine Spannung von etwa 1,5 Volt. Die Ammoniumchloridlösung wird zur bequemeren Handhabung durch Stärke, Asbest, Sägemehl oder Gips aufgesaugt. In *Trockenbatterien* und *Anodenbatterien* sind mehrere derartige Trockenelemente hintereinandergeschaltet und dienen als Stromquelle für Kofferradios, Taschenlampen und Klingelanlagen. Eine Abart des Leclanché-Elements ist das *Luftsauerstoffelement*, in dem der teure Braunstein durch Aktivkohle ersetzt ist, die die Oxydation des abgeschiedenen Wasserstoffs durch den Luftsauerstoff katalysiert. Als Elektrolyt dient hier Kalilauge.

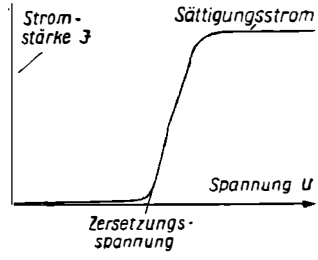
Brennstoffelement. Im Brennstoffelement werden flüssige oder gasförmige Brennstoffe (z. B. Benzin, Propan, Wasserstoff oder andere brennbare Stoffe, wie Kohlenmonoxyd) mit Sauerstoff unmittelbar zur Stromerzeugung oxydiert. Den meisten bisher entwickelten Brennstoffelementen liegt die elektrochemische Ausnutzung der *Knallgasreaktion* (Vereinigung von Wasserstoff mit Sauerstoff) zugrunde. Dazu sind spezielle *Gaselektroden* erforderlich, z. B. nach bestimmten Verfahren hergestellte poröse *Nickelelektroden*, die Propan oder Glykol bereits bei Zimmertemperatur katalytisch dehydrieren und den *atomaren Wasserstoff in Wasserstoffionen* überführen. Als Sauerstoffelektrode verwendet man *feinverteiltes* Silber, z. B. mit Silber imprägnierte Kohle mit Polyäthylen als Bindemittel. Brennstoffelemente finden als Akkumulatoren mit hoher spezifischer Kapazität in der Luftfahrt und in der Raketentechnik in Satelliten Verwendung. In Brennstoffelementen läßt sich die gespeicherte chemische Energie der Brennstoffe mit *höherem Wirkungsgrad* in Elektroenergie umwandeln als in Wärmekraftwerken und Wärmekraftmaschinen; sie sind stark in der Entwicklung begriffen.

ELEKTROLYSE

Als Elektrolyse bezeichnet man alle durch Gleichstrom hervorgerufenen chemischen Veränderungen in *Elektrolytlösungen* oder *Salzschmelzen*. Diese enthalten positiv und negativ geladene *Ionen*, die bei der Elektrolyse unter der Wirkung einer angelegten Spannung zu den entgegengesetzt geladenen Polen *wandern*. Diese Pole bestehen aus *Elektroden*, die in die Elektrolytlösung bzw. Salzschmelze eintauchen und ihr den elektrischen Strom zuleiten. Die positiven Ionen oder *Kationen* wandern zur negativ geladenen Elektrode, der *Kathode*, und die negativen Ionen oder *Anionen* zur positiv geladenen Elektrode, der *Anode*. Den Kationen werden an der Kathode Elektronen zugeführt (*kathodische Reduktion*); ihre positive Ladung wird dadurch herabgesetzt. Sie werden entweder in eine niedere Oxydationsstufe übergeführt, z. B. Fe^{3+}-Ionen in Fe^{2+}-Ionen, oder vollständig entladen, z. B. Ag^+-Ionen zu Silber, Ag, oder Wasserstoffionen, H^+, zu Wasserstoff, H_2. Den Anionen werden an der Anode Elektronen entzogen (*anodische Oxydation*); die Anzahl ihrer negativen Ladungen wird vermindert. Die grünen Manganat(VI)-Ionen, MnO_4^{2-}, lassen sich z. B. durch anodische Oxydation in die violetten Manganat(VII)- oder Permanganationen, MnO_4^-, überführen. Das Mangan geht dabei aus dem elektropositiv sechswertigen in den siebenwertigen Zustand über. Chloridionen, Cl^-, werden zu Chlor, Cl_2, entladen. Die *abgeschiedenen Ionen* sind nicht immer beständig. Sie reagieren mit sich selbst, mit der Lösung oder dem Elektrodenmaterial weiter (*Sekundärreaktionen*); entladene Hydroxylionen vereinigen sich z. B. unter Bildung von Wasser und Sauerstoff, $2\,OH \rightarrow H_2O + {}^1/_2O_2$; teilweise entsteht auch Wasserstoffperoxyd, $2\,OH \rightarrow H_2O_2$. Der atomare Sauerstoff ist sehr reaktionsfähig und kann die aus einem Metall bestehende Anode oberflächlich oxydieren, so daß der Stromfluß schließlich durch eine nichtleitende Oxydschicht unterbrochen wird. Hiervon macht man bei der *Passivierung* von Metallen Gebrauch, z. B. beim *Eloxieren* von Aluminium oder beim *Elomagieren* von Magnesium und deren Legierungen. Man überzieht die Metalle durch anodische Oxydation mit einer 0,002 bis 0,02 mm dicken Oberflächenoxydschicht, um sie chemisch widerstandsfähig zu machen und vor *Korrosion* zu schützen. Die bei der Elektrolyse an der Kathode und Anode gebildeten Produkte müssen meist getrennt aufgefangen werden, da sie sich sonst wieder miteinander umsetzen würden. Deshalb ist auch innerhalb des Elektrolyten eine Unterteilung durch ein *Diaphragma* in *Kathoden-* und *Anodenraum* erforderlich.

Elektrolytische Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeit der Elektrolyte beruht auf dem Transport positiver und negativer elektrischer Ladungen durch Kationen und Anionen. Da diese Ionen an den Elektroden umgeladen oder entladen werden, unterliegen elektrolytische Leiter zum Unterschied von metallischen Leitern beim Durchgang von Gleichstrom einer Zersetzung. Die elektrolytische Leitfähigkeit einer Lösung hängt von der *Ionenkonzentration* bzw. *Ionenaktivität* ab. Weiterhin sind die Temperatur, die Dielektrizitätskonstante und die Viskosität der Lösung sowie die Beweglichkeit der Ionen für die Leitfähigkeit von Bedeutung. Unter *Ionenbeweglichkeit* versteht man die Wanderungsgeschwindigkeit in Zentimeter je Sekunde, cm/s, mit der sich ein Ion unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes von 1 Volt/cm fortbewegt. Sie liegt bei Elektrolytlösungen in der Größenordnung von 10^{-4} cm/s. Die *spezifische Leitfähigkeit* χ ($\Omega^{-1}\,cm^{-1}$) ist gleich dem reziproken Wert des spezifischen Widerstandes und wird bei Elektrolyten wie dieser auf eine Flüssigkeitssäule von 1 cm Länge und 1 cm^2 Querschnitt bezogen. Die *Äquivalentleitfähigkeit* λ ist der Quotient aus spezifischer Leitfähigkeit und der Normalität einer Lösung, d. h. der Anzahl der im Liter enthaltenen Grammäquivalente, in der Elektrochemie auch als *elektrochemische Äquivalente* bezeichnet. Leitfähigkeitsmessungen an Elektrolyten werden meist mit Wechselstrom durchgeführt.

Zersetzungsspannung. Die Elektrolyse einer Elektrolytlösung oder Salzschmelze setzt erst oberhalb einer angelegten *Mindestspannung* oder *Zersetzungsspannung* ein. Die an den Elektroden abgeschiedenen Elektrolyseprodukte wirken wie ein galvanisches Element, dessen Spannung der angelegten Spannung entgegengerichtet ist; bei der Elektrolyse von Salzsäure z. B. beladen sich die beiden in die Lösung tauchenden Elektroden oberflächlich mit Wasserstoff und Chlor, $2\,HCl + \text{Gleichstrom} \rightleftarrows H_2 + Cl_2$. Eine Wasserstoff- und eine Chlorelektrode mit Salzsäure als Elektrolyten bilden jedoch ein *galvanisches Element*, in dem sich umgekehrt Wasserstoff und Chlor unter Erzeugung von Gleichstrom zu Salzsäure vereinigen. Die bei der Elektrolyse angelegte Spannung muß größer sein als die durch das betreffende galvanische Element erzeugte *Gegenspannung*. Erst dann beginnt der Gleichstrom durch eine Elektrolytlösung oder Salzschmelze zu fließen. Man bezeichnet diese Erscheinung als *Abscheidungspolarisation* und die Zersetzungsspannung auch als *Abscheidungsspannung*.



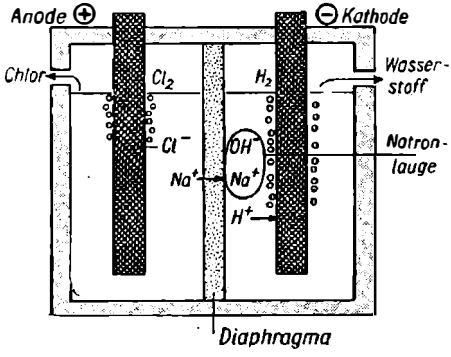
Abhängigkeit zwischen Stromstärke und Spannung bei der Elektrolyse (schematisch)

Oberhalb der Zersetzungsspannung nimmt die Stromstärke *I* entsprechend dem *Ohmschen Gesetz* mit der Spannung *U* zunächst linear zu. Sie erreicht jedoch einen *Sättigungswert*, wenn die Abscheidungsgeschwindigkeit der Ionen an den Elektroden größer ist als die *Wanderungsgeschwindigkeit* zur Elektrodenoberfläche. Die Stromstärke ist in diesem Bereich von einer Spannungsänderung weitgehend unabhängig. Sie hängt lediglich von der Diffusionsgeschwindigkeit der zur Entladung gelangenden Ionen ab, und diese ist um so größer, je höher die Konzentration in der Lösung ist. Diese Erscheinung heißt *Konzentrationspolarisation*. Auf ihr beruht die *Polarographie*, eine elektrochemische Analysenmethode zur qualitativen und quantitativen Bestimmung reduzierbarer Kationen, mancher Anionen und bestimmter organischer Verbindungen an einer tropfenden Quecksilberelektrode. Häufig ist zur Abscheidung einer Ionenart eine über die Zersetzungsspannung hinausgehende Spannung, eine sogenannte *Überspannung*, notwendig. Sie ist am auffälligsten beim Wasserstoffion, dessen Überspannung an Quecksilber so groß ist, daß man sogar Natriumionen vor ihm aus wäßriger Lösung abscheiden kann. Darauf beruht das Amalgamverfahren zur Gewinnung von Natronlauge.

Faradaysche Gesetze. Faraday untersuchte die quantitativen Beziehungen zwischen den bei elektrochemischen Vorgängen umgesetzten Stoff- und Elektrizitätsmengen. *1. Faradaysches Gesetz:* Die bei der Elektrolyse abgeschiedene Stoffmenge ist der durch den Elektrolyten geflossenen Elektrizitätsmenge (Stromstärke mal Zeitdauer des Stromflusses) proportional. *2. Faradaysches Gesetz:* Die durch gleiche Elektrizitätsmengen aus verschiedenen Elektrolyten abgeschiedenen Stoffmengen verhalten sich wie deren Äquivalentgewichte. Durch die Strommenge $F = 96490$ Coulomb wird stets 1 *Grammäquivalent* eines Stoffes abgeschieden, d. h. 1 Grammatom oder 1 Grammolekül (1 Mol) dividiert durch die Wertigkeit, z. B. 1 Mol Wasserstoffionen (1,008 g), H^+, oder 1 Mol Chloridionen (35,456 g), Cl^-, $^1/_2$ Mol Kupferionen (63,54 g : 2 = 31,77 g), Cu^{2+}, oder $^1/_3$ Mol Aluminiumionen (26,98 g : 3 = 8,99 g), Al^{3+}. Die Strommenge 96490 Coulomb heißt auch *Faradaysche Zahl* (1 *Faraday*); sie ist der von $6{,}023 \cdot 10^{23}$ einwertigen Ionen transportierten Ladungsmenge gleich. Die elektrische *Elementarladung* und damit auch die Ladung des Elektrons beträgt von demnach 96490 Coulomb dividiert durch $6{,}023 \cdot 10^{23} = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

Technisch wichtige Elektrolyseverfahren. Zahlreiche Produkte der anorganisch chemischen Großindustrie werden durch Elektrolyse gewonnen. Die *Chloralkali-Elektrolyse* dient zur Herstellung von Wasserstoff, Natronlauge und Chlor aus Kochsalz (Abb.).
Bei der Elektrolyse einer wäßrigen Kochsalzlösung werden an der Kathode die im Wasser enthaltenen Wasserstoffionen, H^+, zu gasförmigem Wasserstoff entladen. Die zurückbleibenden Hydroxyl-

ionen, OH^-, bilden mit den Natriumionen, Na^+, der Kochsalzlösung Natronlauge, NaOH. An der Anode werden die Chloridionen, Cl^-, zu Chlor oxydiert. Beim Amalgamverfahren werden an der aus Quecksilber bestehenden Kathode die Natriumionen unter Bildung einer Quecksilberlegierung entladen. Das Natriumamalgam wird anschließend mit Wasser zu Natronlauge und Quecksilber umgesetzt. Die *elektrolytische Wasserzersetzung* in Wasserstoff und Sauerstoff wird gegenwärtig hauptsächlich zur *Deuteriumanreicherung* durchgeführt. Das schwere Wasser, D_2O, wird etwas langsamer zersetzt als gewöhnliches Wasser. Die *Galvanostegie* oder *Elektroplattierung* ist ein Verfahren, um dünne galvanische Überzüge aus korrosionsbeständigen Metallen wie Nickel, Chrom oder Edelmetallen herzustellen, z. B. von Silber oder Gold auf Eisen. Man scheidet die oft nur hauchdünnen Überzüge aus galvanischen Bädern ab, in denen die Salze dieser Metalle gelöst sind. Die *Galvanoplastik* besteht in der Herstellung metallischer Kopien von Gegenständen durch elektrolytische Abscheidung einer dünnen Kupferschicht auf der Oberfläche eines Gipsnegativs, das man sich von dem nachzubildenden Gegenstand anfertigt. Um seine Oberfläche leitend zu machen, bestäubt man sie mit Graphitpulver und hängt das Negativ als Kathode in ein galvanisches Bad. Die dünne galvanische Schicht wird anschließend abgehoben und mit einem entsprechenden Material ausgegossen. Zahlreiche *Metalle* werden durch *Elektrolyse* ihrer geschmolzenen Salze gewonnen, z. B. Natrium, Kalium, Lithium, Beryllium, Magnesium, Kalzium, Aluminium, Zereisen u. a. *Natrium* wird durch Elektrolyse von geschmolzenem Kochsalz, dem man zur Erniedrigung des Schmelzpunktes Kalziumchlorid zugesetzt hat, bei 600 °C gewonnen. Es scheidet sich an der Kathode flüssig ab und wird von dem anodisch entwickelten Chlor getrennt aufgefangen. Die Schmelze wird durch die Stromwärme flüssig gehalten. Zur Gewinnung von *Aluminium* wird gereinigtes Aluminiumoxyd, Al_2O_3, in geschmolzenem Kryolith, Na_3AlF_6, gelöst und bei etwa 950 °C in Aluminium und Sauerstoff elektrolytisch zerlegt.



Chloralkali-Elektrolyse einer wäßrigen Kochsalzlösung zur Gewinnung von Natronlauge, Chlor und Wasserstoff nach dem Diaphragmaverfahren (schematisch)

VI. Anorganische Stoffe

Zu den anorganischen Stoffen gehören alle Elemente und die Verbindungen aus ihnen mit Ausnahme der überwiegenden Mehrzahl der Kohlenstoffverbindungen, die man zu den organischen Stoffen zählt. Die einfachen Kohlenstoffverbindungen, die *Karbide*, die *Kohlenstoffoxyde* sowie die *Kohlensäure und ihre Salze*, die Karbonate, haben allerdings ausgesprochen anorganischen Charakter. Man bezeichnet das Teilgebiet der Chemie, das die Erforschung der Eigenschaften, Zusammensetzungen, Darstellungsmöglichkeiten und Reaktionsweisen der anorganischen Stoffe umfaßt, als *anorganische Chemie*. Außer mit dem Studium der mineralischen Stoffe befaßt sich die anorganische Chemie mit Tausenden von Stoffen, die in der Natur auf Grund ihrer großen Reaktionsfähigkeit nicht vorkommen oder nur kurze Zeit beständig sind. Eine der wesentlichsten Aufgaben der anorganischen Chemie ist das Auffinden allgemeiner Gesetzmäßigkeiten, die Suche nach den oft verborgenen Zusammenhängen zwischen der Vielzahl von Elementen und Verbindungen. Aus der Erkenntnis der periodischen Wiederkehr zahlreicher Eigenschaften in der Reihe der nach steigendem Atomgewicht angeordneten Elemente ergab sich das *Periodensystem der chemischen Elemente*. Es bildet die wichtigste Grundlage der anorganischen Chemie.

Man unterscheidet im Periodensystem *Metalle* und *Nichtmetalle*; die Metalle stehen auf der linken Seite, die Nichtmetalle auf der rechten. In jeder senkrechten Gruppe nimmt der metallische Charakter von oben nach unten, also mit steigendem Atomgewicht, zu. Zwischen den Metallen und Nichtmetallen besteht ein stetiger Übergang. Die Grenze verläuft schräg durchs Periodensystem und liegt etwa bei den Elementen Bor, Graphit, Silizium, Gallium, Germanium, graues Zinn, schwarzer Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut, Tellur, Polonium, Astat. Diese Elemente haben sowohl metallische als auch nichtmetallische Eigenschaften. Man bezeichnet sie daher als *Halbmetalle*. Auch die in ihrer Nähe angeordneten Metalle Beryllium, Aluminium, Zink, Kadmium, Quecksilber, Indium und Zinn lassen in ihrem Verhalten deutlich nichtmetallische Eigenschaften erkennen. Die metallischen Eigenschaften sind am stärksten bei den im Periodensystem links unten stehenden Elementen ausgeprägt, z. B. beim Zäsium. Die nichtmetallischen Eigenschaften treten am deutlichsten bei den Elementen rechts oben im Periodensystem hervor, z. B. beim Fluor.

Gegenüberstellung der Eigenschaften der Metalle, Halbmetalle und Nichtmetalle

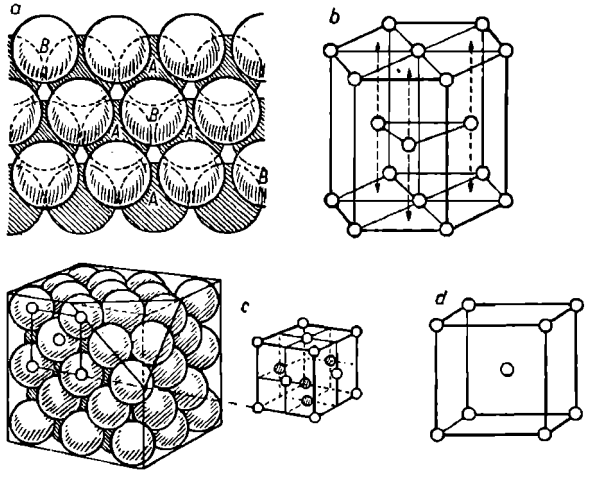
Metalle	Halbmetalle	Nichtmetalle
der metallische Zustand ist an den festen oder flüssigen Aggregatzustand gebunden		alle gasförmigen Elemente sind Nichtmetalle
gute elektrische Leiter, die Stromleitung beruht auf Elektronenwanderung. Die elektrische Leitfähigkeit nimmt mit abnehmender Temperatur zu	zeigen Halbleitereigenschaften. Die elektrische Leitfähigkeit ist sehr klein und nimmt mit steigender Temperatur zu; bei manchen (z. B. Selen) steigt sie beim Belichten sprunghaft an	Nichtleiter oder Isolatoren. Die Lösungen und Schmelzen von Verbindungen, die Nichtmetalle enthalten, leiten den Strom mittels der durch elektrolytische Dissoziation erzeugten Ionen
das Wärmeleitvermögen ist der elektrischen Leitfähigkeit proportional	schlechte Wärmeleiter	Wärmeisolatoren
undurchsichtig; das hohe Lichtreflexionsvermögen bedingt den metallischen Glanz	grau bis schwarz und weniger glänzend	meist farblos und durchsichtig, durch selektive Lichtabsorption sind manche gefärbt
Vorherrschen der metallischen Bindung	Übergang von der metallischen zur Atombindung	Atombindung und van der Waalssche Bindung
die Kristallstrukturen der meisten Metalle sind einfach und durch hohe Symmetrie sowie hohe Koordinationszahlen (12 oder 8) gekennzeichnet	bilden Kristallgitter, in denen jedes Atom nur 2 bis 4 nächste Nachbarn hat. Tellur, Te, bildet ein Kettengitter; Arsen, As, Antimon, Sb, Wismut, Bi, bilden ein Schichtengitter; Silizium, Si, Germanium, Ge, graues Zinn, Sn, ein Diamantgitter. Diese Strukturen sind den Gittern der Nichtmetalle mit Atombindung ähnlich	Bor und Kohlenstoff bilden ein makromolekulares Atomgitter, alle anderen Molekülgitter, mit Ausnahme der Edelgase, deren Strukturen denen der Metalle ähnlich sind
Metalloxyde sind Basenanhydride; sie bilden mit Wasser Basen und mit Säuren Salze	die Oxyde sind amphoter, d. h., sie bilden sowohl mit Säuren als auch mit Basen salzartige Verbindungen	Nichtmetalloxyde sind Säureanhydride, sie bilden mit Wasser Säuren und mit Basen Salze
bilden bevorzugt Kationen	bilden sowohl Kationen als auch Anionen	bilden bevorzugt Anionen; entweder treten sie selbst negativ auf oder in Form komplexer Anionen, z. B. Sulfid, S^{2-}, und Sulfat, SO_4^{2-}.

METALLE

Mehr als 80% der chemischen Elemente haben metallischen Charakter. Der Zusammenhalt der Atome wird bei ihnen durch die *metallische Bindung* bewirkt. Die *Valenzelektronen* befinden sich im Metallverband auf sehr hohen Energieniveaus. Sie sind praktisch von den Atomen losgelöst und bilden eine Art Elektronengas, das die kugelförmigen Metallkationen umgibt. Auf Grund ihrer gleichen Größe und der nach allen Seiten gleichmäßig wirkenden elektrostatischen Abstoßungskraft kommt es zur Ausbildung hochsymmetrischer Strukturen. Mit Ausnahme von Mangan kristallisieren alle echten Metalle in hexagonal oder kubisch dichtester Kugelpackung oder in einem kubisch raumzentrierten Gitter (Abb.) bzw. in mehreren dieser Strukturen.

Man kann sich die dichteste Kugelpackung durch Übereinanderlegen von Kugelschichten entstanden denken. Jede Kugel ist von 12 anderen Kugeln gleichmäßig umgeben, von sechs in der eigenen Schicht und von je drei in der darüber und darunter befindlichen Schicht. Bezeichnet man die Kugeln einer Schicht mit *A* und die darüber befindliche Schicht mit *B*, dann ergeben sich für die Kugeln *C* einer dritten Schicht zwei Anordnungsmöglichkeiten, weil die 6 dreieckförmigen freien Räume, die um jede Kugel *B* liegen, verschieden sind: unter dreien dieser Räume findet man

Kugeln der Schicht *A*, unter den drei anderen noch keine Kugeln. Bei der *hexagonal dichtesten Kugelpackung* liegt die dritte Schicht wieder über der ersten, so daß sich die Schichtenfolge *ABAB*... ergibt (Abb. *b*). In der *kubisch dichtesten Kugelpackung* liegen die Atome der *C*-Schicht auf den Lücken, die durch die beiden unteren Schichten hindurchgehen. Es ergibt sich die Schichtenfolge *ABCABC*... Der Zusammenhang zwischen kubisch dichtester Packung und dem kubisch flächenzentrierten Gitter wird in Abbildung *c* deutlich. Die dicht gepackten Kugelschichten liegen in Richtung der Würfeldiagonalen. Im *kubisch raumzentrierten Gitter* ist die Raumerfüllung nicht so groß wie bei den anderen Strukturtypen. Jedes Teilchen ist hier von acht anderen gleichmäßig umgeben. Die Struktur entspricht dem Zäsiumchlorid-Gitter (Abb. *d*).



Metallstrukturen

a dichteste Kugelpackung; b hexagonal dichteste Kugelpackung, z. B. bei Magnesium, Mg; Beryllium, Be; Zink, Zn; Kadmium, Cd; Titan, Ti; Rhenium, Re; Osmium, Os; c kubisch dichteste Kugelpackung, kubisch flächenzentriertes Gitter, z. B. bei Kalzium, Ca; Aluminium, Al; Kupfer, Cu; Silber, Ag; Gold, Au; Blei, Pb; Platin, Pt; Iridium, Ir; γ-Eisen; d kubisch raumzentriertes Gitter, z. B. bei Lithium, Li; Natrium, Na; Kalium, K; Rubidium, Rb; Zäsium, Cs; Chrom, Cr; Molybdän, Mo; Wolfram, W; α-Eisen

Das zum Verständnis der Metallstrukturen nützliche Modell von sich berührenden Ionenkugeln stimmt jedoch mit der Wirklichkeit nicht ganz überein. Die Ionen sind relativ weit voneinander entfernt. Man muß sich die Ionen aus der Kugelpackung unter Erhaltung der Symmetrie auseinandergerückt vorstellen; im Magnesium z. B. nehmen die Mg^{2+}-Ionen nur 14% des Kristallvolumens ein. Die übrigen 86% des Raumes sind von dem fast gewichtslosen Elektronengas erfüllt.

Die technisch besonders wertvollen dehnbaren und schmiedbaren Metalle kristallisieren meist in der kubisch dichtesten Packung. Die in den beiden anderen Strukturen vorkommenden Metalle sind deutlich weniger gut schmiedbar, härter und brüchiger. Die Sonderstellung des Eisens als Angehöriger beider Gruppen verleiht ihm seine besondere metallurgische Bedeutung. *Leichtmetalle* haben eine kleinere, *Schwermetalle* eine größere Dichte als 4,5 g/cm³.

Wichtige physikalische Konstanten der Metalle

Metall	Schmelzpunkt in °C	Siedepunkt in °C	Dichte in g/cm³ bei 20 °C	100facher spezifischer Widerstand in Ω · cm	Härte nach Brinell
Aluminium	660,2	2270	2,70	2,41	16
Amerizium	—	—	11,87	—	—
Antimon	630,5	1640	6,69	38,6	30
Barium	710	1696	3,65	—	42
Beryllium	1285	2970	1,86	6,6	60
Blei	327,4	1750	11,34	18,8	3
Chrom	1830	≈2300	7,2	15,0	70
Curium	—	—	—	—	—
Eisen	1528	2735	7,86	8,7	45
Gallium	29,78	≈2000	5,91	39,5	—

Fortsetzung von S. 322

Metall	Schmelzpunkt in °C	Siedepunkt in °C	Dichte in g/cm³ bei 20 °C	100facher spezifischer Widerstand in Ω · cm	Härte nach Brinell
Germanium	958,5	2700	5,323	89,000	—
Gold	1063	2700	19,3	2,04	—
Hafnium	2220	≈5200	13,31	30	—
Indium	156,4	≈2300	7,31	8,2	1
Iridium	2454	≈4500	22,65	4,58	—
Kadmium	320,9	767	8,64	6,3	35
Kalium	63,5	760,0	0,86	6,38	0,037
Kalzium	845	1439	1,54	4,3	13
Kobalt	1490	3100	8,83	5,06	125
Kupfer	1083	2350	8,92	1,55	50
Lanthan	826	—	6,18	—	—
Lithium	179	1340	0,534	8,55	—
Magnesium	650	1100	1,74	4,18	—
Mangan	1247	2030	7,21	23	—
Molybdän	2600	≈4800	10,2	5,03	160
Natrium	97,8	883	0,966	4,34	0,07
Neptunium	640	—	19,5	—	—
Nickel	1452	2840	8,90	6,05	70
Niob	2470	≈5100	8,58	13	250
Osmium	≈2700	≈4600	22,7	9,66	—
Palladium	1555	3170	12,03	10,88	50
Platin	1774,1	≈3800	21,45	9,8	50
Plutonium	640	—	19,83	—	—
Promethium	—	—	—	—	—
Protaktinium	—	≈4200	15,37	—	—
Quecksilber	−38,84	356,95	13,595	—	—
Radium	≈700	1140	≈6	—	—
Rhenium	3150	≈5500	20,9	19,8	250
Rhodium	1966	≈3900	12,42	4,3	110
Rubidium	39,0	696	1,52	11	0,022
Ruthenium	≈2400	≈4200	12,30	—	—
Silber	960,5	1980	10,50	1,49	20
Skandium	≈1400	—	3,1	—	—
Strontium	757	1366	2,60	30,7	—
Tantal	3010	≈6000	16,69	12,4	30
Technetium	—	—	11,50	—	—
Thallium	302,5	≈1450	11,83	15,0	3
Thorium	1800	≈4200	11,71	12,0	40
Titan	1670	3260	4,49	43,5	160
Uran	1130	≈3500	19,0	30,6	(470)
Vanadin	1715	≈3500	5,98	19	260
Wismut	271	1560	9,80	101	9
Wolfram	3400	≈5700	19,1	4,91	250
Yttrium	≈1500	—	4,34	—	—
Zäsium	28,45	708	1,87	19	0,015
Zer	815	1400	6,8	78	21
Zink	419,4	906	7,13	4,8	35
Zinn	231,8	2362	7,28	—	4
Zirkonium	1855	≈3600	6,52	41,0	80

Die folgende Tabelle enthält Extremwerte einiger physikalischer Konstanten der Metalle.

Grenzwerte

Schmelzpunkt	höchster	3400 °C	Wolfram	niedrigster danach	− 38,84 °C + 28,45 °C	Quecksilber Zäsium
Siedepunkt	höchster	≈5700 °C	Wolfram	niedrigster danach	356,95 °C 696 °C	Quecksilber Rubidium
Dichte	größte	22,7 g/cm³	Osmium	kleinste	0,534 g/cm³	Lithium
Wärmeleitfähigkeit	beste danach		Silber Kupfer	schlechteste danach		Quecksilber Wismut
elektrische Leitfähigkeit	beste danach		Silber Kupfer	schlechteste		Germanium
Härte	größte		Vanadin	kleinste Schwermetalle danach Leichtmetalle		Indium Blei Alkalimetalle
Sauerstoffempfindlichkeit	keine		Edelmetalle	größte		Alkalimetalle
Säurefestigkeit	größte		Rhodium, Tantal	keine		Alkalimetalle

Alkalimetalle. Die Metalle der I. Hauptgruppe des Periodensystems werden Alkalimetalle genannt. Sie sind sehr weich, haben silberweißen Glanz und eine relativ kleine Dichte. Lithium, Natrium und Kalium sind leichter als Wasser. Man kann sie mit einem Messer schneiden und bereits in der Kälte zu Draht pressen. Die Schmelzpunkte sind niedrig und nehmen mit steigendem Atomgewicht ab. Die Alkalimetalle sind chemisch außerordentlich reaktionsfähig und treten in ihren Verbindungen ausschließlich einwertig auf. Sie sind starke Reduktionsmittel, zersetzen Wasser unter Wasserstoffentwicklung und überziehen sich an feuchter Luft sofort mit einer Hydroxydkruste. Die wäßrige Lösung der Alkalimetalloxyde, Me_2O, bzw. -hydroxyde, MeOH, reagieren stark alkalisch. Natrium- und Kaliumhydroxyd sind schon seit langem unter dem Namen *Alkalien* bekannt. Auf Grund ihrer stark ätzenden Wirkung ist auch die Bezeichnung *Ätzalkalien* gebräuchlich. Die *Basizität* (Basenstärke) nimmt mit steigendem Atomgewicht zu. Die Alkalimetalle lassen sich bereits durch eine Gasflamme zum Aussenden charakteristischer Spektren anregen.

Lithium, Li. Dieses Alkalimetall ist ein häufiger Begleiter von Natrium und Kalium. Ein wichtiges Mineral ist der *Amblygonit*, $LiAl[PO_4]F$. Manche Pflanzen, wie z. B. Tabak und Holunder, nehmen Lithiumsalze aus dem Erdboden bevorzugt auf, so daß diese in ihrer Asche angereichert vorliegen. Lithium wird durch *Schmelzelektrolyse* von Lithiumchlorid, LiCl, dargestellt. Es ist das leichteste Metall und wird als Legierungsbestandteil in bestimmten Stählen und Bleilagermetallen verwendet. Manche Lithiumsalze dienen als Heilmittel gegen Gicht.

Natrium, Na, und *Kalium*, K. Der Anteil des Natriums an der Zusammensetzung der Erdkruste beträgt 2,6%, der des Kaliums 2,4%. Die häufigsten Vorkommen sind die Silikate, z. B. *Feldspäte* und *Glimmer*. Bei der Verwitterung werden die Alkalimetallionen aus den Silikaten ausgewaschen und gelangen in Form der Chloride und Karbonate ins Meerwasser. Auf dem Wege zum Meer werden jedoch die Kaliumionen von bestimmten porösen Silikaten des Ackerbodens, den sogenannten *Zeolithen*, bevorzugt adsorbiert. Daher überwiegen im Meerwasser bei weitem die Natriumsalze. Durch Eintrocknen bestimmter Meeresteile in früheren erdgeschichtlichen Epochen, z. B. in der Zechsteinformation, sind die Salzlagerstätten entstanden. Sie bilden heute die wichtigste Rohstoffquelle für die Gewinnung der Alkalimetalle und ihrer Verbindungen. Natrium wird durch *Schmelzelektrolyse* von Natriumchlorid, NaCl, dargestellt, Kalium durch Elektrolyse von geschmolzenem Kaliumhydroxyd. Natrium wird verwendet als Reduktionsmittel sowie zur Herstellung von Natriumzyanid, NaCN, Natriumperoxyd, Na_2O_2, und Natriumamid, $NaNH_2$; Kalium in *Photozellen*. Kaliumsalze, z. B. Kaliumchlorid, KCl, dienen zur künstlichen Düngung. Kalium enthält zu 0,0119% das Isotop Kalium 40. Dieses ist radioaktiv und zerfällt zu 88% unter Betastrahlung in Kalzium 40 und zu 12% unter E-Einfang in Argon 40. Die beim Zerfall frei werdende Energie hat wesentlichen Anteil am Energiehaushalt der Erde.

Rubidium, Rb, und *Zäsium* (*Caesium*), Cs. Sie wurden 1860 von R.W. Bunsen und G.R. Kirchhoff im Dürkheimer Mineralwasser mit Hilfe der Spektralanalyse entdeckt. Beide Metalle verhalten sich chemisch ähnlich wie Kalium und werden in empfindlichen Photozellen verwendet.

Rubidium ist schwach radioaktiv. Die Elemente wurden nach der Farbe charakteristischer Linien in ihrem Spektrum benannt (lat. *rubidus*, dunkelrot; *caesius*, blaugrau).

Franzium (*Francium*), Fr. Dieses schwerste, radioaktive Alkalimetall wurde 1939 von M. Perey entdeckt und nach ihrem Heimatland Frankreich benannt. Das langlebigste Isotop, ^{223}Fr, (Alphastrahler, Halbwertszeit 22 Minuten) kommt in geringer Menge in Uranerzen vor und wird zu 1,2% beim radioaktiven Zerfall von Aktinium 227 gebildet.

Erdalkalimetalle. Die Metalle der II. Hauptgruppe des Periodensystems sind zweiwertig und ähnlich reaktionsfähig wie die Alkalimetalle; sie zersetzen Wasser unter Wasserstoffentwicklung und überziehen sich an der Luft mit einer schützenden Oxyd- bzw. Hydroxydschicht. Barium steht den Alkalimetallen am nächsten. Die Basizität (Basenstärke) und die Löslichkeit der Hydroxyde nimmt vom schwerlöslichen, amphoteren Berylliumhydroxyd, $Be(OH)_2$, zum relativ gut löslichen, stark basischen Bariumhydroxyd, $Ba(OH)_2$, zu. Die Löslichkeit der Sulfate, $Me^{II}SO_4$, und Chromate, $Me^{II}CrO_4$, nimmt mit steigendem Atomgewicht des Metalls stark ab.

Beryllium, Be. Dieses stahlgraue Metall ist härter als Glas und bei gewöhnlicher Temperatur spröde. Das wichtigste Mineral ist der *Beryll*, ein Beryllium-Aluminium-Silikat $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$, dessen gefärbte Abarten auch als Edelsteine Smaragd und Aquamarin vorkommen. Beryllium wird dargestellt durch *Schmelzelektrolyse* einer Mischung von Berylllumfluorid, BeF_2, und Natriumfluorid, NaF, bei 1400 °C. Es wird in der Röntgentechnik verwendet, da es Röntgenstrahlen nur sehr schwach absorbiert. Schwermetalle, z. B. Kupfer, werden durch Legieren mit Beryllium außerordentlich stark gehärtet. In der Kernreaktortechnik dient es zum Abbremsen von Neutronen. Chemisch verhält sich Beryllium ähnlich wie Aluminium. Berylliumsalze schmecken süß und sind sehr giftig.

Magnesium, Mg. Das silberweiße, hämmerbare Metall läuft an der Luft matt an und ist durch eine zusammenhängende dünne Oxydschicht vor der weiteren Oxydation geschützt. Es ist am Aufbau der Erdrinde mit 2,0% beteiligt. Die häufigsten Vorkommen sind Magnesiumsilikate, z. B. *Magnesiaglimmer*, *Olivin*, *Asbest*, *Talk*, *Meerschaum* u. a., ferner *Magnesit*, $MgCO_3$, und *Dolomit*, $MgCO_3 \cdot CaCO_3$. Von großer Bedeutung sind die in den *Zechsteinsalzlagern* vorkommenden *Doppelsalze*, z. B. *Carnallit*, $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Das Metall wird dargestellt durch Schmelzelektrolyse von entwässertem Carnallit oder durch Reduktion von Magnesiumoxyd, MgO, mit Koks bei 2000 °C, wobei das Magnesium dampfförmig entweicht. Magnesium wird vorwiegend in Form von Leichtmetallegierungen für den Flugzeug- und Kraftfahrzeugbau benutzt.

Kalzium, *Calcium*, Ca. Das silberweiße, harte und sehr zähe Metall wird vorwiegend als Legierungszusatz verwendet, z. B. im Bahn-Lagermetall. Kalzium ist am Aufbau der Erdrinde mit 3,4% beteiligt. Die wichtigsten Vorkommen sind Kalziumkarbonat, $CaCO_3$, in Form von *Marmor*, *Kreide*, *Kalkstein* oder mit Magnesiumkarbonat zusammen als *Dolomit* sowie *Gips*, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, oder *Anhydrit*, $CaSO_4$. Durch Erhitzen von Kalkstein (*Kalkbrennen*) erhält man *Ätzkalk* oder *Branntkalk*, CaO ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$). Gebrannter Kalk geht beim Versetzen mit Wasser in *gelöschten Kalk*, $Ca(OH)_2$, über. Kalziumhydroxyd ist die billigste Base der Technik. *Gebrannter Gips*, $CaSO_4 \cdot {}^1/_2 H_2O$, ist teilweise entwässerter Gips, der zu einem Brei angerührt unter Wasseraufnahme erhärtet (Rückbildung von gewöhnlichem Gips). Kalziumsalze färben eine Gasflamme rotgelb.

Strontium, Sr. Die Verbindungen des silberglänzenden, an der Luft gelb anlaufenden Metalls sind in der Natur relativ selten. Auf Grund der intensiv roten Flammenfärbung werden Strontiumsalze in der Feuerwerkerei für rotes bengalisches Feuer verwendet. Es wurde nach dem Ort Strontian in Schottland benannt, in dessen Nähe sein Karbonat gefunden wurde.

Barium (griech., schwer), Ba. Das weiß aussehende Metall ist etwa so weich wie Blei und oxydiert sich an der Luft rasch. Das wichtigste Mineral ist der *Schwerspat*, $BaSO_4$, (Bariumsulfat). Alle löslichen Bariumsalze sind stark giftig. Bariumsalze färben eine Flamme gelbgrün und werden in der Feuerwerkerei verwendet. Bariumsulfat dient als weiße Mineralfarbe (*Permanentweiß*) sowie als Füllmaterial für Papier. *Lithopon* ist ein Gemisch aus Bariumsulfat und Zinksulfid und wird als Malerfarbe verwendet.

Radium (lat., strahlend), Ra. Dieses schwerste Erdalkalimetall hat weißen Glanz, ist radioaktiv und verhält sich chemisch ähnlich wie Barium; an der Luft ist es unbeständig, mit Wasser und Säuren reagiert es heftig. Es ist in sehr geringer Menge in Uranerzen enthalten (0,14 g je Tonne Pechblende) und wurde 1898 von P. und M. Curie entdeckt. Von insgesamt 13 bekannten Isotopen (Massenzahlen 213 und 219 bis 230) treten vier in natürlichen Vorkommen als Glieder der drei natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen auf, in der Uran-Radium-Reihe das langlebigste und wichtigste Isotop Radium 226, ein Alphastrahler mit der Halbwertszeit 1620 Jahre. Es wird in der Radiotherapie, zu leuchtenden Zifferblättern und in Neutronenquellen verwendet.

Seltene Erdmetalle. Die Elemente der III. Nebengruppe Skandium, Yttrium, Lanthan und die auf das Lanthan folgenden 14 Lanthanidenelemente Zer (Cer), Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium sind alle dreiwertig. Die *Seltenen Erden* (Oxyde, $Me^{III}_2O_3$, dieser Metalle) treten stets gemeinsam auf, da die Radien der Ionen Me^{3+} sich nur wenig unterscheiden. Die Ionenradien nehmen vom Skandium zum Lanthan zu und vom Lanthan zum Lutetium auf Grund der *Lantha-*

nidenkontraktion wieder ab. Im *Monazit*, einem kompliziert zusammengesetzten Phosphat der Seltenen Erdmetalle, überwiegen die leichteren Lanthanidenelemente, vor allem Zer, Lanthan und Neodym (*Zeriterden*). Die schwereren Lanthanidenelemente (etwa vom Gadolinium ab) treten vorwiegend gemeinsam mit Skandium und Yttrium auf (*Yttererden*). Die chemisch außerordentlich ähnlichen Elemente lassen sich nur schwer trennen; die Metalle konnten deshalb erst in jüngster Zeit durch die Anwendung von Ionenaustauschern rein dargestellt werden. Häufig verwendet man Mischungen der Seltenen Erdmetalle, z. B. das *Zer-Mischmetall* (etwa 50% Zer, 40% Lanthan, 3% andere Seltene Erdmetalle, 7,7%Eisen) als Reibzünder in Feuerzeugen. Man bezeichnet Metalle als *pyrophor*, wenn sich abgefeilte Teilchen an der Luft entzünden. Die Glühstrümpfe in Gaslampen bestehen aus Thoriumdioxyd, ThO_2, mit 1% Zerdioxyd, CeO_2. Praseodym- und Neodymoxyd dienen wegen ihrer Färbung zur Herstellung verschiedener Kunst- und Gebrauchsgläser.
Promethium ist ein in der Natur nicht vorkommendes, künstlich hergestelltes, radioaktives Lanthanidenelement. Von den 14 bekannten Isotopen ist das Promethium 147 (Betastrahler, Halbwertszeit 2,6 Jahre) das wichtigste, da es in Kernreaktoren mittlerer Leistung (etwa 10^5 Kilowatt) in einer Menge von etwa 1,5 g täglich entsteht.

Aktinidenelemente. Der Gruppe der Lanthaniden entspricht in der Elektronenkonfiguration die der Aktiniden; sie enthält 14 radioaktive Elemente, die mit den Lanthaniden chemisch verwandt sind. Aktinium, Thorium, Protaktinium und Uran stehen jedoch auch den im Periodensystem über ihnen angeordneten Nebengruppenelementen nahe. Aktinium ist wie Lanthan dreiwertig, Thorium wie Zirkon und Hafnium vierwertig, Protaktinium fünfwertig und Uran vorwiegend sechswertig. Auf das Uran folgen die künstlich hergestellten Elemente, die *Transurane*. Vom Neptunium zum Amerizium nimmt die beständigste Wertigkeitsstufe von +VI auf +III ab. Vom Curium ab treten die Transurane nur noch dreiwertig auf mit Ausnahme von Berkelium, das auch vierwertige Verbindungen bilden kann.

Aktinium, Actinium, Ac. Dieses radioaktive Element ist in Uranerzen in sehr geringer Menge (0,1 mg je Tonne Pechblende) als radioaktives Zerfallsprodukt von Uran 235 (Aktinouran) enthalten. Das wichtigste Isotop ist Aktinium 227 (Halbwertszeit 22 Jahre, 98,8% Betastrahler, 1,2% Alphastrahler), Folgeprodukt von Protaktinium 231 und Quelle von natürlichem Franzium. Es wurde 1899 von Debierne entdeckt und auf Grund seiner Strahlung nach dem griechischen *aktinoies* (strahlend) benannt.

Thorium, Th. Dieses radioaktive Metall glänzt platinartig und ist ziemlich weich und dehnbar. Von insgesamt 13 bekannten Isotopen (Massenzahlen 223 bis 235) existieren 6 in der Natur als Glieder der drei natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen. Das wichtigste und weitaus häufigste Isotop Thorium 232 bildet den Anfang der Thoriumreihe. Es ist ein langlebiger Alphastrahler mit der Halbwertszeit $1{,}39 \cdot 10^{10}$ Jahre. Thorium tritt vierwertig auf, als Aktinidenelement steht es in enger Beziehung zu den Seltenen Erdmetallen und kommt mit diesen vergesellschaftet in den Mineralien *Thorianit* und *Monazit* vor. Es wird als Legierungszusatz für Heizdrähte verwendet. Thoriumoxyd ist der Hauptbestandteil der Gasglühlichtstrümpfe. Es hat große Bedeutung als Brennstoff zur Kernenergiegewinnung, da es sich im Brutreaktor in spaltbares Uran 233 überführen läßt. Thorium wurde 1828 von Berzelius entdeckt und nach dem nordischen Gott Thor benannt.

Protaktinium, Protactinium, Pa. Das Metall hat grauweißen Glanz und ist radioaktiv. Von 13 bekannten Isotopen treten zwei als Folgeprodukte des Urans in natürlichen Vorkommen auf (0,2 g je Tonne Pechblende). Das wichtigste Isotop ist Protaktinium 231 (Alphastrahler, Halbwertszeit $3{,}43 \cdot 10^4$ Jahre); es gehört der Aktiniumreihe an. Protaktinium ist mit Niob und Tantal sowie mit dem homologen Lanthanidenelement Praseodym chemisch verwandt. Es wurde 1918 von O. Hahn und L. Meitner entdeckt.

Uran, U. Das silberweiße, schwere, radioaktive Metall ist ziemlich weich. Von insgesamt 15 bekannten Isotopen (Massenzahlen 227 bis 240) kommen drei in der Natur vor: Uran 238 (99,28%), Uran 235 (0,72%) und Uran 234 (0,0057%).

Uran 238 ist das Anfangsglied der Uran-Radium-Reihe, ein Alphastrahler mit der Halbwertszeit $4{,}5 \cdot 10^9$ Jahre. Es wird von schnellen Neutronen gespalten; mit thermischen Neutronen bildet sich aus ihm über Uran 239 Plutonium 239. *Uran 234* ist ein Folgeprodukt von Uran 238, ein Alphastrahler mit der Halbwertszeit $2{,}5 \cdot 10^5$ Jahre. *Uran 235, Aktinouran*, Anfangsglied der Aktiniumreihe, ist ein Alphastrahler mit der Halbwertszeit $7{,}1 \cdot 10^8$ Jahre. Es ist das wichtigste *spaltbare Material*, da es sich durch langsame Neutronen in einer Kettenreaktion spalten läßt. Wichtige künstliche Isotope sind *Uran 233*, das wie Uran 235 in einer Kettenreaktion spaltbar ist und im Brutreaktor aus Thorium 232 hergestellt wird, und *Uran 239*, das bei der Einwirkung langsamer Neutronen auf Uran 238 gebildet wird und unter Betazerfall in Neptunium und darüber hinaus in Plutonium 239 übergeht. Die wichtigsten Uranerze sind *Pechblende* (Cleveit), U_3O_8, und Karnotit, $K(UO_2)VO_4 \cdot 1{,}5H_2O$. Auch ärmere Uranvorkommen mit bis zu 0,01% Pechblendegehalt herab werden noch aufbereitet. Für die Verwendung des Urans als Brennstoff in Kernreaktoren ist ein hoher Reinheitsgrad erforderlich. Metallisches Uran erhält man durch Reduktion von Urantetrachlorid, UCl_4, mit Natrium im Vakuum oder aus Urantetrafluorid, UF_4, durch Glühen mit Kalzium oder Magnesium. Uran tritt zwei- bis sechswertig auf. Verbindungen mit sechswertigem Uran sind am beständigsten. Es bildet giftige, gelb gefärbte Salze, die stark fluoreszieren. Natriumdiuranat,

$Na_2U_2O_7$, ein gelbes schwer lösliches Pulver, dient zum Färben von Glas und Porzellan. Uran wurde 1789 von Klaproth entdeckt und nach dem Planeten Uranus benannt. 1896 entdeckte Becquerel die Radioaktivität der Pechblende. 1938 erfolgte die epochemachende Entdeckung der Uranspaltung durch Hahn und Straßmann.

Neptunium, Np. Dieses silberglänzende, luftbeständige, radioaktive Metall wurde 1940 erstmals in Form seiner Verbindungen hergestellt und nach dem dem Uranus folgenden Planeten Neptun benannt. Das langlebigste Isotop ist Neptunium 237 (Alphastrahler, Halbwertszeit $2{,}25 \cdot 10^6$ Jahre), das Anfangsglied der Neptuniumreihe. Es entsteht im Kernreaktor bei der Einwirkung schneller Neutronen auf Uran 238. Neptunium 239 ist ein Zwischenprodukt bei der Plutoniumbildung im Kernreaktor. Es verhält sich chemisch ähnlich wie Uran und kommt auch in Spuren in Uranerzen vor infolge der Absorption von Neutronen verschiedenen Ursprungs durch Uran 238.

Plutonium, Pu. Das dunkelgraue radioaktive Metall wurde 1944 erstmals in Form seiner Verbindungen dargestellt und nach dem dem Neptun folgenden Planeten Pluto benannt. Von den 16 bekannten Isotopen sind Plutonium 244 (Alphastrahler, Halbwertszeit $7{,}6 \cdot 10^7$ Jahre) das langlebigste und Plutonium 239 (Alphastrahler, Halbwertszeit 24360 Jahre) das wichtigste. Plutonium 239 entsteht beim Bestrahlen von Uran 238 mit langsamen Neutronen im Kernreaktor und wird speziell in Brutreaktoren technisch gewonnen. Es ist neben Uran 235 das wichtigste spaltbare Material. Plutonium kommt auch in Spuren in Uranerzen vor infolge Absorption von Neutronen verschiedenen Ursprungs durch Uran 238. Es tritt drei- bis sechswertig auf, die III. und IV. Oxydationsstufe sind am beständigsten.

Amerizium, *Americium*, Am. Das silberweiße radioaktive Metall wurde 1944 erstmals in Form seiner Verbindungen dargestellt und in Analogie zu dem ihm homologen Europium nach Amerika benannt. 11 Isotope sind bekannt. Das wichtigste Isotop, Amerizium 241 (Alphastrahler, Halbwertszeit 470 Jahre), entsteht z. B. bei intensiver Neutronenbestrahlung von Plutonium 239. Das langlebigste Isotop ist Amerizium 243 (Alphastrahler, Halbwertszeit $7{,}95 \cdot 10^3$ Jahre). In seinen Verbindungen tritt Amerizium zwei- bis sechswertig auf, die dreiwertigen Verbindungen sind am beständigsten.

Curium, Cm. Dieses radioaktive Metall wurde 1944 erstmals in Form seiner Verbindungen dargestellt und zu Ehren des Forscherpaares Curie benannt. 13 Isotope sind bekannt. Das wichtigste Isotop ist Curium 242 (Alphastrahler, Halbwertszeit 163 Tage). Es entsteht im Zyklotron durch Beschießen von Plutonium 239 mit Alphateilchen. Die meisten Curiumisotope zerfallen auch durch spontane Spaltung. Curium tritt in seinen Verbindungen wie das ihm homologe Gadolinium nur dreiwertig auf.

Berkelium, Bk. Verbindungen dieses radioaktiven Metalls wurden 1949 erstmals dargestellt und nach dem Forschungszentrum Berkely in Kalifornien benannt. Berkelium 243 und 244 entstehen durch Beschießen von Amerizium 241 mit Alphateilchen im Zyklotron. Beide wandeln sich unter E-Einfang in Curium um. Berkelium tritt wie das ihm homologe Terbium drei- und vierwertig auf.

Kalifornium, *Californium*, Cf. Das 1950 erstmals dargestellte radioaktive Metall wurde nach Kalifornien (California) benannt. Kalifornium 245 (Halbwertszeit 44 Minuten, 70% E-Einfang, 30% Alphastrahler) entsteht durch Beschießen von Curium 242 mit Alphateilchen im Zyklotron bzw. durch Einwirken von hochbeschleunigten Kohlenstoffkernen, $^{13}_{6}C$, auf Uran 238.

Einsteinium, Es. Das 1954 erstmals dargestellte radioaktive Metall wurde zu Ehren Albert Einsteins benannt. Es entsteht durch Beschießen von Uran 238 mit hochionisierten Stickstoffatomen, $^{15}_{7}N$, im Zyklotron. Das langlebigste Isotop ist Einsteinium 254 (Alphastrahler, Halbwertszeit 480 Tage).

Fermium, Fm. Das 1954 erstmals dargestellte radioaktive Metall wurde nach Fermi benannt. Es entsteht durch Beschießen von Uran 238 mit hochionisierten Sauerstoffatomen, $^{18}_{8}O$, im Zyklotron. Das langlebigste Isotop ist Fermium 253 (Halbwertszeit 10 Tage).

Mendelevium, Md. Das 1955 in einer Menge von 17 Atomen dargestellte radioaktive Metall wurde nach Mendelejew benannt. Mendelevium 256 entsteht durch Beschießen von Einsteinium 253 mit Alphateilchen im Zyklotron. Es zerfällt unter E-Einfang in Fermium 256.

Nobelium, No. Das 1957 in Zusammenarbeit zwischen USA, Großbritannien und Schweden im Nobel-Institut in Stockholm hergestellte radioaktive Metall entsteht durch Beschießen von Curium 244 mit beschleunigten hochionisierten Kohlenstoffatomen, $^{13}_{6}C$, im Zyklotron.

Lawrencium, Lw. Das 1961 an der Universität California hergestellte radioaktive Metall ist das letzte Aktinidenelement; es wurde nach dem Erfinder des Zyklotrons, E. O. Lawrence, benannt und durch Einwirkung von Bor-10- oder Bor-11-Kernen (70 MeV) auf Kalifornium gewonnen. Seine Halbwertszeit beträgt etwa 8 Sekunden, seine Massenzahl wahrscheinlich 257.

Titan, Zirkon, Hafnium. Diese Metalle der IV. Nebengruppe des Periodensystems treten in ihren Verbindungen vierwertig auf. Titan bildet daneben auch unbeständige zwei- und dreiwertige Verbindungen. Die Metalle haben in reiner Form hervorragende Werkstoffeigenschaften. Die Reindarstellung ist jedoch technologisch schwierig und gelingt am besten nach dem von van Arkel und de Boer entwickelten *Aufwachsverfahren*. Man bringt die unreinen Metalle zusammen mit etwas Jod in ein evakuiertes Glasgefäß, in dem sich ein glühender Wolframfaden befindet. Das Gefäß

wird auf etwa 600 °C erhitzt. Bei dieser Temperatur bilden sich flüchtige Metalljodide, die sich an dem Glühfaden unter Abscheidung des reinen Metalls zersetzen. Das dabei frei werdende Jod vereinigt sich wieder mit dem in der kälteren Zone befindlichen rohen Metall zum Jodid. Auf diese Weise wird die gesamte eingesetzte Rohmetallmenge in reinstes Metall übergeführt.

Titan, Ti. Das stahlähnlich aussehende, harte Metall ist in reinem Zustand bereits in der Kälte verformbar. Das wichtigste Vorkommen ist der *Rutil*, TiO_2 (Titandioxyd). Titan ist zu 0,6 % am Aufbau der Erdrinde beteiligt und in kleinen Mengen weit verbreitet, z. B. im Ackerboden (über 0,5 %). Zur Titangewinnung wird das Oxyd in Titantetrachlorid, $TiCl_4$, übergeführt und dieses mit geschmolzenem Magnesium bei 850 °C unter Argon als Schutzgas zu Titan reduziert. Der erhaltene Metallschwamm wird entweder zusammengeschweißt oder nach dem Aufwachsverfahren gereinigt. Titan liefert *Legierungen*, die dem rostfreien Stahl an Dehnbarkeit und Festigkeit gleichkommen, ihn aber an Korrosionsbeständigkeit übertreffen und um etwa 40 % leichter sind. Es wird zum Bau von Maschinenteilen verwendet, insbesondere in der Flugzeugindustrie als Werkstoff für Überschallflugzeuge. Titanhaltige Stähle zeichnen sich durch hohe Stoßfestigkeit und Elastizität aus.

Zirkon, Zr. Das hochglänzende, stahlähnlich aussehende Metall ist sehr korrosionsbeständig. Das wichtigste Vorkommen ist die *Zirkonerde*, ZrO_2 (Zirkondioxyd). Zur Zirkongewinnung wird das Oxyd in Zirkontetrachlorid, $ZrCl_4$, übergeführt und dieses mit Kalzium zu Metall reduziert. Die Reinigung erfolgt nach dem Aufwachsverfahren. Zirkon wird auf Grund seines kleinen Neutroneneinfangquerschnitts und seiner Korrosionsbeständigkeit als *Konstruktionsmaterial für Kernreaktoren* verwendet, z. B. zum Bau des inneren Kreislaufs in wassergekühlten Reaktoren. Zu diesem Zweck muß es jedoch weitgehend hafniumfrei sein.

Hafnium, Hf. Dieses Element ist der ständige Begleiter des Zirkons in der Natur. Beide Elemente stimmen in ihren Eigenschaften so weitgehend überein, daß man den geringen Hafniumgehalt in den Zirkonmineralien (meist über 1 %) lange Zeit übersah. Das Hafnium wurde 1922 von G. v. Hevesy und D. Coster röntgenspektroskopisch aufgefunden und nach der Stadt Kopenhagen (lat. *Hafnia*) benannt. Die Abtrennung vom Zirkon gelingt z. B. durch fraktionierte Kristallisation bestimmter Salze sowie mit Hilfe von Ionenaustauschern. Hafnium hat einen extrem hohen Einfangsquerschnitt für Neutronen und muß aus dem Reaktorzirkon bis auf weniger als 0,01 % entfernt werden.

Vanadin, Niob, Tantal. Diese Metalle der V. Nebengruppe des Periodensystems treten in ihren Verbindungen vorzugsweise fünfwertig auf. Daneben ist auch die Ausbildung der II., III. und IV. Oxydationsstufe möglich, am leichtesten beim Vanadin. Obwohl die Elemente Metallcharakter besitzen, sind sie in ihren Pentoxyden, $Me_2^VO_5$, Säurebildner. Man bezeichnet die Pentoxyde daher auch als *Erdsäuren*. In reinster Form werden die Metalle nach dem *Aufwachsverfahren* erhalten.

Vanadin, V. Das stahlgraue, sehr harte Metall wird hauptsächlich zur Herstellung von Spezialstählen verwendet. Ein geringer Vanadinzusatz macht Stahl und Gußeisen fester, zäher, dehnbarer und widerstandsfähiger gegen Stoß und Schlag (*Vanadinstahl*). Man setzt es in Form von *Ferrovanadin* zu, einer etwa 50 % Vanadin enthaltenden Eisenlegierung, die sich durch Reduktion von Eisenoxyd und Vanadinoxyd mit Koks im elektrischen Ofen herstellen läßt. Vanadin bildet die Oxyde $V^{II}O$, $V_2^{III}O_3$, $V^{IV}O_2$ und $V_2^VO_5$. Auf Grund des leicht eintretenden Wertigkeitswechsels eignen sich Vanadinverbindungen als *sauerstoffübertragende Katalysatoren*, z. B. Silbervanadat, $AgVO_3$, zur Schwefelsäureherstellung nach dem Kontaktverfahren. Vanadin ist nach der nordischen Göttin Vanadis (Freia) benannt worden.

Niob, Nb. Das mittelharte graue, auf polierten Flächen weißglänzende Metall ist gegenüber Alkalien und Säuren mit Ausnahme von Flußsäure außerordentlich beständig. Es ist nach der Tantalustochter Niobe benannt. Im Angelsächsischen ist auch der Name Columbium gebräuchlich.

Tantal, Ta. Das platingraue, glänzende, harte und stark dehnbare Metall verhält sich gegenüber Säuren und Alkalien ähnlich widerstandsfähig wie Niob. Es wird als Ersatz für Platin zur Herstellung chemischer Geräte und chirurgischer Instrumente verwendet. Tantalkarbid, TaC, hat von allen bisher untersuchten Stoffen den höchsten Schmelzpunkt (3877 °C). Es wurde nach dem Tantalus der griechischen Sage benannt.

Chrom, Molybdän, Wolfram. Diese Metalle der VI. Nebengruppe des Periodensystems treten maximal sechswertig auf, kommen aber auch in mehreren niederen Oxydationsstufen vor. Chrom bildet bevorzugt dreiwertige Verbindungen, z. B. Chrom(III)-oxyd, Cr_2O_3, und die verschiedenen Chrom(III)-salze, läßt sich jedoch auch zur sechswertigen Stufe oxydieren. Chrom(VI)-oxyd, CrO_3, löst sich in Wasser zu *Chromsäure*, H_2CrO_4, einem starken Oxydationsmittel. Beim Molybdän und Wolfram ist die sechswertige Oxydationsstufe am beständigsten.

Chrom (griech., Farbe), Cr. Chrom ist ein weißes, glänzendes, hartes und sprödes Metall. Das wichtigste Chromerz ist der *Chromeisenstein*, ein Doppeloxyd vom Spinelltyp, das aus Eisen(II)-oxyd und Chrom(III)-oxyd, $FeO \cdot Cr_2O_3$, besteht. Durch Reduktion mit Kohle im elektrischen Ofen erhält man sogenanntes *Ferrochrom* (Eisen mit 60 % Chrom), das zur Erzeugung von besonders hartem *Chromstahl* verwendet wird. Durch Glühen von Chromeisenstein mit Kalk an der Luft entstehen *Chromate* (Salze der Chromsäure). Das Chrom eignet sich auf Grund seiner großen

Härte und Korrosionsbeständigkeit zur Herstellung schützender Überzüge, die man aus einer schwach sauren Chromatlösung auf anderen Metallgegenständen galvanisch abscheidet. Chrom(III)-sulfat, $Cr_2(SO_4)_3$, dient als Gerbmittel. Chromate sind viel gebrauchte energische Oxydationsmittel. Wichtige *Mineralfarben* sind Bleichromat, $PbCrO_4$ (Chromgelb), basisches Bleichromat, $PbO \cdot PbCrO_4$ (Chromrot), und Chrom(III)-oxyd, Cr_2O_3 (Chromgrün).

Molybdän (griech., Blei), Mo. Das silberweiße glänzende Metall wird hauptsächlich zur Herstellung von Spezialstählen gebraucht. Molybdänhaltiger Stahl zeichnet sich durch große Festigkeit und Zähigkeit aus. Das wichtigste Erz ist der *Molybdänglanz*, MoS_2, ein weicher, graphitähnlicher, zu Schmierzwecken geeigneter Stoff. Reinstes Molybdän erhält man durch Reduktion von Molybdän(VI)-oxyd, MoO_3, im Wasserstoffstrom. Zur Herstellung von Legierungen verwendet man *Ferromolybdän*, eine stark molybdänhaltige Eisenlegierung, die sich durch gemeinsame Reduktion von Eisenoxyd und Molybdänoxyd mit Kohle im elektrischen Ofen herstellen läßt.

Wolfram, W. Mit dem Metall, das dem Molybdän ähnlich ist, werden Spezialstähle besonderer Härte, Elastizität und Zugfestigkeit gewonnen. Chrom und Wolfram enthaltende *Schnelldrehstähle* behalten auch im glühenden Zustand noch ihre Härte und Schärfe. Man setzt das Wolfram den Legierungen in Form von *Ferrowolfram* zu. Reines Wolfram wird durch Reduktion von Wolfram(VI)-oxyd, WO_3, im Wasserstoffstrom gewonnen. Es dient zur Herstellung hauchdünner Metallfäden (bis zu 0,01 mm Durchmesser herab) für elektrische Glühlampen. Wolfram hat von allen Elementen den höchsten Schmelzpunkt (rund 3400 °C).

Mangan, Technetium, Rhenium. Diese Metalle der VII. Nebengruppe des Periodensystems treten maximal siebenwertig auf; daneben ist jedoch die Ausbildung aller niederen Wertigkeitsstufen bis zur positiv einwertigen Oxydationsstufe möglich. Die Beständigkeit der höchsten Oxydationsstufe nimmt vom Mangan zum Rhenium zu, die der niederen Oxydationsstufen in derselben Reihenfolge ab.

Mangan, Mn. Das harte, sehr spröde Metall von eisenähnlichem Aussehen wird in gewaltigen Mengen als Legierungsbestandteil besonders in der Stahlindustrie gebraucht. *Ferromangan* und *Spiegeleisen* sind technische Eisensorten mit hohem Mangan- und relativ hohem Kohlenstoffgehalt. Die wichtigsten Erze sind die Oxyde *Braunstein*, MnO_2, *Braunit*, Mn_2O_3, *Hausmannit*, Mn_3O_4, sowie das Mangan(II)-karbonat, $MnCO_3$, der *Manganspat*. Metallisches Mangan erhält man durch Reduktion von Mn_3O_4 mit Aluminium (*Aluminothermie*). Die Verbindungen des zweiwertigen Mangans sind am beständigsten. Das Mangan(II)-oxyd, MnO, hat basische Eigenschaften und bildet mit Säuren die Mangan(II)-Salze, z. B. Mangan(II)-sulfat, $MnSO_4$. Das Mangan(VII)-oxyd, Mn_2O_7, hat saure Eigenschaften und bildet mit Wasser Permangansäure, $HMnO_4$. Die Permangansäure und ihre Salze, z. B. Kaliumpermanganat, $KMnO_4$, sind intensiv violett gefärbt und haben stark oxydierende Eigenschaften.

Technetium (griech. *technetós*, künstlich), Tc. Dieses radioaktive Metall wurde 1937 als erstes künstliches Element dargestellt. Insgesamt sind 21 verschiedene Isotope bekannt. Sie entstehen durch Einwirkung von Neutronen, Protonen, Deuteronen oder Alphateilchen auf Molybdän sowie bei der Uranspaltung. Das wichtigste Isotop, Technetium 99, ist ein Betastrahler mit der Halbwertszeit von $2{,}12 \cdot 10^6$ Jahren. Es entsteht in Kernreaktoren mittlerer Leistung (10^5 Kilowatt) mit einer Spaltungsausbeute von 6,2% in Mengen von 4 g täglich. Am langlebigsten sind die Isotope Technetium 97 und 98 mit einer Halbwertszeit von etwa $2 \cdot 10^6$ Jahren. Technetium ist spektroskopisch auch in Fixsternen nachgewiesen worden. Es tritt maximal elektropositiv siebenwertig auf und ist mit Rhenium und Mangan chemisch verwandt.

Rhenium, Re. Das platinähnlich aussehende Metall wird zur Herstellung von Schreibfederspitzen für Füllhalter sowie zu Thermoelementen verwendet. Es wurde 1925 von W. Noddack und I. Tacke entdeckt und nach dem Rhein benannt. Rhenium ist in der Natur äußerst selten, am rheniumreichsten ist der *Molybdänglanz* mit etwa 10^{-4}% Rhenium. Zur Darstellung geht man von bestimmten Verhüttungsrückständen des Mansfelder Kupferschiefers aus, in denen das Rhenium angereichert ist. Rhenium tritt bevorzugt siebenwertig auf. Rhenium(VII)-oxyd, Re_2O_7, löst sich in Wasser unter Bildung von *Perrheniumsäure*, $HReO_4$. Die Perrhenate, Me^IReO_4, sind zum Unterschied von den Permanganaten farblos.

Eisengruppe. Die Elemente Eisen, Kobalt, Nickel der VIII. Nebengruppe des Periodensystems erreichen nicht mehr die durch die Gruppennummer angegebene höchste Wertigkeitsstufe. Sie treten bevorzugt zweiwertig auf, Eisen und Kobalt auch dreiwertig. Eisen bildet auch unbeständige sechswertige Verbindungen. Die Metalle bilden häufig sulfidische Erze, die sich nicht unmittelbar zu den Metallen verarbeiten lassen. Die Sulfide müssen vorher in die Oxyde übergeführt werden, ehe eine Reduktion mit Kohlenstoff zum Metall möglich ist.

Eisen (lat. *Ferrum*), Fe. Das weiße, glänzende Metall hat ziemlich geringe Härte. Es ist ferromagnetisch und tritt in 3 verschiedenen Modifikationen auf. Eisen ist das auf der Erde meistverbreitete Schwermetall und gleichzeitig das wichtigste Gebrauchsmetall. An der Zusammensetzung der Erdrinde ist es mit 4,7% beteiligt. Da Eisen Hauptbestandteil vieler Meteorite ist, nimmt man an, daß auch der Erdkern im wesentlichen aus metallischem Eisen besteht. Die wichtigsten Eisen-

erze sind die Oxyde *Roteisenstein*, Fe_2O_3, *Magneteisenstein* (Magnetit), Fe_3O_4, *Brauneisenstein*, $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ bzw. FeO(OH), sowie der *Spateisenstein*, $FeCO_3$, und der *Eisenkies* (Pyrit), FeS_2. Reines Eisen kann durch Reduktion von reinem Eisenoxyd im Wasserstoffstrom oder durch thermische Zersetzung von Eisenpentakarbonyl, $Fe(CO)_5$, gewonnen werden. Das gewöhnliche *technische Eisen* enthält neben anderen Bestandteilen stets Kohlenstoff. Es wird im Hochofen durch Reduktion von Eisenoxyd mit Koks bzw. daraus gebildetem Kohlenmonoxyd, CO, ($Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$) gewonnen. Stark kohlenstoffhaltiges *Roheisen* (3 bis 4 % Kohlenstoff neben Mangan, Phosphor und Silizium) bezeichnet man als Gußeisen. Es läßt sich nicht schmieden und walzen. Durch Glühen eines Gemisches von Roheisen mit alten, stark verrosteten Eisenabfällen (Siemens-Martin-Verfahren) oder durch Einblasen von Luft in geschmolzenes Roheisen (Thomas- oder Bessemer-Verfahren) kann man den Kohlenstoff und die anderen Beimengungen weitgehend entfernen. *Schmiedeeisen* enthält weniger als 0,5 % Kohlenstoff und besitzt die Eigenschaft, unterhalb seines Schmelzpunktes zu erweichen. *Stahl* enthält zwischen 0,5 und 1,7 % Kohlenstoff und läßt sich durch Erhitzen auf etwa 800 °C und darauffolgendes rasches Abkühlen (*Abschrecken*) härten. Durch Hinzufügen bestimmter anderer Metalle lassen sich Eisensorten bzw. Stähle mit bestimmten, dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßten Eigenschaften erhalten. Eisen wird an feuchter Luft unter Bildung von *Rost* oxydiert. Rost ist wasserhaltiges Eisenoxyd. Man überzieht daher eiserne Gegenstände häufig mit dünnen Überzügen aus korrosionsbeständigeren Metallen, z. B. mit Zink, Zinn, Chrom, Nickel oder mit einem Farbanstrich, z. B. mit Mennige, Pb_3O_4. In seinen Verbindungen tritt Eisen vorwiegend zwei- und dreiwertig auf. Die Eisen(II)-Salze, z. B. Eisenvitriol, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, wirken reduzierend und gehen bereits beim Stehen an der Luft in die entsprechenden, meist infolge Hydrolyse hellbraun gefärbten Eisen(III)-Salze über. Eisen(II)-Ionen, Fe^{2+}, sehen in wäßriger Lösung grün aus.

Kobalt (lat. *Cobaltum*), Co. Das eisenähnliche Metall ist sehr zäh und ferromagnetisch. Es kommt fast stets gemeinsam mit Nickel vor, und zwar meist in Verbindung mit Arsen und Schwefel. Kobalt dient vorwiegend zum Herstellen von Legierungen, z. B. von bestimmten *Schnelldrehstählen* und *Schneidlegierungen*. Es bildet bevorzugt zweiwertige Verbindungen, in zahlreichen Komplexverbindungen ist jedoch der dreiwertige Zustand stabiler. Wasserfreie Co^{2+}-Ionen sehen intensiv blau aus, z. B. im Kobaltsilikat, das als blaue Farbe (Smalte) verwendet wird und auch im Kobaltglas enthalten ist.

Nickel, Ni. Das silberweiße, stark glänzende, ferromagnetische Metall ist sehr dehnbar und an der Luft beständig. Wichtige Vorkommen sind die *kanadischen Magnetkiese* (1953 69 % der Weltproduktion), Eisensulfide wechselnder Zusammensetzung, die neben Kobalt, Nickel und Kupfer auch Gold, Silber und spurenweise Platinmetalle enthalten. Das Nickel wird hauptsächlich als *Legierungszusatz* in der Stahlindustrie verwendet. Ferner dient es zur galvanischen Vernickelung sowie als Reinnickel zur Herstellung verschiedenster Gebrauchsgegenstände und von Nickelmünzen. Feinverteiltes Nickel dient als *Katalysator* bei verschiedenen Hydrierungsreaktionen, z. B. bei der Fetthärtung (Margarineherstellung).

Platinmetalle. Diese stahlgrauen bis silberweißen Edelmetalle gehören zur VIII. Nebengruppe des Periodensystems. Sie sind durch Säurebeständigkeit, Schwerschmelzbarkeit und relativ große Härte gekennzeichnet und besitzen hervorragende katalytische Eigenschaften. Sie kommen fast stets gemeinsam vor, vorwiegend in gediegenem Zustand, z. B. im Ural und in Kolumbien. Man unterscheidet leichte Platinmetalle, *Ruthenium*, *Rhodium*, *Palladium* (Dichte 12,26 bis 11,5 g/cm³), und schwere Platinmetalle, *Osmium*, *Iridium*, *Platin* (Dichte 22,48 bis 21,4 g/cm³). Das häufigste Metall der Gruppe ist das *Platin*, Pt. Es ist als Gerätemetall in Form von Tiegeln, Schalen, Meßelektroden u. a. für den Chemiker unentbehrlich und wird auch zu Schmuckzwecken verwendet. Fein verteiltes Platin (Platinmohr) katalysiert besonders wirksam Oxydationsreaktionen (Verwendung bei der Ammoniak-Oxydation). *Palladium*, Pd, ist das reaktionsfähigste Platinmetall. Es vermag bei Zimmertemperatur das 850fache seines Volumens an Wasserstoff aufzunehmen, ohne sein metallisches Aussehen zu verändern. Der Wasserstoff ist atomar gelöst und chemisch sehr wirksam. Palladium dient daher als Katalysator bei Hydrierungsreaktionen. *Rhodium*, Rh, und *Iridium*, Ir, sind sehr säurebeständige Metalle, die sich selbst in *Königswasser* (Mischung aus konzentrierter Salz- und Salpetersäure im Verhältnis 3:1) nicht lösen. Rhodium dient in Form seiner Legierung mit Platin als Katalysator sowie zur Herstellung von Thermoelementen. Iridium wird häufig dem Platin zulegiert, um seine Härte zu erhöhen. *Ruthenium*, Ru, und *Osmium*, Os, sind ebenfalls sehr säurebeständig, verbinden sich jedoch verhältnismäßig leicht mit dem Luftsauerstoff zu leicht flüchtigen Tetroxyden RuO_4 und OsO_4. Osmium besitzt von allen Elementen die größte Dichte (22,7 g/cm³).

Kupfer, Silber, Gold. Diese Metalle der ersten Nebengruppe des Periodensystems verhalten sich teilweise wie die davorstehenden Metalle Nickel, Palladium und Platin, treten jedoch auch einwertig auf, worin die Verwandtschaft zu den Alkalimetallen zum Ausdruck kommt.

Kupfer (lat. *Cuprum*), Cu. Das hellrote, relativ weiche, sehr zähe und dehnbare Metall läßt sich zu sehr feinem Draht ausziehen und zu äußerst dünnen, grün durchscheinenden Blättchen ausschlagen. Es hat nach dem Silber von allen Metallen die beste elektrische Leitfähigkeit. Wichtige Kupfererze

sind der *Kupferglanz*, Cu_2S, und der *Kupferkies*, $CuFeS_2$. Der *Mansfelder Kupferschiefer* ist ein durch starken Bitumengehalt schwarz gefärbter Mergel (tonhaltiger Kalkstein), der Kupfermineralien in sehr feinen Teilchen eingesprengt enthält. Zur Darstellung werden die Erze zunächst durch Rösten von einem Teil des Schwefels befreit. Anschließend wird ein Teil des Kupfer(I)-sulfids, Cu_2S, in Kupfer(I)-oxyd übergeführt ($2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow Cu_2O + 3SO_2$). Das Oxyd reagiert mit dem noch vorhandenen Sulfid unter Bildung von *Rohkupfer* oder *Schwarzkupfer* ($Cu_2S + 2Cu_2O \rightarrow 6Cu + SO_2$). Dieses wird zunächst durch Umschmelzen gereinigt und danach durch *elektrolytische Raffination* einer Feinreinigung unterzogen. Kupfer ist nächst dem Eisen das wichtigste Gebrauchsmetall und wird vorwiegend in der Elektrotechnik und zur Herstellung von *Kupferlegierungen* verwendet. In seinen Verbindungen tritt Kupfer vorwiegend ein- und zweiwertig auf. Kupfer(II)-Verbindungen sind beständiger. Kupfervitriol ist $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Die Cu^{2+}-Ionen sind in wäßriger Lösung blau gefärbt.

Silber (lat. *Argentum*), Ag. Das weißglänzende, sehr dehnbare Edelmetall läßt sich zu hauchdünnen 0,002 bis 0,003 mm dicken, blaugrün durchscheinenden Folien aushämmern und zu feinsten, bei 2 km Länge nur 1 g wiegenden Drähten (Filigrandraht) ausziehen. Es hat von allen Metallen das beste Leitvermögen für Elektrizität und Wärme. Für die Silbergewinnung ist neben den eigentlichen Silbererzen (z. B. *Silberglanz*, Ag_2S, und *Kupfersilberglanz*, $Cu_2S \cdot Ag_2S$) der geringe Silbergehalt im *Bleiglanz* (0,01 bis 1 % Silber) und im *Kupferkies* von großer Bedeutung. Das Silber reichert sich im Rohblei und Rohkupfer an und wird daraus abgetrennt. Aus den Silbererzen wird das Silber meist mit einer Natriumzyanidlösung, NaCN, in Form einer löslichen Komplexverbindung, $Na[Ag(CN)_2]$, extrahiert (*Zyanidlaugerei*). Es tritt in seinen Verbindungen fast ausschließlich einwertig auf. Das wichtigste Silbersalz ist *Silbernitrat*, $AgNO_3$. Die meisten Silbersalze sind lichtempfindlich, d. h., sie scheiden beim Belichten fein verteiltes, schwarzes Silber aus. Darauf beruht ihre Verwendung in der *Photographie*. Besonders wichtig sind die Silberhalogenide AgCl, AgBr und AgJ. Die gewöhnlichen photographischen Filme bestehen aus einem Zelluloid- oder Zellitstreifen, der mit einer Schicht kolloiden Silberbromids in Gelatine überzogen ist.

Gold (lat. *Aurum*), Au. Das gelbrote, weiche, dehnbare Metall läßt sich zu blaugrün durchscheinenden Folien von nur 0,000 14 mm Dicke auswalzen, die in der Aufsicht immer noch den prachtvollen gelben Glanz aufweisen. Es wird vorwiegend zur Herstellung von Schmuck- und Gebrauchsgegenständen und zum Vergolden verwendet, meist zur Erhöhung der Härte mit Kupfer oder Silber legiert. Gold ist in geringer Menge weit verbreitet; eine Tonne Meerwasser enthält z. B. durchschnittlich 0,01 mg Gold. In den kristallinen Urgesteinen findet man es in Form feinster Metallflitter (*Berggold*). In den sekundären Lagerstätten ist es meist bereits angereichert (*Seifengold*). Aus dem goldführenden Gestein wird es mit Natriumzyanidlösung extrahiert, in der es sich bei Luftzutritt in Form der Komplexverbindung $Na[Au(CN)_2]$ löst. Auch aus dem Anodenschlamm, der bei der elektrolytischen Raffination von Rohkupfer und Rohsilber anfällt, wird Gold gewonnen. Es ist in Königswasser löslich und tritt ein- und dreiwertig auf.

Zink, Kadmium, Quecksilber. Diese Metalle der II. Nebengruppe des Periodensystems treten ausschließlich zweiwertig auf mit Ausnahme des Quecksilbers, das auch einwertige Verbindungen bilden kann. Die zweiwertigen Ionen, Me^{2+}, sind in wäßriger Lösung farblos.

Zink, Zn. Das bläulich-weiße, spröde Metall läßt sich zwischen 100 und 150 °C zu dünnem Blech auswalzen und zu Draht ziehen. Es läuft an der Luft unter oberflächlicher Oxydbildung an. Die wichtigsten Erze sind *Galmei* $ZnCO_3$, (Zinkkarbonat) und *Zinkblende*, ZnS, (Zinksulfid). Zur Darstellung werden das Karbonat durch *Brennen* ($ZnCO_3 \rightarrow ZnO + CO_2$) und das Sulfid durch *Rösten* ($ZnS \rightarrow ZnO + SO_2$) in Zinkoxyd, ZnO, übergeführt und dieses mit Koks zu Zink reduziert ($ZnO + C \rightarrow Zn + CO$). Das Zink entweicht dabei dampfförmig und wird in gekühlten Vorlagen aufgefangen. Das stets beigemengte Kadmium und andere Verunreinigungen werden durch fraktionierte Destillation abgetrennt. Zink wird als Zinkblech verwendet, z. B. im Leclanché-Trockenelement der Taschenlampenbatterien, dient zum Verzinken von Eisenblech und zum Herstellen von Zinklegierungen. Das Metall löst sich sowohl in Säuren als auch in Basen unter Wasserstoffentwicklung auf.

Kadmium (lat. *Cadmium*), Cd. Das silberweiße, glänzende, weiche und dehnbare Metall läuft zwar an der Luft matt an, läßt sich aber trotzdem zum Herstellen von Metallüberzügen zur Korrosionsverhütung verwenden. Es fällt als Nebenprodukt bei der Zinkgewinnung an. Lösliche Kadmiumverbindungen sind stark giftig. Kadmium hat einen extrem hohen Einfangquerschnitt für Neutronen und wird zu *Regelstäben* in Kernreaktoren benutzt.

Quecksilber (lat. *Hydrargyrum*), Hg. Das silberweiße, flüssige, sehr giftige Metall hat von allen Metallen den niedrigsten Schmelzpunkt (− 38,84 °C). Das wichtigste Erz ist der *Zinnober*, HgS. Zur Gewinnung wird das Quecksilbersulfid unter Luftzutritt verbrannt ($HgS + O_2 \rightarrow Hg + SO_2$) und das dampfförmig entweichende Quecksilber in Vorlagen kondensiert. Es wird z. B. in Barometern, Thermometern, im Quecksilberdampfgleichrichter, in automatischen elektrischen Schaltern und Hochvakuumpumpen verwendet. Durch elektrische Entladungen wird Quecksilberdampf zu intensivem Leuchten angeregt. Das ausgesandte Licht ist reich an ultravioletter Strahlung (Höhensonne). Quecksilberlegierungen heißen *Amalgame*. Quecksilber(I)-Verbindungen sind stets dimer, z. B. Quecksilber(I)-chlorid, Hg_2Cl_2, (Kalomel), und nur in saurem Medium beständig.

Aluminium, Gallium, Indium, Thallium. Diese Metalle der III. Hauptgruppe des Periodensystems treten in ihren Verbindungen vorwiegend dreiwertig auf. Thallium bevorzugt die Oxydationsstufe +I.

Aluminium (von *alumen*, Alaun), Al. Das silberweiße, außerordentlich dehnbare Leichtmetall bildet an der Luft eine zusammenhängende hauchdünne Oxydschicht und ist dadurch beständig; es löst sich aber sowohl in Säuren als auch in Laugen unter Wasserstoffentwicklung. Es ist zu 7,5% am Aufbau der Erdrinde beteiligt und nächst dem Sauerstoff und Silizium das häufigste Element. Besonders weit verbreitet sind *Aluminiumsilikate* und die sogenannten *Alumosilikate*. Zu letzteren gehören die *Feldspäte*, z. B. Orthoklas, $K[AlSi_3O_8]$, Hauptbestandteil von Granit, Gneis, Porphyr, Basalt und anderen Gesteinen. *Tone* sind Verwitterungsprodukte feldspathaltiger Gesteine. Besonders wertvoller Ton ist *Kaolin*, ein basisches Aluminiumsilikat, $[Al(OH)_2]_4Si_4O_{10}$. Kalkhaltige Tone bezeichnet man als *Tonmergel*. *Lehm* ist durch Eisenoxyd und Sand verunreinigter Ton. *Tonerde* (reines Aluminiumoxyd, Al_2O_3) kommt in Form von *Korund* und *Schmirgel* und gefärbt als *Rubin* vor. Das wichtigste Aluminiumerz ist der *Bauxit*, ein durch Eisenoxyd und Siliziumdioxyd verunreinigtes Aluminiumoxydhydroxyd, AlO(OH). Das Aluminiumoxyd wird aus dem Bauxit auf chemischem Wege abgetrennt und anschließend durch *Schmelzelektrolyse* in Aluminium und Sauerstoff zerlegt. Aluminium wird zur Darstellung anderer Metalle verwendet, deren Oxyde sich mit Kohlenstoff nicht ohne weiteres zum Metall reduzieren lassen, z. B. zur Darstellung von Mangan, Chrom u. a. (*Aluminothermie*). *Thermit* ist eine Mischung aus Aluminiumgrieß und Eisenoxyd, die nach dem Zünden flüssiges Eisen entstehen läßt und daher zum Schweißen von Eisenteilen (z. B. Verbinden von Straßenbahnschienen) dient. *Aluminiumlegierungen* werden vielseitig verwendet.

Gallium (benannt nach *Gallia*, Frankreich), Ga. Das glänzend weiße, weiche, dehnbare Metall schmilzt bereits bei 29,78 °C und wird wegen seines hohen Siedepunktes zum Füllen von Hochtemperaturthermometern verwendet. Es ist ein sehr seltenes Metall, das fast stets in geringer Menge im Aluminium enthalten ist. Außerdem tritt es spurenweise in Zinkerzen und im *Germanit*, einem Germaniummineral, auf. Technisch wird Gallium aus den Verhüttungsrückständen des Mansfelder Kupferschiefers gewonnen.

Indium, In. Das silberweiße, stark glänzende und sehr weiche Metall ist in sehr geringer Menge in bestimmten Zinkblenden enthalten und wurde nach der charakteristischen indigoblauen Linie benannt, die in seinem Spektrum auftritt.

Thallium (griech., grüner Zweig), Tl. Das bleiähnlich aussehende, weiche und zähe Metall ist in geringer Menge weit verbreitet und tritt in seinen Verbindungen bevorzugt einwertig auf. Als typisches Schwermetall kommt es spurenweise in den sulfidischen Erzen von Zink, Kupfer und Eisen vor. Beim Rösten dieser Erze sammelt sich das Thallium im Flugstaub an und wird daraus gewonnen. Es ist auch spurenweise an Stelle von Kalium in Glimmern enthalten. Thalliumsalze färben eine Gasflamme intensiv grün und sind stark giftig. Thallium(I)-sulfat, Tl_2SO_4, wird als Rattengift verwendet.

Germanium, Zinn, Blei. Diese Metalle der IV. Hauptgruppe des Periodensystems treten zwei- und vierwertig auf. Die Beständigkeit der II. Oxydationsstufe nimmt vom Germanium zum Blei zu, die der IV. in derselben Reihenfolge ab. Die Wasserstoffverbindungen der Metalle, MeH_4, sind relativ leicht flüchtig.

Germanium, Ge. Das spröde, grauweiße Halbmetall wird als Halbleiter verwendet. Die wichtigsten Mineralien sind *Germanit*, $3\,Cu_2S \cdot FeS \cdot 2\,GeS_2$, und *Argyrodit*, $4\,Ag_2S \cdot GeS_2$. Auch bestimmte Steinkohlenaschen und manche Zinkerze enthalten etwas Germanium. Es wurde von C. Winkler 1885 entdeckt und nach seinem Vorkommen in Deutschland benannt.

Zinn (lat. *Stannum*), Sn. Das silberweiße, glänzende, weiche Metall läßt sich sehr dünn auswalzen (*Stanniol*). Es tritt in *drei Modifikationen* auf, einer pulvrigen grauen Form, der normalen duktilen Form und in einer oberhalb 161 °C beständigen spröden Zustandsform. Das wichtigste Zinnerz ist der *Zinnstein* (Kassiterit), SnO_2, aus dem man das Metall durch Reduktion mit Kohle gewinnt. Es dient zum Verzinnen von Eisenblech (Weißblech) und zum Herstellen von Legierungen, z. B. *Britanniametall* (10 bis 20% Antimon, weniger als 4% Kupfer, weniger als 5% Zink). Zinn(II)-Verbindungen sind starke Reduktionsmittel, da sie leicht in Zinn(IV)-Verbindungen übergehen.

Blei (lat. *Plumbum*), Pb. Das bläulichgraue, weiche, dehnbare Metall hat von allen stabilen Elementen die größte Ordnungszahl; es ist das stabile Endprodukt des radioaktiven Zerfalls von Uran und Thorium. Das wichtigste Bleierz ist der *Bleiglanz* (Galenit), PbS. Um Blei zu gewinnen, wird das Bleisulfid durch Rösten in Bleioxyd, PbO, übergeführt ($2\,PbS + 3\,O_2 \rightarrow 2\,PbO + 2\,SO_2$) und dieses mit Koks im Schachtofen zu Blei reduziert ($PbO + C \rightarrow Pb + CO$). Aus ihm werden Rohre, Bleche, Akkumulatorenplatten hergestellt; wegen seines guten Strahlenabsorptionsvermögens dient es zum Abschirmen von Röntgenstrahlen und radioaktiven Strahlen. Blei und seine Salze sind giftig. Blei(II)-Verbindungen sind beständiger als Blei(IV)-Verbindungen, die stark oxydierend wirken. *Bleiweiß* ist basisches Bleikarbonat. *Mennige*, Pb_3O_4, dient als Anstrichfarbe zum Rostschutz und ist als Blei(II)-plumbat(IV), $Pb_2(PbO_4)$, d. h. als Blei(II)-Salz der vierwertigen Bleisäure aufzufassen.

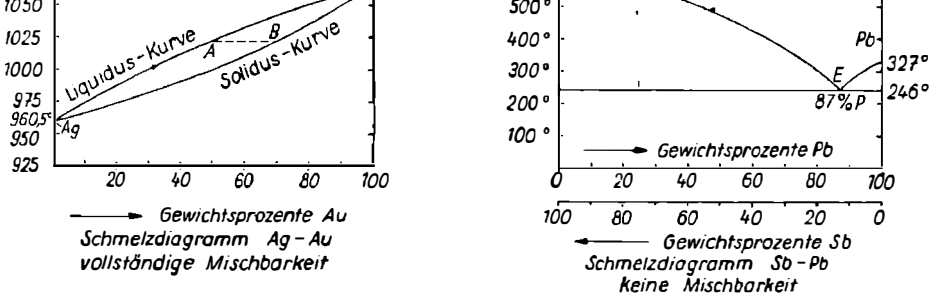
Antimon, Wismut. Diese Metalle gehören zur V. Hauptgruppe des Periodensystems. Phosphor, Arsen und Antimon treten sowohl in nichtmetallischen als auch in metallischen Modifikationen auf. Beim Antimon überwiegt bereits der metallische Charakter. Antimon und Wismut treten drei- und fünfwertig auf. Ihre Wasserstoffverbindungen, MeH_3, sind sehr unbeständig. Wismut(V)-Verbindungen sind außerordentlich starke Oxydationsmittel.

Antimon (lat. *Stibium*), Sb. Das silberweiße, glänzende, spröde Metall hat mäßige Härte und läßt sich leicht pulverisieren. Außer der metallischen Modifikation existiert unterhalb − 80 °C noch eine nichtmetallische *gelbe Modifikation*, die dem farblosen Phosphor und gelben Arsen entspricht. Das wichtigste Mineral ist der *Grauspießglanz*, Sb_2S_3. Antimon hat die Eigenschaft, weiche Metalle, z. B. Blei und Zinn, zu härten und wird vorwiegend zu Legierungen verarbeitet.

Wismut (lat. *Bismutum*), Bi. Das rötlich-weiß glänzende, spröde, grob kristalline Metall läßt sich leicht pulverisieren. Es ist bereits schwach radioaktiv und zerfällt sehr langsam (Halbwertszeit etwa $2{,}5 \cdot 10^{17}$ Jahre) unter Aussendung von Alphastrahlen in Thallium 205. Wichtige Vorkommen sind der *Wismutglanz*, Bi_2S_3, und der *Wismutocker*, Bi_2O_3. Wismut tritt vorwiegend dreiwertig auf; aus ihm werden leichtschmelzende Legierungen hergestellt.

LEGIERUNGEN

Zahlreiche Metalle sind in geschmolzenem Zustand miteinander mischbar und bilden beim Erstarren Legierungen. Diese bestehen vielfach aus fest aneinanderhaftenden *Mischkristallen*, in denen die Atome der Komponenten statistisch auf die Gitterplätze verteilt sind. Erfolgt die Verteilung innerhalb des Mischkristalls nach einem bestimmten Plan, dann liegen sogenannte *Überstrukturen* vor. Ist die Mischbarkeit der Metalle auf den flüssigen Zustand beschränkt, so scheiden sich beim Erstarren die Komponenten nebeneinander aus und die Legierung besteht aus einem feinkristallinen Gemisch verschiedener Kriställchen. Die Legierungssysteme werden durch die *Röntgenstrukturanalyse* und vor allem durch die *thermische Analyse* erforscht. Bei dieser wird der Temperaturverlauf beim Abkühlen einer Schmelze in Abhängigkeit von der Zeit verfolgt. Aus den bei verschiedener Zusammensetzung aufgenommenen Abkühlungskurven ergibt sich das *Schmelzdiagramm* des betreffenden Systems. Bei vollständiger Mischbarkeit im flüssigen und im festen Zustand (unbeschränkte Mischkristallbildung) liegt der Erstarrungspunkt der Legierungen zwischen den Schmelzpunkten der reinen Metalle (Abb. *a*). Die *Liquiduskurve* gibt die Temperatur an, bei der sich aus zusammengesetzten Metallschmelzen die ersten Mischkristalle abscheiden. Diese haben jedoch im allgemeinen eine andere Zusammensetzung als die Schmelze. Sie enthalten das höher schmelzende Metall angereichert. Dadurch ändert sich auch laufend die Zusammensetzung der Restschmelze, die Erstarrungstemperatur nimmt entlang der Liquiduskurve ab. Die Änderung der Zusammensetzung der sich dabei laufend abscheidenden Mischkristalle wird durch die *Soliduskurve* beschrieben. Bei Legierungen, deren Bestandteile im festen Zustand praktisch nicht mischbar sind, scheiden sich beim Erstarren zunächst die reinen Kristalle des einen Bestandteils aus. Die Konzentration des anderen nimmt dadurch ständig zu und die Erstarrungstemperatur sinkt entsprechend dem 2. Raoultschen Gesetz (Gefrierpunktserniedrigung) ab (Abb. *b*). Schließlich hat die Restschmelze eine Zusammensetzung erreicht, bei der sich auch der andere Bestandteil auszuscheiden beginnt. Beide kristallisieren jetzt bei gleichbleibender Temperatur nebeneinander aus und bilden ein *eutektisches Gemisch*. Man bezeichnet diesen Punkt im Schmelzdiagramm als *Eutektikum E*.



Einfache Schmelzdiagramme

a Schmelzdiagramm von Silber–Gold, vollständige Mischbarkeit über den ganzen Temperaturbereich, b Schmelzdiagramm von Antimon–Blei, keine Mischbarkeit im festen Zustand

Die Zustandsdiagramme der Legierungssysteme sind meist bedeutend komplizierter als die angeführten Beispiele. Zwischen vollständiger Mischkristallbildung und dem Fehlen der Mischbarkeit im festen Zustand bestehen zahlreiche Übergänge.
Intermetallische Verbindungen geben sich häufig an einem Maximum im Schmelzdiagramm zu erkennen.

Aluminiumlegierungen. Wichtige Legierungen sind *Magnalium* (10 bis 30% Magnesium) und das seewasserfeste, im Schiffsbau verwendete *Hydronalium* (3 bis 12% Magnesium). Wichtige kupferhaltige Legierungen sind *Lautal* (4% Kupfer, 2% Silizium), ebenfalls seewasserfest, und *Duralumin* (2,5 bis 5,5% Kupfer, 0,5 bis 2% Magnesium, 0,5 bis 1,2% Mangan, 0,2 bis 1% Silizium), das sich ähnlich wie Stahl durch Härten vergüten läßt. *Silumin* enthält 12 bis 14% Silizium, *Skleron* 12% Zink, 3% Kupfer und 1,7% Mangan, Eisen, Silizium und Lithium.

Bleilegierungen. Die geringe Härte des Bleis wird durch verschiedene Zusätze erhöht. *Hartblei* enthält 9% Antimon (Akkuplatten), *Schrot* 3,2 bis 4% Antimon und 1,2 bis 1,6% Arsen, *Lettermetall* und *Bleilagermetalle* außer Antimon meist noch etwas Zinn. Manche Bleilagermetalle sind mit Alkali- und Erdalkalimetallen gehärtet, z. B. das bei der Reichsbahn viel verwendete sogenannte *Bahnmetall* (0,7% Kalzium, 0,6% Natrium, 0,04% Lithium).

Eisenlegierungen. *Roheisen* enthält im allgemeinen 2,5 bis 4% Kohlenstoff, 0,5 bis 3% Silizium, 0,5 bis 6% Mangan, bis zu 2% Phosphor und Spuren Schwefel. Im *grauen Roheisen* (*Gußeisen*) überwiegt der Siliziumgehalt gegenüber dem Mangangehalt (weniger als 2% Silizium, weniger als 0,2% Mangan). *Weißes Roheisen* enthält mehr Mangan als Silizium (über 4% Mangan, unter 0,5% Silizium) und wird vorwiegend zu *Stahl* verarbeitet. Nichthärtbarer Stahl wird als *Schmiedeeisen* bezeichnet und ist bis auf weniger als 0,5% von Kohlenstoff befreit. Härtbarer Stahl (0,5 bis 1,7% Kohlenstoff) ist Stahl im engeren Sinne. *Stahllegierungen* werden durch Verschmelzen mit anderen Metallen oder Nichtmetallen hergestellt, die meist in Form ihrer *Ferrolegierungen* zugesetzt werden, z. B. Ferrochrom, Ferronickel, Ferrowolfram, Ferromolybdän, Ferrovanadin, Ferrotitan, Ferromangan, Ferrosilizium und Ferrophosphor. Die Ferrolegierungen enthalten teilweise bis zu 90% des genannten Legierungsbestandteils. Nickel erhöht besonders die Zähigkeit des Stahls. Eine Legierung mit 25% Nickel läßt sich auf die doppelte Länge ausziehen, ohne zu zerreißen. *Invar* (34 bis 36% Nickel) dehnt sich beim Erwärmen fast nicht aus. Chrom verleiht dem Stahl besondere Härte. Chrom-Nickel-Stähle, z. B. V2A-Stahl (71% Eisen, 20% Chrom, 8% Nickel und je 0,2% Silizium, Kohlenstoff und Mangan), sind sowohl mechanisch als auch chemisch außerordentlich widerstandsfähig. *Schnellarbeitsstähle* enthalten Wolfram, Molybdän oder Vanadin und werden auch bei beginnender Rotglut noch nicht enthärtet, z. B. *Schnelldrehstahl* (15 bis 18% Wolfram, 2 bis 5% Chrom und 1 bis 3% Vanadin).

Goldlegierungen. Die zu Schmuckzwecken und als Zahnersatz verwendeten Legierungen enthalten meist Silber und Kupfer, Weißgold (58 bis 83% Gold), daneben auch Nickel, Platin und Palladium. Der Goldgehalt wird häufig in Karat angegeben. 1 Karat bedeutet, die Legierung enthält $^1/_{24}$ oder 4,17% Feingold.

Kupferlegierungen. *Bronzen* sind Legierungen des Kupfers meist mit Zinn, z. B. *Phosphorbronze* (6% Zinn, unter 0,04% Phosphor) und *Siliziumbronze* (neben Zinn 1 bis 2% Silizium). Die goldähnlich aussehenden *Aluminiumbronzen* (4 bis 9% Aluminium) und die *Bleibronzen* (10 bis 35% Blei) enthalten kein Zinn. Legierungen des Kupfers mit Zink werden als *Messing* bezeichnet. Man unterscheidet das sehr dehnbare Rotmessing oder den Tombak (unter 20% Zink) vom technisch wertvollen Gelbmessing (20 bis 40% Zink) und dem spröden Weißmessing (40 bis 80% Zink). Mit Nickel liefert Kupfer Legierungen, deren elektrischer Widerstand praktisch unabhängig ist von der Temperatur, z. B. *Konstantan* (45% Nickel) und *Manganin* (12% Mangan, 2% Nickel). *Neusilber* enthält 12 bis 26% Nickel und 19 bis 31% Zink. *Alpaka* ist versilbertes Neusilber. *Monelmetall* (68 bis 70% Nickel, unter 1% Mangan) ist besonders beständig gegen chemische Reagenzien.

Silberlegierungen. Gewöhnlich kupferhaltig, dienen diese Legierungen vorwiegend zu Schmuckzwecken. Der Feinsilbergehalt wird meist in Promille angegeben, z. B. Silber 800 (80% Silber, 20% Kupfer).

Wolframlegierungen. Diese außerordentlich harten Legierungen werden zu Schnelldrehstählen und zu besonders stark beanspruchten Ziehdüsen verarbeitet, z. B. *Stellit* (50 bis 60% Kobalt, 30 bis 40% Chrom, 8 bis 20% Wolfram) und *Wolframkarbid* mit 10% Kobalt, das hart wie Diamant ist.

Leichtschmelzbare Legierungen. Wismutlegierungen, die bereits um 100 °C schmelzen, sind *Roses Metall* (50% Wismut, 25% Blei, 25% Zinn, Schmelzbereich 96 bis 115 °C), *Lipowitzmetall* (50% Wismut, 27% Blei, 13% Zinn, 10% Kadmium, Schmelzpunkt 72 °C) und *Woodmetall*, eine dem Lipowitzmetall ähnliche Legierung.

Lote. Lote sind Legierungen zum Verbinden anderer Metalle. Man unterscheidet *Zinnlote*, z. B. *Lötzinn* (25 bis 90% Zinn, unter 3,6% Antimon, Rest Blei, Schmelzbereich 185 bis 260 °C), Messinglote, z. B. *Hartlote* (42 bis 85% Kupfer, Rest Zink, Schmelzbereich 830 bis 1025 °C), und *Silberlote* (7 bis 50% Silber, 15 bis 55% Kupfer, 0 bis 22% Kadmium, Rest Zink, Schmelzbereich 850 bis 610 °C).

NICHTMETALLE

Wichtige physikalische Konstanten der unter gewöhnlichen Bedingungen festen und flüssigen Nichtmetalle. Die Edelgase sowie die Elemente Wasserstoff, Fluor, Chlor, Sauerstoff und Stickstoff sind *gasförmige Stoffe*.

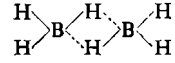
Nichtmetall	Dichte in g/cm³ bei 20 °C	Schmelzpunkt in °C	Siedepunkt in °C
Arsen			
metallisches	5,72	817	633
gelbes	1,97	(36 at)	(sublimiert)
Astat	nicht bekannt		
Bor	2,34	≈2300	≈2550
Brom	3,14	−7,3	+58,8
Jod	4,942	113,7	184,5
Kohlenstoff			
Diamant	3,51	—	—
Graphit	≦2,2 (Ruß 1,8)	3500	3850
Phosphor			
farblos	1,82	44,1	280
rot	2,20	590 (43 at)	416 (sublimiert)
schwarz	2,69	—	—
Polonium	9,32	282	—
α-Schwefel	2,06	112,8	—
β-Schwefel	1,96	119,0	444,60
Selen			
rot	4,28···4,30	—	—
metallisch	4,82	220	688
Silizium	2,33	1410	2630
Tellur	6,25	452	1390

Edelgase. Die Elemente der VIII. Hauptgruppe des Periodensystems, Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und Radon, sind farblose, geruchlose, einatomige Gase, die sich schwer verflüssigen lassen. Der Siedepunkt steigt von −269 °C auf −65 °C an. Die Schmelzpunkte liegen nur wenig unterhalb der Siedepunkte. Die Edelgase sind nullwertig. Sie bilden keine Verbindungen, da ihnen die dazu notwendigen Valenzelektronen fehlen (*Edelgaskonfiguration*). Von den Atomen gehen nur schwache van der Waalssche Kräfte aus, die lediglich die Bildung lockerer Additionsverbindungen ermöglichen, z. B. die Bildung der unter Druck beständigen Hydrate von Argon, Krypton, Xenon und Radon. In Wasser und organischen Lösungsmitteln sind die Edelgase in beträchtlichen Mengen löslich. Die atmosphärische Luft enthält 1 Volumenprozent Edelgase. Davon entfällt der überwiegende Anteil (99,7%) auf Argon, das wegen des radioaktiven Zerfalls von Kalium, speziell des Kaliumisotops ^{40}K, so häufig ist. Helium wird durch alle radioaktiven Umwandlungen gebildet, bei denen Alphateilchen (He^{2+}-Ionen) ausgesendet werden. Man kann es durch Erhitzen aus Uran- und Thoriumerzen austreiben (1 kg Pechblende ergibt 7 bis 8 Liter Helium). In den USA wird Helium vorwiegend aus bestimmten Erdgasen gewonnen, die z.T. einen Heliumgehalt von mehr als 1% aufweisen. Sämtliche Edelgase (außer Radon) können durch fraktionierte Destillation verflüssigter Luft in technischem Maßstab gewonnen werden. Sie werden hauptsächlich in der Beleuchtungstechnik verwendet, z. B. an Stelle von Stickstoff zum Füllen von Glühlampen (meist Argon mit 15% Stickstoff), deren Lebensdauer und Lichtausbeute um so größer ist, je schwerer die Füllgasatome sind. Durch elektrische Entladungen lassen sich die Edelgase zum Aussenden von farbigem Licht anregen, wovon man in der Lichtreklame Gebrauch macht. Radon kommt

nur spurenweise im radioaktiven Gleichgewicht mit den anderen Gliedern der Zerfallsreihen in der Natur vor (in der Luft etwa $7 \cdot 10^{-16}$ g/m³). 16 Isotope sind bekannt, das langlebigste Isotop ist Radon 222 (Alphastrahler, Halbwertszeit 3,825 Tage).

Wasserstoff (lat. *Hydrogenium*), H. Wasserstoff ist das leichteste Element, ein Gas, das aus zweiatomigen Molekülen, H_2, besteht, farb- und geruchlos ist, in Sauerstoff oder Luft mit sehr heißer Flamme zu Wasser ($2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O$) verbrennt, mit Sauerstoff ein explosives Gemisch (Knallgas) bildet und zu 0,9% am Aufbau der Erdrinde beteiligt ist, hauptsächlich in Form von Wasser. Jedes sechste bis siebente Atom auf der Erde ist ein Wasserstoffatom. Wasserstoff wird gewonnen durch Wasser- und Chloralkali-Elektrolyse und in größtem Maße durch Reduktion des Wassers mit glühender Kohle ($31{,}4$ kcal $+ C + H_2O \rightarrow CO + H_2$). Das Gemisch aus Kohlenoxyd, CO, und Wasserstoff, H_2, heißt *Wassergas*. Durch Umsetzen des Kohlenmonoxyds mit Wasser läßt sich weiterer Wasserstoff gewinnen ($CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + 9{,}8$ kcal; *Wassergasgleichgewicht*). Wasserstoff zuführen heißt *reduzieren* (*hydrieren*), Wasserstoff entziehen heißt *oxydieren* (*dehydrieren*). Mit Wasserstoff lassen sich in Knallgasflammen hohe Temperaturen erzeugen, z. B. zum Quarzblasen und Schweißen; Wasserstoff kommt unter hohem Druck in roten Stahlflaschen in den Handel. Großtechnische Verfahren mit Wasserstoff sind die Ammoniaksynthese, die Kohlehydrierung, die Methanolsynthese und die Fetthärtung.

Wasserstoffverbindungen. Die Verbindungen der Elemente mit Wasserstoff heißen *Hydride*. In den salzartigen Hydriden der Alkali- und Erdalkalimetalle, z. B. im Natriumhydrid, NaH, oder Kalziumhydrid, CaH_2, ist der Wasserstoff in Form einwertig negativ geladener Anionen heteropolar gebunden. Beide Verbindungen entstehen beim Überleiten von Wasserstoff über die erhitzten Metalle. In den *Borwasserstoffen*, z. B. im Diboran, B_2H_6, und im hochpolymeren Beryllium- und Aluminiumwasserstoff, $(BeH_2)_x$ und $(AlH_3)_x$, liegt eine besondere Bindungsart vor. Je zwei Atome der Elemente werden durch ein gemeinsames Paar Wasserstoffatome zusammengehalten, wie die Strukturformel zeigt.



Diboran

Die Übergangsmetalle bilden meist keine stöchiometrischen Wasserstoffverbindungen. Einige Edelmetalle vermögen große Mengen Wasserstoff zu lösen. Die *gasförmigen Wasserstoffverbindungen* der Elemente der IV., V., VI. und VII. Hauptgruppe des Periodensystems enthalten den Wasserstoff in homöopolarer Bindung. Er läßt sich jedoch von der IV. zur VII. Hauptgruppe in zunehmendem Maße leichter in Form positiver Wasserstoffionen, H^+, abspalten und durch Metalle ersetzen. Die Wasserstoffverbindungen der *Chalkogene*, H_2E (E = S, Se, Te), und insbesondere die *Halogenwasserstoffe*, HE (E = F, Cl, Br, J), reagieren in wäßriger Lösung sauer. Sie dissoziieren in Wasserstoffionen, H^+, bzw. *Hydroniumionen*, H_3O^+, und die entsprechenden Säureanionen und bilden mit Basen Salze, die *Chalkogenide* und *Halogenide*. Die Säurestärke nimmt vom Schwefel zum Tellur und vom Fluor zum Jod zu. Jodwasserstoff ist die stärkste Halogenwasserstoffsäure. Die wichtigste Wasserstoffverbindung ist das *Wasser*. Es dissoziiert in Hydroniumionen und Hydroxylionen, $2\,H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$. Da sich die Wirkung der für Säuren charakteristischen Hydroniumionen und der für Basen charakteristischen Hydroxylionen aufhebt, reagiert Wasser neutral. Unter Ausschluß von Wasser lassen sich auch von den *Wasserstoffverbindungen der III. Hauptgruppe*, EH_3 (E = N, P, As, Sb, Bi), salzartige Verbindungen herstellen, die Nitride, Phosphide, Arsenide usw. Beim Ammoniak, NH_3, ist ein stufenweiser Ersatz möglich; Natrium reagiert mit Ammoniak unter Bildung von *Natriumamid*, $NaNH_2$, das beim Erhitzen unter Ammoniakabspaltung in *Natriumimid*, Na_2NH, und *Natriumnitrid*, Na_3N, übergeht. In wäßriger Lösung reagiert Ammoniak basisch, da sich mit Wasser teilweise Ammoniumhydroxyd bildet, $NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+OH^-$. Mit Säuren bildet Ammoniak die Ammoniumsalze. Von den Wasserstoffverbindungen der IV. Hauptgruppe leiten sich ebenfalls Metallverbindungen ab, vom Methan, CH_4, z. B. das Aluminiumkarbid, Al_4C_3, vom Monosilan, SiH_4, bestimmte Silizide und vom Monogerman, GeH_4, Germanide.

Halogene. Die VII. Hauptgruppe des Periodensystems umfaßt die sehr reaktionsfähigen Elemente Fluor, Chlor, Brom, Jod und das sehr instabile Astat. Diese bestehen aus zweiatomigen Molekülen. Der Name *Halogene* (*Salzbildner*) bringt ihre gemeinsame Eigenschaft zum Ausdruck, sich unmittelbar mit Metallen zu Verbindungen mit typischem Salzcharakter zu vereinigen, den sogenannten *Halogeniden*, in denen die Elemente in Form einfach negativ geladener Ionen vorliegen. Die Wertigkeitsstufe −I wird von den Halogenen bevorzugt, daneben ist gegenüber elektronegativeren Elementen, z. B. Fluor und Sauerstoff, auch die Ausbildung mehrerer positiver Wertigkeitsstufen möglich. Fluor tritt stets elektronegativ einwertig auf. Beim Chlor sind die elektropositiv siebenwertigen Verbindungen, die Perchlorsäure und ihre Salze, nach den Chloriden am beständigsten, beim Brom die elektropositiv fünfwertige Bromsäure und ihre Salze. Perbromate mit siebenwertigem Brom gibt es auffallenderweise nicht. Perjodate und Jodate sind bekannt.

Fluor, F. Das in dicker Schicht schwach grünlichgelb gefärbte Gas hat stechenden Geruch und ist das reaktionsfähigste Element. Es kommt in der Natur im *Flußspat*, CaF_2 (Kalziumfluorid), und

im *Apatit*, einem fluorhaltigen Kalziumphosphat, $Ca_5(PO_4)_3F$, vor und wird dargestellt durch Elektrolyse von geschmolzenem Kaliumhydrogenfluorid, KHF_2, in Apparaturen aus Magnesium oder Monelmetall, zwei Metallen, die mit Fluor unter den Darstellungsbedingungen nur an der Oberfläche reagieren. Fluor vereinigt sich mit Wasserstoff sehr heftig zu *Fluorwasserstoff*, einer bei 19,5 °C siedenden, sehr aggressiven Flüssigkeit, deren wäßrige Lösung als *Flußsäure* bezeichnet wird; Fluor zersetzt Wasser unter Bildung von Sauerstoff und Glas unter Bildung von flüchtigem Siliziumtetrafluorid, SiF_4. Mit Sauerstoff bildet es die unbeständigen Fluoride O_2F und O_3F_2. Aus Fluor werden fluorhaltige organische Verbindungen hergestellt, z. B. Fluorkohlenwasserstoffe, die als Kältemittel und temperaturbeständige Schmierstoffe und wertvolle Plaste verwendet werden. Fluor wurde 1886 von H. Moissan erstmals dargestellt.

Chlor (griech., gelbgrün), Cl. Chlor ist ein erstickend riechendes, gelbgrünes, sehr reaktionsfähiges Gas, das sich bereits durch Druck verflüssigen läßt und in Stahlflaschen und Kesselwagen bzw., an gelöschten Kalk gebunden, als Chlorkalk in den Handel kommt. Chlor ist zu 0,19% am Aufbau der Erdrinde beteiligt, hauptsächlich in Form von im Meerwasser gelöstem Steinsalz, NaCl. Die wichtigste Rohstoffquelle sind die *Zechsteinsalzlager*. Es wird technisch vorwiegend durch *Chloralkali-Elektrolyse* gewonnen. Chlor vereinigt sich mit den meisten Metallen zu Metallchloriden und reagiert mit Wasserstoff explosionsartig zu Chlorwasserstoff (*Chlorknallgasreaktion*, $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2\,HCl - 43{,}8$ kcal), einem farblosen Gas, das sich in Wasser zu *Chlorwasserstoffsäure* (*Salzsäure*) löst. Außerdem bildet das Chlor vier *Sauerstoffsäuren*, die *unterchlorige Säure*, HClO, (Salze Hypochlorite); die *chlorige Säure*, $HClO_2$, (Salze Chlorite); die *Chlorsäure*, $HClO_3$, (Salze Chlorate) und die *Perchlorsäure*, $HClO_4$, (Salze Perchlorate) sowie die Oxyde Dichlormonoxyd, Cl_2O, Chlordioxyd, ClO_2, Dichlorhexoxyd, Cl_2O_6, und Dichlorheptoxyd, Cl_2O_7. Alle Sauerstoffverbindungen des Chlors sind instabil und können explosionsartig zerfallen. *Perchlorsäure* ist die stärkste anorganische Säure. Chlor ist ein Oxydationsmittel, wirkt bleichend und desinfizierend (Trinkwasserentkeimung, Desinfizierung von Hallenbädern und Abwässern) und wird in großen Mengen zu organischen Synthesen verwendet sowie dazu, verschiedene Plaste, PVC u. a., herzustellen. Chlor wurde 1774 von Scheele entdeckt.

Brom (griech., Gestank), Br. Das Element Brom ist flüssig; die ätzend riechende, schwere, tiefbraune Flüssigkeit entwickelt rotbraune Dämpfe und löst sich in geringen Mengen in Wasser zu *Bromwasser*. Die in der Natur vorkommenden Chlorverbindungen enthalten im allgemeinen auch Bromverbindungen (1/300). Brom wird aus *Bromcarnallit*, $KBr \cdot MgBr_2 \cdot 6\,H_2O$, gewonnen, der in den Endlaugen der Kaliindustrie anfällt. Mit Wasserstoff oder wasserstoffhaltigen organischen Verbindungen (z. B. Tetralin, Dekalin) vereinigt sich Brom zu *Bromwasserstoff*, HBr, einem Gas, das sich in Wasser unter Bildung von Bromwasserstoffsäure löst. Ihre Salze heißen *Bromide*, z. B. Natriumbromid, NaBr. Brom bildet die unbeständigen Oxyde Br_2O, BrO_2 und BrO_3, die nur vorübergehend in Lösung beständige *unterbromige Säure*, HBrO, und die Bromsäure, $HBrO_3$. Brom wird vorwiegend in der organischen Chemie verwendet. Manche bromhaltige organische Verbindungen dienen als Schlaf- und Beruhigungsmittel. *Silberbromid*, AgBr, bildet die lichtempfindliche Schicht photographischer Filme. Brom wurde 1826 von A. J. Balard entdeckt.

Jod (griech., veilchenfarbig), J. Das Element bildet grauschwarze, metallglänzende Schuppen, die sich unter Bildung violetter Dämpfe leicht verflüchtigen. Es ist zu 0,0002% im Meerwasser enthalten, hauptsächlich organisch gebunden in Tangen, und wird aus *Tangasche* sowie aus *Chilesalpeter* (Natriumnitrat, $NaNO_3$) gewonnen, der das Jod in geringer Menge in Form von Natriumjodat, $NaJO_3$, enthält. *Jodwasserstoff* löst sich in Wasser zu Jodwasserstoffsäure, die leicht zu Jod oxydiert wird. Ihre Salze heißen *Jodide*, z. B. Natriumjodid, NaJ. Jod bildet die Oxyde J_2O_4, J_4O_9 und J_2O_5 und die Sauerstoffsäuren Jodsäure, HJO_3, (Salze Jodate) und Perjodsäure, H_5JO_6, (Salze Perjodate). Jod wird medizinisch verwendet, wirkt antiseptisch und blutstillend, größere Mengen innerlich aufgenommen sind giftig. Es ist im Hormon der Schilddrüse enthalten. Jod wurde 1811 von B. Courtois entdeckt und 1815 von Gay-Lussac als Element erkannt.

Astat (griech., unbeständig), At. Das 1940 erstmals künstlich hergestellte Element kommt auch in außerordentlich geringer Menge als kurzlebiges Glied der drei natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen in Uran- und Thoriumerzen vor. 20 Isotope sind bekannt, die wichtigsten sind Astat 210 und 211 (Halbwertszeit 7,5 Stunden). Astat verhält sich chemisch ähnlich wie Jod.

Chalkogene. Die VI. Hauptgruppe des Periodensystems umfaßt die Elemente Sauerstoff, Schwefel, Selen, Tellur und das radioaktive Polonium. Ihre Verbindungen mit Metallen bilden die meisten in der Natur vorkommenden Erze; *Chalkogene* bedeutet *Erzbildner*. Sie treten in ihren Metall- und Wasserstoffverbindungen elektronegativ zweiwertig auf, gegenüber Sauerstoff maximal elektropositiv sechswertig, daneben auch vierwertig. Die Beständigkeit der sechswertigen Chalkogenverbindungen nimmt vom Schwefel zum Tellur ab. Sauerstoff tritt nur elektronegativ zweiwertig auf.

Sauerstoff (lat. *Oxygenium*), O. Sauerstoff ist ein geruch- und farbloses, aus zweiatomigen Molekülen, O_2, bestehendes Gas, ein Bestandteil der Luft, der unentbehrlich für Verbrennung und Atmung ist. In verflüssigtem Zustand hat es hellblaue Farbe. Es ist das häufigste Element, sein Anteil an der Zusammensetzung der Erdrinde einschließlich der Atmosphäre macht 49,4% aus. Sauerstoff wird durch fraktionierte Destillation verflüssigter Luft oder durch Elektrolyse des

Wassers gewonnen und in blauen Stahlflaschen unter hohem Druck (etwa 150 at) gehandelt. Mit Ausnahme der Edelgase verbinden sich alle Elemente mit Sauerstoff zu *Oxyden*, entweder durch unmittelbare Vereinigung mit Sauerstoff oder durch Erhitzen der Hydroxyde oder anderer leichtzersetzlicher sauerstoffhaltiger Verbindungen. Von Elementen, die in verschiedenen elektropositiven Wertigkeitsstufen auftreten können, existieren mehrere Oxyde. Die *Metalloxyde* haben im allgemeinen basische Eigenschaften, sind *Basenanhydride*. Zahlreiche *Nichtmetalloxyde* haben saure Eigenschaften, sind *Säureanhydride*. Mit Sauerstoff verbinden heißt *oxydieren*, ihn aus Verbindungen entziehen, *reduzieren*. Mit Wasserstoff verbindet sich Sauerstoff zu 2 Verbindungen, Wasser, H_2O, und Wasserstoffperoxyd, H_2O_2, einem Oxydationsmittel, das leicht unter Sauerstoffabgabe in Wasser übergeht. Es dient zu Bleichzwecken und als Desinfektionsmittel. Man unterscheidet normale Oxyde und Peroxyde. Letztere leiten sich vom Wasserstoffperoxyd ab und enthalten die *Peroxygruppe*, $-O-O-$, oder das *Peroxydion*, O_2^{2-}. Auch Hyperoxyde mit einfach negativ geladenen O_2^--Ionen sind bekannt, z. B. Kaliumhyperoxyd, KO_2. *Ozon* ist eine aus dreiatomigen Molekülen, O_3, bestehende Form des Sauerstoffs (Siedepunkt $-111{,}5$ °C, Schmelzpunkt $-251{,}4$°C); es hat einen charakteristischen Geruch, sieht bereits in dünner Schicht blau und in fester Form schwarz aus und ist ein starkes Oxydationsmittel, das zur Luftsterilisation verwendet wird.

Schwefel (lat. *Sulfur*), S. Dieses Element hat gelbe Farbe und tritt in mehreren *Modifikationen* auf, als rhombischer *α-Schwefel* und monokliner *β-Schwefel*; seine Moleküle bestehen aus 8 Atomen, die einen unebenen Ring bilden. In geschmolzenem Zustand spalten die S_8-Ringe teilweise auf und bilden Ketten. Schwefel ist ein Bestandteil vieler Erze (besonders der *Kiese*, *Glanze* und *Blenden*), kommt in *elementarer Form* vor (in Sizilien, Japan, Texas, Louisiana, Polen) sowie in Form verschiedener Sulfate (Salze der Schwefelsäure) und ist auch in Kohle enthalten (Steinkohlen 1 bis 1,5%). Große Mengen Schwefel werden durch Oxydation von Schwefelwasserstoff gewonnen, der in den aus Kohle hergestellten Gasen (Leuchtgas, Kokereigas, Wassergas) enthalten ist. Schwefel vereinigt sich mit Kohlenstoff zu *Schwefelkohlenstoff*, CS_2, mit Wasserstoff zu *Schwefelwasserstoff*, H_2S, einem nach faulenden Eiern riechenden Gas, und mit zahlreichen Metallen zu *Sulfiden*. Es verbrennt zu *Schwefeldioxyd*, SO_2, einem stechend riechenden, desinfizierend und bleichend wirkenden Gas, das mit Wasser *schweflige Säure*, H_2SO_3, bildet. Bei der katalytischen Oxydation von Schwefeldioxyd entsteht *Schwefeltrioxyd*, SO_3, das mit Wasser *Schwefelsäure*, H_2SO_4, bildet. Schwefelsäure ist die wichtigste anorganische Säure. Schwefel dient zum Vulkanisieren von Kautschuk und wird auch in der Kosmetik und Heilkunde verwendet.

Selen (griech. *selene*, Mond), Se. Das Element Selen tritt wie Schwefel in mehreren *Modifikationen* auf, in zwei roten aus Se_8-Ringen aufgebauten Formen und einer grauen metallischen Modifikation, in der die Se-Atome in zickzackförmigen Ketten angeordnet sind. Die *elektrische Leitfähigkeit* des grauen Selens nimmt beim Belichten stark zu; in *Selenphotozellen* entsteht beim Belichten ein der Lichtintensität proportionaler Strom (verwertet z. B. in photographischen Belichtungsmessern). Selen kommt spurenweise in sulfidischen Erzen vor und sammelt sich beim Rösten in Form von Selendioxyd, SeO_2, im Flugstaub an, aus dem es gewonnen wird. In Wasser löst sich Selendioxyd zu *seleniger Säure*, H_2SeO_3, die sich durch starke Oxydationsmittel, z. B. Natriumhypochlorit, NaClO, zu *Selensäure*, H_2SeO_4, oxydieren läßt. Selen löst sich in konzentrierter Schwefelsäure mit grüner Farbe. Seine Verbindungen sind stark giftig.

Tellur (lat. *tellus*, Erde), Te. Das silberweiße, glänzende Halbmetall ist leicht pulverisierbar und hat eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit. Es verbrennt, an der Luft erhitzt, zu *Tellurdioxyd*, TeO_2. Vom *Telluртrioxyd*, TeO_3, leitet sich die Orthotellursäure, H_6TeO_6, ab. Tellur löst sich in konzentrierter Schwefelsäure mit roter Farbe.

Polonium, Po. Das radioaktive Element wurde von M. Curie 1898 entdeckt und nach ihrem Heimatland Polen benannt. Von insgesamt 24 bekannten Isotopen (Massenzahlen 196 bis 218) treten 7 alphastrahlende Isotope als Glieder der 3 natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen in Uran- und Thoriumerzen auf. Das langlebigste Isotop Polonium 208 hat eine Halbwertszeit von 2,93 Jahren. Am wichtigsten ist das Polonium 210 (Halbwertszeit 138,4 Tage). Es wird künstlich durch Neutronenbestrahlung von Wismut erhalten und in Neutronenquellen zusammen mit Beryllium verwendet. Polonium ist mit Wismut und Tellur chemisch verwandt.

Stickstoff, Phosphor, Arsen. Diese Nichtmetalle der V. Hauptgruppe des Periodensystems treten in ihren Verbindungen mit Metallen, den Nitriden, Phosphiden und Arseniden, sowie in ihren Wasserstoffverbindungen elektronegativ dreiwertig auf, gegenüber Sauerstoff sind sie maximal elektropositiv fünfwertig. Auch von dazwischenliegenden Oxydationsstufen leiten sich zahlreiche Verbindungen ab.

Stickstoff (lat. *Nitrogenium*), N. Das Element ist ein farb-, geruch- und geschmackloses, aus zweiatomigen Molekülen, N_2, bestehendes Gas, das zu 78,1 Vol.-% bzw. 75,5 Gew.-% an der Zusammensetzung der Luft beteiligt ist. Stickstoff ist bei gewöhnlicher Temperatur relativ *reaktionsträge*, die beiden N-Atome sind im Molekül sehr fest aneinander gebunden. Das Gas ist selbst nicht brennbar und kann die Verbrennung anderer Stoffe nicht unterhalten. Lebewesen müssen im Stickstoffgas ersticken. Die technische Gewinnung aus Luft beruht auf der Abtrennung des Sauerstoffs entweder durch fraktionierte Destillation verflüssigter Luft oder durch Bindung des Sauerstoffs an Kohle. Das wichtigste Verfahren zur Bindung des Luftstickstoffs ist die Vereinigung mit

Wasserstoff zu Ammoniak, NH_3, das mit Wasser die einwertige Base Ammoniumhydroxyd ergibt. Mit Säuren bildet Ammoniumhydroxyd *Ammoniumsalze*; Ammoniumchlorid, NH_4Cl, Ammoniumsulfat, $(NH_4)_2SO_4$, und Ammoniumnitrat, NH_4NO_3, sind wichtige Düngesalze. Andere Stickstoffverbindungen mit basischen Eigenschaften sind das Hydrazin, N_2H_4, und das Hydroxylamin, $HO-NH_2$. Die *Stickstoffwasserstoffsäure*, HN_3, ist eine schwache Säure von der Stärke etwa der Essigsäure. Ihre Salze heißen *Azide*. Einige von ihnen, z. B. das Bleiazid, PbN_3, werden zur Initialzündung in Sprengsätzen verwendet. Stickstoff bildet 5 Sauerstoffverbindungen. *Distickstoffmonoxyd*, N_2O, ist ein farbloses Gas von süßlichem Geruch und schwach betäubender Wirkung, auch *Lachgas* genannt. Es dient zu Narkosezwecken. *Stickstoffoxyd*, NO, ein farbloses Gas, das durch katalytische Oxydation von Ammoniak gewonnen wird, vereinigt sich spontan mit dem Sauerstoff der Luft zu *Stickstoffdioxyd*, NO_2, einem rotbraunen Dampf, der sich leicht zu einer Flüssigkeit kondensieren läßt. Stickstoffdioxyd steht mit einer farblosen dimeren Form, dem *Distickstofftetroxyd*, N_2O_4, im Dissoziationsgleichgewicht. *Distickstofftrioxyd*, N_2O_3, und *Distickstoffpentoxyd*, N_2O_5, sind sehr unbeständig und bilden mit Wasser Säuren. Aus N_2O_3 entsteht *salpetrige Säure*, HNO_2, aus N_2O_5 *Salpetersäure*, HNO_3. Eiweiß und zahlreiche andere lebenswichtige Verbindungen enthalten den Stickstoff organisch gebunden.

Phosphor (griech., Lichtträger), P. Das Element Phosphor tritt in mehreren *Modifikationen* auf. Am reaktionsfähigsten ist der *farblose Phosphor*; er bildet wachsweiche, durchscheinende, aus P_4-Molekülen aufgebaute Kristalle, die sich bereits oberhalb 50 °C an der Luft entzünden und dabei zu *Phosphorpentoxyd*, P_2O_5, dem Anhydrid der *Phosphorsäure*, H_3PO_4, verbrennen. Das im Dunklen zu beobachtende Leuchten des farblosen Phosphors beruht auf einer langsamen Oxydation. Unter der Einwirkung von Licht oder bei erhöhter Temperatur erfolgt die Umwandlung in *violetten Phosphor*, der auch im handelsüblichen *roten Phosphor* in der Hauptsache enthalten ist. Unter sehr hohem Druck oder in Anwesenheit von Quecksilber als Katalysator wandelt sich farbloser Phosphor in eine metallische Modifikation, den *schwarzen Phosphor*, um. Das wichtigste ursprüngliche phosphorhaltige Mineral ist der in kristallinen Urgesteinen, z. B. in Granit und Gneis, vorkommende *Apatit*, ein fluor- und chlorhaltiges Kalziumphosphat, $3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(F, Cl)_2$. Der ähnlich aufgebaute Hydroxylapatit, $3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$, bildet umfangreiche *Phosphoritlagerstätten* (Nordafrika, Florida), die durch Verwesung gewaltiger Anhäufungen von Tierleichen und aus tierischen Exkrementen (Guano) in geologischen Zeiträumen entstanden sind. Zur Gewinnung wird Hydroxylapatit mit Koks unter Zusatz von Quarzsand, SiO_2, im elektrischen Ofen reduziert und der dampfförmig entweichende Phosphor unter Wasser aufgefangen. Mit Sauerstoff bildet Phosphor die Oxyde P_2O_3, P_2O_4 und P_2O_5, mit Wasserstoff vereinigt er sich zu *Phosphin*, PH_3, und *Diphosphin*, P_2H_4. Roter Phosphor wird vorwiegend in der Zündholzfabrikation verwendet. Einige Salze der Phosphorsäure sind wichtige *Düngemittel*, z. B. das Diammoniumphosphat, $(NH_4)_2HPO_4$, das Doppelsuperphosphat, $Ca(H_2PO_4)_2$, und das Superphosphat, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2\,CaSO_4$. Die Phosphorsäure und ihre Verbindungen sind wesentlich am Aufbau lebender Organismen beteiligt. Aus *Hydroxylapatit* und Kalziumkarbonat bestehen die Knochen und Zähne der Wirbeltiere. Die *Nukleinsäuren* der Zellkerne, die fettähnlichen *Lezithine* sowie *zahlreiche Fermente* enthalten die Phosphorsäure esterartig gebunden.

Arsen, As. Das graue, metallisch glänzende, spröde Element leitet den elektrischen Strom und sublimiert bei 633 °C unter Bildung eines farblosen, aus As_4-Molekülen bestehenden Dampfes. Durch plötzliche Abkühlung von Arsendampf erhält man das *gelbe Arsen*, eine dem farblosen Phosphor entsprechende unbeständige Modifikation. Arsen ist in sulfidischen Erzen weit verbreitet, am wichtigsten ist der *Arsenkies*, FeAsS, ferner *Realgar*, As_4S_4 (rot) und *Auripigment*, As_2S_3 (gelb), unter der Bezeichnung *Königsgelb* und *Operment* auch als Malerfarbe verwendet. Arsen verbrennt beim Erhitzen an der Luft zu *Arsenik*, Arsentrioxyd, As_2O_3, dem Anhydrid der *arsenigen Säure*, H_3AsO_3. Diese läßt sich durch starke Oxydationsmittel wie Chlor oder Salpetersäure zu *Arsensäure*, H_3AsO_4, oxydieren. Beim Erhitzen von Arsensäure entsteht das Anhydrid *Arsenpentoxyd*, As_2O_5. Arsenate und Phosphate sind häufig isomorph. Mit naszierendem Wasserstoff lassen sich Arsenverbindungen zu *Arsin*, AsH_3, reduzieren. *Arsentrisulfid*, As_2S_3, und *Arsenpentasulfid*, As_2S_5, sind extrem schwer löslich. Arsenverbindungen sind stark giftig. Arsenate werden in der Schädlingsbekämpfung verwendet.

Kohlenstoff, Silizium. Diese Nichtmetalle der IV. Hauptgruppe des Periodensystems treten sowohl gegenüber Wasserstoff als auch gegenüber Sauerstoff vierwertig auf.

Kohlenstoff (lat. *Carboneum*), C. Das Element Kohlenstoff ist in allen organischen Stoffen enthalten und ist der Hauptbestandteil urweltlicher Reste von Pflanzen und Tieren, also von Kohle, Erdöl und Asphalt. Kohlenstoff bildet zwei gasförmige Oxyde, bei der Verbrennung unter beschränktem Luftzutritt das giftige *Kohlenmonoxyd*, CO, bei vollständiger Verbrennung Kohlendioxyd, CO_2. *Kohlendioxyd* ist zu 0,03 Vol.-% an der Zusammensetzung der Luft beteiligt, zu 0,005 Gew.-% im Meerwasser enthalten und als Anhydrid der *Kohlensäure*, H_2CO_3, in zahlreichen gesteinsbildenden *Karbonaten*, den Salzen der Kohlensäure, gebunden, z. B. im *Kalziumkarbonat*, $CaCO_3$ (Kalkstein, Marmor, Kreide), *Dolomit*, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, und *Magnesit*, $MgCO_3$, sowie in den Karbonaterzen vieler anderer Metalle (im *Eisenspat*, $FeCO_3$, *Manganspat*, $MnCO_3$, und *Zinkspat*, $ZnCO_3$). Beim Erhitzen (Brennen) werden die Karbonate in Metalloxyde und Kohlendioxyd

zersetzt. In elementarer Form kommt Kohlenstoff in zwei Modifikationen in der Natur vor, kubisch kristallisiert als Diamant und hexagonal kristallisiert als Graphit. *Diamant* bildet äußerst harte, spröde, stark lichtbrechende, meist durch Verunreinigungen gefärbte Kristalle, die hauptsächlich zu technischen Zwecken verwendet werden (etwa 95%), zum Bohren und Schleifen sehr harten Materials, zum Glasschneiden, für Achsenlager in Präzisionsapparaten u. a. Besonders reine farblose Diamanten werden geschliffen (Brillantschliff) und dienen auf Grund ihres hohen Lichtreflexions- und Dispersionsvermögens zu Schmuckzwecken. Neuerdings ist es gelungen, kleine Diamanten künstlich herzustellen. Diamant besteht aus einem makromolekularen *Atomgitter*, in dem jedes Kohlenstoffatom von vier anderen tetraedrisch umgeben ist. Bei 800 °C verbrennt Diamant an der Luft zu Kohlendioxyd, CO_2, beim Erhitzen auf 1500 °C unter Luftabschluß wandelt er sich in Graphit um. Diamant leitet den elektrischen Strom nicht. *Graphit* (griech. *graphein*, schreiben) ist ein grauer, undurchsichtiger, leicht spaltbarer, sehr weicher Stoff, der stark abfärbt, den elektrischen Strom gut leitet und schwachen Metallglanz hat. In ihm sind die Kohlenstoffatome in ebenen Schichten wabennetzartig angeordnet. Die Schichten werden nur locker durch Elektronen zusammengehalten, die wie in Metallen relativ frei beweglich sind. *Retortenkohle, Glanzkohlenstoff, Koks* sowie die besonders oberflächenreichen Formen *Ruß, Holzkohle* und *Aktivkohle* bestehen aus submikroskopischen, regellos angeordneten Graphitkriställchen. Künstlicher Graphit entsteht durch Rekristallisation feinkristalliner Kohlenstoffarten beim Erhitzen auf 2000 bis 3000 °C (Acheson-Verfahren). Graphit dient zur Herstellung von Bleistiftminen, deren Härte man durch Tonzusatz variiert, zur Anfertigung von Schmelztiegeln und Elektroden sowie in feinschuppiger Form als Zusatz zu Schmierölen. Mit Wasserstoff vereinigt sich Kohlenstoff zu zahlreichen Kohlenwasserstoffen, den Grundkörpern der organischen Chemie.

Silizium, Si. Das nach dem Sauerstoff am weitesten verbreitete Element ist zu 25,8 Gew.-% an der Zusammensetzung der Erdrinde beteiligt; je nach der Darstellung bildet es ein braunes Pulver oder dunkelgraue Nadeln, die den elektrischen Strom leiten und im Diamantgitter kristallisieren. Silizium kommt nur in Form von Verbindungen in der Natur vor, als *Siliziumdioxyd*, SiO_2, und in Form der oft sehr kompliziert zusammengesetzten gesteinsbildenden *Silikate*, der Salze verschiedener Kieselsäuren, die sich alle von der *Orthokieselsäure*, H_4SiO_4, ableiten. Das Siliziumdioxyd tritt in mehreren *Modifikationen* auf, kristallisiert als *Quarz, Tridymit* und *Cristobalit*, amorph und wasserhaltig als *Opal* und *Chalzedon* und erdig als *Kieselgur* oder *Infusorienerde* (Kieselpanzer vorzeitlicher Diatomeen). Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Sandstein und Sand enthalten Quarz als Gemengebestandteil. *Bergkristall* und die gefärbten Abarten Amethyst, Rauchquarz u. a. bestehen aus besonders reinem Quarz. Achat, Onyx, Chrysopras, Jaspis und Feuerstein sind gefärbte Opale. Siliziumdioxyd, SiO_2, ist der Hauptbestandteil vieler Gläser und der meisten keramischen Produkte. Von Flußsäure, HF, wird es unter Bildung von gasförmigem Siliziumtetrafluorid, SiF_4, zersetzt. In Form seiner Legierung mit Eisen (*Ferrosilizium*) dient Silizium in der Metallurgie als *Desoxydationsmittel*. Mit bestimmten Zusätzen dotiertes Silizium wird in der *Halbleitertechnik* verwendet. Mit Wasserstoff bildet Silizium leicht flüchtige *Silane*, z. B. Monosilan, SiH_4, und Disilan, Si_2H_6. Sie entsprechen den gesättigten Kohlenwasserstoffen, sind jedoch bedeutend unbeständiger und an der Luft selbstentzündlich.

Bor, B. Das dreiwertige Nichtmetall der III. Hauptgruppe des Periodensystems bildet in *amorpher Form* ein braunes Pulver, in *kristallisiertem Zustand* ist es nächst dem Diamant einer der härtesten Stoffe; beim Glühen an der Luft verbrennt es zu *Bortrioxyd*, B_2O_3, dem Anhydrid einer sehr schwachen Säure, der *Borsäure*, H_3BO_3. Die natürlich vorkommenden Salze der Borsäure sind meist von komplizierter Zusammensetzung, am wichtigsten sind der *Kernit*, $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$, der *Borax*, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, und der in den Staßfurter Salzlagern auftretende *Borazit*, $2Mg_3B_8O_{15} \cdot MgCl_2$. *Borsäure*, weißglänzende, schuppenähnliche, in kaltem Wasser schwer lösliche Blättchen, hat antiseptische Eigenschaften. Ihre Salze reagieren infolge Hydrolyse in wäßriger Lösung alkalisch. *Borax* dient zur Herstellung leichtschmelzender Glasuren und ist in Form von *Perborax*, $Na_2B_4O_7 \cdot 9H_2O \cdot H_2O_2$ in vielen modernen Wasch- und Bleichmitteln enthalten. *Borkarbid*, B_4C, dient zum Schleifen von Diamanten.

BASEN

Basen sind *Metallhydroxyde*, die mit Säuren unter Bildung von Salzen reagieren. Die *starken Basen*, die Alkalimetallhydroxyde, MeOH, (Me = Li, Na, K, Rb, Cs), und Erdalkalihydroxyde, $Me(OH)_2$, (Me = Ca, Sr, Ba), sind in Wasser mit alkalischer Reaktion löslich, d. h., sie dissoziieren in Lösung in Metallkationen, Me^+ bzw. Me^{2+}, und Hydroxylionen, OH^-. Sie entstehen aus den entsprechenden Alkalimetalloxyden, Me_2O, und Erdalkalimetalloxyden, MeO, durch Umsetzen mit Wasser; aus *Natriumoxyd*, Na_2O, entsteht *Ätznatron*, $Na_2O + H_2O \rightarrow 2NaOH$, in wäßriger Lösung *Natronlauge* genannt, aus Kalziumoxyd, CaO, gelöschter Kalk, $Ca(OH)_2$, dessen wäßrige Lösung als Kalkwasser bekannt ist. Die *schwachen Basen*, die Hydroxyde von Beryllium und Magnesium sowie die der drei- und vierwertigen Metalle, $Me^{III}(OH)_3$ (Me^{III} = Al, Fe, Cr) und $Me^{IV}(OH)_4$ (Me^{IV} = Ti, Zr, Th, Mn, U, V), sind in Wasser schwer löslich, ebenso die zweiwertigen Hydroxyde der Übergangsmetalle. Sie gehen leicht unter Wasserabspaltung in Oxydhydroxyde und Oxyde über. Man bezeichnet die Metalloxyde daher auch als *Basenanhydride*. Der basische Charakter der Metalloxyde und -hydroxyde nimmt mit steigendem *Ionenradius* des Metallkations, und damit innerhalb einer

senkrechten Gruppe des Periodensystems, zu. Zäsium, das Metall mit dem größten Ionenradius, bildet die *stärkste Base*, das *Zäsiumhydroxyd*, CsOH. Je höher die Wertigkeit des Metallkations ist, um so kleiner ist sein Ionenradius und um so geringer ist auch die Basenstärke des Hydroxyds. Bei einigen Übergangsmetallen leiten sich von niederen Oxydationsstufen basische Oxyde und Hydroxyde und von den höheren Oxydationsstufen *säurebildende Oxyde* ab. Dazwischen liegen die *amphoteren Hydroxyde*, die sich gegenüber stärkeren Säuren wie Basen und gegenüber stärkeren Basen wie Säuren verhalten. Amphotere Oxyde und Hydroxyde bilden sowohl mit starken Säuren als auch mit starken Basen Salze. *Abnahme der Basenstärke* ist gleichbedeutend mit einer *Zunahme des sauren Charakters* der Oxyde und Hydroxyde. Mangan(II)-hydroxyd, $Mn(OH)_2$, ist eine schwache Base und bildet mit Säuren die Mangan(II)-Salze. Mangan(VII)-oxyd, Mn_2O_7, dagegen löst sich in Wasser zu Permangansäure, $HMnO_4$, und bildet mit Basen die Permanganate. Das dazwischenliegende Mangan(IV)-oxyd, MnO_2 (Braunstein), ist amphoter. Chrom(III)-hydroxyd, $Cr(OH)_3$, ververhält sich basisch bis schwach amphoter, Chrom(VI)-oxyd, CrO_3, bildet die Chromsäure, H_2CrO_4, und deren Salze, die Chromate. Auch Aluminiumhydroxyd, $Al(OH)_3$, ist amphoter. Mit abnehmender Basizität verringert sich die Löslichkeit der Oxyde und Hydroxyde, die Beständigkeit der Hydroxyde nimmt ebenfalls ab. Das leicht lösliche Natriumhydroxyd, NaOH, schmilzt unzersetzt bei 322 °C. Das schwer lösliche Aluminiumhydroxyd, $Al(OH)_3$, geht bereits beim Erwärmen in noch schwerer lösliches Aluminiumoxydhydroxyd, AlO(OH), und Aluminiumoxyd, Al_2O_3, über.

SÄUREN

Säuren sind Stoffe, die in Lösung in Wasserstoffionen, H^+, bzw. Hydroniumionen, H_3O^+, und negativ geladene Säureanionen dissoziieren. Die *starken Säuren*, Salz-, Schwefel-, Salpeter- und Perchlorsäure, sind in Lösung praktisch vollständig in Ionen zerfallen. *Mittelstarke und schwache Säuren* sind in Lösung nur teilweise dissoziiert. Man unterscheidet *sauerstofffreie Säuren*, z. B. die Wasserstoffverbindungen der Chalkogene und Halogene, und *Sauerstoffsäuren*. Diese leiten sich meist von Nichtmetalloxyden ab, aus denen sie durch Vereinigung mit Wasser entstehen und in die sie häufig auch leicht wieder unter Wasserabspaltung zerfallen. Man bezeichnet solche Nichtmetalloxyde als *Säureanhydride*; aus Schwefeltrioxyd, SO_3, und Wasser entsteht z. B. die *Schwefelsäure*, $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ oder $O_3S(OH)_2$, aus Dichlorheptoxyd, Cl_2O_7, die *Perchlorsäure*, $Cl_2O_7 + H_2O \rightarrow 2HClO_4$ oder O_3ClOH, und aus Phosphorpentoxyd, P_2O_5, die *Phosphorsäure*, $P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$ oder $OP(OH)_3$. Manche Nichtmetalloxyde sind als *gemischte Anhydride* zweier Sauerstoffsäuren aufzufassen, die sich von zwei verschiedenen Wertigkeitsstufen eines Elements ableiten. Das Distickstofftetroxyd, N_2O_4, ist z. B. das gemischte Anhydrid der salpetrigen und der Salpetersäure, $N_2O_4 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$. Nicht immer lassen sich die Säuren und ihre Verbindungen über ihre Anhydride gewinnen. Diese sind oft sehr unbeständig und häufig gar nicht darstellbar; von der chlorigen Säure, $HClO_2$, und der Chlorsäure, $HClO_3$, sind z. B. keine Anhydride bekannt. Nur wenige Sauerstoffsäuren lassen sich in wasserfreier Form isolieren. Viele zersetzen sich beim Eindampfen ihrer wäßrigen Lösungen in Wasser und in ihr Anhydrid, z. B. Kohlensäure, H_2CO_3, in Kohlendioxyd, CO_2, schweflige Säure, H_2SO_3, in Schwefeldioxyd, SO_2, und salpetrige Säure, HNO_2, in N_2O_3 bzw. NO und NO_2.

Anorganische Säuren (Mineralsäuren)

Sauerstofffreie Säuren

Name	Formel	Säure-anionen	Salze (je ein Beispiel)
Flußsäure	HF	F^-	Fluoride; Natriumfluorid, NaF
Salzsäure	HCl	Cl^-	Chloride; Kochsalz, NaCl
Bromwasserstoffsäure	HBr	Br^-	Bromide; Kaliumbromid, KBr
Jodwasserstoffsäure	HJ	J^-	Jodide; Kaliumjodid, KJ
Schwefelwasserstoffsäure	H_2S	S^{2-}	Sulfide; Bleisulfid, PbS
Selenwasserstoffsäure	H_2Se	Se^{2-}	Selenide; Natriumselenid, Na_2Se
Tellurwasserstoffsäure	H_2Te	Te^{2-}	Telluride; Natriumtellurid, Na_2Te

Säuren mit mehreren Hydroxylgruppen (*mehrbasige Säuren*) können unter Wasserabspaltung sogenannte *kondensierte Säuren* bilden. Aus 2 Molekülen Schwefelsäure entsteht z. B. unter Wasserabspaltung die *Dischwefelsäure*, $2H_2SO_4 \rightarrow H_2S_2O_7 + H_2O$. Ihre Salze, die Di- oder Pyrosulfate,

Sauerstoffsäuren

Element (Wertigkeit)	Säureanhydrid	Name	Formel	Säureanionen, Säurerest	Salze (je ein Beispiel)
Cl (+ VII)	Cl_2O_7	Perchlorsäure	$HClO_4$	ClO_4^-	Perchlorate; $NaClO_4$
Cl (+ V)	—	Chlorsäure	$HClO_3$	ClO_3^-	Chlorate; $KClO_3$
Cl (+ III)	—	chlorige Säure	$HClO_2$	ClO_2^-	Chlorite; $NaClO_2$
Cl (+ I)	Cl_2O	unterchlorige Säure	$HClO$	ClO^-	Hypochlorite; $NaClO$
Br (+ V)	—	Bromsäure	$HBrO_3$	BrO_3^-	Bromate; $KBrO_3$
J (+ VII)	—	Perjodsäure	HJO_4	JO_4^-	Periodate; $NaJO_4$
J (+ V)	J_2O_5	Jodsäure	HJO_3	JO_3^-	Jodate; KJO_3
S (+ VI)	SO_3	Schwefelsäure	H_2SO_4	HSO_4^-	Hydrogensulfate; $KHSO_4$
				SO_4^{2-}	Sulfate; K_2SO_4
		Di- oder Pyroschwefelsäure	$H_2S_2O_7$	$S_2O_7^{2-}$	Pyrosulfate; $K_2S_2O_7$
S (+ IV)	SO_2	schweflige Säure	H_2SO_3	SO_3^{2-}	Sulfite; Na_2SO_3
Se (+ VI)	SeO_3	Selensäure	H_2SeO_4	SeO_4^{2-}	Selenate; K_2SeO_4
Se (+ IV)	SeO_2	selenige Säure	H_2SeO_3	SeO_3^{2-}	Selenite; K_2SeO_3
Te (+ VI)	TeO_3	Tellursäure	H_6TeO_6	TeO_6^{6-}	Tellurate; Na_6TeO_6
N (+ V)	N_2O_5	Salpetersäure	HNO_3	NO_3^-	Nitrate; $NaNO_3$
N (+ III)	N_2O_3	salpetrige Säure	HNO_2	NO_2^-	Nitrite; $NaNO_2$
P (+ V)	P_2O_5	Phosphorsäure	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	Dihydrogenphosphate; NaH_2PO_4
				HPO_4^{2-}	Hydrogenphosphate; K_2HPO_4
				PO_4^{3-}	Phosphate; Na_3PO_4
		Diphosphorsäure	$H_4P_2O_7$	$P_2O_7^{4-}$	Di- oder Pyrophosphate; $Mg_2P_2O_7$
		Trimetaphosphorsäure	$H_3P_3O_9$	$P_3O_9^{3-}$	Trimetaphosphate; $Na_3P_3O_9$
P (+ III)	P_2O_3	phosphorige Säure	$H_2[HPO_3]$	HPO_3^{2-}	Phosphite; Na_2HPO_3
P (+ I)	—	unterphosphorige Säure	$H[H_2PO_2]$	$H_2PO_2^-$	Hypophosphite; $Ba(H_2PO_2)_2$
As (+ V)	As_2O_5	Arsensäure	H_3AsO_4	AsO_4^{3-}	Arsenate; Na_3AsO_4
As (+ III)	As_2O_3	arsenige Säure	H_3AsO_3	AsO_3^{3-}	Arsenite; Na_3AsO_3
C (+ IV)	CO_2	Kohlensäure	H_2CO_3	HCO_3^-	Hydrogenkarbonate; $NaHCO_3$
				CO_3^{2-}	Karbonate; Na_2CO_3
Si (+ IV)	SiO_2	Kieselsäure	H_4SiO_4	SiO_4^{4-}	Silikate; Mg_2SiO_4
		Metakieselsäure	$(H_2SiO_3)_x$	$(SiO_3^{2-})_x$	Metasilikate; $(MgSiO_3)_x$
B (+ III)	B_2O_3	Borsäure	H_3BO_3	BO_2^-	Borate; $NaBO_2$
Cr (+ VI)	CrO_3	Chromsäure	H_2CrO_4	CrO_4^{2-}	Chromate (gelb); K_2CrO_4
		Dichromsäure	$H_2Cr_2O_7$	$Cr_2O_7^{2-}$	Dichromate (orange); $K_2Cr_2O_7$
Mn (+ VII)	Mn_2O_7	Permangansäure	$HMnO_4$	MnO_4^-	Permanganate (violett); $KMnO_4$

bilden sich beim Erhitzen der Hydrogensulfate; aus Kaliumhydrogensulfat, $KHSO_4$, entsteht Kaliumpyrosulfat, $K_2S_2O_7$. Die Phosphorsäure, H_3PO_4, und die Kieselsäure, H_4SiO_4, neigen besonders stark zur Bildung kondensierter Säuren. In den *Polyphosphorsäuren* und ihren Salzen, den *Polyphosphaten*, sind die Phosphorsäuremoleküle kettenförmig miteinander verknüpft. Die einfachste Polyphosphorsäure ist die *Pyrophosphorsäure*, $H_4P_2O_7$. In den *Metaphosphorsäuren* sind die Ketten zu Ringen geschlossen, z. B. in der Trimetaphosphorsäure, $H_3P_3O_9$. Die *Kieselsäure*, H_4SiO_4, ist eine sehr schwache und unbeständige Säure, die sich sofort zu hochpolymeren, verschieden zusammengesetzten Kieselsäuren kondensiert. Darauf beruht die große Mannigfaltigkeit der natürlich vorkommenden Salze der Kieselsäuren, der Silikate.

SALZE

Salze sind aus positiv und negativ geladenen Ionen aufgebaute feste, kristalline Stoffe. Sie bilden sich durch *Neutralisation aus Basen und Säuren*, durch Umsetzen eines Basenanhydrids mit einer Säure oder eines Säureanhydrids mit einer Base und entstehen auch durch direkte Vereinigung der Säure- und Basenanhydride.

Bildung des Salzes Kalziumkarbonat aus Kohlensäure und Kalziumhydroxyd bzw. ihren Anhydriden

Säure und Base	H_2CO_3 Kohlensäure	+	$Ca(OH)_2$ Kalziumhydroxyd	⇄	$CaCO_3$ Kalziumkarbonat	+	$2\,H_2O$ Wasser
Säure und Basenanhydrid	H_2CO_3 Kohlensäure	+	CaO Kalziumoxyd	⇄	$CaCO_3$ Kalziumkarbonat	+	H_2O Wasser
Säureanhydrid und Base	CO_2 Kohlendioxyd	+	$Ca(OH)_2$ Kalziumhydroxyd	⇄	$CaCO_3$ Kalziumkarbonat	+	H_2O Wasser
Säureanhydrid und Basenanhydrid	CO_2 Kohlendioxyd	+	CaO Kalziumoxyd	⇄	$CaCO_3$ Kalziumkarbonat		

Die *Neutralisation* beruht auf der Vereinigung der Wasserstoffionen einer Säure mit den Hydroxylionen einer Base zu praktisch undissoziiertem Wasser. Die dabei auftretende Wärmetönung beträgt bei starken Säuren und Basen 13,6 kcal.
Die Metallkationen der Base und die Säureanionen verbleiben in der Lösung und kristallisieren beim Eindampfen in Form eines festen, aus Kationen und Anionen aufgebauten Salzes aus. Aus Natronlauge und Salzsäure entsteht Kochsalz (Natriumchlorid).

Salzbildung durch Neutralisation

Säure	+	Base	Neutralisation ⇄ Hydrolyse	Salz	+	Wasser
HNO_3 Salpetersäure	+	NH_4OH Ammoniumhydroxyd	⇄	NH_4NO_3 Ammoniumnitrat	+	H_2O
$2\,HCl$ Salzsäure	+	$Ca(OH)_2$ Kalziumhydroxyd	⇄	$CaCl_2$ Kalziumchlorid	+	H_2O

Saure Salze und basische Salze. Schwefelsäure und Kohlensäure sind zweiwertige oder *zweibasige Säuren*. Sie verbrauchen zur vollständigen Neutralisation 2 Mol einer einwertigen Base. Man kann sie stufenweise neutralisieren. Sie bilden zwei Reihen Salze, die *sauren* und die sogenannten *neutralen Salze*. In den sauren Salzen, z. B. im Kaliumhydrogensulfat, $KHSO_4$, oder im Natriumhydrogenkarbonat, $NaHCO_3$, ist nur das eine der beiden Wasserstoffionen durch ein Metallion ersetzt, $H_2SO_4 + KOH \rightleftarrows KHSO_4 + H_2O$ bzw. $H_2CO_3 + NaOH \rightleftarrows NaHCO_3 + H_2O$. Durch Zusatz eines zweiten Mols Lauge lassen sie sich in neutrale Salze überführen, z. B. $KHSO_4 + KOH \rightleftarrows K_2SO_4 + H_2O$. Die sauren Salze flüchtiger Säuren zersetzen sich bereits beim Erwärmen unter Bildung der neutralen Salze, z. B. $2\,NaHCO_3 \rightleftarrows Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$. Durch Einwirkung von Säure werden die neutralen Salze wieder in saure Salze verwandelt; z. B. entsteht beim Einleiten von Kohlendioxyd in eine wäßrige Suspension von Kalziumkarbonat wasserlösliches Kalziumhydrogen-

karbonat, $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2$, ein Vorgang, der die *Härte des Wassers* verursacht und in Kalkgebirgen zu Höhlenbildungen führt. Beim Kochen der Lösung oder beim langsamen Verdunsten verläuft die Reaktion wieder in umgekehrter Richtung (Abscheidung von Kesselstein, Tropfsteinbildung in Höhlen). Phosphorsäure, H_3PO_4, ist eine *dreibasige Säure*. Je nachdem, ob 1, 2 oder 3 Wasserstoffionen neutralisiert werden, bildet sie drei Reihen Salze, die primären (z. B. Natriumdihydrogenphosphat, NaH_2PO_4), die sekundären (z. B. Dinatriumhydrogenphosphat, Na_2HPO_4) und die tertiären Phosphate (z. B. Natriumphosphat, Na_3PO_4).

Basische Salze leiten sich von mehrwertigen oder mehrsäurigen Basen ab. Diese enthalten mehr als eine Hydroxylgruppe je Metallatom und brauchen daher zur vollständigen Neutralisation mehrere Mole einer einwertigen Säure; Kalziumhydroxyd, eine zweiwertige Base, vereinigt sich z. B. mit 2 Mol Salzsäure zu Kalziumchlorid. Zur Bildung basischer Salze neigen besonders die mehrwertigen schwachen Basen, z. B. Aluminiumhydroxyd und die Hydroxyde der meisten Übergangsmetalle. Aus Aluminiumhydroxyd und Schwefelsäure erhält man *basisches Aluminiumsulfat*, $Al(OH)_3 + H_2SO_4 \rightleftarrows [Al(OH)]SO_4 + 2H_2O$.
Bei vollständiger Neutralisation entsteht *neutrales Aluminiumsulfat*, $Al_2(SO_4)_3$. Aluminiumhydroxyd ist amphoter, d. h. es verhält sich nicht nur wie eine Base, sondern gegenüber starken Basen auch wie eine Säure. Mit Natronlauge entsteht ein Komplexsalz, das Natriumaluminat, $Al(OH)_3 + NaOH \rightleftarrows Na[Al(OH)_4]$, das das Aluminium im Anion enthält.

Hydrolyse. Die *Umkehrung der Neutralisation* ist die Hydrolyse, bei der ein Salz unter Aufnahme von Wasser unter Rückbildung der Säure und Base reagiert. Bei Salzen starker Basen mit starken Säuren spielt die Hydrolyse praktisch keine Rolle. Sie wird jedoch bei Salzen wirksam, die aus einer starken Base und einer schwachen Säure oder einer schwachen Base und einer starken Säure gebildet sind. Besonders weitgehend hydrolytisch gespalten sind Salze aus schwachen Basen und schwachen Säuren. Die Hydrolyse beruht auf der unvollständigen Dissoziation schwacher Säuren und schwacher Basen. *Natriumkarbonat*, Na_2CO_3, ist das Salz einer starken Base mit einer schwachen Säure. Die Karbonationen, CO_3^{2-}, reagieren mit den Wasserstoffionen, H^+, des Wassers ($H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$) zu Hydrogenkarbonationen, HCO_3^-, und darüber hinaus auch zu undissoziierter Kohlensäure, H_2CO_3. Die zurückbleibenden Hydroxylionen, OH^-, bewirken in der Salzlösung eine *alkalische Reaktion*. *Aluminiumsulfat*, $Al_2(SO_4)_3$, reagiert als Salz einer schwachen Base und einer starken Säure in wäßriger Lösung sauer, denn die Aluminiumionen, Al^{3+}, vereinigen sich mit den Hydroxylionen, OH^-, des Wassers zu basischen Kationen, z. B. $[Al(OH)]^{2+}$. Die zurückbleibenden Wasserstoffionen, H^+, verursachen in der Lösung die *saure Reaktion*.
Schwache Basen und schwache Säuren lassen sich aus ihren Salzen durch starke Basen bzw. starke Säuren verdrängen. Beim Übergießen von Ammoniumnitrat, NH_4NO_3, oder anderen Ammoniumsalzen mit Natronlauge entweicht die schwächere Base Ammoniak, $NH_4NO_3 + NaOH \rightarrow NaNO_3 + NH_3 + H_2O$. Natriumkarbonat, Na_2CO_3, wird beim Übergießen mit Salzsäure, HCl, zu Natriumchlorid und Kohlendioxyd zersetzt, $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$. Häufig ist nicht die Stärke, sondern die *Flüchtigkeit* ausschlaggebend; bei hohen Temperaturen kann eine schwerer flüchtige schwache Säure die leichter flüchtige stärkere Säure aus ihrem Salz austreiben; das Anhydrid der schwachen Kieselsäure kann z. B. bei hoher Temperatur sogar die Schwefelsäure in Form ihres Anhydrids aus ihren Salzen verdrängen, z. B. $Na_2SO_4 + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + SO_3$. Aus Natriumsulfat entsteht in der Schmelze mit SiO_2 Natriumsilikat (Wasserglas).

Salzhydrate. Viele Salze kristallisieren aus wäßriger Lösung mit einem bestimmten Wassergehalt aus, z. B. Kalziumchlorid als Hexahydrat, $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, Natriumsulfat unterhalb 32,4 °C als Dekahydrat, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (Glaubersalz), ebenso das Natriumkarbonat, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ (Kristallsoda), Aluminiumsulfat sogar mit 18 Mol Wasser, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. *Vitriole* sind Sulfate zweiwertiger Metalle, die mit 5 oder 7 Mol Wasser kristallisieren, z. B. Kupfersulfat, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, Eisen(II)-sulfat, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Die Wassermoleküle sind entweder den Ionen direkt zugeordnet (*Koordinationswasser*) oder sie dienen zum Ausfüllen von Lücken im Kristallgitter. In den Salzhydraten liegen die Kationen und Anionen hydratisiert vor; z. B. sind die Al^{3+}-Ionen wie in Lösung von $6H_2O$-Molekülen oktaedrisch umgeben, ebenso die Ca^{2+}-Ionen im Kalziumchlorid. In Form von Hydroxylgruppen gebundenes Wasser bezeichnet man als *Konstitutionswasser*.

Doppelsalze. Doppelsalze sind ineinander kristallisierende Salze *mit stöchiometrischer Zusammensetzung*; Alaune sind z. B. Doppelsalze aus Sulfaten ein- und dreiwertiger Metalle mit 24 Mol Kristallwasser, $Me^I_2SO_4 \cdot Me^{III}_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ oder $Me^IMe^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ($Me^I = K^+, NH_4^+, Rb^+, Cs^+, Tl^+$; $Me^{III} = Al^{3+}, Cr^{3+}, Fe^{3+}, V^{3+}$). Der gewöhnliche *Alaun* ist Kaliumaluminiumalaun, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Ein anderes Doppelsalz ist der *Dolomit*, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ oder $CaMg(CO_3)_2$. In Lösung dissoziieren die Doppelsalze in einzelne Ionen, Alaun z. B. in K^+-, Al^{3+}- und SO_4^{2-}-Ionen. Jedes Ion läßt sich durch charakteristische Reaktionen nachweisen.

Komplexsalze. Kompliziertere anorganische Verbindungen, die in Lösung nicht in alle ihre Bestandteile dissoziieren, werden Komplexsalze genannt. In ihnen sind bestimmte Ionen fest miteinander zu einem komplexen Ion verknüpft, das gegenüber den Einzelionen eine ganz neue chemische Qualität darstellt und durch eigene charakteristische Eigenschaften gekennzeichnet ist. Gelbes

Blutlaugensalz, Kaliumhexazyanoferrat(II), $K_4[Fe(CN)_6]$, dissoziiert in Lösung in K^+- und $[Fe(CN)_6]^{4-}$-Ionen; freie Fe^{2+}-Ionen und CN^--Ionen (Ionen der Blausäure) lassen sich nicht nachweisen. Die Lösung bildet jedoch mit zahlreichen Metallionen charakteristische, schwer lösliche Niederschläge, mit Fe^{3+}-Ionen entsteht z. B. das Berliner Blau, $Fe_4^{III}[Fe^{II}(CN)_6]_3$. Ebenso zeigt das $[Co(NH_3)_6]^{3+}$-Ion im Hexammin-kobalt(III)-chlorid $[Co(NH_3)_6]Cl_3$, eigene charakteristische Reaktionen. Auch das Ammoniumion, $[NH_4]^+$, und die Säureanionen der Sauerstoffsäuren sind als Komplexionen aufzufassen.

VII. Organische Stoffe

Der wesentliche Bestandteil aller organischen Stoffe ist der Kohlenstoff. Die Anzahl seiner Verbindungen ist bedeutend größer als die aller anderen Elemente zusammen. Insgesamt sind etwa 600000 organische Verbindungen bekannt, dagegen nur etwa 40000 anorganische. Die drei wichtigsten Elemente, die neben Kohlenstoff in organischen Verbindungen vorkommen, sind Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Auch weitere Elemente lassen sich in organische Verbindungen einführen, z. B. Schwefel, Phosphor, Arsen, die Halogene und alle Metalle (*metallorganische Verbindungen*). Die *organische Chemie* umfaßt die Erforschung der Eigenschaften, Zusammensetzungen, Darstellungsmöglichkeiten und Reaktionsweisen der organischen Stoffe. Viele Kohlenstoffverbindungen werden im Organismus der Pflanzen und Tiere erzeugt. Die organische Chemie steht daher in enger Beziehung zur belebten Natur. Die ungeheure Mannigfaltigkeit organischer Verbindungen beruht darauf, daß die Atome des Kohlenstoffs sich untereinander relativ fest verbinden können. Da die Anzahl der miteinander verknüpfbaren Kohlenstoffatome beliebig groß ist, kann die Größe der Moleküle stark schwanken. In hochpolymeren Stoffen enthalten die Moleküle bis zu Millionen. Atome (*Makromoleküle*). Eine in der organischen Chemie sehr verbreitete Erscheinung ist die *Isomerie*. Isomere Verbindungen haben die gleiche Bruttozusammensetzung (Bruttoformel), unterscheiden sich jedoch in der Anordnung der Atome innerhalb der Moleküle. Die *Strukturisomerie* beruht auf Verschiedenheiten in der Atomverknüpfung, die *Stereoisomerie* auf der unterschiedlichen räumlichen Anordnung der Atome. Man verwendet in der organischen Chemie an Stelle der Bruttoformeln zweckmäßig Strukturformeln, aus denen die Molekülstruktur ersichtlich ist. Man muß sich die Strukturformeln räumlich vorstellen, denn die von einem Kohlenstoffatom ausgehenden 4 Valenzen (Bindungsstriche) sind in die Ecken eines Tetraeders gerichtet.

Einteilung der organischen Stoffe

<table>
<tr><td rowspan="3">azyklische oder aliphatische Verbindungen: offene Kohlenstoffkette</td><td colspan="3">zyklische Verbindungen: zum Ring geschlossene Kette</td></tr>
<tr><td rowspan="2">heterozyklische Verbindungen: im Ring neben Kohlenstoff andere Atome, z. B. Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel</td><td colspan="2">karbozyklische Verbindungen: im Ring nur Kohlenstoffatome</td></tr>
<tr><td>alizyklische Verbindungen: zyklische, aber den aliphatischen ähnliche Verbindungen</td><td>aromatische Verbindungen: dem Benzol entsprechend aufgebaute Verbindungen</td></tr>
</table>

KOHLENWASSERSTOFFE

Die Kohlenwasserstoffe sind die Grundkörper der organischen Chemie, sie sind nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut. Man unterscheidet entsprechend der Einteilung der organischen Stoffe *azyklische* (offenkettige) oder *aliphatische* Kohlenwasserstoffe und *karbozyklische* (ringgeschlossene) Kohlenwasserstoffe, die karbozyklischen unterteilt man in *alizyklische* und *aromatische* Kohlenwasserstoffe. Bei den aliphatischen Kohlenwasserstoffen gibt es mehrere *homologe Reihen*, deren Glieder sich um je eine Methylengruppe, $-CH_2-$, voneinander unterscheiden. Die drei wichtigsten Reihen sind die *Alkane*, *Alkene* und *Alkine*.

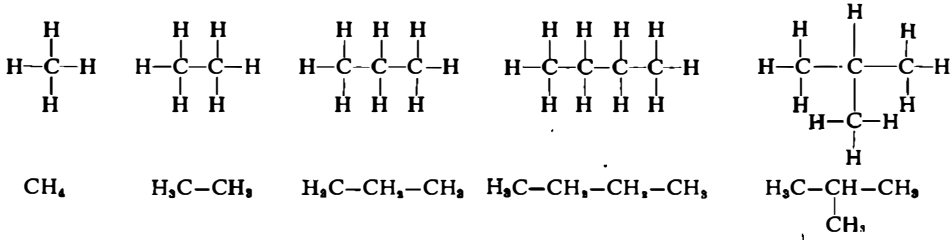
Die wichtigste Rohstoffquelle für die Gewinnung der Kohlenwasserstoffe sind die fossilen Brennstoffe, vor allem Erdöl, Kohle und Erdgas. *Erdöl* besteht hauptsächlich aus einem Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe. Es findet sich vor allem in der Nähe von Gebirgsbögen und ist in geologischen Zeiträumen durch anaerobe biologisch-chemische Zersetzung pflanzlicher und tierischer Reste (Faulschlamm des Meeres) bei Temperaturen bis zu 250 °C entstanden. Man hat Abbauprodukte von Chlorophyll und Blutfarbstoffen nachweisen können. Das amerikanische Erdöl enthält hauptsächlich gesättigte Kohlenwasserstoffe, während im sowjetischen Erdöl die alizyklischen Kohlenwasserstoffe überwiegen (bis zu 80%), die sog. *Naphthene*, z. B. Zyklopentan und Zyklohexan und ihre Abkömmlinge. Die vollständige Trennung aller Bestandteile des Erdöls ist sehr schwierig und erst durch die *Gaschromatographie* in kleinem Maßstab ermöglicht worden. In der

Praxis wird das Rohöl nach dem Abtrennen der bereits bei gewöhnlicher Temperatur flüchtigen Kohlenwasserstoffe (etwa 10% der Gesamtmenge, davon 80% Methan) durch *fraktionierte Destillation* in 5 verschiedene Anteile zerlegt; in *Rohbenzin* (Siedepunkt bis 150 °C), *Leuchtöl* bzw. *Petroleum* (bis 300 °C), *Gasöle und Treiböle* (bis 360 °C), *Paraffinöl, Schmieröl und Paraffin* (über 360 °C), als Rückstand verbleiben pech- und asphaltartige Stoffe. Die erhaltenen Fraktionen werden meist noch weiter zerlegt und gereinigt, z. B. Rohbenzin in Petroläther bzw. Gasolin (Siedepunkt 30 bis 70 °C), Leichtbenzin (70 bis 120 °C), Mittelbenzin (Ligroin) und Schwerbenzin (135 bis 150 °C). Leuchtöl dient vorwiegend als Dieseltreibstoff.

Erdölartige Produkte entstehen auch bei der trockenen Destillation von *Kohle* bei relativ niedriger Temperatur, der sog. *Tieftemperaturdestillation* (450 bis 600 °C) oder *Verschwelung*. Aus Braunkohle erhält man vornehmlich Schmieröl und Paraffin, aus Steinkohle Benzin und Schwelteer. Der bei der Tieftemperaturdestillation gebildete Teer, der sog. *Urteer*, enthält keine aromatischen Kohlenwasserstoffe (Benzol oder Naphthalin). Diese entstehen erst bei höherer Temperatur durch thermische Zersetzung aus den aliphatischen Kohlenwasserstoffen des Urteers und sind daher in dem in *Gasanstalten* und *Kokereien* anfallenden Teer enthalten (*Hochtemperaturdestillation* der Kohle bei 1200 bis 1400 °C).

Durch *Krackung* (engl. *to crack*, sprengen) läßt sich der hohe Gehalt an höhersiedenden Kohlenwasserstoffen im Erdöl und in Tieftemperaturdestillaten der Kohle zum größten Teil in wertvolle niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe überführen. Die Ausbeute an Benzin kann dadurch von 20% bis auf maximal 85% erhöht werden. Durch *Hydrieren* (*Wasserstoffanlagerung*) läßt sich Kohle vollständig in zum größten Teil flüssige Kohlenwasserstoffe überführen (volkstümlich Verflüssigung der Kohle). Beim *Verfahren nach Bergius* arbeitet man unter 250 atm Wasserstoffdruck und 450 °C. Beim *Verfahren nach Fischer und Tropsch* wird die Kohle zunächst zu Kohlenmonoxyd, CO, verbrannt bzw. durch Reaktion mit Wasserdampf in ein Gemisch aus Kohlenmonoxyd, CO, und Wasserstoff, H_2, das sog. *Synthesegas*, übergeführt (volkstümlich *Kohlevergasung*). Aus Kohlenmonoxyd und Wasserstoff lassen sich je nach den Reaktionsbedingungen die verschiedensten gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoffe gewinnen. Beide Synthesen haben für die Gewinnung von Benzin und organischen Ausgangsstoffen für weitere Synthesen große Bedeutung erlangt.

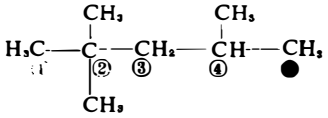
Alkane, gesättigte oder Grenzkohlenwasserstoffe, Paraffine (*parum affinis*, wenig reaktionsfähig). Die gesättigten Kohlenwasserstoffe weisen den für organische Verbindungen höchstmöglichen Wasserstoffgehalt auf, sind bis zur Grenze mit Wasserstoff gesättigt. Ihre Zusammensetzung entspricht der allgemeinen Formel C_nH_{2n+2}. Methan, CH_4 (n = 1), bildet das Anfangsglied der Reihe.



CH_4	H_3C-CH_3	$H_3C-CH_2-CH_3$	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$	$H_3C-CH(CH_3)-CH_3$
CH_4 *Methan*	C_2H_6 *Äthan*	C_3H_8 *Propan*	C_4H_{10} n-*Butan*	C_4H_{10} i-*Butan*, 2-*Methylpropan*
Siedepunkt:				
− 164 °C	− 88,5 °C	− 44,5 °C	+ 0,6 °C	− 10,2 °C
Schmelzpunkt:				
− 184 °C	− 172 °C	− 189,9 °C	− 135 °C	− 145 °C

Methan ist bis zu 8% im Erdöl enthalten, bildet den Hauptbestandteil der meisten Erdgase, entsteht bei der bakteriellen Zersetzung zellulosehaltiger Pflanzenreste (*Sumpfgas*) und tritt aus Steinkohlenflözen aus (*Grubengas*), wobei sich mit Luft explosive Gasgemische, die gefährlichen *schlagenden Wetter*, bilden können. Es ist im Leuchtgas bis zu 40% enthalten und wird auch synthetisch gewonnen. Methan dient als Motortreibstoff (Treibgas) und Heizgas und läßt sich durch unvollständige Verbrennung in *Synthesegas*, $2CH_4 + O_2 \rightarrow 2CO + 4H_2$, oder in wertvollen *Gasruß*, $CH_4 + O_2 \rightarrow C$ (Ruß) $+ 2H_2O$, überführen. Gasruß wird in der Kautschukindustrie, z. B. bei der Herstellung von Autoreifen, als Füllstoff gebraucht. *Äthan* ist im Erdöl und in Erdgasen enthalten. Es entsteht z. B. bei der Kohlehydrierung nach Bergius und ist ein wichtiges Ausgangsmaterial für Synthesen, da es sich leicht unter Wasserstoffentzug (Dehydrierung) in *Äthylen*, C_2H_4, überführen läßt. *Propan* und *Butan* dienen als Motortreibstoffe (*Flüssiggase*) sowie als wichtige Ausgangsstoffe zu Synthesen. Beim Butan gibt es zwei Strukturmöglichkeiten, eine geradkettige Anordnung der Kohlenstoffatome (*normal-* oder kurz n-*Butan*) und eine verzweigte Kohlenstoffkette (iso-Butan

oder kurz i-*Butan*). Auf Grund der verschiedenen Molekülstruktur unterscheiden sich die beiden Stoffe trotz gleicher Zusammensetzung (Bruttoformel) in ihren Eigenschaften. Man nennt diese Erscheinung *Strukturisomerie*, in diesem besonderen Fall auch *Kettenisomerie*.



2,2,4-Trimethylpentan

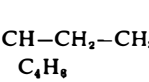
Die Anzahl der Isomeren nimmt mit ansteigender Kohlenstoffzahl rasch zu. Ein besonders wichtiger isomerer Kohlenwasserstoff ist das *2,2,4-Trimethylpentan*, kurz *Isooktan* genannt, ein besonders leistungsfähiger Motorentreibstoff, der sich durch große Klopffestigkeit auszeichnet. Er hat die *Oktanzahl* 100. Die Oktanzahl charakterisiert die Leistung eines Benzins und ist nach Übereinkunft für Isooktan zu 100 und für n-*Heptan* (7 Kohlenstoffatome in unverzweigter Kette) zu 0 festgesetzt worden.

Die Namen der gesättigten Kohlenwasserstoffe enden auf **-an** und leiten sich von griechischen oder lateinischen Zahlwörtern ab, die die Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül angeben. Nur bei den vier ersten Gliedern der Reihe sind die *Trivialnamen* beibehalten worden. *Kohlenwasserstoffreste* oder *-radikale* leiten sich von den Kohlenwasserstoffen durch Wegnahme von Wasserstoffatomen ab. Fehlt dem Kohlenwasserstoff ein Wasserstoffatom, dann ist der Rest einwertig. Die Namen der einwertigen Kohlenwasserstoffreste enden auf **-yl**, z. B. Methyl-, CH_3-; Äthyl-, C_2H_5-; Hexyl-, C_6H_{12}-.

Bei *kettenverzweigten Kohlenwasserstoffen* werden die Kohlenstoffatome der längsten Kette der Reihe nach beziffert und die *Stellung der Kohlenwasserstoffreste der Seitenketten* angegeben, z. B. 2,2,4-Trimethylpentan.

Methan, Äthan, Propan und *Butan* sind bei gewöhnlicher Temperatur *gasförmig*; das *Pentan*, C_5H_{12}, bis zum *Hexadekan*, $C_{16}H_{34}$, *flüssig* und die noch höheren *fest*. Die *Siedepunkte* der normalen Kohlenwasserstoffe liegen stets höher als die der Isomeren gleicher Kohlenstoffzahl. Die *Schmelzpunkte* ändern sich bis zu einer Kette mit 24 Kohlenstoffatomen *periodisch*, wobei sie bei gerader Kohlenstoffzahl relativ höher liegen als bei ungerader. Die *Paraffine* verhalten sich chemisch ähnlich, lösen sich praktisch nicht im Wasser und sind bei gewöhnlicher Temperatur relativ reaktionsträge. Bei erhöhter Temperatur entzünden sie sich an der Luft und verbrennen unter erheblicher Wärmeentwicklung zu Kohlendioxyd, CO_2, und Wasser, H_2O. Durch vorsichtige katalytische Oxydation bei etwa 100 °C lassen sich die langkettigen Paraffine etwa in der Mitte spalten und so in die technisch wichtigen *Fettsäuren* überführen (*Paraffinoxydation*).

Alkene, Olefine, Äthylenkohlenwasserstoffe. In diesen Verbindungen besteht zwischen zwei Kohlenstoffatomen eine doppelte Bindung $\rangle C=C\langle$. Sie sind ungesättigt und dadurch sehr reaktionsfähig, denn an die Doppelbindung können sich die verschiedensten anderen Stoffe anlagern, z. B. Brom oder andere Halogene, Halogenwasserstoffe und Wasser. Die *Alkene* können sich auch selbst zusammenlagern und unter Ausbildung langer Kettenmoleküle zu wertvollen Kunst- und Plaststoffen *polymerisieren*. Durch Anlagerung von Wasserstoff (*Hydrierung*) entstehen die entsprechenden Alkane. Die Zusammensetzung der Alkene entspricht der allgemeinen Formel C_nH_{2n}. Das Anfangsglied der Reihe ist das Äthylen, C_2H_4 ($n = 2$), früher auch *Olefin* (ölbildendes Gas) genannt, da es mit Halogenen, z. B. mit Chlor, wasserunlösliche ölige Flüssigkeiten bildet.

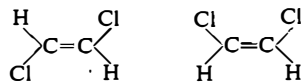


Äthylen

$CH_2=CH_2$	$CH_3=CH-CH_3$	$CH_3=CH-CH_2-CH_3$	$CH_3-CH=CH-CH_3$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}}=CH_2$
C_2H_4	C_3H_6	C_4H_8	C_4H_8	C_4H_8
Äthylen, Äthen	*Propylen, Propen*	*Butylen, Buten-(1)*	*Pseudobutylen, Buten-(2)*	*Isobutylen, 2-Methylpropen*
Siedepunkt:				
−103,9 °C	− 47 °C	− 6,1 °C	+ 3,7 °C +2,5 °C	− 6 °C
Schmelzpunkt:				
−169,5 °C	−185,2 °C	−190 °C	−139,5 °C −	−139 °C

Äthylen ist zu 4 bis 5 % im Leuchtgas enthalten und wird durch Dehydrierung aus Äthan gewonnen, $C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$, mitunter auch durch Wasserabspaltung aus Äthanol $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$. Es ist ein wichtiges Ausgangsprodukt zur technischen Herstellung von Äthanol und Glykol und

läßt sich nach einem von K. Ziegler entwickelten Verfahren zu makromolekularen Paraffinen *polymerisieren*. Die langen Kohlenstoffketten dieser Paraffine sind untereinander durch Querverbindungen verknüpft (vernetzt) und bilden einen wertvollen, außerordentlich leichten, halbdurchsichtigen, biegsamen thermoplastischen Stoff, das *Polyäthylen*. Propylen entsteht durch Kracken von Erdöl und dient als Ausgangsstoff für die Synthese von Azeton und Glyzerin. Vom *Butylen* gibt es drei Isomere. Die Isomerenzahl steigt bei den Alkenen schneller an als bei den gesättigten Kohlenwasserstoffen, da zu der Kettenisomerie die Stellung der Doppelbindung als weitere Variationsmöglichkeit hinzukommt.
Außerdem tritt bei den ungesättigten Kohlenwasserstoffen und ihren Verbindungen noch eine besondere Form der Stereoisomerie auf, die sog. *cis-trans-Isomerie* oder *Äthylenisomerie*.



trans-Form *cis-Form*

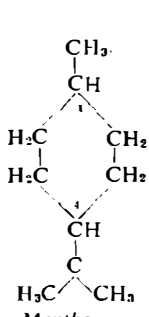
Dichloräthylen

Denkt man sich die beiden C-Atome des Äthylens in der Papierebene liegend, dann ist je eine der von jedem C-Atom ausgehenden C—H-Bindung schräg nach oben bzw. schräg nach unten gerichtet. Die miteinander verbundenen C-Atome sind um die Richtung der Doppelbindung nicht frei drehbar. Daher können die beiden Chloratome im Dichloräthylen, CHCl=CHCl, entweder beide über der Papierebene (*cis-Form*) oder das eine über und das andere unter der Papierebene angeordnet sein (*trans-Form*).
Die Namen der Olefine enden auf **-en**, teilweise ist noch die Endung **-ylen** in Gebrauch. Sind im Molekül zwei, drei oder noch mehr Doppelbindungen enthalten, dann tragen die Namen die Endungen **-dien**, **-trien** usw. Die Stellung der Doppelbindungen wird dahinter in Klammern angegeben, und zwar durch die Nummer des Kohlenstoffatoms, von dem die jeweilige Doppelbindung ausgeht.
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit zwei C=C-Doppelbindungen.
Diese sehr reaktionsfähigen Kohlenwasserstoffe haben die allgemeine Zusammensetzung C_nH_{2n-2}. Man unterscheidet 3 Verbindungstypen. In Verbindungen mit *kumulierten Doppelbindungen* stehen diese unmittelbar benachbart, z. B. im Allen, $CH_2=C=CH_2$. *Kumulene* sind Kohlenwasserstoffe, in denen mehrere C-Atome in ununterbrochener Reihenfolge durch Doppelbindungen verknüpft sind.
In Kohlenwasserstoffen mit *isolierten Doppelbindungen* sind sie durch mindestens zwei C—C-Einfachbindungen voneinander getrennt, z. B. im Pentadien-(1,4), $CH_2=CH-CH_2-CH=CH_2$. Am wichtigsten sind die Kohlenwasserstoffe mit *konjugierten Doppelbindungen*. Diese sind hier nur durch eine C—C-Einfachbindung voneinander getrennt, z. B. im Butadien-(1,3), $CH_2=CH-CH=CH_2$. Das Verhalten dieser Verbindungen wird durch die Wechselwirkung bestimmt, die die *π-Elektronen* der beiden Doppelbindungen über die Einfachbindung hinweg aufeinander ausüben. Bei der Anlagerung von Brom, Br_2, reagieren die Doppelbindungen meist nicht für sich allein, z. B. $CH_2=CH-CH=CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_2Br-CHBr-CH=CH_2$, sondern das gesamte konjugierte Doppelbindungssystem, $CH_2=CH-CH=CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_2Br-CH=CH-CH_2Br$, wobei die Bromatome an die Enden angelagert werden und in der Mitte eine neue Doppelbindung ausgebildet wird. Die wichtigsten Kohlenwasserstoffe dieses Typs sind das *Butadien-(1, 3)*, der Grundbaustein des wertvollen *synthetischen Kautschuks Buna*, $(C_4H_6)_{\infty}$, (abgeleitet von Butadiennatrium), und das *Isopren* oder 2-Methyl-butadien-(1,3), $CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$, die monomere Form des *Naturkautschuks*, $(C_5H_8)_{\infty}$. Der Naturkautschuk steht in enger Beziehung zu einer großen Gruppe von Naturstoffen, den *Terpenen*; zu ihnen gehören z. B. die ätherischen Öle vieler Pflanzen. Man kann sie sich aus bis zu 8 Isoprenmolekülen entstanden denken. Von ihnen leiten sich u. a. die *Karotinoide* ab, stark ungesättigte Kohlenwasserstoffe, $C_{40}H_{56}$, mit 11 konjugierten Doppelbindungen in der Kohlenstoffkette. Sie stellen die roten Farbstoffe in Karotten, Blättern und zahlreichen Früchten dar, z. B. Tomaten und Hagebutten. Auch das Vitamin A, $C_{20}H_{29}-OH$, ein ungesättigter Alkohol mit 5 konjugierten Doppelbindungen gehört hierher.

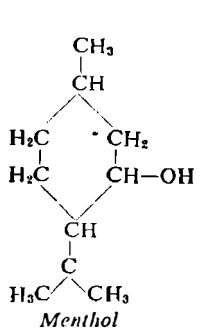
Alkine, Azetylenkohlenwasserstoffe. Diese Verbindungen enthalten eine dreifache Bindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen, $-C\equiv C-$, und sind dadurch noch stärker ungesättigt als die Alkene. Ihre Zusammensetzung entspricht der allgemeinen Formel C_nH_{2n-2}. Der wichtigste Kohlenwasserstoff dieser Reihe ist das *Azetylen*, C_2H_2 oder $H-C\equiv C-H$, ein brennbares, explosives Gas, das großtechnisch durch Zersetzen von *Kalziumkarbid*, CaC_2, mit Wasser dargestellt wird, $CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2$. Kalziumkarbid wird in riesigen elektrischen Öfen durch Zusammenschmelzen von gebranntem Kalk, CaO, mit Kohle gewonnen, $CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO$. Aus Azetylen werden wertvolle Plast- und Faserstoffe hergestellt, unter anderem Kautschuk, Polyvinylchlorid (PVC), Polyakrylnitril sowie Lösungsmittel wie *Trichloräthylen*, $CHCl=CCl_2$, und zahlreiche andere organische Verbindungen und Synthesezwischenprodukte. Ein erheblicher Anteil

wird zum *autogenen Schweißen* verwendet, da Azetylen im Sauerstoffstrom mit sehr heißer Flamme verbrennt (etwa 3000 °C). Die H-Atome im Azetylen lassen sich leicht durch Metallatome ersetzen, mit Silber- und Kupfer(I)-Ionen entstehen in wäßriger Lösung schwer lösliche, explosive *Karbide* (*Azetylide*).

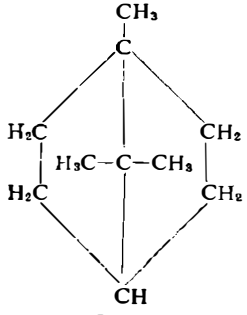
Alizyklische Kohlenwasserstoffe, Zykloparaffine, Zykloalkane. In ihnen sind die Kohlenstoffketten an den Enden zu Ringen zusammengeschlossen. Sie haben dadurch dieselbe Zusammensetzung wie die *Alkene* (allgemeine Formel C_nH_{2n}), sind also mit diesen isomer, enthalten jedoch keine Doppelbindung und ähneln insofern weitgehend den gesättigten Kohlenwasserstoffen, den Paraffinen. Die Namen leiten sich von den Namen der gesättigten Kohlenwasserstoffe ab durch Vorsetzen der Silbe *Zyklo-*, z. B. Zyklopropan, Zyklobutan, Zyklopentan. Man kennt die Zykloparaffine fast lückenlos bis zu 30 Kohlenstoffatomen im Ring.
Am beständigsten sind die 5- und 6-Ringe, da bei ihnen der Winkel zwischen zwei Bindungen dem natürlichen Tetraederwinkel des Kohlenstoffs am nächsten kommt. Vom Zyklopentan, C_5H_{10}, und Zyklohexan, C_6H_{12}, leiten sich zahlreiche Naturstoffe ab. Viele von ihnen gehören zu den *Terpenen*, z. B. Menthan, von dem sich der Alkohol *Menthol*, der Hauptbestandteil des Pfefferminzöls, ableitet. Häufig sind zwei Ringe miteinander verknüpft, z. B. in dem Kohlenwasserstoff Camphan, der Stammverbindung des Kampfers.



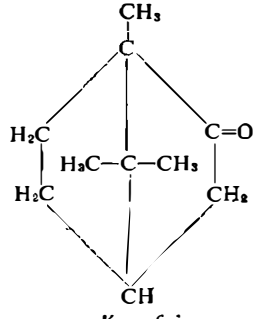
Menthan, 1-Methyl-4-isopropyl-zyklohexan



Menthol



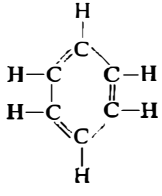
Camphan



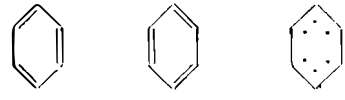
Kampfer

Ringförmige Kohlenwasserstoffe mit Doppelbindungen heißen *Zykloalkene*, z. B. Zyklohexen. Im *Zyklohexadien* enthält der Ring zwei und im *Zyklohexatrien*, dem Benzol, drei konjugierte Doppelbindungen.

Aromatische Kohlenwasserstoffe. Die wichtigste Rohstoffquelle ist der bei der Verkokung der Steinkohlen bei etwa 1200 °C in Kokereien und Gasanstalten anfallende Teer, ein kompliziertes Gemisch, aus dem bisher etwa 200 verschiedene organische Verbindungen isoliert wurden. Die wichtigsten aromatischen Kohlenwasserstoffe sind Benzol, Toluol, die Xylole sowie Naphthalin und Anthrazen. Sie enthalten alle das Ringsystem des Benzols, das durch einen besonderen chemischen Bindungszustand, den sogenannten *aromatischen Zustand*, gekennzeichnet ist. Der ungesättigte Charakter ist durch die starke Wechselwirkung zwischen den Elektronen der drei konjugierten Doppelbindungen (π-Elektronensextett) weitgehend aufgehoben. Die Doppelbindungen sind nicht lokalisiert. Die Formeln (1) und (2) sind gleichwertig und als mesomere Grenzformen eines energieärmeren Grundzustandes aufzufassen, der sich durch Formel (3) wiedergeben läßt. Meist verwendet man die Formeln (1) und (2).



Benzolformel

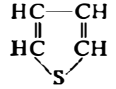


Vereinfachte Schreibweise der Benzolformel
(1) (2) (3)

Für die aromatischen Kohlenwasserstoffe sind *Substitutionsreaktionen* charakteristisch, d. h. Reaktionen, in denen ein oder mehrere Wasserstoffatome durch andere einwertige Atome oder Atomgruppen ersetzt werden. Der nach Wegnahme eines Wasserstoffatoms verbleibende Benzolrest, C_6H_5-, wird *Phenylgruppe* genannt. Verbindungen, in denen zwei Wasserstoffatome des

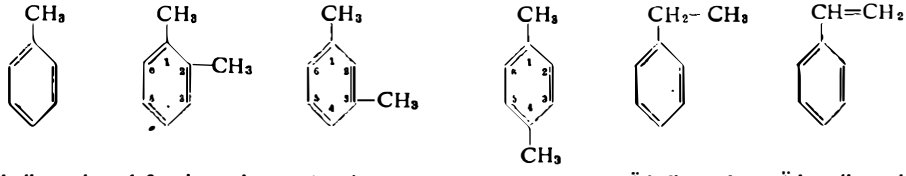
Benzols substituiert sind, existieren in drei isomeren Formen. In der *ortho-Form* oder o-Form befinden sich die beiden Substituenten an benachbarten Kohlenstoffatomen, in der *meta-Form* oder m-Form sind sie durch ein nichtsubstituiertes Kohlenstoffatom getrennt. In der *para-Form* oder p-Form stehen sich die Substituenten am Benzolkern gegenüber.

Benzol, C_6H_6, 1825 von Faraday im Leuchtgas entdeckt, ist eine farblose, charakteristisch riechende Flüssigkeit (Siedepunkt 80,4 °C, Schmelzpunkt 5,5 °C), die mit stark rußender Flamme brennt und deren Dämpfe, längere Zeit eingeatmet, stark giftig wirken. Etwa 1 % des Gewichts der Steinkohle kann als Benzol gewonnen werden. Das technische Benzol enthält neben Toluol und Xylol stets etwas *Thiophen* (0,5 %), eine dem Benzol sehr ähnliche heterozyklische Verbindung mit aromatischem Charakter. Benzol wird als Treibstoff (Zusatz zu Benzin), als Lösungsmittel für Fette, Lacke und Harze, für die Gewinnung von Nitrobenzol, Anilin und sehr vielen anderen aromatischen Verbindungen verwendet, besonders auch zur Herstellung zahlreicher Pharmazeutika.



Thiophen

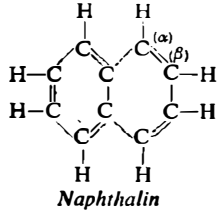
Homologe Benzolkohlenwasserstoffe. Vom Benzol leiten sich Homologe ab, in denen ein oder mehrere H-Atome durch Alkylgruppen, z. B. Methyl-, CH_3-, oder Äthylgruppen, $-C_2H_5$, ersetzt werden.



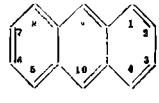
Methylbenzol, *Toluol*	*1,2- oder ortho- bzw.* o-*Dimethylbenzol,* o-*Xylol*	*1,3- oder meta- bzw.* m-*Dimethylbenzol,* m-*Xylol*	*1,4- oder para- bzw.* p-*Dimethylbenzol,* p-*Xylol*	*Äthylbenzol*	*Äthenylbenzol oder Vinylbenzol, Styrol*
Siedepunkt: 110,8 °C	144 °C	139 °C	138 °C	136,15 °C	146 °C

Toluol, C_7H_8, 1837 von Pelletier im Leuchtgas entdeckt, ist bis zu 35 % in galizischen und rumänischen Erdölen enthalten, wird hauptsächlich aus Steinkohlenteer gewonnen, stellt ein wertvolles Lösungs- und Lackverdünnungsmittel dar und dient zur Herstellung des Sprengstoffes *Trinitrotoluol* und des Süßstoffes Saccharin. *Xylole*, C_8H_{10}, sind isomere Dimethylbenzole, die sich in der Stellung der beiden Methylgruppen am Benzolkern unterscheiden (*Stellungsisomerie*); p-Xylol läßt sich leicht zu Terephthalsäure, Benzol-(1,4)-dikarbonsäure, oxydieren, die man zur Herstellung wertvoller Chemiefasern verwendet. Ein weiterer aromatischer Kohlenwasserstoff derselben Zusammensetzung ist das Äthylbenzol. Es kann zu Äthenylbenzol oder Styrol dehydriert werden, das bei der Polymerisation den wichtigen Plaststoff Polystyrol ergibt.

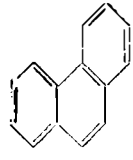
Kohlenwasserstoffe mit mehreren Benzolkernen im Molekül. In kondensierten Kohlenwasserstoffen gehören zwei Kohlenstoffatome zwei Benzolringen gemeinsam an.



Naphthalin

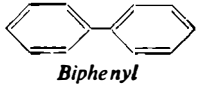


Anthrazen

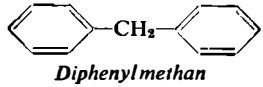


Phenanthren

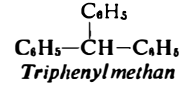
Schmelzpunkt:	80 °C	219 °C	100 °C
Siedepunkt:	218 °C	360 °C	340 °C



Biphenyl



Diphenylmethan



Triphenylmethan

Naphthalin, $C_{10}H_8$, wurde 1819 von Garden im Steinkohlenteer entdeckt, in dem es zu 5 bis 6% enthalten ist; es ist ein leicht sublimierbarer, charakteristisch riechender Stoff, der in farblosen Blättchen kristallisiert. Naphthalin wird in großem Umfang in der Teerfarbenindustrie verwendet, läßt sich durch Oxydation in *Phthalsäure* umwandeln und liefert bei der Hydrierung *Tetralin*, Tetrahydronaphthalin, $C_{10}H_{12}$, und *Dekalin*, Dekahydronaphthalin, $C_{10}H_{18}$, zwei wichtige Lösungsmittel für Schuhkrems, Bohnermassen und Lacke, die auch Treibstoffen zugesetzt werden. Beim Naphthalin gibt es von der Monomethylverbindung bereits zwei Stellungsisomere, das α- und das β-Methylnaphthalin. Vom Dimethylnaphthalin existieren 10 Isomere.

Anthrazen, $C_{14}H_{10}$, 1832 von Dumas und Laurent im Steinkohlenteer entdeckt, bildet farblose blättchenförmige Kristalle, die blauviolett fluoreszieren und sich leicht zu *Anthrachinon*-(9,10) oxydieren lassen, dem Ausgangsstoff zur Herstellung der sehr licht- und waschechten *Alizarin*- und *Indanthrenfarbstoffe*. Von der Monomethylverbindung existieren 3 Isomere, von der Dimethylverbindung gibt es 15 Stellungsisomere. Im Anthrazen sind die drei Ringe linear, im *Phenanthren* sind sie angular verknüpft. Beide Kohlenwasserstoffe sind isomer.

Biphenyl, Diphenylmethan und Triphenylmethan sind einige aromatische Kohlenwasserstoffe, die die Benzolkerne nicht kondensiert enthalten, wichtige organische Verbindungen, von denen sich z. B zahlreiche Farbstoffe ableiten, vom Triphenylmethan z. B. *Fuchsin*, *Phenolphthalein*, *Fluoreszein* und *Eosin*.

ORGANISCHE HALOGENVERBINDUNGEN

Die organischen Halogenverbindungen leiten sich von den Kohlenwasserstoffen ab, indem eines oder mehrere Wasserstoffatome durch Fluor, Chlor, Brom oder Jod ersetzt werden. Bei der Benennung werden die Stellung und die Anzahl der Halogenatome vor dem Namen des Kohlenwasserstoffs angegeben. Befinden sich an einem C-Atom 2 Halogenatome, dann spricht man von *geminaler* (abgekürzt gem.) Anordnung, stehen sie an benachbarten C-Atomen, von *vizinaler* (abgekürzt vic.) Stellung, z. B. 1,1-Dichloräthan oder gem. Dichloräthan, CH_3-CHCl_2, und 1,2-Dichloräthan oder vic. Dichloräthan, $Cl-CH_2-CH_2-Cl$. Es ist auch üblich, im ersten Fall die Endung *-yliden* und im zweiten Fall die Endung *-ylen* an den Namen des Kohlenwasserstoffs anzuhängen, also *Äthylidenchlorid* für 1,1-Dichloräthan und Äthylenchlorid für 1,2-Dichloräthan. Die Benennung der Monohalogenverbindungen erfolgt meist nach den Namen der Kohlenwasserstoffreste, z. B. Äthyljodid, C_2H_5-J, oder Isopropylchlorid, $(CH_3)_2CHCl$.

Vom Methan gibt es vier Chlorverbindungen, Methylchlorid, CH_3Cl, Methylenchlorid, CH_2Cl_2, Chloroform, $CHCl_3$, und Tetrachlorkohlenstoff, CCl_4. *Chloroform* ist eine farblose, in Wasser unlösliche, in Alkohol und Äther lösliche, nicht brennbare Flüssigkeit (Siedepunkt 61,5 °C), deren Dämpfe eingeatmet Bewußtlosigkeit (Narkose) hervorrufen. Es wird dargestellt durch Einwirkung von Chlorkalk auf Äthanol oder Azeton in Anwesenheit von Wasser. *Jodoform*, CHJ_3, ein gelbes Pulver (Schmelzpunkt 119 °C), dient als Antiseptikum. *Tetrachlorkohlenstoff* ist ein wichtiges Lösungsmittel für Fette und Harze (Siedepunkt 77 °C). Als nicht brennbare Flüssigkeit dient es auch zu Feuerlöschzwecken. Ein anderes viel gebrauchtes Lösungsmittel ist das *Trichloräthylen*, $CHCl=CCl_2$. Fluorhaltige Verbindungen sind das *Dichlordifluormethan*, CCl_2F_2 (*Frigen*, *Freon*), ein modernes Kühlmittel in Kältemaschinen. Tetrafluoräthylen, $CF_2=CF_2$, läßt sich zu einem der wertvollsten Plaste, Polytetrafluoräthylen, polymerisieren, der bis 400 °C beständig und gegen chemische Reagenzien außerordentlich widerstandsfähig ist. Aus *Vinylchlorid* (Äthenylchlorid), $CH_2=CH-Cl$, entsteht durch Polymerisation *Polyvinylchlorid*, PVC.

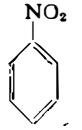
Aromatische Halogenverbindungen enthalten das Halogen bedeutend fester gebunden als aliphatische, z. B. Chlorbenzol, C_6H_5Cl, und o-, m- und p-Chlortoluol, $CH_3-C_6H_4-Cl$. Im Benzylchlorid, $C_6H_5-CH_2-Cl$, ist das Chlor am Kohlenstoffatom der Methylgruppe gebunden und läßt sich leicht abspalten, z. B. durch Hydrolyse, wobei der Benzylalkohol, $C_6H_5-CH_2OH$, gebildet wird.

NITROVERBINDUNGEN

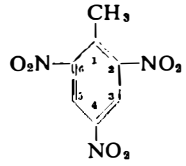
Die *Nitrogruppe*, $-NO_2$, leitet sich von der Salpetersäure, $HNO_3(HO-NO_2)$ ab. Nitroverbindungen entstehen durch das Einwirken von Salpetersäure auf Kohlenwasserstoffe, RH, unter Wasseraustritt, $RH + HO-NO_2 \rightarrow R-NO_2 + H_2O$. Diese Nitrierungsreaktion läßt sich bei *aromatischen Kohlenwasserstoffen* besonders leicht durchführen und ist daher für diese charakteristisch. Nitriersäure ist eine Mischung aus konzentrierter Salpetersäure und konzentrierter Schwefelsäure. Die Schwefelsäure wird zugesetzt, um das bei der Reaktion entstehende Wasser zu binden und so das Gleichgewicht zugunsten der Bildung der Nitroverbindung zu verschieben. *Nitrobenzol* ist eine schwach gelbliche, in Wasser nicht lösliche Flüssigkeit von stark bittermandelartigem Geruch; es ist giftig und dient als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Anilin sowie als billiges Parfümierungsmittel für Seifen. Aus Toluol entsteht bei der Nitrierung zunächst ein Isomerengemisch, das vorwiegend aus o- und p-Nitrotoluol besteht. Durch energische Einwirkung überschüssiger Nitriersäure wird 2,4,6-Trinitrotoluol gebildet, ein unter dem Namen *Trotyl* bekannter Sprengstoff.

Pikrinsäure, 2,4,6-Trinitrophenol, läßt sich ebenfalls durch Initialzündung zur Explosion bringen. Eine wichtige aliphatische Nitroverbindung ist *Nitromethan*, CH_3-NO_2 (Schmelzpunkt -29 °C,

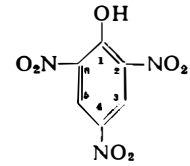
Siedepunkt 101 °C), eine relativ polare organische Flüssigkeit mit guten Lösungsmitteleigenschaften (Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = 39{,}4$).



Nitrobenzol



Trotyl, 2,4,6-Trinitrotoluol



Pikrinsäure, 2,4,6-Trinitrophenol

SULFONSÄUREN

Die *Sulfogruppe*, $-SO_3H$, leitet sich von der Schwefelsäure, $H_2SO_4(HO-SO_3H)$, ab. Aromatische Sulfonsäuren entstehen durch Einwirken von Schwefelsäure auf Kohlenwasserstoffe unter Wasseraustritt, $RH + HO-SO_3H \rightarrow R-SO_3H + H_2O$ (R aromatischer Kohlenwasserstoffrest). Um das gebildete Wasser zu binden, ist ein Überschuß an Schwefelsäure notwendig. Aus Benzol entsteht *Benzolsulfonsäure*, $C_6H_5-SO_3H$, bei energischer Einwirkung *Benzol-1,3,5-trisulfonsäure*, Sulfonsäuren sind in Wasser meist löslich und bilden mit Basen Salze. Sie sind starke Säuren, da der Wasserstoff in Lösung praktisch vollständig in Form von H^+-Ionen abdissoziiert. An den Säurerest $R\text{-}SO_3^-$ lagern sich auf Grund seiner negativen Ladung Wassermoleküle an. Diese *Hydratation* ist mitverantwortlich für das Zustandekommen der Löslichkeit. Selbst relativ große unpolare organische Moleküle lassen sich durch Einführen der stark polaren Sulfogruppe wasserlöslich machen; aus diesem Grund enthalten z. B. viele organische Farbstoffe meist mehrere Sulfogruppen. Die Sulfogruppe ist auch in manchen modernen *Waschmitteln* enthalten. In den *Sulfonsäureamiden*, $R-SO_2-NH_2$, ist die OH-Gruppe der Sulfonsäuren durch eine NH_2-Gruppe ersetzt. Einige dieser Verbindungen, die sog. *Sulfonamide*, dienen als Heilmittel gegen bakterielle Infektionen.

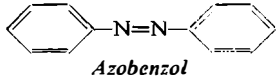
AMINE

Als Amine bezeichnet man organische Basen, die sich vom Ammoniak, NH_3, durch Ersatz der Wasserstoffatome durch Kohlenwasserstoffreste, R, ableiten (R z. B. $-CH_3$, $-C_2H_5$, $-C_3H_7$, $-C_6H_5$). Man unterscheidet *primäre, sekundäre* und *tertiäre Amine*, je nachdem, ob ein, zwei oder drei H-Atome im Ammoniakmolekül ersetzt sind. Es gibt also z. B. *Monomethylamin*, H_3N-CH_3, *Dimethylamin*, $HN(CH_3)_2$ und *Trimethylamin*, $N(CH_3)_3$. Andere aliphatische Amine sind die Äthyl-, Propyl- und Isopropylamine. Ein Amin kann auch verschiedene Kohlenwasserstoffreste im Molekül enthalten. Die wäßrige Lösung der Amine reagiert *alkalisch*, da diese wie Ammoniak am Stickstoffatom ein freies Elektronenpaar haben, an das sich ein Wasserstoffion, H^+, unter Bildung eines Ammoniumkations anlagern kann; Dimethylamin z. B. bildet in wäßriger Lösung Dimethylammoniumhydroxyd, $HN(CH_3)_2 + H_2O \rightarrow [H_2N(CH_3)_2]^+ + OH^-$. Die Hydroxylionen, OH^-, können mit Säuren, z. B. mit Salzsäure, HCl, neutralisiert werden, wobei ein *Alkylammoniumsalz*, z. B. *Dimethylammoniumchlorid*, $[H_2N(CH_3)_2]^+Cl^-$, gebildet wird. Die Darstellung der aliphatischen Amine erfolgt durch Umsetzen der Alkylhalogenide, z. B. Methyl- oder Äthylchlorid, mit Ammoniak in wäßriger oder alkoholischer Lösung, $C_2H_5Cl + NH_3 \rightarrow C_2H_5-NH_2 + HCl \rightarrow [C_2H_5-NH_3]^+Cl^-$. Der frei werdende Chlorwasserstoff, HCl, wird von dem Äthylamin unter Salzbildung gebunden. Bei der Einwirkung von Äthylchlorid auf Äthylamin entsteht Diäthylamin und darüber hinaus Triäthylamin. Durch Addition von Äthylchlorid an Triäthylamin bildet sich *Tetraäthylammoniumchlorid*, $[N(C_2H_5)_4]Cl$, ein *quartäres Ammoniumsalz*, $C_2H_5Cl + N(C_2H_5)_3 \rightarrow [N(C_2H_5)_4]Cl$.

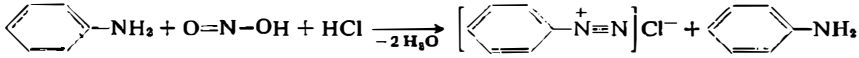
Die *Methylamine* und das *Monoäthylamin*, $C_2H_5-NH_2$, sind in Wasser leicht lösliche Gase mit ammoniakähnlichem, stechendem Geruch. Sie unterscheiden sich von Ammoniak u. a. durch ihre Brennbarkeit. Monomethylamin und Trimethylamin sind in der Heringslake enthalten. *Trimethylamin* wird aus Melasse, den Rückständen der Zuckergewinnung, hergestellt. Der typische Geruch des Fleisches von Seefischen rührt vom Trimethylamin her. *Anilin*, $C_6H_5-NH_2$, eine farblose, ölige Flüssigkeit, ist das wichtigste aromatische Amin. Anilindämpfe wirken beim Einatmen giftig. Seine Darstellung erfolgt durch Reduktion von Nitrobenzol, $C_6H_5-NO_2$, entweder mit Eisenpulver in schwach salzsaurem Medium oder mit Wasserstoff in Anwesenheit von Kupferkatalysatoren, $C_6H_5-NO_2 + 3\,H_2 \rightarrow C_6H_5-NH_2 + 2\,H_2O$. Die Reduktion zu primären Aminen läßt sich auch bei anderen Nitroverbindungen durchführen, aus Nitromethan, CH_3-NO_2, entsteht Methylamin, CH_3-NH_2.

Aromatische Amine reagieren mit salpetriger Säure, HNO_2, unter Mitwirkung von Salzsäure zu *Diazoniumsalzen*. Aus Anilin entsteht *Phenyldiazoniumchlorid*, $[C_6H_5-\overset{+}{N}\equiv N]Cl^-$. Die Diazoniumsalze lassen sich mit anderen organischen Verbindungen, z. B. mit aromatischen Aminen oder

Phenolen, zu *Azofarbstoffen* verknüpfen, eine Reaktion, die man als *Kupplung* bezeichnet. Der Grundkörper der Azofarbstoffe ist das *Azobenzol*.



Azobenzol



Anilin — *salpetrige Säure* — *Salzsäure* — *Phenyldiazoniumchlorid* — *Anilin*



p-*Amino-azobenzol, Anilingelb, zum Anfärben von Azetatseide verwendet*

METALLORGANISCHE VERBINDUNGEN

In metallorganischen Verbindungen ist ein Kohlenstoffatom, z. B. das C-Atom eines Kohlenwasserstoffrestes, unmittelbar mit einem Metallatom verknüpft. Sie sind meist sehr reaktionsfähig, werden zu organischen Synthesen verwendet (z. B. die Grignard-Verbindungen) und haben auch praktische Bedeutung, z. B. die Silikone oder das *Tetraäthylblei*, $Pb(C_2H_5)_4$, das man als Antiklopfmittel Treibstoffen zusetzt. Die nach ihrem Entdecker benannten *Grignard-Verbindungen* sind organische Magnesiumverbindungen vom Typ R-Mg-X (R bedeutet $-CH_3$, $-C_2H_5$, $-C_6H_5$ u. a., X dagegen Cl, Br, J), z. B. Methylmagnesiumjodid, $H_3C-Mg-J$. Sie reagieren mit Verbindungen, die Wasserstoffionen enthalten, z. B. mit Wasser, unter Bildung der Kohlenwasserstoffe, $H_3C-Mg-J + H_2O \rightarrow CH_4 + Mg(OH)J$. Durch Messen des gebildeten Methans kann man eine vorher unbekannte Wassermenge quantitativ bestimmen (*Methode nach Zerewitinow*). Aus Aldehyden entstehen mit Grignard-Verbindungen sekundäre Alkohole, mit Kohlendioxyd lassen sich Grignard-Verbindungen zu Karbonsäuren umsetzen.

Silikone. Die Silikone sind Polykondensationsprodukte der *Alkylsilanole*, die man sich von der Kieselsäure, H_4SiO_4 bzw. $Si(OH)_4$, durch Ersatz einer oder mehrerer OH-Gruppen durch Kohlenwasserstoffreste abgeleitet denken kann, z. B. vom *Dimethylsilandiol*, $(CH_3)_2Si(OH)_2$, oder vom *Methylsilantriol*, $H_3C-Si(OH)_3$. Während bei der Kieselsäure leicht alle vier OH-Gruppen mit den OH-Gruppen der benachbarten Moleküle unter Abspaltung von Wasser reagieren und es so zur Ausbildung eines makromolekularen dreidimensionalen Raumnetzes kommt (Quarz, SiO_2), ist in den Alkylsilanolen ein Teil der Verknüpfungsstellen durch Kohlenwasserstoffreste blockiert. Die bei der Kieselsäure völlig unkontrolliert ablaufende *Polykondensation* läßt sich also durch teilweise Einführung von Kohlenwasserstoffresten an Stelle der OH-Gruppen auf einer bestimmten Stufe zum Stillstand bringen. Aus Alkylsilanolen mit zwei bis drei Resten je Siliziumatom entstehen die wärmebeständigen *Silikonöle*, aus Alkylsilanolen, die nur eine Alkylgruppe oder weniger je Siliziumatom enthalten, die *Silikonharze*. Dazwischen liegen die gummiartigen *Silikone* mit kautschukähnlichen Eigenschaften. Die Öle sind durch geringe Flüchtigkeit, Feuersicherheit und hohe Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und Laugen gekennzeichnet. Sie finden als Schmiermittel, als Brems- und hydraulische Flüssigkeiten und auf Grund ihrer wasserabstoßenden Wirkung zum Imprägnieren und Dichten von Geweben aller Art Verwendung. Die Harze dienen als Isolationsmaterial in der Elektrotechnik und als Lackgrundlage für temperaturbeständige Schutzanstriche.

ALKOHOLE

Alkohole sind organische Verbindungen mit einer (*einwertige Alkohole*) oder mehreren (*mehrwertige Alkohole*) alkoholischen Hydroxylgruppen, —OH. Sie leiten sich von den Kohlenwasserstoffen durch Ersatz eines oder mehrerer Wasserstoffatome durch Hydroxylgruppen ab, sind also formal Oxydationsprodukte der Kohlenwasserstoffe, $RH + O \rightarrow R-OH$ (R bedeutet Kohlenwasserstoffrest). Die aromatischen Kohlenwasserstoffe, z. B. Benzol oder Naphthalin, bilden keine Alkohole, sondern *Phenole*. *Aromatische Alkohole* leiten sich stets von aromatischen Kohlenwasserstoffen mit Seitenkette ab, z. B. Benzylalkohol, $C_6H_5-CH_2-OH$, vom Toluol, $C_6H_5-CH_3$. Das Alkoholmolekül ist ähnlich wie das Wassermolekül gewinkelt und im flüssigen Zustand *assoziiert*, d. h. mehrere Alkoholmoleküle treten unter der Wirkung von *Wasserstoffbrückenbindungen* zwischen den Hydroxylgruppen zu lockeren größeren Gebilden zusammen. Alkalimetalle, z. B. Natrium oder Kalium, lösen sich in Alkoholen unter Wasserstoffentwicklung auf. Dabei entstehen salzartige Verbindungen, die *Alkoholate*, aus Natrium und Methanol, z. B. Natriummethylat, $CH_3-OH + Na \rightarrow [CH_3O]^-Na^+ + {}^1/_2\,H_2$. Bei der *Benennung der Alkohole* setzt man entweder den Namen

des Kohlenwasserstoffrestes vor das Wort Alkohol, z. B. Methyl-, Äthyl-, Propyl-, Butyl-, Zyklohexylalkohol, oder man hängt an den Namen des Kohlenwasserstoffs die Endung **-ol** an, z. B. Methanol, Äthanol, Propanol, Butanol und Zyklohexanol. *Isomere Alkohole* unterscheiden sich durch die Stellung der OH-Gruppe innerhalb der Kohlenstoffkette. Man bezeichnet diese Stellung durch die Ziffer des Kohlenstoffatoms, an dem sich die OH-Gruppe befindet, z. B. Propanol-(1) oder n-Propanol und Propanol-(2) oder i-Propanol (Isopropylalkohol). Vom Butan leiten sich 4 isomere Butanole, vom Pentan 8 isomere *Amylalkohole* ab.

Man unterscheidet primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole, je nachdem, ob die Hydroxylgruppe an ein primäres, sekundäres oder tertiäres Kohlenstoffatom gebunden ist. *Primäre Alkohole* enthalten die OH-Gruppe stets am Kettenende, das betreffende Kohlenstoffatom ist nur mit einem anderen Kohlenstoffatom verknüpft, z. B. Äthanol, n-Propanol und n-Butanol. In *sekundären Alkoholen* befindet sich die OH-Gruppe an einem Kohlenstoffatom in der Kettenmitte, das jeweils mit zwei anderen verbunden ist, z. B. Isopropylalkohol und sekundärer Butanol. *Tertiäre Alkohole* leiten sich von verzweigten Kohlenwasserstoffen ab; ihre OH-Gruppe ist an ein Kohlenstoffatom gebunden, das mit drei anderen verknüpft ist, z. B. tertiärer Butanol.

Einwertige Alkohole

CH_3-OH	CH_3-CH_2-OH	$CH_3-CH_2-CH_2-OH$	$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-CH_3$
Methanol	*Äthanol*	*Propanol-(1)*, n-*Propanol*	*Propanol-(2)*, i-*Propanol*
Siedepunkt: 64,7 °C	78,4 °C	97 °C	81 °C

$CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-OH$	$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-CH_3$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-OH$	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}}}-OH$
Butanol-(1), n-*Butanol*	*Butanol-(2)*, *sekundärer Butanol*	*2-Methylpropanol-(1)*, *iso-Butanol*	*tertiärer Butanol*
Siedepunkt: 117 °C	99,5 °C	108 °C	82,6 °C

Einwertige Alkohole. In ihren Eigenschaften nehmen die Alkohole eine Mittelstellung ein zwischen den typisch *unpolaren* Kohlenwasserstoffen und dem Wasser, der wichtigsten *polaren* Flüssigkeit. Bei kleinen organischen Resten überwiegt der Einfluß der OH-Gruppe. Methanol, Äthanol und Propanol sind daher mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar. Diese Verwandtschaft mit dem Wasser geht bei den Alkoholen mit größeren Kohlenwasserstoffresten in zunehmendem Maße verloren. Die Alkohole mit 4 bis 11 Kohlenstoffatomen sind mit Wasser nicht mischbare, ölige Flüssigkeiten und bei noch größerem Molekulargewicht paraffinähnliche Stoffe. Führt man in das Molekül mehrere OH-Gruppen ein, dann nimmt die Wasserlöslichkeit wieder zu (*mehrwertige Alkohole*).

Methanol, Methylalkohol, Holzgeist. Methanol ist eine farblose brennbare Flüssigkeit, die bereits in geringer Menge sehr stark giftig wirkt (Erblindung, Tod) und technisch vielseitig verwendet wird, z. B. als Treibstoffzusatz, zur Darstellung von *Formaldehyd*, als Lacklösungsmittel und zur Gewinnung von Anilinfarben. Methanol wird großtechnisch aus Kohlenmonoxyd, CO, und Wasserstoff, H_2, nach dem Verfahren von Mittasch bei 450 °C und 200 Atmosphären Druck unter Verwendung eines Zinkoxyd-Chromoxyd-Katalysators gewonnen, $CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$. In dem bei der trockenen Destillation von Holz anfallenden Holzessig sind bis zu 3% Methanol enthalten.

Äthanol, Äthylalkohol, gewöhnlicher Alkohol, Weingeist. Äthanol ist eine wasserähnliche, charakteristisch riechende, brennend schmeckende Flüssigkeit, die mit Wasser und Äther mischbar ist, desinfizierend wirkt (am stärksten bei etwa 60% Alkohol) und an der Luft bis zu einer Verdünnung mit 50% Wasser brennt. Äthanol wird großtechnisch nach 3 Verfahren gewonnen: Durch *Wasseranlagerung an Äthylen* mit verdünnter Schwefelsäure als Katalysator, $CH_2=CH_2 + H_2O \rightarrow CH_3-CH_2-OH$, durch *Hydrieren von Azetaldehyd*, $CH_3-CHO + H_2 \rightarrow CH_3-CH_2-OH$, und durch *Gärung* aus Zuckern (Hexosen), z. B. aus Traubenzucker (Glukose) und Fruchtzucker (Fruktose), $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$. Die alkoholische Gärung besteht in einem Zerfall der einfachen Zucker, der *Monosaccharide*, $C_6H_{12}O_6$, in Äthanol und Kohlendioxyd. Dieser Zerfall ist ein sehr komplizierter Prozeß, der unter der Wirkung bestimmter Fermente abläuft, die von Mikroorganismen, z. B. Hefepilzen, erzeugt werden. Bei der Weinbereitung werden die in Fruchtsäften enthaltenen Zucker vergoren. Bei der technischen Durchführung der alkoholischen Gärung geht man meist von makromolekularen Kohlenhydraten, den sog. *Polysacchariden* Stärke und Zellulose, aus. *Kartoffel-* oder *Getreidestärke*, $(C_6H_{10}O_5)_x$, wird durch das Ferment *Diastase* in Malzzucker (Maltose), $C_{12}H_{22}O_{11}$, ein Disaccharid, übergeführt, $(C_6H_{10}O_5)_x + \frac{x}{2} H_2O \rightarrow \frac{x}{2} C_{12}H_{22}O_{11}$. Diastase ist reichlich in keimender Gerste (*Grünmalz*) enthalten (*Bierbereitung*). Der *Malzzucker*

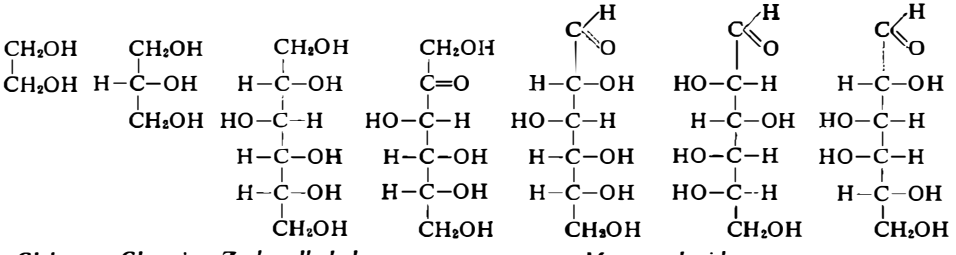
wird durch das von der zugesetzten Hefe gebildete Ferment *Maltase* in 2 Moleküle *Glukose* gespalten, $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2\,C_6H_{12}O_6$, die durch den Fermentkomplex Zymase zu Alkohol vergoren wird. Auch die *Zellulose* des Holzes läßt sich zur Alkoholgewinnung heranziehen. Man baut sie zunächst durch Erhitzen mit verdünnter Schwefelsäure zu Glukose ab (*Holzverzuckerung*) und vergärt anschließend durch Zusatz von Hefe. Große Bedeutung hat ferner die Vergärung der Zucker, die in den bei der Zellstoffgewinnung anfallenden Laugen (*Sulfitablaugen*) enthalten sind. Der durch Gärung erhaltene Alkohol hat einen Gehalt von höchstens 18% und enthält noch giftige Fuselöle (höhere Alkohole). Die Reinigung und Konzentrierung erfolgt durch fraktionierte Destillation. Wasser und Alkohol bilden bei der Zusammensetzung 95,3% Alkohol/4,7% Wasser ein *azeotropes Gemisch*, d. h. eine Mischung, die siedet, ohne ihre Zusammensetzung zu verändern, die sich also bei der Destillation wie ein reiner Stoff verhält. Aus einer Wasser-Äthylalkohol-Mischung läßt sich also höchstens 95,3%iger Alkohol abdestillieren. Setzt man jedoch Benzol zu, dann verdampft zunächst eine aus Benzol und Alkohol bestehende Mischung, die auch das Wasser enthält, und schließlich bleibt reiner, sogenannter *absoluter Alkohol*, zurück (Verfahren von Young). Alkohol, der nicht zu Genußzwecken dienen soll, wird durch Zusatz von Benzin, Pyridin oder Methanol ungenießbar gemacht (*denaturiert, vergällt*).

Höhere Alkohole. n-Propylalkohol, Isobutylalkohol und zwei der 8 isomeren Amylalkohole bilden den Hauptbestandteil der bei der alkoholischen Gärung entstehenden *Fuselöle*. Die *Propanole* und *Butanole* werden auch synthetisch hergestellt und finden als Lösungsmittel und zu Synthesen Verwendung. Die höheren Alkohole mit 16 bis 18 Kohlenstoffatomen werden technisch durch katalytische Hydrierung aus den entsprechenden Karbonsäuren (Fettsäuren) gewonnen und dienen zur Herstellung *synthetischer Waschmittel*.

Ungesättigte Alkohole. Der *Allylalkohol*, $CH_2{=}CH{-}CH_2{-}OH$, eine stechend riechende Flüssigkeit, ist der einfachste ungesättigte Alkohol. Zu den *Terpenalkoholen* gehören wichtige Riechstoffe, z. B. Geraniol im Rosenöl und Farnesol im Lindenblütenöl; ferner das Axerophthol (Vitamin A) u. a.

Mehrwertige Alkohole. Im Molekül sind mehrere alkoholische Hydroxylgruppen enthalten.

Mehrwertige Alkohole



Glykole, zweiwertige Alkohole. Der einfachste zweiwertige Alkohol ist das *Glykol* selbst, $CH_2OH{-}CH_2OH$, (Schmelzpunkt −11,2 °C, Siedepunkt 197,4 °C), das durch Anlagerung von Wasser, H_2O, an *Äthylenoxyd*, $CH_2{-}CH_2$ (O), hergestellt wird. Dieses gewinnt man z. B. durch katalytische Oxydation von Äthylen, $CH_2{=}CH_2$. Glykol, ein farbloses, dickflüssiges, süß schmeckendes Öl, dient zur Herstellung von Lacklösungsmitteln und wird an Stelle von Glyzerin zur Erniedrigung des Gefrierpunktes dem Kühlwasser in Kraftfahrzeugen zugesetzt.

Drei- und vierwertige Alkohole. Glyzerin (Schmelzpunkt 20 °C, Siedepunkt 290 °C), der wichtigste dieser Alkohole, wurde 1779 von Scheele entdeckt und ist ein wesentlicher Baustein in den Molekülen der *Fette*. Es entsteht bei der Verseifung der Fette, als Nebenprodukt bei der alkoholischen Gärung und wird auch synthetisch hergestellt. Glyzerin ist eine sirupartige, farblose, süß schmeckende Flüssigkeit, die sich mit Wasser und Alkohol in jedem Verhältnis mischt, jedoch nicht mit Benzin. Es wird technisch vielseitig verwendet, z. B. zur Herstellung der Sprengstoffe *Glyzerintrinitrat* (*Nitroglyzerin*) und *Dynamit*, in der Pharmazie für Salben und Kosmetika, ferner als Bremsflüssigkeit und in Schuhkrems, Druckerschwärze, Stempelfarben u. a.
Erythrit ist ein vierwertiger Alkohol, der sich vom n-Butan ableitet; mit jedem Kohlenstoffatom ist eine Hydroxylgruppe verbunden.

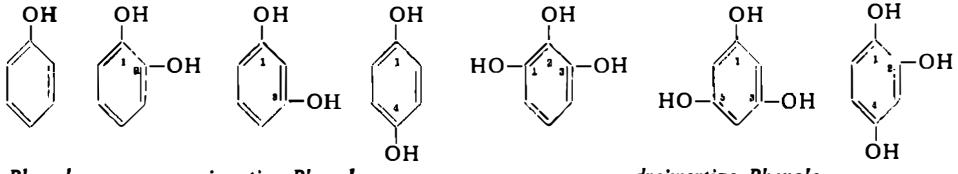
Fünf- und sechswertige Alkohole. Pentite und *Hexite* sind die entsprechenden fünf- und sechswertigen Alkohole des Pentans bzw. Hexans. Sie stehen in enger Beziehung zu den *Zuckern*, den *Pentosen* (Zucker mit 5 Sauerstoffatomen) und *Hexosen* (Zucker mit 6 Sauerstoffatomen) und

werden daher auch *Zuckeralkohole* genannt. Durch Oxydation der endständigen Alkoholgruppe, der $-CH_2OH$-Gruppe zur Aldehydgruppe $-CHO$, entstehen aus ihnen die *Aldosen*, durch Oxydation der benachbarten $-CHOH$-Gruppe zur Ketogruppe, $=C=O$, die *Ketosen*. Aldosen sind mit den entsprechenden Ketosen isomer. *Fruchtzucker* oder *Fruktose* ist die bekannteste *Ketohexose*. Die wichtigste *Aldohexose* ist die *Glukose* oder der *Traubenzucker*. Die Zucker und Zuckeralkohole enthalten mehrere asymmetrische Kohlenstoffatome. Jedes asymmetrische Kohlenstoffatom ist mit 4 verschiedenen Atomgruppen oder Molekülteilen verknüpft. Die Moleküle und die aus ihnen aufgebauten Kristalle haben dadurch kein Symmetriezentrum. Sie treten in zwei Formen auf, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten; man bezeichnet sie als d- bzw. l-Form, je nachdem, ob ihr räumlicher Aufbau dem der *d-Glukose* entspricht bzw. spiegelbildlich dazu ist. Man bezeichnet diese Art der Stereoisomerie als *Spiegelbildisomerie* oder *Enantiostereoisomerie*. Verbindungen mit einem oder mehreren asymmetrischen Kohlenstoffatomen sind im allgemeinen *optisch aktiv*, d. h., die Ebene des polarisierten Lichtes wird beim Hindurchtreten durch diese Stoffe gedreht, bei der einen Form um einen bestimmten Betrag nach rechts (+), bei der anderen spiegelbildisomeren Form um denselben Betrag nach links (−). In allen übrigen Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Löslichkeit u. a., stimmen d- und l-Form überein. Die Aldohexosen enthalten 4 asymmetrische Kohlenstoffatome und existieren in 16 stereoisomeren Formen, eine davon ist der *Traubenzucker* oder die d-Glukose, andere sind die *Mannose* und die im *Milchzucker* enthaltene *Galaktose*. Man bezeichnet diese einfachen Zucker als *Monosaccharide*. Sie haben die Bruttoformel $C_6H_{12}O_6$. In den *Disacchariden*, $C_{12}H_{22}O_{11}$, sind zwei einfache Zuckermoleküle unter Abspaltung von Wasser miteinander verknüpft, im *Rohrzucker* oder *Rübenzucker* (Saccharose) ein Glukosemolekül mit einem Molekül Fruktose, im *Milchzucker* (*Laktose*) ein Galaktosemolekül mit einem Molekül Glukose, im *Malzzucker* (*Maltose*) zwei Glukosemoleküle. In den *Polysacchariden*, $(C_6H_{10}O_5)_x$, sind eine große Anzahl (bis zu mehreren Zehntausend) Zuckermoleküle auf ähnliche Weise miteinander verknüpft wie in den Disacchariden. *Stärke* und *Zellulose* bestehen aus makromolekularen Ketten von miteinander verbundenen Glukosemolekülen. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der räumlichen Art der Verknüpfung der Glukosemoleküle.

Thioalkohole, Merkaptane. Diese Verbindungen sind widerlich riechende organische Flüssigkeiten der allgemeinen Formel $R-SH$ (R bedeutet Kohlenwasserstoffrest), in denen der Sauerstoff der Alkohole, $R-OH$, durch Schwefel ersetzt ist. Man kann sie auch als Abkömmlinge des Schwefelwasserstoffs, H_2S, auffassen. *Merkaptane* haben schwach saure Eigenschaften und sind in Laugen unter Bildung salzartiger Verbindungen, der *Merkaptide*, löslich. Ihre Quecksilberverbindungen (*corpora mercurio apta*) sind schwer löslich.

PHENOLE

Phenole sind aromatische Verbindungen, die sich vom Benzol durch Ersatz eines oder mehrerer Wasserstoffatome durch Hydroxylgruppen, $-OH$, ableiten. Je nach der Anzahl der OH-Gruppen unterscheidet man *ein-, zwei- und dreiwertige Phenole*. Der Name setzt sich aus dem Wort *Phen*, einer alten Bezeichnung für Benzol, und der Endung -ol (von Alkohol) zusammen. Manche Phenole haben Trivialnamen. Die Phenole des Naphthalins heißen *Naphthole*. Jede OH-Gruppe, die unmittelbar am Kern eines aromatischen Kohlenwasserstoffs gebunden ist, bezeichnet man als *phenolische Hydroxylgruppe*. Sie unterscheidet sich von der alkoholischen Hydroxylgruppe unter anderem durch ihre schwach sauren Eigenschaften. Phenole lösen sich in Laugen, z. B. Natronlauge, unter Bildung salzartiger Verbindungen, der *Phenolate*. Verbindungen, die die Hydroxylgruppe an einem Kohlenstoffatom der Seitenkette eines aromatischen Kohlenwasserstoffs enthalten, wie z. B. Benzylalkohol, $C_6H_5-CH_2-OH$, haben die Eigenschaften der gewöhnlichen Alkohole.



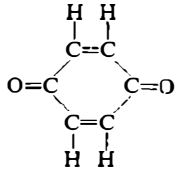
Phenol	*zweiwertige Phenole*			*dreiwertige Phenole*		
	Brenzkatechin	*Resorzin*	*Hydrochinon*	*Pyrogallol*	*Phlorogluzin*	*Oxyhydrochinon*
Schmelzpunkt:						
41 °C	105 °C	110,7 °C	170,3 °C	133 °C	217 °C	141 °C

Einwertige Phenole. *Phenol, Karbolsäure, Oxybenzol*, C_6H_5-OH, bildet farblose charakteristisch riechende Nadeln, die sich an der Luft rötlich färben und ätzend und bakterizid wirken (Antiseptikum). *Karbolwasser* ist eine 5%ige Phenollösung. Phenol wird aus dem Steinkohlenteer

gewonnen, durch Hydrolyse von Chlorbenzol, $C_6H_5Cl + H_2O \rightarrow C_6H_5-OH + HCl$, durch Zusammenschmelzen des Natriumsalzes der Benzolsulfonsäure mit Ätznatron, $C_6H_5-SO_3Na + NaOH \rightarrow C_6H_5-OH + Na_2SO_3$, sowie neuerdings durch katalytische Oxydation von *Isopropylbenzol, Kumol*, $C_6H_5-CH(CH_3)_2$, wobei als Nebenprodukt Azeton anfällt. Phenol ist bedeutend reaktionsfähiger als Benzol und dient zur Herstellung von Farbstoffen und zahlreichen anderen aromatischen Verbindungen. Die drei isomeren Oxytoluole, $H_3C-C_6H_4-OH$, bezeichnet man als *Kresole* (o-, m-, p-Kresol). Sie sind mit dem Benzylalkohol, $C_6H_5-CH_2-OH$, isomer. Phenole und Kresole lassen sich mit Formaldehyd, HCHO, zu sehr wertvollen Kunststoffen umsetzen, den *Phenoplasten*, früher *Bakelite* genannt nach dem Belgier Baekeland, der sie 1907 entdeckte. In ihnen sind die Benzolkerne der Phenole durch CH_2-Gruppen zu einem dreidimensionalen Raumnetz verknüpft.

Ionenaustauscher. Zahlreiche Ionenaustauscher, z. B. manche *Wofatite* (benannt nach der Farbenfabrik Wolfen), sind makromolekulare Stoffe vom Typ der Phenoplaste. In *Kationenaustauschern* enthalten die Benzolkerne der Phenole zusätzlich saure Gruppen, z. B. Karboxylgruppen, $-COOH$, oder Sulfonsäuregruppen, $-SO_3H$. Da eine wäßrige Lösung in das weitmaschige Raumnetz des Austauschers eindringen kann (Quellung), können die in ihr enthaltenen Kationen, z. B. die Kalzium- und Magnesiumionen des harten Wassers, gegen die Wasserstoffionen, H^+, der sauren Gruppen ausgetauscht werden (*Wasserenthärtung*). Die *Anionenaustauscher* enthalten basische Gruppen, z. B. Aminogruppen, $-NH_2$. Sie gehören zu den *Aminoplasten*, die man durch Umsetzen von Formaldehyd mit Harnstoff, aromatischen und anderen Aminen erhält. Aminogruppen können teilweise Wasser addieren, $-NH_2 + H_2O \rightleftarrows [-NH_3]^+OH^-$, und das Hydroxylion, OH^-, gegen andere Anionen, z. B. gegen die in gewöhnlichem Wasser enthaltenen Sulfationen, SO_4^{--}, austauschen. Läßt man daher das Wasser zunächst durch eine *Kationenaustauschersäule* (ein senkrecht stehendes Rohr, das mit dem Ionenaustauscher gefüllt ist) laufen und anschließend eine *Anionenaustauschersäule* passieren, so lassen sich die gelösten Salze völlig entfernen (*Vollentsalzung des Wassers*). Ionenaustauscher haben nur eine bestimmte Kapazität für die Aufnahme von Kationen bzw. Anionen und müssen von Zeit zu Zeit *regeneriert* werden, Kationenaustauscher durch Behandeln mit Säuren, z. B. mit verdünnter Schwefelsäure, Anionenaustauscher mit Basen, z. B. mit Natronlauge.

Zweiwertige Phenole. Die drei stellungsisomeren Dioxybenzole, $C_6H_4(OH)_2$, das *Brenzkatechin*, 1,2- oder o-Dioxybenzol, das *Resorzin*, 1,3- oder m-Dioxybenzol, und das *Hydrochinon*, 1,4- oder p-Dioxybenzol, sind in Wasser leicht lösliche, farblose, feste Stoffe, deren Verbindungen in zahlreichen Naturstoffen vorkommen. Brenzkatechin liegt z. B. dem Vanillin und dem Hormon des Nebennierenmarks, dem Adrenalin, zugrunde. Resorzin kommt in Flechten vor und dient als Ausgangsstoff zur Herstellung wichtiger Farbstoffe. Hydrochinon hat stark reduzierende Eigenschaften und wird als Entwickler für photographische Filme verwendet. Es wird leicht unter Abgabe von 2 Wasserstoffatomen (Dehydrierung) zu *Chinon* oxydiert, einer goldgelben, stechend riechenden, sehr reaktionsfähigen Substanz (Schmelzpunkt 116 °C).



Chinon

Dreiwertige Phenole. Die drei stellungsisomeren Trioxybenzole, $C_6H_3(OH)_3$, das *Pyrogallol*, 1,2,3- oder vizinales Trioxybenzol, das *Phlorogluzin*, 1,3,5- oder symmetrisches Trioxybenzol, und das *Oxyhydrochinon*, 1,2,4- oder asymmetrisches Trioxybenzol, sind in Wasser leicht lösliche, farblose Stoffe. Pyrogallol entsteht beim Erhitzen von Gallussäure. Es wirkt in alkalischer Lösung stark reduzierend; Luftsauerstoff wird von ihm augenblicklich gebunden. Phlorogluzin ist ein Baustein weit verbreiteter roter, violetter und blauer Farbstoffe von Blüten und Früchten, der *Anthozyane*.

ÄTHER

Äther entstehen durch zwischenmolekulare Wasserabspaltung aus Alkoholen oder Phenolen, $2\,R-OH \rightarrow R_2O + H_2O$ (R bedeutet $-CH_3$, $-C_2H_5$, $-C_3H_7$, $-C_6H_5$ u. a.); sie sind bewegliche, sehr feuergefährliche Flüssigkeiten mit relativ niedrigem Siedepunkt und daher hohem Dampfdruck, die sich mit Wasser nicht mischen und salzartige, polare Verbindungen nicht lösen. Sie sind relativ reaktionsträge. *Diäthyläther*, Äther im engeren Sinne, $C_2H_5-O-C_2H_5$ (Siedepunkt 34,5 °C), wird durch Erhitzen von Äthylalkohol mit konzentrierter Schwefelsäure dargestellt, $2\,C_2H_5-OH \rightleftarrows C_2H_5-O-C_2H_5 + H_2O$. Das entstehende Wasser wird von der Schwefelsäure gebunden. Seine

Dämpfe rufen eingeatmet Bewußtlosigkeit hervor (Jackson und Morton 1846). Er dient auch heute noch als wichtiges Mittel zur allgemeinen Narkose, ferner im Laboratorium als Lösungsmittel. Äther reagiert langsam mit dem Luftsauerstoff unter Bildung schwerflüchtiger, sehr explosiver Peroxyde, die man vor einer Destillation unbedingt zerstören muß, z. B. durch Schütteln mit einer wäßrigen Eisen(II)-sulfatlösung. Durch Wasserabspaltung zwischen verschiedenen Alkoholen entstehen *gemischte Äther*, aus Methanol, CH_3OH, und Propanol, C_3H_7-OH, z. B. der Methylpropyläther, $CH_3-O-C_3H_7$, der mit dem Diäthyläther isomer ist. Man bezeichnet diese Art der Strukturisomerie auch als *Metamerie*.

Thioäther. In diesen ekelhaft riechenden, in Wasser unlöslichen Flüssigkeiten ist der Sauerstoff der gewöhnlichen Äther durch Schwefel ersetzt, z. B. Diäthylthioäther, $C_2H_5-S-C_2H_5$.

ALDEHYDE

Aldehyde entstehen durch Oxydation (Dehydrierung) primärer Alkohole. Sie enthalten die charakteristische Gruppe $-C\langle{}^{H}_{O}$, die sogenannte *Aldehydgruppe*.

$$\underset{\text{allgemeine Formel eines primären Alkohols}}{R-CH_2-OH} \underset{\text{Reduktion}}{\overset{\text{Oxydation}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{allgemeine Formel eines Aldehyds}}{R-C\langle{}^{H}_{O}} + \underset{\text{Wasserstoff}}{H_2}$$

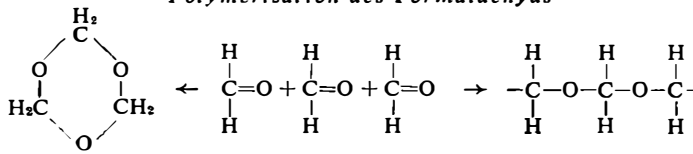
Der Name Aldehyd ist gebildet aus **Al**cohol **dehyd**rogenatus (Alkohol, dem Wasserstoff entzogen worden ist). Je nach dem Kohlenwasserstoffrest R unterscheidet man aliphatische und aromatische Aldehyde. Ihre *Benennung* erfolgt entweder nach der Karbonsäure, die bei der Oxydation des betreffenden Aldehyds entsteht, z. B. *Formaldehyd* nach der Ameisensäure (lat. Acidum formicicum), *Azetaldehyd* nach der Essigsäure (lat. Acidum aceticum) und *Benzaldehyd* nach der Benzoesäure, oder durch Anhängen der Endung **-al** an den Namen des zugrunde liegenden aliphatischen Kohlenwasserstoffs (allgemein *Alkanal*), z. B. *Methanal* für Formaldehyd und *Äthanal* für Azetaldehyd.
Die Aldehyde sind sehr reaktionsfähige Verbindungen; sie haben stark reduzierende Eigenschaften und lassen sich leicht zu *Karbonsäuren* oxydieren. Silberionen, Ag^+, werden in ammoniakalischer Lösung zu metallischem Silber reduziert (Abscheiden eines Silberspiegels an der Gefäßwand). *Fehlingsche Lösung*, eine Lösung von Kupfersulfat, $CuSO_4$, und Weinsäure in Natronlauge, wird in der Hitze zu rotem, schwerlöslichem Kupfer(I)-oxyd, Cu_2O, reduziert; violettes Kaliumpermanganat wird durch Aldehyde entfärbt. Durch *katalytische Hydrierung* (Reduktion) lassen sich die Aldehyde wieder in primäre Alkohole überführen. In alkalischem Medium kann ein Aldehydmolekül unter Mitwirkung von Wasser ein anderes Molekül zur Karbonsäure oxydieren, wobei es selbst zum entsprechenden primären Alkohol reduziert wird. Man bezeichnet diesen Vorgang als *Dismutation* oder nach ihrem Entdecker als *Cannizzarosche Reaktion*.

$$\underset{\text{Aldehyd}}{2R-C\langle{}^{H}_{O}} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} \xrightarrow{\text{Lauge}} \underset{\text{Karbonsäure}}{R-C\langle{}^{O}_{OH}} + \underset{\text{primärer Alkohol}}{R-CH_2-OH}$$

Die Karbonylgruppe, $=C=O$, der Aldehyde kann zahlreiche andere Stoffe anlagern, z. B. Blausäure, HCN, Alkohole oder Wasserstoff, oder sie kann mit Hydrazin, H_2N-NH_2, Hydroxylamin, H_2N-OH, bzw. anderen Verbindungen mit reaktionsfähigen Wasserstoffatomen unter Wasserabspaltung reagieren. Die reaktionsfähige Karbonylgruppe $>C=O$ ist auch in den Ketonen enthalten. Man bezeichnet daher Aldehyde und Ketone auch gemeinsam als Karbonylverbindungen.

Formaldehyd, Methanal, HCHO. Der Formaldehyd ist ein stechend riechendes Gas (Siedepunkt -21 °C), das meist als 40%ige wäßrige Lösung (*Formalin, Formol*) gehandelt wird. Es wird technisch durch Dehydrieren von Methanol, CH_3OH, mit Luftsauerstoff an einer glühenden Kupferspirale dargestellt, $CH_3OH + {}^1/_2\,O_2 \rightarrow HCHO + H_2O$. Formaldehyd polymerisiert sich leicht zu *Trioxymethylen*, einem trimeren, ringförmig aufgebauten, festen Stoff (Schmelzpunkt $+63$ °C), und zu *Paraformaldehyd* oder *Polyoxymethylen*, einer kettenförmig aufgebauten hochpolymeren Verbindung, die beim Erhitzen wieder in monomeren gasförmigen Formaldehyd übergeht. Aus Formaldehyd und Ammoniak entsteht das als Chemotherapeutikum und in der analytischen Chemie verwendete *Urotropin* oder *Hexamethylentetramin*, $(CH_2)_6N_4$.
Formaldehyd dient zur Herstellung wichtiger Kunststoffe (z. B. der Phenoplaste und Aminoplaste), ferner als Desinfektionsmittel (z. B. Lysoform, eine Lösung von Formalin in Seifenlösung), in der Gerberei und zum Konservieren anatomischer Präparate.

Polymerisation des Formaldehyds



Trioxymethylen — *Formaldehyd* — *Polyoxymethylen, Paraformaldehyd*

Azetaldehyd, Äthanal, CH_3-CHO. Der Azetaldehyd ist eine leicht bewegliche Flüssigkeit (Siedepunkt + 21 °C), die sich oberhalb 0 °C durch Zugabe von etwas konzentrierter Schwefelsäure zu dem trimeren *Paraldehyd* polymerisiert, einer bei 124 °C siedenden Flüssigkeit; unterhalb 0 °C entsteht fester Metaldehyd (*Meta*), der als Brennstoff (*Hartspiritus*) verwendet wird. Azetaldehyd wird technisch durch Anlagerung von Wasser an Azetylen gewonnen mit Quecksilbersalzen als Katalysator, $CH\equiv CH + H_2O \rightarrow CH_3-CHO$, im Laboratorium durch Oxydation von Äthylalkohol mit Chromsäure. Durch Oxydation von Azetaldehyd wird in technischem Maßstab Essigsäure gewonnen, durch Reduktion dagegen Äthylalkohol, den man auch *Karbidsprit* nennt, da er aus Kalziumkarbid, CaC_2, über Azetylen und Azetaldehyd hergestellt wird. Durch *Aldolkondensation* entsteht aus zwei Molekülen Azetaldehyd *Aldol*, $CH_3-CHOH-CH_2-CHO$, (abgeleitet von Aldehydalkohol), das sich durch katalytische Hydrierung in *Butandiol-(1,3)*, $CH_3-CHOH-CH_2-CH_2OH$, überführen läßt. Aus diesem erhält man durch Abspalten von Wasser das *Butadien*,

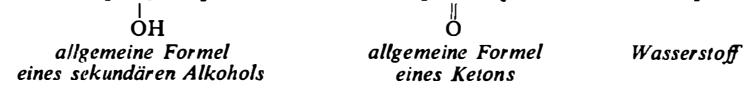
$$CH_3-CHOH-CH_2-CH_2OH \rightarrow CH_2=CH-CH=CH_3 + 2\,H_2O,$$

das sich zu synthetischem Kautschuk polymerisieren läßt. Azetaldehyd entsteht als Zwischenprodukt bei der alkoholischen Gärung und spielt eine entscheidende Rolle beim biologischen Aufbau der Fette aus Kohlenhydraten. Ein bekanntes Schlafmittel ist Trichlorazetaldehyd, Cl_3C-CHO. Mit Wasser entsteht *Chloralhydrat*, $Cl_3C-CH(OH)_2$, eine der wenigen Verbindungen, in denen zwei OH-Gruppen an einem Kohlenstoffatom gebunden sind.

Weitere Aldehyde. Akrolein, Allylaldehyd oder Propenal, $CH_2=CH-CHO$, ist der einfachste ungesättigte Aldehyd, eine die Schleimhäute stark angreifende Flüssigkeit (Siedepunkt 52 °C), die bei der thermischen Zersetzung von Glyzerin und daher auch beim Anbrennen von Fett entsteht. *Benzaldehyd*, C_6H_5-CHO, ist der einfachste und wichtigste aromatische Aldehyd, eine nach bitteren Mandeln riechende Flüssigkeit (Siedepunkt 179 °C), auch *Bittermandelöl* genannt, da das Zyanhydrin (die Verbindung des Benzaldehyds mit Blausäure, HCN) im Amygdalin der bitteren Mandeln enthalten ist. Benzaldehyd wird technisch durch katalytische Oxydation von Toluol mit Luftsauerstoff gewonnen, $C_6H_5-CH_3 + O_2 \rightarrow C_6H_5-CHO + H_2O$, und dient zur Herstellung von Farbstoffen und Kunstharzen sowie zum Parfümieren von Seifen.

KETONE

Ketone entstehen durch Oxydation (Dehydrierung) sekundärer Alkohole. Sie enthalten wie die Aldehyde die *Karbonyl-* oder *Ketogruppe*, auch *Oxogruppe* genannt, $>C=O$. Diese ist beiderseitig mit Kohlenwasserstoffresten verbunden.



allgemeine Formel eines sekundären Alkohols — *allgemeine Formel eines Ketons* — *Wasserstoff*

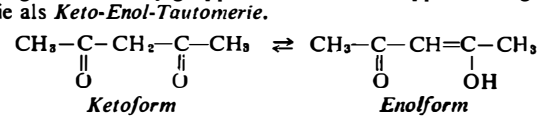
Einfache Ketone. Diese Verbindungen enthalten nur eine Karbonylgruppe im Molekül. Sind die Kohlenwasserstoffreste R_1 und R_2 verschieden, so spricht man von *gemischten Ketonen*. Zur *Benennung* werden die an die Karbonylgruppe gebundenen Kohlenwasserstoffreste vor dem Wort *-keton* angegeben, z. B. *Methyläthylketon*, $CH_3-CO-C_2H_5$, oder an den Namen des zugrunde liegenden Kohlenwasserstoffs die Endung **-on** angehängt, wobei die Stellung des Karbonylsauerstoffs in der Kette durch die jeweilige Ziffer des Kohlenstoffatoms bezeichnet wird, für Methyläthylketon also *Butanon-(2)*. Eine dritte Möglichkeit der Benennung ist *2-Oxo-butan*. Aldehyde und Ketone verhalten sich weitgehend ähnlich; sie gehen z. B. fast die gleichen Additions- und Kondensationsreaktionen ein. Die Ketone wirken jedoch nicht reduzierend. In ihnen ist das leicht oxydierbare Wasserstoffatom der Aldehydgruppe durch einen Kohlenwasserstoffrest R_2 ersetzt. Ketone lassen sich nur schwer unter Spaltung der Kohlenstoffkette zu Karbonsäuren abbauen. Bei

der Hydrierung (Reduktion) entstehen aus Ketonen sekundäre Alkohole. Das einfachste und wichtigste Keton ist *Azeton, Dimethylketon, Propanon*, $CH_3-CO-CH_3$, eine angenehm riechende Flüssigkeit (Siedepunkt 56 °C), die mit Wasser und den meisten organischen Lösungsmitteln mischbar ist und technisch als Lösungsmittel für Öle, Harze, Klebstoffe, Azetat- und Nitrozelluloselacke sowie für Polyvinylchlorid verwendet wird. Azeton dient ferner als Ausgangsstoff zur Gewinnung von Chloroform, Jodoform, Isopropylalkohol und dem Schlafmittel *Sulfonal*.
Azeton wird vorwiegend durch Überleiten von Essigsäuredämpfen über erhitzte Katalysatoren oder durch Erhitzen von Kalziumazetat, $Ca(CH_3COO)_2 \rightarrow CaCO_3 + CH_3-CO-CH_3$, dargestellt. Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Azetonherstellung durch katalytische Oxydation von *Kumol, Isopropylbenzol*, $C_6H_5-CH(CH_3)_2$; dabei entsteht gleichzeitig Phenol. Kumol läßt sich leicht durch Anlagern von Propen an Benzol erhalten. Bei Stoffwechselstörungen, z. B. *Zuckerkrankheit*, tritt Azeton in verstärktem Maße im Organismus auf.
In *zyklischen Ketonen* ist die Karbonylgruppe in einem Kohlenstoffring gebunden. Sie entstehen beim Erhitzen der Kalziumsalze der um ein Kohlenstoffatom reicheren Dikarbonsäuren, *Zyklopentanon* aus dem Kalziumsalz der *Adipinsäure* und *Zyklohexanon* aus dem Salz der *Pimelinsäure*. Durch Zersetzen der Thoriumsalze entsprechend langkettiger Dikarbonsäuren lassen sich zyklische Ketone mit bis zu 30 Kohlenstoffatomen im Ring herstellen. Die natürlichen tierischen Riechstoffe Zibet und Moschus enthalten die zyklischen Ketone *Zibeton* und *Muskon* mit 17 bzw. 15 Kohlenstoffatomen im Ring. *Kampfer* ist ein Keton, das sich von dem bizyklischen Terpenkohlenwasserstoff *Camphan* ableitet. *Aromatische Ketone* enthalten aromatische Kohlenwasserstoffreste. *Azetophenon*, $C_6H_5-CO-CH_3$, ist ein auch im Steinkohlenteer enthaltenes Keton, das zu Riechstoffen und zur Synthese des gegen Gicht verwendeten Arzneimittels *Atophan* verwendet wird. Benzolphenon ist $C_6H_5-CO-C_6H_5$.

Diketone. Organische Verbindungen, die zwei Ketogruppen im Molekül enthalten, werden Diketone genannt. Die *α- oder 1,2-Diketone* sind gelb gefärbte Verbindungen, in denen die beiden Ketogruppen benachbart angeordnet sind. Das einfachste α-Diketon, das *Butandion* oder *Diazetyl*,

$$CH_3-CO-CO-CH_3,$$

bildet den wesentlichen Bestandteil des Butteraromas (etwa 0,5 mg je kg). Die *β- oder 1,3-Diketone* sind farblose Verbindungen, in denen die beiden Ketogruppen durch eine CH_2-Gruppe getrennt sind. Das einfachste β-Diketon ist das *Azetylazeton*, $CH_3-CO-CH_2-CO-CH_3$. Die Wasserstoffatome der CH_2-Gruppe sind durch die Nachbarschaft der beiden Ketogruppen stark aktiviert und können im Rahmen eines Gleichgewichts zum Sauerstoff einer Karbonylgruppe wandern. Dabei geht die Doppelbindung der Karbonylgruppe in eine C=C-Doppelbindung über. Man bezeichnet diese Art der Isomerie als *Keto-Enol-Tautomerie*.

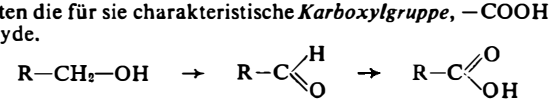


Ketoform *Enolform*

Das Entstehen der Enolform aus der Ketoform ist durch die Ausbildung eines konjugierten Doppelbindungssystems begünstigt. Die β-Diketoverbindungen haben große Bedeutung für die Synthese komplizierter organischer Verbindungen. Sie sind ferner ausgezeichnete *Komplexbildner*. Mit den meisten 3- und 4wertigen Metallkationen entstehen sogenannte innerkomplexe Salze, die in organischen Lösungsmitteln löslich sind und deren Beständigkeit vom *p*H-Wert der wäßrigen Lösung abhängig ist. Die Komplexe haben für die Trennung chemisch ähnlicher Metalle, z. B. der Lanthaniden und Aktiniden erhebliche Bedeutung erlangt. Die *γ- oder 1,4-Diketone*, z. B. das Azetonylazeton, $CH_3-CO-CH_2-CH_2-CO-CH_3$, verhalten sich wie gewöhnliche Ketone mit zwei Ketogruppen.

KARBONSÄUREN

Karbonsäuren enthalten die für sie charakteristische *Karboxylgruppe*, $-COOH$. Sie entstehen durch Oxydation der Aldehyde.



primärer Alkohol *Aldehyd* *Karbonsäure*

Die *Benennung* erfolgt entweder nach dem Kohlenwasserstoffrest R durch Anhängen der Endung *-karbonsäure* oder durch Anfügen der Endung *-säure* an den Namen des um ein Kohlenstoffatom reicheren Kohlenwasserstoffs. *Essigsäure*, CH_3-COOH, heißt demnach *Methankarbonsäure* oder *Äthansäure*. Zahlreiche Karbonsäuren haben Trivialnamen, die sich von ihrem Vorkommen im Tier- und Pflanzenreich ableiten. Ihre Säurenatur beruht auf der in wäßriger Lösung eintretenden *elektrolytischen Dissoziation* in Wasserstoffionen, H^+, bzw. Hydroniumionen, H_3O^+, und Säureanionen, $R-COOH \rightleftarrows RCOO^- + H^+$. Mit Basen, z. B. mit Natronlauge, NaOH, bilden die

Karbonsäuren *Salze*, $R-COOH + NaOH \rightleftarrows R-COO^-Na^+ + H_2O$ (Neutralisation). Die Namen der Salze leiten sich wie in der anorganischen Chemie von den Säurenamen durch Anhängen der Endung **-at** ab. Gegenüber den anorganischen Säuren Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure sind die Karbonsäuren nur schwache bis mittelstarke Säuren. Die wasserfreien Karbonsäuren sind stark *assoziiert*. Selbst in Dampfform oberhalb der Siedetemperatur ist ihr Molekulargewicht noch doppelt so groß, wie ihrer Molekularformel entspricht. Der Zusammenhalt wird durch Wasserstoffbrückenbindungen bewirkt. Von den Karbonsäuren leiten sich weitere zahlreiche Stoffklassen ab. Man unterscheidet gesättigte und ungesättigte Karbonsäuren und je nach der Anzahl der im Molekül enthaltenen Karboxylgruppen ein- und mehrbasige Karbonsäuren.

Gesättigte Monokarbonsäuren. Am wichtigsten sind die *Monokarbonsäuren* der geradkettigen Paraffinkohlenwasserstoffe mit endständiger Karboxylgruppe. Sie haben die allgemeine Formel $C_nH_{2n+1}-COOH$. Die Karbonsäuren mit gerader Kohlenstoffzahl sind in der Natur weitverbreitet. Die *Fette* sind die Glyzerinester dieser Säuren. Man bezeichnet daher die ganze Stoffklasse auch als *Fettsäuren*.

Fettsäuren

Name	Formel	Kohlenstoffzahl	natürliche Vorkommen
Ameisensäure	$H-COOH$	1	Ameisen, Brennesseln
Essigsäure	CH_3-COOH	2	Pflanzensäfte, Produkt der Essiggärung, wichtiges Stoffwechselzwischenprodukt
Propionsäure	CH_3-CH_2-COOH	3	Holzessig
Buttersäure	$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$	4	Schweiß; als Ester in Kuhbutter
Valeriansäure	C_4H_9-COOH	5	Baldrianwurzel, Käse, Schweiß
Kapronsäure	$C_5H_{11}-COOH$	6	Kuh- und Ziegenbutter, Schweiß
Önanthsäure	$C_6H_{13}-COOH$	7	ätherische Öle (Kalmusöl)
Kaprylsäure	$C_7H_{15}-COOH$	8	Ziegenbutter, Schweiß
Pelargonsäure	$C_8H_{17}-COOH$	9	bestimmte Fuselöle, ätherische Öle
Kaprinsäure	$C_9H_{19}-COOH$	10	als Ester in Kuh- und Ziegenbutter, im Kokosöl
Laurinsäure	$C_{11}H_{23}-COOH$	12	als Ester im Palmkernöl, Kokosfett und Lorbeeröl
Myristinsäure	$C_{13}H_{27}-COOH$	14	
Palmitinsäure	$C_{15}H_{31}-COOH$	16	zusammen mit Ölsäure als Glyzinester Hauptbestandteil der tierischen und pflanzlichen Fette
Stearinsäure	$C_{17}H_{35}-COOH$	18	
Margarinsäure	$C_{16}H_{37}-COOH$	19	kommt in der Natur nicht vor, auch nicht in der Margarine
Arachinsäure	$C_{19}H_{39}-COOH$	20	Erdnußöl
Behensäure	$C_{21}H_{43}-COOH$	22	Rüböl
Lignozerinsäure	$C_{23}H_{47}-COOH$	24	Bestandteil bestimmter Gehirnlipoide
Zerotinsäure	$C_{25}H_{51}-COOH$	26	Bienenwachs, chinesisches Wachs
Mellissinsäure	$C_{29}H_{59}-COOH$	30	

Ameisensäure, Essigsäure und Propionsäure sind farblose, stechend riechende Flüssigkeiten, die sich mit Wasser in jedem Verhältnis mischen. Die Säuren mit 4 bis 9 Kohlenstoffatomen haben einen ranzigen, schweißartigen Geruch. Die höheren Fettsäuren sind fest, kaum flüchtig und haben paraffinartige Eigenschaften.

Ameisensäure, Methansäure, Azidum formicicum. Diese Säure schmilzt bei 8,3 °C und siedet bei 100,6 °C. Sie wird technisch hergestellt durch Vereinigen von Kohlenmonoxyd, CO, mit Ätznatron. Dabei entsteht Natriumformiat, $CO + NaOH \rightarrow HCOONa$, das mit konzentrierter Schwefelsäure wasserfreie Ameisensäure liefert. Ameisensäure läßt sich auch durch Oxydation von Methanol oder Formaldehyd bzw. durch Hydrolyse von Blausäure darstellen. Ihre Salze heißen *Formiate*, sie enthalten das *Formiatanion* $HCOO^-$. Ameisensäure dient in der Färberei zum Ansäuern von Farbbädern, in der Textilindustrie zum Imprägnieren, ferner als Lösungsmittel für Azetylzellulose, zum Koagulieren von Latex (einer Emulsion von Kautschukteilchen) sowie auf Grund ihrer bakteriziden Wirkung zu Konservierungszwecken, z. B. für Fruchtsäfte und zur Silierung von Grünfutter.

Essigsäure, Äthansäure, Methankarbonsäure, Acidum aceticum (Schmelzpunkt 16,5 °C, Siedepunkt 118 °C). Essigsäure wird technisch hergestellt durch katalytische Oxydation von Azetaldehyd (Karbidessig), durch trockene Destillation des Holzes (Holzessig) und durch Gärung (bakterielle Oxydation) aus verdünnter Äthylalkohollösung unter der Wirkung von *Essigpilzen* (Gattung Azetobakter). *Speiseessig* enthält etwa 5 bis 10 % Essigsäure. Reine Essigsäure erstarrt

beim Abkühlen eisartig und wird daher auch Eisessig genannt. Die Salze heißen *Azetate*, sie enthalten das *Azetatanion*, CH_3-COO^-. *Aluminiumazetat*, $Al(CH_3COO)_3$, wird als *essigsaure Tonerde* in der feuchten Wundbehandlung sowie als Beize in der Färberei verwendet. *Bleiazetat* oder *Bleizucker*, $Pb(CH_3COO)_2$, ist außerordentlich giftig. *Grünspan* ist basisches Kupferazetat; *Patina*, der grüne Überzug auf Bronzestatuen und Kupferdächern, besteht aus Kupferkarbonat.

Ungesättigte Monokarbonsäuren. Diese organischen Säuren enthalten eine oder mehrere C=C-Doppelbindungen im Molekül. Die einfachste ungesättigte Karbonsäure ist die *Akrylsäure, Propensäure oder Äthenkarbonsäure*, $CH_2=CH-COOH$, die durch Oxydation von *Akrolein* oder durch Hydrolyse von Akrylsäurenitril, $CH_2=CH-C\equiv N$, hergestellt wird. Das Akrylsäurenitril wird durch Anlagerung von Blausäure, HCN, an Azetylen, $HC\equiv CH$, gewonnen und liefert bei der Polymerisation *Polyakrylnitril*, das sich zu hochwertigen Textilfasern verspinnen läßt. Akrylsäure und ihre Ester ergeben bei der Polymerisation glasklare, flüssige, klebrige, gummiähnliche und glasartige Harze, ebenso die *Methakrylsäure* oder *2-Methylakrylsäure* und ihre Ester. *Piakryl* ist Polymethakrylsäuremethylester. Die Methakrylsäure ist isomer mit der *Krotonsäure* oder *Propen-(1)-karbonsäure*, $CH_3-CH=CH-COOH$. *Ölsäure, cis-Oktadezen-(9)-säure*, $C_{17}H_{33}-COOH$, ist die der Stearinsäure, $C_{17}H_{35}-COOH$, entsprechende, einfach ungesättigte Säure. Die Doppelbindung befindet sich in der Mitte der Kohlenstoffkette zwischen den C-Atomen 9 und 10. Die isomere trans-Form heißt *Elaidinsäure* (*cis-trans-Isomerie*). Ölsäure bildet in Form ihres Glyzerinesters den Hauptbestandteil des *Olivenöls* und ist in den leichtschmelzenden Anteilen der Fette enthalten. *Linolsäure, Oktadekadien-(9,12)-säure* und *Linolensäure, Oktadekatrien-(9,12,15)-säure* sind zweifach bzw. dreifach ungesättigte Säuren mit derselben Kohlenstoffzahl wie die Ölsäure. Sie sind in Pflanzenölen enthalten.



2-Methylakrylsäure *Polymethakrylsäuremethylester*

Gesättigte Dikarbonsäuren. Am wichtigsten sind die Dikarbonsäuren der unverzweigten Kohlenwasserstoffe mit endständiger Stellung der beiden Karboxylgruppen, $HOOC-(CH_2)_x-COOH$.

Gesättigte Dikarbonsäuren

Name	Formel	Kohlenstoffzahl
Oxalsäure	$HOOC-COOH$	2
Malonsäure	$HOOC-CH_2-COOH$	3
Bernsteinsäure	$HOOC-(CH_2)_2-COOH$	4
Glutarsäure	$HOOC-(CH_2)_3-COOH$	5
Adipinsäure	$HOOC-(CH_2)_4-COOH$	6
Pimelinsäure	$HOOC-(CH_2)_5-COOH$	7
Korksäure	$HOOC-(CH_2)_6-COOH$	8
Azelainsäure	$HOOC-(CH_2)_7-COOH$	9
Sebazinsäure	$HOOC-(CH_2)_8-COOH$	10

Oxalsäure, Äthan-disäure, $H_2C_2O_4$, ist eine der weitverbreitetsten Pflanzensäuren, die in Form ihres sauren Kaliumsalzes, KHC_2O_4 (*Kleesalz*), vor allem in Sauerklee, Sauerampfer und Rhabarber enthalten ist und als Kalziumsalz, CaC_2O_4 (*Kalziumoxalat*), vom tierischen Organismus im Harn ausgeschieden wird. Kalziumoxalat ist schwer löslich und bildet in krankhaften Fällen Blasen- und Nierensteine. Natriumoxalat, $Na_2C_2O_4$, wird technisch durch Dehydrierung von Natriumformiat gewonnen, $2\,HCOONa \rightarrow NaOOC-COONa + H_2$. Oxalsäure wird unter anderem verwendet als Beizmittel in der Färberei und zum Entfernen von Rost- und Eisengallustintenflecken (Kleesalz). Anilintintenflecken können auf diese Weise nicht entfernt werden. *Malonsäure, Methandikarbonsäure*, kommt im Zuckerrübensaft vor und wird aus Chloressigsäure und Kaliumzyanid gewonnen. Beim Erhitzen mit Phosphorpentoxyd entsteht *Kohlensuboxyd*, C_3O_2, $O=C=C=C=O$, eine Verbindung mit kumulierten Doppelbindungen. Malonsäureester haben große Bedeutung für organische Synthesen. *Bernsteinsäure, Acidum succinicum*, ist ein ständiges Zwischenprodukt im Zellstoffwechsel der Pflanzen und Tiere, kommt auch im Bernstein (Succinum) vor und wird technisch durch Oxydation von Butandiol-(1,4) mit Salpetersäure gewonnen. *Glutarsäure* und *Adipinsäure* sind im Rübensaft enthalten.
Die Adipinsäure wird technisch durch Oxydation von Zyklohexanon dargestellt und dient zur Herstellung einer seideähnlichen synthetischen Polyamidfaser.

Ungesättigte Dikarbonsäuren. Am bekanntesten ist die Äthendikarbonsäure, $HOOC-CH=CH-COOH$, deren cis-Form *Maleinsäure* und deren trans-Form *Fumarsäure* genannt wird (*cis-trans-Isomerie*).

Aromatische Karbonsäuren. Die einfachste aromatische Karbonsäure ist die *Benzoesäure*, C_6H_5-COOH; sie bildet weiße Kristallblättchen (Schmelzpunkt 122 °C), die sich in Alkohol und Äther sowie in heißem Wasser lösen und durch Oxydation von Toluol, $C_6H_5-CH_3$, gewonnen werden. Benzoesäure und ihre Salze, die *Benzoate*, wirken bakterizid und werden als Konservierungsmittel verwendet, z. B. Natriumbenzoat, $C_6H_5-COONa$. *Zimtsäure*, *β-Phenylakrylsäure*, $C_6H_5-CH=CH-COOH$, ist eine ungesättigte aromatische Karbonsäure. Sie wird aus Benzaldchyd und Azetanhydrid in Anwesenheit von Natriumazetat (*Perkinsche Synthese*) oder durch Oxydation von *Zimtaldehyd*, dem wesentlichen Bestandteil des Zimtöls, hergestellt. Die einfachste aromatische Dikarbonsäure, die *Phthalsäure*, *Benzol-o-dikarbonsäure*, $C_6H_4(COOH)_2$, wird technisch durch katalytische Oxydation von Naphthalin durch Luftsauerstoff gewonnen und dient hauptsächlich in Form ihres Anhydrids zur Synthese von Farbstoffen, z. B. von *Triphenylmethanfarbstoffen*, *Indigo-* und *Anthrachinonfarbstoffen* (*Alizarin*, *Indanthrenfarben*), ferner in der Lackindustrie zur Herstellung der *Alkydharze* (*Glyptale*). Die *Isophthalsäure*, *Benzol-m-dikarbonsäure*, und die *Terephthalsäure*, *Benzol-p-dikarbonsäure*, sind mit Phthalsäure isomer. Terephthalsäure läßt sich mit Glykolen, z. B. mit Butandiol-(1,4), zu hochwertigen, stark elastischen Polyesterfasern umsetzen.

Karbonsäurederivate. Von den Karbonsäuren lassen sich organische Verbindungen ableiten, in denen die Karboxylgruppe verändert ist, meist durch Ersatz der OH-Gruppe durch eine andere einwertige Atomgruppe oder durch Halogene. Der nach dem Abtrennen der OH-Gruppe verbleibende Säurerest $R-CO-$ wird *Azyl-Gruppe* genannt, von der Ameisensäure *Formyl-*, von der Essigsäure *Azetyl-*, von der Propionsäure *Propionyl-*, von der Buttersäure *Butyryl-*, von der Benzoesäure *Benzoylgruppe* u. a.

Karbonsäurechloride. Karbonsäurechloride sind stechend riechende Flüssigkeiten, die bei der Einwirkung von Phosphorpentachlorid, PCl_5, oder Thionylchlorid, $SOCl_2$, auf wasserfreie Karbonsäuren gebildet werden. Aus Essigsäure, CH_3COOH, entsteht *Azetylchlorid*, $CH_3-CO-Cl$, aus Benzoesäure, C_6H_5-COOH, *Benzoylchlorid*, $C_6H_5-CO-Cl$. Phosgen, $O=CCl_2$, ist das Chlorid der Kohlensäure, H_2CO_3 oder $O=C(OH)_2$, ein erstickend riechendes, äußerst giftiges Gas, das durch Vereinigung von Kohlenmonoxyd, CO, und Chlor, Cl_2, gewonnen und zu vielen Synthesen verwendet wird. Mit Wasser reagieren die Säurechloride unter Rückbildung der betreffenden Säure, $R-CO-Cl + H_2O \rightarrow R-COOH + HCl$.

Karbonsäureanhydride. Bei der Einwirkung von Karbonsäurechloriden auf die Salze der Karbonsäuren werden stechend riechende Flüssigkeiten gebildet, die Karbonsäureanhydride. Aus Azetylchlorid und Natriumazetat entsteht unter Abscheidung von Kochsalz, NaCl, das technisch wichtige *Essigsäureanhydrid* oder *Azetanhydrid*, $CH_3-CO-Cl + CH_3-COONa \rightarrow NaCl + CH_3-CO-O-OC-CH_3$, eine farblose Flüssigkeit (Siedepunkt 139,6 °C), die man bei zahlreichen Synthesen zur Einführung der Azetylgruppe, CH_3CO-, verwendet, z. B. in Zellulose, um *Azetylzellulose* (Zellit, Azetatseide) herzustellen. Man kann sich die Karbonsäureanhydride durch Wasserabspaltung aus zwei Karbonsäuremolekülen entstanden denken,

$$CH_3-CO-\boxed{OH + H}O-OC-CH_3 \rightleftarrows CH_3-CO-O-OC-CH_3 + H_2O.$$

Die Wasserabspaltung zwischen verschiedenen Karbonsäuren führt zu *gemischten Anhydriden*. Die Karbonsäureanhydride sind feuchtigkeitsempfindlich und reagieren mit Wasser unter Rückbildung der freien Säuren.

Karbonsäureamide. Organische Säurederivate, in denen die OH-Gruppe der Karboxylgruppe durch die Aminogruppe, $-NH_2$, ersetzt ist, werden Karbonsäureamide genannt. Sie haben die allgemeine Formel $R-CO-NH_2$. Die Wasserstoffatome der NH_2-Gruppe können auch durch eine oder zwei Alkylgruppen ersetzt sein. Karbonsäureamide entstehen z. B. bei der Einwirkung von Karbonsäurechloriden oder -anhydriden auf Ammoniak; $CH_3-CO-Cl + HNH_2 \rightarrow CH_3-CO-NH_2 + HCl$, durch Erhitzen der Ammoniumsalze der Fettsäuren unter Wasseraustritt, $R-COONH_4 \rightarrow R-CO-NH_2 + H_2O$, sowie bei der unvollständigen Hydrolyse der Nitrile, $R-C\equiv N + H_2O \rightarrow R-CO-NH_2$. Amide reagieren zum Unterschied von Aminen nicht basisch, sondern neutral, mit Phosphorpentoxyd lassen sie sich unter Wasserabspaltung in Nitrile überführen. *Formamid*, $H-CO-NH_2$, ist eine Flüssigkeit, *Azetamid*, $CH_3-CO-NH_2$, und alle anderen Amide sind fest. *Harnstoff*, $H_2N-CO-NH_2$, das Amid der Kohlensäure, ist das wichtigste Endprodukt des Eiweißabbaus im Organismus der Säugetiere, Amphibien und Fische. Vom Menschen werden etwa 30 g täglich im Harn ausgeschieden. Harnstoff wurde von Wöhler 1828 als erste organische Substanz synthetisch aus anorganischem Material gewonnen, und zwar durch Umlagerung des mit Harnstoff isomeren *Ammoniumzyanats*, $NH_4-O-C\equiv N$. Harnstoff wird technisch aus Kohlendioxyd und Ammoniak oder durch Hydrolyse von Zyanamid gewonnen. *Zyanamid*, $H_2N-C\equiv N$, ist die dem *Kalkstickstoff*, $CaCN_2$, zugrunde liegende organische Verbindung. Kalkstickstoff entsteht bei der Umsetzung von Kalziumkarbid mit Stickstoff, $CaC_2 + N_2 \rightarrow CaCN_2 + C$. Harnstoff und Kalkstickstoff sind wichtige Stickstoffdüngemittel. Harnstoff dient zur Herstellung wertvoller Kunststoffe, der *Aminoplaste*, und Pharmazeutika. *Ureide* sind säureamidartige Abkömmlinge der Karbonsäuren, die an Stelle der NH_2-Gruppe den Harnstoffrest $-HN-CO-NH_2$

enthalten. Einige Ureide sind wichtige Schlafmittel. Von Dikarbonsäuren leiten sich zyklische Ureide ab, von der Malonsäure die pharmazeutisch wichtige Barbitursäure, die Stammverbindung bekannter Schlaf- und Narkosemittel.

Nitrile und Isonitrile. Nitrile sind Karbonsäurederivate mit der allgemeinen Formel $R-C\equiv N$ (R bedeutet Kohlenwasserstoffrest). In ihnen ist die Karboxylgruppe, $-C\langle^{O}_{OH}$, in eine Zyanidgruppe, $-C\equiv N$, umgewandelt. Sie entstehen durch Wasserabspaltung aus Karbonsäureamiden, $R-C\langle^{O}_{NH_2} \rightarrow R-C\equiv N + H_2O$. Das einfachste Nitril ist die *Blausäure*, $H-C\equiv N$, eine bei 25 °C siedende, äußerst giftige Flüssigkeit, deren Dämpfe in verdünntem Zustand bittermandelartig riechen und sich in Wasser mit schwach saurer Reaktion lösen. Die Blausäure ist das *Nitril der Ameisensäure*, $H-C\langle^{O}_{OH}$. Die technische Darstellung erfolgt durch katalytische Verbrennung von Ammoniak in Anwesenheit von Methan oder über ihre Salze, die Zyanide. *Natriumzyanid*, NaCN, wird z. B. großtechnisch aus Natriumamid, $NaNH_2$, und Kohle gewonnen (*Kastner-Kellner-Verfahren*). Die Nitrile entstehen auch bei der Umsetzung von Alkylchloriden mit Zyaniden; aus Methylchlorid und Kaliumzyanid entsteht z. B. das *Azetonitril*, CH_3-CN. Durch Säuren oder Laugen werden die Nitrile zu Karbonsäuren bzw. ihren Salzen verseift, aus Azetonitril entsteht Essigsäure, $CH_3-C\equiv N + 2H_2O \rightarrow CH_3-COOH + NH_3$. Die *Isonitrile*, $R-N=C$, sind mit den Nitrilen isomer. Es sind widerlich riechende, äußerst giftige Verbindungen, die bei der Umsetzung primärer Amine mit Chloroform und Kalilauge entstehen (*Isonitrilreaktion*).

Ester. Organische Verbindungen, die sich von Säuren durch Ersatz der Hydroxylgruppen, $-OH$, durch *Alkoxylgruppen*, $-OR$, ableiten. Sie entstehen durch Wasserabspaltung zwischen einer Säure, z. B. einer Karbonsäure, und einem Alkohol.

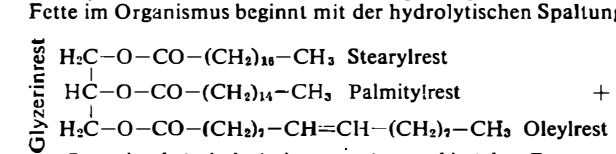
$$\underset{\textit{Karbonsäure}}{R-C\langle^{O}_{OH}} + \underset{\textit{Alkohol}}{HO-R'} \underset{\text{Verseifung}}{\overset{\text{Veresterung}}{\rightleftharpoons}} \underset{\textit{Ester}}{R-C\langle^{O}_{OR'}} + \underset{\textit{Wasser}}{H_2O}$$

Die Veresterungsreaktion (oberer Pfeil) wird durch Wasserstoffionen katalysiert. Den umgekehrten Vorgang, die Spaltung des Esters in Säure und Alkohol unter Wasseraufnahme, bezeichnet man als *Verseifung*. Es gibt sowohl von anorganischen als auch von organischen Säuren Ester.

Ester anorganischer Säuren. Die Schwefelsäure, H_2SO_4 oder $O_2S(OH)_2$, enthält zwei Hydroxylgruppen. In den *sauren* oder *Halbestern* der Schwefelsäure ist nur eine OH-Gruppe verestert, z. B. im *Schwefelsäuremonoäthylester*, $C_2H_5-O-SO_2-OH$, auch *Äthylschwefelsäure* genannt.
Die Schwefelsäurehalbester der höheren Alkohole, besonders der mit 16 bis 18 Kohlenstoffatomen (Fettalkohole), haben als synthetische *Waschmittel* große praktische Bedeutung erlangt. Ihre Alkalisalze, z. B. das Natriumsalz der *Stearylschwefelsäure*, $C_{18}H_{37}-O-SO_3Na$, sind wie die gewöhnlichen *Seifen* in Wasser löslich und bilden den wesentlichen Bestandteil der *Fewa*-Erzeugnisse. Der Vorteil dieser Waschmittel gegenüber den Seifen beruht hauptsächlich auf der neutralen Reaktion ihrer wäßrigen Lösungen, den damit verbundenen gewebeschonenden Eigenschaften und der Löslichkeit der Kalzium- und Magnesiumsalze, so daß auch beim Waschen in gewöhnlichem hartem Wasser keine Waschmittelverluste auftreten. *Diäthylsulfat*, $O_2S(OC_2H_5)_2$, ist ein neutraler Ester der Schwefelsäure. Die Ester der Salpetersäure sind angenehm riechende, hoch explosive Flüssigkeiten. Sie entstehen aus wasserfreier Salpetersäure, HNO_3 oder O_2N-OH, und Alkohol unter Wasserabspaltung, $O_2N-OH + R-OH \rightleftarrows O_2N-O-R + H_2O$. Der *Salpetersäuretriester* des Glyzerins ist der bekannte Sprengstoff Nitroglyzerin (Glyzerintrinitrat), ein farbloses Öl, das bei Schlag oder Stoß äußerst heftig explodiert und technisch durch vorsichtiges Einfließenlassen von Glyzerin in eine Mischung aus konzentrierter Schwefelsäure und rauchender Salpetersäure unter Kühlung hergestellt wird. *Dynamit* ist mit Nitroglyzerin getränkte Kieselgur. In der *Nitrozellulose* oder *Schießbaumwolle* sind die OH-Gruppen der Glukosemoleküle, die in der Zellulose kettenförmig miteinander verknüpft sind, größtenteils mit Salpetersäure verestert. Schießbaumwolle dient als Treibladung für Schußwaffen. Gemische aus Nitroglyzerin und Nitrozellulose dienen als *Sprenggelatine* und *Nitroglyzerinpulver* zu Granatfüllungen. *Phosphorsäureester* sind in der Natur außerordentlich weit verbreitet und an den meisten Stoffwechselprozessen mit beteiligt.

Ester organischer Säuren. Die Ester der niederen Fettsäuren bilden den charakteristischen Geruch und Geschmack zahlreicher Früchte. Viele von ihnen werden künstlich hergestellt und in der Riechstoffindustrie und zu Backaromen verwendet. *Essigsäureäthylester*, $CH_3-COOC_2H_5$, und *Essigsäurebutylester*, $CH_3-COOC_4H_9$, sind technisch viel gebrauchte Lösungsmittel. Alle *tierischen* und *pflanzlichen Fette* sind Glyzerinester der Monokarbonsäuren mit gerader Kohlenstoffzahl und unverzweigter Kohlenstoffkette. Sie enthalten die gesättigten Karbonsäuren von der *Buttersäure* (C_4) bis zur *Lignozerinsäure* (C_{24}), dazu zahlreiche ungesättigte Karbonsäuren, vor allem die einfach ungesättigte *Ölsäure* und die mehrfach ungesättigten *Linol-* und *Linolensäure*. Die drei Hydroxyl-

gruppen des Glyzerins sind meist mit verschiedenen Fettsäuren verestert, am häufigsten mit der Palmitinsäure, $C_{15}H_{31}COOH$, der Stearinsäure, $C_{17}H_{35}COOH$, und der Ölsäure, $C_{17}H_{33}COOH$. Ihre *gemischten Glyzerinester*, z. B. das Stearyl-palmityl-oleyl-glyzerin, bilden den Hauptbestandteil der tierischen Reservefette. Je mehr Ölsäure ein Fett enthält, um so leichter läßt es sich beim Erwärmen verflüssigen (Schweine-, Gänseschmalz, Walöl). In festen Fetten (Rinder-, Hammeltalg) überwiegen die gesättigten Fettsäuren. Die leicht schmelzenden Anteile bezeichnet man als *Olein*. Die höher schmelzenden Anteile, das *Stearin*, lassen sich vom Olein durch Ausfrieren und Abpressen trennen. Die Butter enthält neben der Palmitin-, Stearin- und Ölsäure auch die niederen geradzahligen Monokarbonsäuren bis zur Buttersäure herunter an Glyzerin gebunden. In den *Pflanzenfetten* (Olivenöl, Rapsöl, Sojabohnenöl, Erdnußöl, Sonnenblumenöl, Leinöl, Rizinusöl) treten außerdem die Glyzerinester von zum Teil stark ungesättigten Fettsäuren auf. Die mehrfach ungesättigten Fettsäuren können vom menschlichen Organismus nicht aufgebaut werden, sind aber trotzdem lebensnotwendig (essentielle Fettsäuren, Vitamin F). Da diese Fettsäuren auch in der Butter nicht enthalten sind, kommt den Pflanzenfetten in der menschlichen Ernährung besondere Bedeutung zu. Durch Anlagern von Wasserstoff an die Doppelbindungen in Anwesenheit von feinverteiltem Nickel als Katalysator (Verfahren von Normann, 1907) lassen sich die ungesättigten in gesättigte Fettsäuren und damit die Pflanzenöle in halbfeste und feste Fette überführen (*Fetthärtung*). Bei diesem für die Margarineherstellung wichtigen Verfahren wird jedoch darauf geachtet, daß ein Teil der wertvollen ungesättigten Fettsäuren erhalten bleibt. Die Verdauung der Fette im Organismus beginnt mit der hydrolytischen Spaltung durch das Ferment Lipase.



Stearyl-palmityl-oleyl-glyzerin, ein in zahlreichen Fetten enthaltener Glyzerinester der drei wichtigsten Fettsäuren

In technischem Maßstab werden die Fette durch überhitzten Wasserdampf oder durch heiße verdünnte Schwefelsäure unter Zusatz von Emulgatoren in Glyzerin und Fettsäuren zerlegt. Die aus Stearin gewonnenen Fettsäuren werden unter Zusatz von etwas Paraffin zu Kerzen oder zu Seife verarbeitet bzw. durch katalytische Hydrierung in Fettalkohole übergeführt. Beim Kochen mit Alkalilauge hydrolysieren die Fette unter Bildung der fettsauren Salze, der Seifen. Von dieser Reaktion ausgehend, hat man die Bezeichnung Verseifung auf alle Vorgänge übertragen, durch die ein Säurederivat (z. B. ein Ester, ein Säureamid oder ein Nitril) wieder in die freie Säure oder ihr Salz übergeführt werden. *Gewöhnliche Seife* besteht aus Natriumsalzen der Fettsäuren; *Schmierseifen* sind die entsprechenden Kaliumsalze. Wäßrige Seifenlösungen reagieren infolge Hydrolyse schwach alkalisch. Mit Erdalkalimetallionen entstehen schwer lösliche Salze, die *Kalkseifen*. Eine Seifenlösung enthält kolloidale Teilchen, die durch Zusammenlagern der langen hydrophoben (wasserabstoßenden) Kohlenwasserstoffreste der Fettsäureanionen entstehen. Die Teilchen werden durch die hydrophile (wasseranziehende), negativ geladene Karboxylgruppe, die nach außen gerichtet und hydratisiert ist, in der Schwebe gehalten. Die Waschwirkung beruht auf der Adsorption der am Gewebe haftenden Ruß- und Schmutzteilchen durch diese *Seifenmizellen*. Das Schmutztragevermögen wird durch die Schaumbildung erhöht.

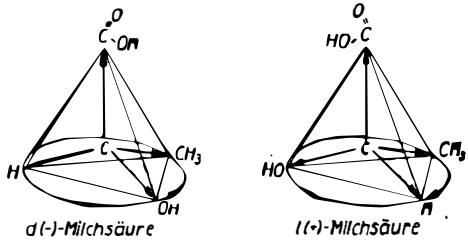
Wachse sind natürlich vorkommende Ester der höheren Fettsäuren mit höheren Fettalkoholen. Bienenwachs besteht hauptsächlich aus dem Palmitinsäureester des Myrizylalkohols, $C_{15}H_{31}-COOC_{30}H_{61}$. Montanwachse werden aus Braunkohlen durch Extraktion gewonnen und dienen zur Herstellung von Bohnerwachs und Schuhkrems.

OXY- UND AMINOKARBONSÄUREN

Oxysäuren. Diese Verbindungen sind die charakteristischen sauren Bestandteile der Fruchtsäfte. Sie enthalten außer der Karboxylgruppe eine oder mehrere Hydroxylgruppen im Molekül. In den *α-Oxysäuren* befindet sich die Hydroxylgruppe an dem der Karboxylgruppe benachbarten Kohlenstoffatom. Die einfachste α-Oxykarbonsäure ist die *Oxyessigsäure* oder *Glykolsäure*, $CH_2OH-COOH$. *Milchsäure, α-Oxypropionsäure*, $CH_3-CH(OH)-COOH$, eine sirupartige Flüssigkeit, entsteht durch Gärung aus Kohlenhydraten, z. B. in saurer Milch, in sauren Gurken und im Sauerkraut, ferner bei der Arbeitsleistung im Muskel durch fermentativen Abbau des tierischen Reservekohlenhydrats *Glykogen*. Die Milchsäure enthält ein asymmetrisches Kohlenstoffatom und tritt daher in zwei isomeren Formen auf, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten (Spiegelbildisomerie; Abb. s. folgende Seite).

Die *Äpfelsäure, Oxybernsteinsäure*, $HOOC-CH(OH)-CH_2-COOH$, ist eine der weitverbreitetsten Pflanzensäuren, ebenso die *Weinsäure*, oder *Dioxybernsteinsäure*, $HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH$. Die Salze der Weinsäure heißen *Tartrate*. Das Kaliumhydrogentartrat scheidet sich bei der Weinbereitung als schwer lösliches Salz aus (*Weinstein*). Die Weinsäure enthält zwei asymmetrische

Kohlenstoffatome und tritt in drei stereoisomeren Formen auf. Eine wichtige aromatische Oxykarbonsäure ist die *Phenol-o-karbonsäure, o-Oxybenzoesäure* oder *Salizylsäure.* Sie wird als Konservierungsmittel verwendet, ihre Azetylverbindung ist ein vielgebrauchtes Fiebermittel; sie ist z. B. in dem Arzneimittel Azetophen enthalten.



Die beiden spiegelbildisomeren Formen der Milchsäure. Das Gemisch der beiden Formen heißt Gärungsmilchsäure

Aminosäuren. Diese Säuren enthalten außer der Karboxylgruppe eine oder mehrere Aminogruppen im Molekül. Am wichtigsten sind die α-Aminokarbonsäuren, denn aus ihnen ist das Eiweiß aufgebaut. Die Aminogruppe, $-NH_2$, befindet sich bei den α-Aminosäuren an dem der Karboxylgruppe, $-COOH$, benachbarten Kohlenstoffatom. Sie sind zur *innermolekularen Salzbildung* befähigt. Die H^+-Ionen der sauren Karboxylgruppe lagern sich im Rahmen eines Gleichgewichtes an die basische Aminogruppe unter Bildung eines innermolekularen Ammoniumsalzes an. Die Aminosäuren bestehen im festen Zustand und in wäßriger Lösung aus *Zwitterionen.* Diese enthalten sowohl eine positive als auch eine negative Ladung, wandern daher bei der Elektrolyse nicht und erfahren lediglich eine Ausrichtung wie ein Magnet in einem Magnetfeld. Für die einfachste Aminosäure, das *Glykokoll* oder *Glyzin*, ergibt sich folgendes Gleichgewicht:

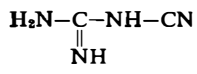
$H_2N-CH_2-COOH \rightleftarrows H_2N-CH_2-COO^- + H^+ \rightleftarrows H_3\overset{+}{N}-CH_2-COO^-$. Die Aminosäuren haben auf Grund ihres salzähnlichen Charakters relativ *hohe Schmelzpunkte* und sind in Äther unlöslich, dagegen gut löslich in Wasser. Aminosäuren sind *amphoter*, denn sie bilden sowohl mit starken Säuren als auch mit starken Basen Salze, mit Salzsäure entsteht aus Glykokoll ein Chlorid,

$H_2N-CH_2-COOH + HCl \rightleftarrows [H_3\overset{+}{N}-CH_2-COOH]Cl^-$, mit Natronlauge ein Natriumsalz, $H_2N-CH_2-COOH + NaOH \rightleftarrows N_2N-CH_2-COONa + H_2O$. Im Eiweiß sind die Aminosäuren amidartig zu Peptidketten verknüpft. Die *Peptidbindung* besteht aus einer Säureamidgruppe, $-CO-NH-$, die durch Wasserabspaltung zwischen einer Karboxylgruppe und einer Aminogruppe der jeweils benachbarten Aminosäure gebildet wird. Aus zwei Molekülen Glykokoll entsteht ein *Dipeptid*, $H_2N-CH_2-CO\,OH + H\,NH-CH_2-COOH \rightarrow H_2N-CH_2-CO-NH-CH_2-COOH$. Durch Verknüpfung zahlreicher Aminosäuremoleküle entstehen *Polypeptidketten.* Es sind etwa 30 Aminosäuren bekannt. Eine in der Milch enthaltene Eiweißart, das Laktoglobulin, enthält 20 verschiedene Aminosäuren. Insgesamt besteht jedoch das Molekül aus 370 Aminosäuren, die in vier Polypeptidketten angeordnet sind. Eine in fast allen Eiweißarten enthaltene Aminosäure ist das *Alanin*, *α-Aminopropionsäure*, $CH_3-CH(NH_2)-COOH$. Die β-Aminopropionsäure, β-Alanin, ist die einzige natürlich vorkommende β-Aminosäure. Alle α-Aminosäuren mit Ausnahme des Glykokolls enthalten ein asymmetrisches Kohlenstoffatom, existieren also in zwei optisch aktiven, stereoisomeren Formen. In der Natur, z. B. im Eiweiß, tritt nur eine stereoisomere Form, die *l*-Form, auf.

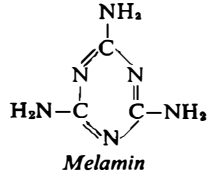
VIII. Organische großmolekulare Werkstoffe — Plaste, Elaste und Chemiefasern

Akrylharze: Polymerisate von Monomeren, die sich von der Akrylsäure ableiten.

Aminoplaste: härtbare Kondensationsprodukte, *Duroplaste*, aus Formaldehyd und Stickstoffverbindungen, wie *Harnstoff*, $(H_2N)_2CO$, *Melamin*, *Dizyandiamid*. Zunächst bilden sich lösliche Harze, die mit Füllstoffen wie Zellulose durch Kneten vermischt, getrocknet, vermahlen und gekörnt werden (*Preßmassen*). Verarbeitung durch Druck (etwa 300 kp/cm²) und Wärme (130 bis 165 °C).



Dizyandiamid



Melamin

Aminoplaste sind lichtecht, farblos, lassen sich aber leicht einfärben und werden zu Gegenständen für den Haushalt (Teller, Tassen, Dosen, Knöpfe) und für die Industrie, vor allem für die Elektrotechnik, verarbeitet. Noch lösliche Zwischenkondensationsprodukte werden als Klebstoffe (K-Leim) und in mit Alkoholen abgewandelten Formen als Lackrohstoffe verwendet.

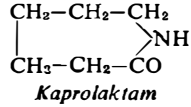
Azetatseide: Zelluloseazetatfäden. Diese entstehen aus Zelluloseazetatlösung, die aus Spinndüsen in warme Luft gepreßt wird, so daß das Lösungsmittel (hauptsächlich Azeton, $H_3C \cdot CO \cdot CH_3$) rasch verdunstet und sich Fäden bilden.

Azetylzellulose s. Zelluloseazetat.

Buna: synthetischer Kautschuk (Name nach dem anfänglich verwendeten Polymerisationskatalysator Natrium aus Butadien und Natrium gebildet). Butadien, $H_2C=CH-CH=CH_2$, wird in dem VEB Chemische Werke Buna in Schkopau nach dem *Vierstufenverfahren* hergestellt aus Azetylen, $HC\equiv CH$, über Azetaldehyd, CH_3-CHO, Azetaldol, $CH_3-CHOH-CH_2-CHO$, 1,3-Butylenglykol, $CH_3-CHOH-CH_2-CH_2OH$. Durch *Eigenpolymerisation* von Butadien entstehen die Sorten Buna 32, 85 und 115, durch *Mischpolymerisation* die bei weitem wichtigeren Marken, so mit Styrol, Buna S 3, S 4, S 4 L, S 4 T, SS 3, SO 40, mit Akrylnitril die sehr wertvollen Buna-N-Sorten. Herstellung vorwiegend nach dem *Emulsionsverfahren*, bei dem eine Dispersion, auch *Latex* genannt, entsteht, die als solche weiterverarbeitet oder zu hellbräunlichen elastischen Flocken koaguliert wird, die zu Fellen ausgewalzt werden können. Buna läßt sich ähnlich wie Naturkautschuk mit Schwefel vulkanisieren. Die Beständigkeit gegen Öl, Benzin, Fett u. a. sowie die Abriebfestigkeit sind bei den meisten Bunasorten größer als beim Naturkautschuk. Buna wird verwendet zu Autoreifen, Tankschläuchen u. a.

Chemiefasern: künstlich hergestellte Fasern; *halbsynthetische* entstehen durch Umwandlung von großmolekularen Naturstoffen, vor allem von Zellulose (s. Viskose, Zellwolle, Azetatseide, Kupferseide, Kollodiumwolle), *vollsynthetische* werden aus Plasten oder Kunststoffen gewonnen, die aus kleinen Molekülen aufgebaut sind, z. B. aus Polyäthylen, Polypropylen, Polystyrol (Styroflex), Polyvinylchlorid, besonders aus nachchloriertem (PC-Faser), aus Polyakrylnitril (Wolpryla), Polyamiden (DEDERON, Perlon L, Trelon), aus Polyurethanen (Perlon U) und Polyestern (Lanon).
Einzelne vollsynthetische Fasern übertreffen die Natur- und halbsynthetischen Fasern durch ihre hervorragenden Eigenschaften zum Teil erheblich, z. B. in Licht-, Wetter-, Formbeständigkeit, Reiß- und Knitterfestigkeit (s. DEDERON, Polyakrylnitril). Sie sind in starker Entwicklung und Ausbreitung begriffen.

DEDERON: eine der wichtigsten Chemiefasern, eine Polyamidfaser; wird hergestellt aus *Polykaprolaktam*, $\ldots(-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CO-NH-)_x\ldots$, dessen Schmelze unmittelbar versponnen wird; gleichzeitiges *Verstrecken* der Fäden auf das 3- bis 5fache erhöht die Festigkeit stark. DEDERON hat geringere Dichte als Naturseide (1,14 g/cm³), einen hohen Schmelzpunkt (215 °C) und zeichnet sich durch große Naß- und Scheuerfestigkeit sowie Beständigkeit gegen Fäulnis, Bakterien, Motten aus; es ist lichtecht und leicht einzufärben. Es dient z. B. zur Herstellung von Strümpfen, Unterwäsche, Blusen-, Kleider- und Möbelstoffen, Schirmbezügen, Netzen, Seilen, Kabeln und auch von Nähfäden für die Chirurgie.

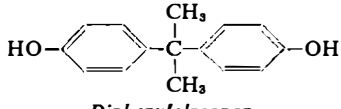


Kaprolaktam

Duroplaste: härtbare Kunststoffe, die zum Unterschied von den Thermoplasten bei der Formgebung ihre plastischen Eigenschaften verlieren und unschmelzbar werden oder ausbärten durch Vernetzen, d. h. durch chemisches Verbinden der Makromoleküle untereinander; z. B. Phenolharze, Aminoplaste, Polyesterharze.

Elaste: großmolekulare Werkstoffe mit federnden, elastischen Eigenschaften, wie Naturkautschuk und die Vielzahl der synthetischen Kautschukarten. Vgl. Buna.

Epoxydharze, auch **Epoxy-** und **Äthoxylinharze:** Plaste, die entstehen durch Umsetzen von Epichlorhydrin, $CH_2-CH-CH_2-Cl$, mit geeigneten Diolen, wie Diphenylolpropan, und anschließende Vernetzung mit Katalysatoren oder Reaktionspartnern, wie Aminen oder Säureanhydriden. Sie sind hochwertige Plaste mit vielseitiger Anwendung, besonders zum Verkleben, z. B. von Metallen.



Diphenylolpropan

Glasfaserverstärkte Kunststoffe: Plaste, vor allem Polyesterharze, mit eingearbeiteten Fasern, Filzen, Gewirken oder Geweben aus Glas. Sie zeichnen sich durch erstaunlich gute mechanische Eigenschaften aus, z. B. durch ihre geringe Dichte, und werden verwendet im Bauwesen, im Schiff-, Fahrzeug- und Maschinenbau, für Waschbecken, Badewannen u. a.

Harnstoffharze: Aminoplaste aus Harnstoff und Formaldehyd.

Kollodiumwolle: Zellulosedinitrat (Zellulosetrinitrat ist Schießbaumwolle); entsteht durch Verestern von Zellstoff mit Salpetersäure; wird verwendet als Lackrohstoff, zur Herstellung von Filmen und Zelluloid (früher auch von Seide, Chardonnet-Seide).

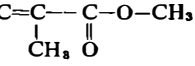
Kunsthorn: aus dem Kasein der Milch mit Formaldehyd hergestellter hornartiger Kunststoff.

Kupferseide: Zellulosefäden; entstanden aus Zellstoff, gelöst in Kupferoxydammoniak, einer wäßrigen Lösung von Tetramminkupfer(II)-hydroxyd $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$, auch Schweizers Reagens genannt.

Melaminharze: Aminoplaste aus Melamin und Formaldehyd.

Monomere: ungesättigte oder ringförmige Verbindungen von meist kleinem Molekulargewicht, wie Äthylen, $CH_2=CH_2$, oder Äthylenoxyd, CH_2-CH_2 (O), die sich zu *Polymeren* zusammenlagern können durch Einwirkung von Wärme, Licht, Katalysatoren u. a. Als *Hochpolymere* oder Makromoleküle bauen sie Plaste, Elaste und Chemiefasern auf.

Organisches Glas: vorwiegend das Polymerisat des *Methakrylsäuremethylesters*; splitterfrei, beständig gegen Wasser, verdünnte Laugen, verdünnte Säuren, Benzin, Mineral- und Terpentinöl; quellend bis löslich in Alkohol, Estern u. a. Es wird verwendet im Flugzeugbau, im Bauwesen, Instrumentenbau, für Uhrgläser, Haushaltartikel, Knöpfe, Zahnprothesen, in der Elektrotechnik. Im Handel unter den Bezeichnungen Piacryl u. a.

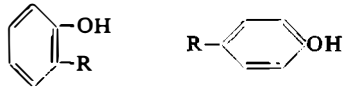


Methakrylsäuremethylester

PC-Fasern: aus Polyvinylchlorid und nachchloriertem PVC gewonnene wertvolle Faserstoffe, die sich durch Säure-, Laugen- und Fäulnisfestigkeit auszeichnen und für Fischnetze, Schwimmgürtel, Zelte, Säureschutzkleidung und Filtertücher für die chemische Industrie verwendet werden.

Phenolharze oder Phenoplaste: Kondensationsprodukte aus Phenolen und Aldehyden, besonders Formaldehyd, die je nach den Umsetzungsbedingungen zu verschiedenartigen Stoffen führen. Dauernd löslich und schmelzbar sind die *Novolake*. Die *Resole* (A-Zustand) sind wohl auch löslich und schmelzbar, sind dem Kolophonium ähnlich, gehen aber durch Erwärmen und durch Katalysatoren in *Resitole* (B-Zustand) über, die noch erweichen, aber in Lösungsmitteln, z. B. Azeton, nur noch quellen und sich weiter in die *Resite* (C-Zustand) umwandeln, die weder löslich, noch quellbar, noch schmelzbar sind. Zum Erzeugen von Preßmassen werden die Resolharze mit Füllstoffen, wie Holzmehl, Asbestfasern, Papier- oder Gewebefetzen, vermischt, getrocknet und vermahlen. Beim Pressen unter hohem Druck in der Wärme entstehen die unschmelzbaren Resite oder *Bakelite*, wie sie der Erfinder, der nach den USA ausgewanderte belgische Chemiker Baekeland, nannte.

Gußharze, auch *Edelkunstharze* genannt, werden im Resolzustand in Metall- oder Glasformen gegossen und längere Zeit (2 bis 12 Tage) bei etwa 80 °C gehalten, so daß das Phenolharz in den Gußstücken ebenfalls in den Resitzustand übergeht. Gußharz ist ein wertvoller Drechslerwerkstoff. Aus *Preßmassen* werden z. B. Teile für den Automobil- und Flugzeugbau, Bürobedarf, für Elektrotechnik und Haushalt hergestellt. Für die *Lacke* werden hauptsächlich durch Alkohole, Alkylphenole, $R-C_6H_4-OH$, Naturharze, ungesättigte Öle u. a. chemisch veränderte Phenolharze verwendet. Mit den Phenolharzen begann die Entwicklung der Kunststoffe.



ortho- und para-Alkylphenol; R *Alkylrest*

Plaste, Kunststoffe: Werkstoffe aus groß- oder *makromolekularen* organischen Verbindungen, die während der Verarbeitung einen knetbaren, plastischen Zustand durchlaufen (s. Thermoplaste, Duroplaste); hergestellt werden sie durch *Umwandlung* von großmolekularen Naturstoffen, wie Zellulose, oder durch *Vollsynthese* aus kleinen Molekülen, wie ungesättigten Kohlenwasserstoffen und deren Substitutionsprodukten, aus Formaldehyd, Phenolen, Stickstoffverbindungen u. a.; sie

gehören chemisch den verschiedenartigsten Verbindungsklassen an. Sie haben in den letzten Jahrzehnten als *neue Werkstoffe* mit hervorragenden, zum Teil vorher nicht gekannten Eigenschaften hohe Bedeutung erlangt und nehmen eine rasche Aufwärtsentwicklung.

Polyakrylnitril: hochpolymeres Akrylnitril, $CH_2=CH-CN$, ein feines weißes Pulver; Ausgangsstoff für die Herstellung der Chemiefaser Wolpryla, die von wollähnlichem Charakter ist. Daraus

$$\ldots -CH_2-\underset{\underset{CN}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{CN}{|}}{CH}- \ldots$$

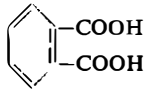
Polyakrylnitril

hergestellte Gewebe, Gewirke, Strickwaren knittern und filzen nicht, sind formbeständig und widerstandsfähig gegenüber Licht- und Witterungseinflüssen.

Polyamide: hochwertige Plaste, die Säureamidgruppierungen, $-CO-NH-$, enthalten; Anwendung z. B. im Maschinenbau, vor allem als Faserstoffe: DEDERON, Trelon, Perlon.

Polyäthylen: Polymerisationsprodukt, $\ldots -CH_2-CH_2-CH_2-CH_2- \ldots$, des Äthylens, $CH_2=CH_2$, das je nach dem Polymerisationsgrad Öle, Wachse oder Plaste darstellt. Das *Hochdruckpolyäthylen* entsteht bei Drücken bis 2000 Atmosphären, ist hornartig und leicht verarbeitbar, das *Niederdruckpolyäthylen* nach Ziegler ist dichter, härter und standfester, aber schwerer zu bearbeiten. Verwendet für Flaschen, Schüsseln, Eimer, Kanister, Rohre u. a.

Polyesterharze: Polykondensationsprodukte aus mehrwertigen (*polyfunktionellen*) Alkoholen, wie Glykolen (z. B. Äthylenglykol, $HO-CH_2-CH_2-OH$), Glyzerin, $HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$, und mehrwertigen Säuren, wie Phthal-, Malein-, Fumarsäure. Sie sind vielfältiger chemischer Abwandlung fähig und sind wichtige Rohstoffe, z. B. für die Lackindustrie (Alkydharze), für Faserstoffe (Lanon) und für glasverstärkte Kunststoffe.



Phthalsäure

$$\begin{matrix} CH-COOH \\ \| \\ CH-COOH \end{matrix}$$

Maleinsäure

$$\begin{matrix} CH-COOH \\ \| \\ HOOC-CH \end{matrix}$$

Fumarsäure

Polyformaldehyd: hochpolymerer Formaldehyd, $\ldots -CH_2-O-CH_2-O-CH_2-O- \ldots$, auch *Azetalharz* genannt; ein weißer, durchscheinender, gesundheitlich unschädlicher Thermoplast mit mechanischen Eigenschaften, die an die der Metalle erinnern. Das Ausgangsprodukt, der Formaldehyd, $H_2C=O$, wird hergestellt aus Koks und Wasser über die Reaktionsstufen Synthesegas und Methanol, H_3C-OH.

Polykondensation: Aufbau von Groß- oder Makromolekülen aus kleinen oder größeren Molekülen unter Abspaltung von Reaktionsbegleitsubstanzen wie Wasser, Ammoniak, Salzsäure u. a.

Polymerisation: chemisches Aneinanderlagern von gleichen (*Eigenpolymerisation*) oder verschiedenartigen (*Mischpolymerisation*) Molekülen, den Monomeren, zu Hochpolymeren mit 1000 und mehr Grundmolekülen. Polymerisationsfähig sind ungesättigte Verbindungen, wie Äthylen und seine zahlreichen Abkömmlinge, ferner Ringverbindungen, wie Äthylenoxyd und Kaprolaktam.

Polypropylen: Polymerisat des Propylens, $CH_2=CH-CH_3$, mit ähnlichen aber hochwertigeren Eigenschaften (z. B. höhere Wärmebeständigkeit) und ähnlicher Verwendung wie Polyäthylen.

Polystyrol: glasklares Polymerisat aus Vinylbenzol oder Styrol, $H_2C=CH-C_6H_5$; ein Thermoplast, der vorwiegend im *Spritzguß* verarbeitet wird. Polystyrol wird in der Elektrotechnik, zu Schraubverschlüssen, Kämmen, Folien, Fäden (Styroflex) u. a. verwendet.

Polyurethane: Polyurethane, auch Isozyanatplaste genannt: Polyadditions- oder Anlagerungsprodukte von *Isozyanaten*, z. B. $O=C=N-R-N=C=O$, und *Hydroxylverbindungen* wie $HO-R'-OH$; nach der verschiedenen Konstitution der Ausgangsstoffe entstehen vielfältige Endprodukte. Aus bifunktionellen Vorprodukten bilden sich Faden- oder Kettenmoleküle, z. B. $HO-R'-[O-CO-HN-CO \cdot O-R']_n-OH$.
Die Gegenwart von mehrfach funktionellen Gruppen ergibt Vernetzungen. Polyurethane werden verwendet zur Herstellung von Chemiefasern, von Klebstoffen (besonders für Plaste, Metalle und Glas), von Lackrohstoffen, Preßmassen, vor allem aber von gummielastischen Stoffen, im besonderen in Form von Schaumstoffen.

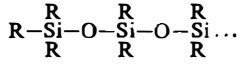
Polyvinylazetat, PVA: polymerisiertes Vinylazetat, $H_2C=CH-O-CO-CH_3$, wird hergestellt, z. B. im Bunawerk, besonders in Form von Emulsionen mit und ohne Weichmacher; es wird angewendet als Lackrohstoff, Anstrichbindemittel, Klebstoff u. a.

Polyvinylchlorid, PVC: polymerisiertes Vinylchlorid, $CH_2=CHCl$. PVC ist geruch- und geschmacklos, fäulnisfest und seewasserbeständig; es erweicht bei 75 °C, ist zwischen 130 °C und 170 °C thermoplastisch formbar und läßt sich schweißen. *Hart-PVC* enthält keine Weichmacher; aus ihm werden Halbzeuge, Rohrleitungen (auch für die Lebensmittelindustrie), Dachrinnen, Lack- und Klebrohstoffe, Schaumstoffe und Chemiefasern hergestellt. *Weich-PVC* enthält Weichmacher (Ester der Phthalsäure, Trikresylphosphat u. a.) und ist elastisch, gummiähnlich; es wird verwendet für Folien zu Kabelisolierungen, für Schläuche, zu Bucheinbänden und Verpackungen, für Handtaschen, Regenmäntel, als Bodenbelag und Linoleum- bzw. Wachstuchersatz, für Dichtungen und für Schuhsohlen. *Nachchloriertes PVC* und zahlreiche *Mischpolymerisate* lassen sich leichter verarbeiten als Hart-PVC. Ekadur ist eine bekannte PVC-Marke.

Schaumstoffe: durch Gase aufgeblasene Plaste oder Elaste mit offenen oder geschlossenen Zellstrukturen; sie werden als Wärme- und Schalldämmstoffe, zur Polsterung u. a. verwendet.

Schichtpreßstoffe; Hartpapier, Hartgewebe, Preßholz: Werkstoffe aus Kunstharzen (z. B. Kresolharz) mit eingelagerten *Trägerschichten* aus Papier, Gewebe oder Holz. Die Trägerstoffe werden dazu mit Kunstharzzwischenprodukten getränkt, getrocknet und in Platten- bzw. Zylinderform bei 150 °C bis 170 °C unter Preßdruck ausgehärtet. *Hartpapier* und *Hartgewebe* werden als Elektroisolierstoff, für Zahnräder, Lagerschalen und Bremsbacken verwendet, *Preßholz* für Zahnräder, Webschützen u. a.

Silikone: siliziumorganische Verbindungen, die eine Mittelstellung zwischen den organischen Kunststoffen und den anorganischen Gläsern einnehmen. Je nach der Größe und dem Bau des Moleküls sind sie ölig, fett-, lack- oder kautschukartig.



Silikon, R *organischer Rest*

Die *Silikonöle* sind bis 250 °C temperaturbeständig und dienen als Schmiermittel, Transformatoren- und Schalteröle. Die *Silikonlacke* bilden wasserabweisende Anstriche, die *Silikone* isolieren elektrisch gut. Die *Silikonkautschuke* werden wegen ihrer ausgezeichneten chemischen Widerstandsfähigkeit für Dichtungen, Schutzüberzüge und zu Kabelisolierungen verwendet.

Thermoplaste: nicht härtbare Plaste mit meist langkettigen Molekülen, die auch bei öfterem Erwärmen und Abkühlen in der Hitze weich (plastisch) werden und sich dann dehnen, kneten und formen lassen; z. B. Polystyrol, Polyvinchlorid, Polyäthylen.

Viskose: Zellulosexanthogenatlösung. Sie wird hergestellt durch Behandeln von Zellstoff mit Natronlauge und Schwefelkohlenstoff. Wird Viskose durch Düsen in ein saures Spinnbad (meist wäßrige Natriumhydrogensulfatlösung) gepreßt, so entstehen Viskoseseide oder auf ähnliche Weise durchsichtige Folien (Zellglas), ein Verpackungsmaterial besonders für Nahrungs- und Genußmittel.

Vulkanfiber: zäher, nicht splitternder Werkstoff; hergestellt aus in *Chlorzink* gequollenen *Papierbahnen,* die durch Druck verdichtet, dann ausgewaschen und getrocknet werden.

Zellstoff: technische Zellulose.

Zelluloid, Zellhorn: harter, fester, elastischer, leicht entzündlicher Werkstoff aus Kollodiumwolle und Kampfer; wird, häufig gefärbt, verwendet zu Platten, Folien, Bedienteilen, Spielwaren u. a.

Zellulose, $(C_6H_{10}O_5)_n$: ein Kohlenhydrat, Hauptbestandteil der Zellwände der Pflanzen, unlöslich in Wasser, Alkohol, Äther und anderen organischen Lösungsmitteln; löslich in Kupferoxydammoniaklösung (Schweizers Reagens), Tetramminkupfer(II)-hydroxyd, $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$. Die drei OH-Gruppen des Grundbausteins, der *Glukose-Einheit,* lassen sich verestern und verätherm; treten Azetylgruppen, $-CO-CH_3$, ein, so erhält man *Zelluloseazetate, Azetylzellulosen* oder *Azetatkunstseiden*; treten Nitratgruppen, $-O-NO_2$, ein, so erhält man die *Zellulosenitrate,* fälschlich auch Nitrozellulosen genannt (s. Kollodiumwolle).

Zelluloseazetat, früher *Azetylzellulose*: Das azetonlösliche Zelluloseazetat, ein weißliches Pulver, wird verwendet für Filme, Fäden, Preß- und Spritzteile, Lacke, Klebstoffe u. a. (s. Azetatseide).

Zellwolle: baumwoll- oder schafwollähnliche Fasern. Sie entstehen aus einem Fadenkabel, das aus mehreren Tausend zugleich entstandenen neben- oder übereinanderliegenden Viskosefäden besteht, in verschiedenen Bädern behandelt und in kurze Fasern (3 bis 15 cm) zerschnitten wird, die durch Trocknen und mechanische Nachbehandlung zu verspinnbarer B-Zellwolle (baumwollähnlich) oder zu W-Zellwolle (wollähnlich) werden.

IX. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
5. Jahrtausend	*Ägypter* verarbeiten gediegen vorkommendes *Kupfer*; etwa von 2300 an wird von ihnen die erste *Bronze* (Kupfer-Zinn-Legierung) hergestellt.
um 3400	Beginn der Gewinnung und Verarbeitung des Eisens in *Ägypten*.
1370	In Ägypten wird das dort früher erfundene *Glas* bereits in besonderen Werkstätten hergestellt. Um 50 erfinden die *Syrer* das Blasen des Glases.
500—400	*Griechische* Naturphilosophie. Empedokles nimmt vier *Elemente* Erde, Feuer, Wasser, Luft als Grundbestandteile der Welt an.
um 430	Die griechischen Philosophen *Leukipp* und *Demokrit* begründen die Lehre von den *Atomen*, den kleinsten unteilbaren Teilchen, aus denen alle Stoffe bestehen.
um 340	Der griechische Philosoph *Aristoteles* nimmt den Raum als von Stoffen stetig erfüllt an.
um 90	*Delhi* (Indien) erhält die heute noch stehende Eisensäule von 18 m Länge und einer Masse von 17000 kg.
u. Z.	
um 180	Entstehung der ersten alchemistischen Schriften. Das Ursprungsland der *Alchemie* (unwissenschaftliche Bestrebungen, aus unedlen Metallen Gold zu machen) ist das hellenistische alexandrinische *Ägypten*.
um 400	erste Erwähnung des Wortes *Chemie* als konkrete Tätigkeit stofflicher Umwandlungen in den Schriften alexandrinischer Gelehrter.
um 900	Arabische Chemiker und Ärzte entdecken, daß durch die Destillation des Weines ein besonders berauschendes Getränk, der *Alkohol*, entsteht.
15. Jh.	*Iatrochemie*; Chemie im Dienst der Medizin.
1493—1541	*Theophrastus Paracelsus von Hohenheim*, Schweizer Arzt und Chemiker. Er sieht den wahren Zweck der Chemie in der Bereitung von Arzneien und verwirft die alchemistische Goldmacherei. Zum Zeichen seiner Abwendung von den bisherigen Autoritäten der Wissenschaft, die nur aus Büchern Neues zu schöpfen wußten und nicht aus der Natur, verbrennt er öffentlich deren Bücher, wie es vorher Luther mit der Bannbulle tat; in Basel hält er Vorlesungen in deutscher Sprache.
1494—1555	*Georg Agricola* (eigentlich Bauer), Begründer der neuen Mineralogie und Bergbaukunde. Er schreibt als Stadtphysikus und Bürgermeister von Chemnitz das älteste Bergwerksbuch „*De re metallica*" (*Über die Metalle*); es bietet ein vollständiges Bild des damaligen Berg- und Hüttenwesens sowie der Probierkunde (Bestimmen des Metallgehaltes in Erzen).
1577—1644	*Baptist van Helmont*, niederländischer Alchemist und Arzt. Er prägt das Wort *Gas* (griech. *Chaos*, Leere) und erkennt *Kohlendioxyd* (fälschlich Kohlensäure genannt) als ein Gas.
1597	Der deutsche Arzt *Andreas Libavius* gibt das erste Lehrbuch der Chemie heraus (*Alchemia*) und entdeckt das Zinntetrachlorid (*Spiritus fumans Libavii*).
1604—1668	*Rudolf Glauber*, Chemiker und Arzt. Er stellt Salzsäure, Salpetersäure, Brechweinstein u. a. her. Bei der Herstellung der Salzsäure aus Kochsalz und Schwefelsäure entdeckt er das Natriumsulfat (*Glaubersalz*), das wegen seiner medizinischen Wirkung (Abführmittel) auch als Wundersalz (lat. *Sal mirabile*) bezeichnet wurde.
1627—1691	*Robert Boyle*, englischer Chemiker und Physiker. Er bezeichnet im modernen Sinne die einfachsten, chemisch nicht weiter zerlegbaren Stoffe als *Elemente*, ist Begründer der analytischen Chemie und Entdecker des nach ihm benannten Druck-Volumen-Gesetzes der Gase.
1708	Der Mathematiker und Mineraloge *v. Tschirnhaus(en)* (1651 bis 1708) und der Alchemist *J. F. Böttger* (1682 bis 1719) erfinden in Meißen braunes und weißes Porzellan.
1711—1765	*M. W. Lomonossow*, russischer Chemiker und Physiker, Begründer der russischen Naturwissenschaft. Er sucht die chemischen Vorgänge mit mathematischen Methoden zu erfassen (Verwendung der Waage); dabei entdeckt er das Gesetz von der *Erhaltung der Masse*. Er erwirbt sich auf diese Weise besondere Verdienste um die Weiterentwicklung der Chemie zu einer exakten Wissenschaft und gilt heute als Begründer der *physikalischen Chemie*.
1743—1794	*A. L. Lavoisier*, französischer Chemiker, Begründer der modernen Chemie. Er gibt dem Gesetz von der Erhaltung der Masse eine präzise Formulierung, findet auf

Grund der Entdeckung des Sauerstoffs durch Priestley und Scheele die richtige Erklärung für den *Verbrennungsprozeß* und ersetzt die unrichtige Stahlsche Phlogistontheorie durch seine Oxydationstheorie.

1747 *A. S. Marggraf* (1709 bis 1782) entdeckt in der Runkelrübe denselben Zucker, der im Zuckerrohr enthalten ist. Auf dieser Beobachtung fußend, gründet 1796 *F. C. Achard* (1753 bis 1821) die Rübenzuckerindustrie.

1766—1848 *John Dalton*, englischer Chemiker und Physiker. Er entwickelt den *Atombegriff*, nach dem die Atome bzw. Elemente eine bestimmte Masse (*Atomgewicht*) haben und sich mit anderen Elementen so verbinden, daß in den chemischen Verbindungen stets nur ganzzahlige Verhältniswerte der Elemente auftreten (*Gesetz der mehrfachen Gewichtsverhältnisse*).

1774 Der englische Chemiker *J. Priestley* (1733 bis 1804) und sein schwedischer Kollege *K. W. Scheele* (1742 bis 1780) entdecken unabhängig voneinander die *Feuerluft*, der *Lavoisier* den Namen *Sauerstoff* gibt.

1778—1850 *L. J. Gay-Lussac*, französischer Chemiker und Physiker, Entdecker des nach ihm benannten *Ausdehnungsgesetzes der Gase*. Er erkennt das Jod als Element und findet 1808 zusammen mit *A. v. Humboldt* (1769 bis 1859) das für Gasreaktionen gültige *chemische Volumengesetz*.

1778—1829 *Humphry Davy*, englischer Chemiker, Begründer der Elektrochemie. Er stellt durch Schmelzelektrolyse erstmals die Elemente Natrium, Kalium, Kalzium, Strontium, Barium und Bor dar und erkennt die elementare Natur des Chlors. 1815 erfindet er die Sicherheitslampe für Bergleute.

1779—1848 *Jöns Jakob Berzelius*, bedeutender schwedischer Chemiker. Er bestimmt zahlreiche Atomgewichte, entdeckt die Elemente Selen, Thorium, Zer und ist der Begründer der *chemischen Formelsprache*. Viele Geräte (Bechergläser, Glastrichter, Spritzflaschen u. a.) werden von ihm eingeführt. Er prägt die Begriffe *Allotropie* und *Katalyse*.

1781 Der englische Chemiker *H. Cavendish* (1731 bis 1810) erbringt den Nachweis der Synthese des Wassers aus Sauerstoff und Wasserstoff und weist die gleichmäßige Zusammensetzung der Luft nach.

1789 *J. W. v. Goethe* ernennt als Weimarer Minister erstmals einen selbständigen Professor für Chemie an der Universität Jena.

1791 *N. Leblanc* (1712 bis 1806) erfindet die künstliche Herstellung von Soda aus Kochsalz, Schwefelsäure, Kohle und Kalkstein.

1791—1867 *Michael Faraday*, englischer Chemiker und Physiker, Schüler Davys. Er verflüssigt Chlor und Kohlendioxyd, entdeckt 1824 das *Benzol* und 1834 die quantitativen Beziehungen bei elektrochemischen Vorgängen. Er prägt die Begriffe Elektrolyse, Anode, Kathode, Anion und Kation.

1796—1864 *K. Claus*, russischer Chemiker. Er beschäftigt sich seit 1841 mit den Platinmetallen des Urals und entdeckt 1844 das *Ruthenium*.

1800—1882 *F. Wöhler*, deutscher Chemiker. Ihm gelingen die ersten Synthesen organischer Naturstoffe (Oxalsäure 1823, Harnstoff 1828); 1827 entdeckt er das *Aluminium*.

1803—1873 *Justus v. Liebig*, deutscher Chemiker. Er ist bahnbrechend auf allen Gebieten der Chemie, entdeckt die *Isomerie*, begründet die *Agrikulturchemie* und die *Elementaranalyse* der organischen Stoffe.

1811 Der italienische Physiker *A. Avogadro* (1776 bis 1856) nimmt in gleichen Raumteilen verschiedener Gase (unter gleichem Druck und bei gleicher Temperatur) gleichviel Moleküle an (*Avogadrosche Molekularhypothese*); er unterscheidet zwischen Atomen und Molekülen.

1811—1899 *Robert Bunsen*, deutscher Chemiker. Er begründet zusammen mit Kirchhoff die *Spektralanalyse*, entdeckt *Rubidium* und *Zäsium*, entwickelt den *Bunsenbrenner* und die *Wasserstrahlpumpe* und leistet wesentliche Beiträge zur analytischen Chemie.

1812—1880 *N. N. Sinin*, russischer Chemiker. Er beschäftigt sich vor allem mit dem Studium organischer Verbindungen. Sein besonderes Verdienst ist 1842 die Gewinnung des *Anilins* aus Nitrobenzol.

1815 Der englische Arzt und Chemiker *W. Prout* (1785 bis 1850) stellt die Hypothese auf, daß alle chemischen Elemente aus Wasserstoff als Urstoff aufgebaut seien.

1818—1892 *A. W. v. Hofmann*, bedeutender Förderer der organischen Chemie und Begründer der modernen *Teerfarbenindustrie*, gründet 1867 die *Deutsche Chemische Gesellschaft*.

1826 Der deutsche Chemiker *P. Unverdorben* (1806 bis 1873) entdeckt das *Anilin* bei der trockenen (Zersetzungs-) Destillation des Indigos.

1827 Der englische Botaniker *R. Brown* (1773 bis 1858) entdeckt die *Molekularbewegung.*

1829 *Wolfgang Döbereiner* (1780 bis 1849), Professor der Chemie in Jena, Freund Goethes, stellt das erste System der *periodisch wiederkehrenden Eigenschaften* der Elemente auf.

1834 Der deutsche Chemiker *F. F. Runge* (1795 bis 1867) entdeckt im Steinkohlenteer Phenol und Anilin.

1834—1907 *Dmitrij Iwanowitsch Mendelejew*, bedeutender russischer Chemiker. Er erforscht den gesetzmäßigen Aufbau der Stoffe und ordnet die bis zu seiner Zeit gefundenen Elemente in ein System, in dem sich die Strukturgesetze der Atome widerspiegeln. In der Aufstellung des *Periodensystems* erweist er sich als ein Meister der theoretischen Verallgemeinerung und des wissenschaftlichen Weitblicks. 1871 entsteht seine Arbeit „*Das natürliche System der Elemente und seine Anwendung auf die Anzeigung von Eigenschaften nichtentdeckter Elemente*". In dieser Arbeit sagt er das Vorhandensein von 11 damals noch nicht bekannten Elementen voraus, läßt für sie leere Plätze im Periodensystem, beschreibt ihre Eigenschaften und gibt die wahrscheinlichen Stellen ihres Vorkommens und die Methode ihres Auffindens an. Er hält die Entdeckung weiterer Elemente (Zeritmetalle mit Atomgewichten zwischen 138 und 182) und von wenigen Elementen, die auf Uran folgen, für wahrscheinlich. Durch seine Vorhersagen gibt er dem systematischen Suchen nach den noch nicht bekannten Elementen eine wissenschaftliche Grundlage.

1834—1892 *Carl Schorlemmer*, Freund F. Engels', erarbeitet auf dem Gebiet der aliphatischen Kohlenwasserstoffe grundlegende Erkenntnisse, die seiner Zeit weit vorauseilen. Er beweist die Gleichwertigkeit der Kohlenstoffatome in organischen Verbindungen und schafft als einer der ersten Grundlagen zur heutigen *Petrolchemie.*

1852—1919 *Emil Fischer*, deutscher Chemiker, einer der erfolgreichsten Forscher auf dem Gebiet der organischen Chemie. Er stellt den chemischen Aufbau der *Zuckerarten* fest, ist bahnbrechend in der Erforschung der *Eiweißkörper* (Peptide), erforscht die natürlichen Gerbstoffe, die *Tannine* (Depside), klärt die Struktur der *Purine* (z. B. Harnsäure, Theobromin, Koffein) auf, entdeckt die *Barbitursäure* und entwickelt zusammen mit v. Mering das weltbekannte Schlafmittel *Veronal.* 1902 erhält er den Nobelpreis für Chemie.

1852—1911 *J. H. van't Hoff*, niederländischer Chemiker. Er begründet 1874 die *Stereochemie*, indem er das asymmetrische Kohlenstoffatom als Ursache für die *Spiegelbildisomerie* erkennt, deutet die *cis-trans-Isomerie*, entdeckt die Gesetze des osmotischen Druckes in Lösungen, untersucht die Temperatur- und Druckabhängigkeit *chemischer Gleichgewichte* sowie die *elektrolytische Dissoziation.* 1901 werden seine Verdienste mit der Verleihung des ersten Nobelpreises für Chemie gewürdigt.

1853—1932 *Wilhelm Ostwald*, einer der hervorragendsten Gelehrten auf dem Gebiet der physikalischen Chemie. Er arbeitet über *Katalyse* und entdeckt 1888 das nach ihm benannte *Verdünnungsgesetz schwacher Elektrolyte.* 1909 erhält er den Nobelpreis für Chemie.

1854—1915 *Paul Ehrlich*, Serumforscher und Chemiker. Er begründet die Chemotherapie zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten und entwickelt zusammen mit dem Japaner *Hata* das *Salvarsan* als Heilmittel gegen Syphilis. 1908 erhält er dafür den Nobelpreis.

1861 *A. N. Butlerow* (1828 bis 1886) spricht auf der Naturforscherversammlung in Speyer über seine Lehre von der *chemischen Struktur*, die durch die Wechselwirkung der Bindungskräfte der Atome in einem Molekül bedingt ist.

1863 *E. Solvay* (1838 bis 1922) entwickelt sein gegenüber dem Leblanc-Prozeß wesentlich rentableres Verfahren zur großtechnischen Sodagewinnung.

1865 Der österreichische Physiker *J. Loschmidt* (1821 bis 1895) bestimmt durch die nach ihm benannte Zahl die Anzahl der Moleküle in einem Kubikzentimeter eines Gases und ermöglicht dadurch die Ermittlung *absoluter Atomgewichte.*

1865 Der deutsche Chemiker *A. Kekulé v. Stradonitz* (1829 bis 1896) klärt die ringförmige *Struktur des Benzols* auf, begründet den Valenzbegriff und schafft das Bild der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Mehrfachbindung. Er schlug als erster vor, alle Kohlenstoffverbindungen in der *organischen Chemie* zusammenzufassen.

1867 Die norwegischen Chemiker *C. Guldberg* (1836 bis 1902) und *P. Waage* (1833 bis 1900) leiten das *Massenwirkungsgesetz* quantitativ ab.

1869 Die deutschen Chemiker *K. Graebe* (1841 bis 1927) und *K. Liebermann* (1842 bis 1914) stellen das *Alizarin* (Farbstoff der Krappwurzel) künstlich aus Anthrazen her.

1869 Der britische Physiker und Chemiker *T. Andrews* (1813 bis 1885) entdeckt die *kritische Temperatur.*

1873 Der niederländische Physiker *J. D. van der Waals* (1837 bis 1923) stellt die nach ihm benannte Zustandsgleichung der *realen Gase* auf.

1878 Dem deutschen Chemiker *A. v. Baeyer* (1835 bis 1917) gelingt die Synthese des *Indigos*.

1884 Der französische Chemiker *F. M. Raoult* (1830 bis 1901) entdeckt die Gesetze der *Gefrierpunktserniedrigung* und *Siedepunktserhöhung* in Lösungen.

1885 Der französische Physiker und Chemiker *H. Le Chatelier* (1850 bis 1936) erkennt das nach ihm benannte *Prinzip vom kleinsten Zwang*.

1886 Der deutsche Chemiker *C. Winkler* (1838 bis 1904) entdeckt das *Germanium* und stellt die hervorragende Übereinstimmung der von ihm gefundenen Eigenschaften mit den von Mendelejew für das Element Eka-Silizium vorausgesagten fest.

1887 Der schwedische Chemiker *Svante Arrhenius* (1859 bis 1927) begründet die *Ionenlehre*; er gibt 1887 mit W. Ostwald und van'tHoff die Zeitschrift für physikalische Chemie heraus. 1903 erhält er den Nobelpreis für Chemie.

1889 *W. Nernst* (1864 bis 1941) leitet die nach ihm benannte Beziehung zwischen elektrochemischem Potential und der Konzentration der Ionen ab (*Nernstsche Gleichung*).

1894—1898 Die englischen Physiker und Chemiker *J. W. Lord Rayleigh* (1842 bis 1919) und *Sir W. Ramsay* (1852 bis 1916) entdecken 1894 das erste Edelgas *Argon* (das Träge) in der Luft. *Helium* wird 1895 von Ramsay in irdischen Quellen entdeckt, 1898 werden von ihm *Krypton* (das Verborgene), *Xenon* (das Fremde) und *Neon* (das Neue) als Bestandteile der Luft erkannt.

1900 *Internationale Atomgewichtskommission* gegründet.

1902—1903 *W. Ostwald* entwickelt ein Verfahren zur Gewinnung von Salpetersäure durch katalytische Oxydation des Ammoniaks.

1909 Der dänische Chemiker *S. P. L. Sörensen* (1868 bis 1939) stellt *p*H-Werte auf.

um 1910 Der britische Chemiker *F. Soddy* (1877 bis 1956) führt den Isotopiebegriff ein.

1912 Der deutsche Physiker *M. v. Laue* (1879 bis 1960) entdeckt Interferenzerscheinungen, die durch Beugung von Röntgenstrahlen in Kristallen entstehen.

um 1912 Das 1908 von dem deutschen Chemiker *F. Haber* (1868 bis 1934) entdeckte Verfahren zur Synthese des Ammoniaks aus dem Stickstoff der Luft und aus Wasserstoff wird großtechnisch betrieben (*Haber-Bosch-Verfahren*).

1913 Der dänische Physiker *Niels Bohr* (1885 bis 1962) stellt ein anschauliches Atommodell auf, auf dessen Grundlage sich das Spektrum des Wasserstoffs erstmals befriedigend deuten läßt.

1913 Der englische Physiker *H. Moseley* (1887 bis 1915) entdeckt das nach ihm benannte Gesetz, das von jedem Element die Schwingungszahl der Linien des charakteristischen Röntgenspektrums zur Ordnungszahl in Beziehung bringt. Mit Hilfe dieses Gesetzes läßt sich die *Ordnungszahl* von jedem Element und damit auch die Stellung der Elemente im Periodensystem experimentell bestimmen.

1913 Die britischen Physiker *W. L. Bragg* (geb. 1890) und sein Vater *Sir W. H. Bragg* (1862 bis 1942) stellen gemeinsam eine einfache Gleichung auf, nach der die Gitterkonstanten von Kristallen mit Hilfe der von *M. v. Laue* entdeckten Beugung der Röntgenstrahlen bestimmt werden können.

1923 Der tschechoslowakische Chemiker *J. Heyrovsky* (geb. 1890) entwickelt die *polarographische Analysenmethode*; 1959 erhält er dafür den Nobelpreis für Chemie.

1924 Großversuche zur Herstellung von Benzin und Öl durch katalytische Druckhydrierung von Kohle nach dem deutschen Chemiker *F. Bergius* (1884 bis 1949).

1925 Die deutschen Chemiker *Franz Fischer* (1877 bis 1947) und *H. Tropsch* (1889 bis 1935) stellen aus Wassergas Paraffinkohlenwasserstoffe her.

1925 Der österreichische Physiker *W. Pauli* (1900 bis 1958) deutet das Periodensystem der chemischen Elemente auf der Grundlage der Elektronenzustände im Atom (*Pauli-Prinzip*).

1926 Der deutsche Chemiker *H. Staudinger* (geb. 1881) erforscht die Struktur zahlreicher makromolekularer Stoffe und erhält dafür 1953 den Nobelpreis für Chemie.

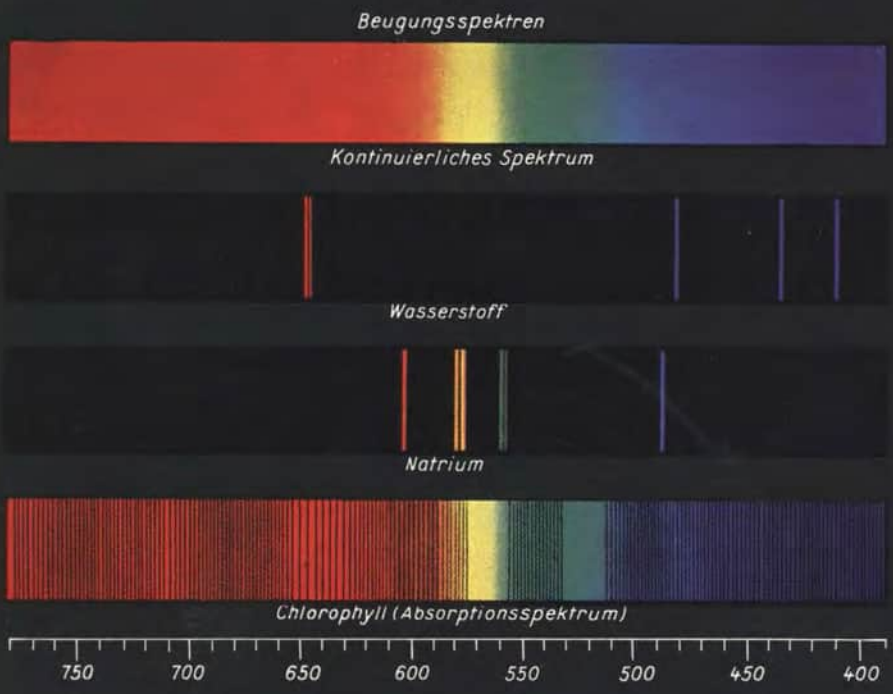
1929 Dem deutschen Chemiker *Hans Fischer* (1881 bis 1945) gelingt die Synthese des roten Blutfarbstoffs, des *Hämins* (Nobelpreis 1930).

1931 Der Schweizer Chemiker *P. Karrer* (geb. 1889) kann die Struktur des Vitamins A und der anderen Karotinoide aufklären (Nobelpreis 1937).

1932 *Deuterium* und sein Oxyd, das *schwere Wasser*, werden von dem nordamerikanischen Chemiker *H. C. Urey* (geb. 1893; Nobelpreis 1934) entdeckt.

1933	Isolierung des Vitamins B_2 durch den österreichischen Chemiker *R. Kuhn* (geb. 1900; Nobelpreis 1938) und Synthese des Vitamins C.
1934	Die vollsynthetische PC-Faser aus Polyvinylchlorid wird erfunden.
1935	Der deutsche Bakteriologe *G. Domagk* (geb. 1895; Nobelpreis 1939) entdeckt das *Prontosil*. In der Folge werden zahlreiche andere gegen bakterielle Infektionen hochwirksame *Sulfonamide* synthetisiert.
1939—1944	Erforschung und Aufklärung der Konstitution des *Penicillins*.
1940	Die Elemente *Astat*, *Neptunium* und *Plutonium* werden erstmals hergestellt.
1944	Herstellung der Elemente *Amerizium* und *Curium*, Entdeckung des *Streptomycins*.
1945	Das in der Natur nicht vorkommende Lanthanidenelement *Promethium* wird unter den Kernspaltungsprodukten des Urans aufgefunden.
1946	Der sowjetische Physiker *J. I. Frenkel* (1894 bis 1952) schafft eine kinetische Theorie der Flüssigkeiten.
1947	Der nordamerikanische Chemiker *E. G. Rochow* veröffentlicht die erste Arbeit über *Silikone*.
1948	Der nordamerikanische Chemiker *W. F. Libby* (geb. 1908) arbeitet seine Methode zur Altersbestimmung historischen und prähistorischen kohlenstoffhaltigen Materials aus, indem er die schwache β-Strahlung mißt, die von einem geringen Gehalt an radioaktivem Kohlenstoff 14 herrührt. 1960 erhält er den Nobelpreis für Chemie.
1948	Der deutsche Chemiker *Otto H. Warburg* (geb. 1883) entdeckt weitere wasserstoffübertragende Fermente und führt seine Untersuchungen über die Photosynthese fort.
1949	Das Element *Berkelium* wird erstmals hergestellt.
1950	Gewinnung von *Kalifornium*. *O. Diels* (1876 bis 1954) und *K. Alder* (1902 bis 1958) erhalten den Nobelpreis für die *Diensynthese*.
1951	Die Methoden der *Papierchromatographie* setzen sich durch.
1954	*Einsteinium* und *Fermium* werden erstmals hergestellt; damit sind 100 Elemente bekannt.
1955	*Mendelevium* wird hergestellt. *K. Ziegler* (geb. 1898) gelingt die Polymerisation von Äthylen unter normalem Druck.
1956	Nobelpreis für den sowjetischen Chemiker *N. N. Semjonow* (geb. 1896) gemeinsam mit dem britischen Chemiker *Sir C. N. Hinshelwood* (geb. 1897) für die Aufklärung chemischer *Kettenreaktionen*.
1957	Der britische Chemiker *Sir A. Todd* (geb. 1907) erhält den Nobelpreis für Chemie für seine Forschungen auf dem Gebiet der *Nukleinsäuren* und *Enzyme*. Das *Nobelium* wird erstmals hergestellt.
1958	Der britische Chemiker *F. Sanger* (geb. 1918) erhält den Nobelpreis für Chemie für die Aufklärung der Struktur des *Insulins*.
4. 11. 1958	Verkündung des *Chemieprogramms der DDR* durch *Walter Ulbricht*. Seitdem wird Anfang November der Tag des Chemiearbeiters gefeiert. Wichtigste Aufgaben sind: der Aufbau der Petrolchemie, die Steigerung der Produktion der Plaste und der synthetischen Fasern; ein besonderer Schwerpunkt ist die Einführung der modernen Meß- und Regeltechnik in die chemische Produktion.
1960	Den Chemikern *M. Strell* (geb. 1912) und *A. Kalojanoff* gelingt die Synthese des Chlorophylls.
1961	Der Nobelpreis für Chemie wird dem nordamerikanischen Chemiker *M. Calvin* für seine grundlegenden Untersuchungen zur Aufklärung der Photosynthese verliehen.

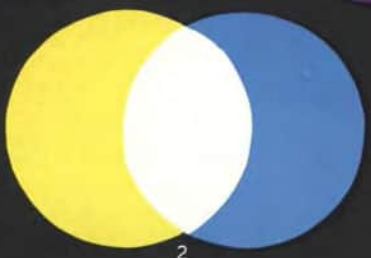
Spektren



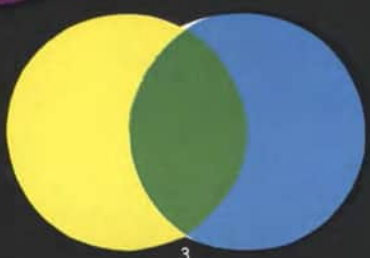
Die Zahlen der Skalen bedeuten nm (Nanometer, $1\,nm = 10^{-9}\,m = 10^{-6}\,mm$)



1



2



3

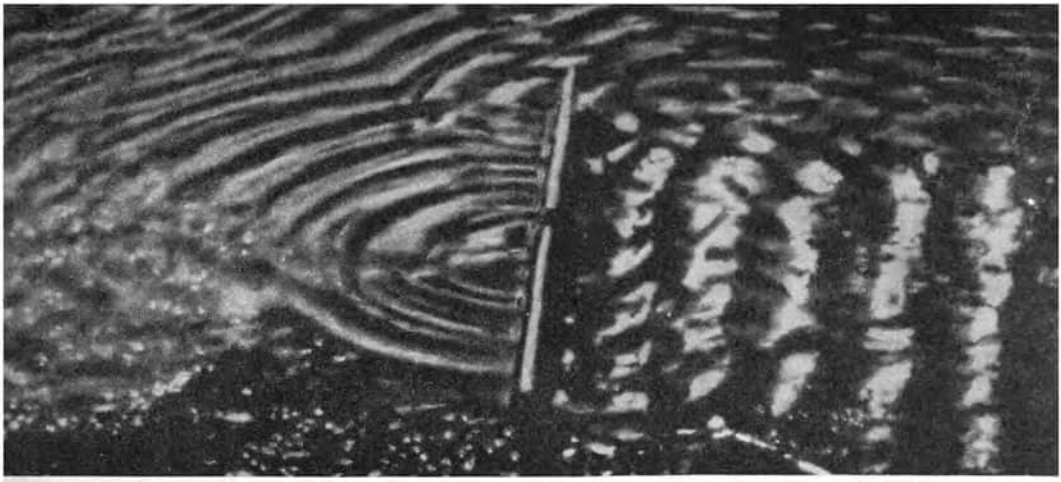


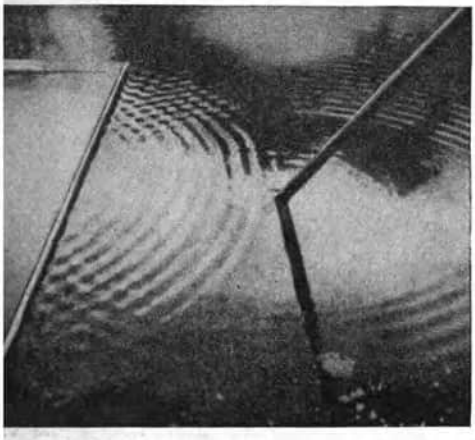
4



5

Farben 1 24teiliger Ostwaldscher Farbenkreis 2 Durch Mischen von gelbem und blauem Licht entsteht weißes Licht (additive Farbenmischung) 3 Durch Mischen von gelber und blauer Körperfarbe entsteht grüne Körperfarbe (subtraktive Farbenmischung) 4 Additive Mischung von Orange, Grün und Violett ergibt Weiß 5 Subtraktive Mischung von Gelb, Rot und Blau ergibt Schwarz



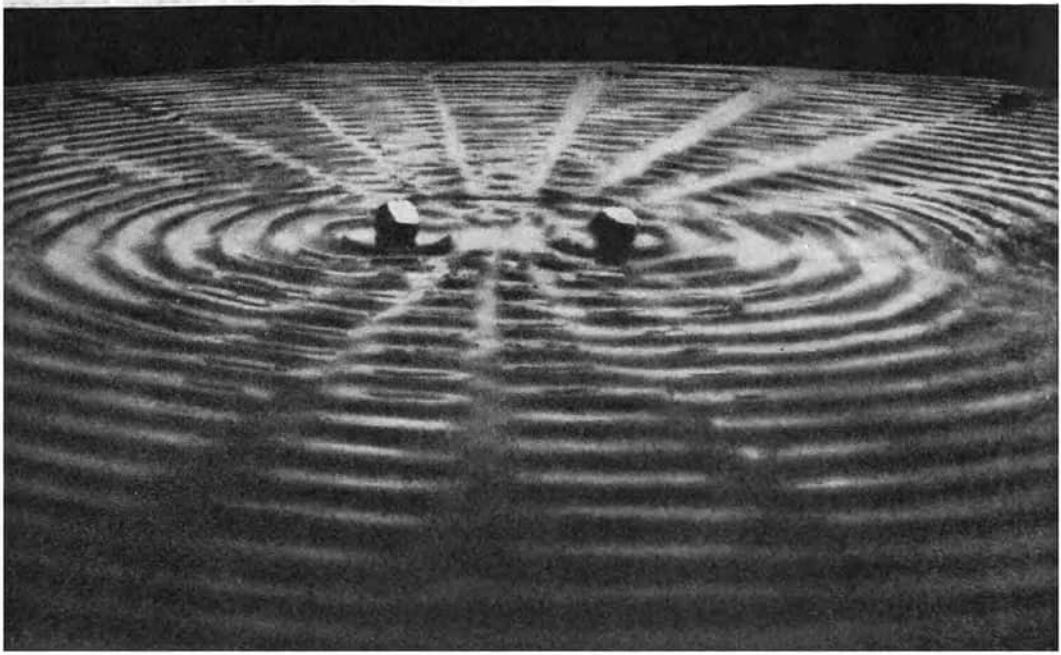


Zum Huygensschen Prinzip: Ein von rechts kommender Wellenzug trifft auf eine Wand mit einer Öffnung. Diese Öffnung ist Ausgangspunkt einer neuen, sich kreisförmig ausbreitenden Welle

Wellen

Reflexion und Interferenz (gegenseitige Einwirkung) von Wasserwellen. Die an einer ebenen Wand reflektierten Wellen breiten sich ebenso wie die in einem Punkte der Wasseroberfläche erregten Wellen kreisförmig auf der Oberfläche aus. Man erkennt die Stellen, in denen beide Wellenzüge sich durch Interferenz auslöschen

Interferenzbild zweier sich durchdringender Wellensysteme, die durch zwei gleichzeitig in das Wasser eintauchende Holzkugeln erregt werden



Der Blitz ist ein Ausgleich verschiedenartiger Ladungen zwischen Wolke und Erde bzw. zwischen Wolken

Blitz — Gleitentladung



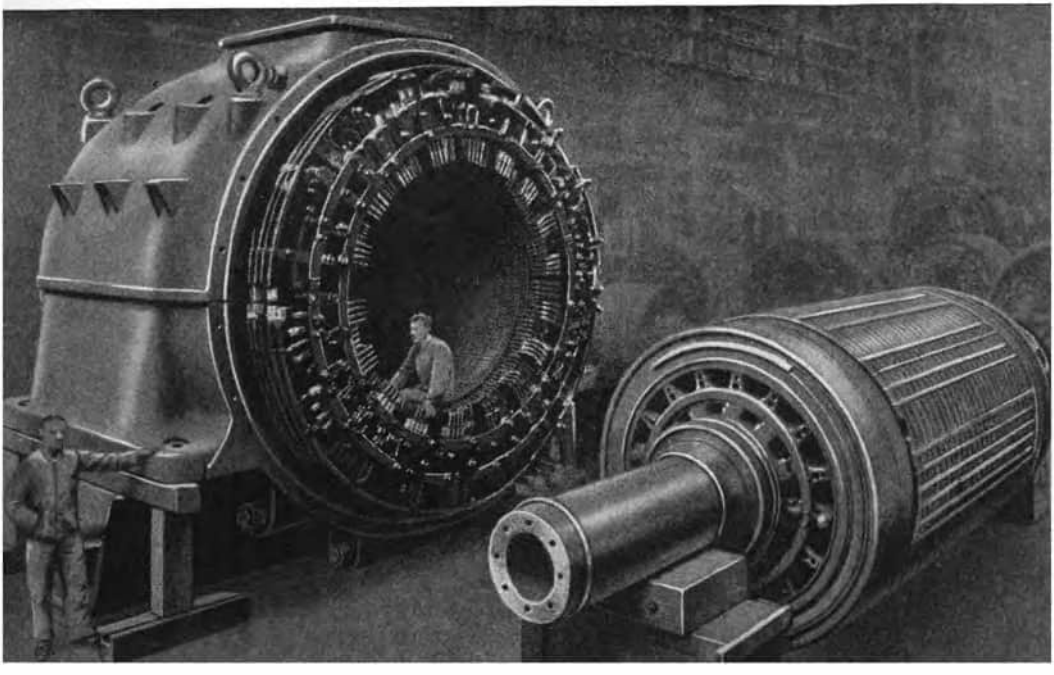
Ein metallischer Leiter mit kreisförmigem Querschnitt befindet sich auf einer photographischen Schicht. Läßt man einen elektrischen Funken auf den Leiter überspringen, so geht von diesem eine Gleitentladung (Lichtenbergsche Figur) aus, die in der photographischen Schicht ein latentes Bild der Entladung erzeugt (nach Toepler)

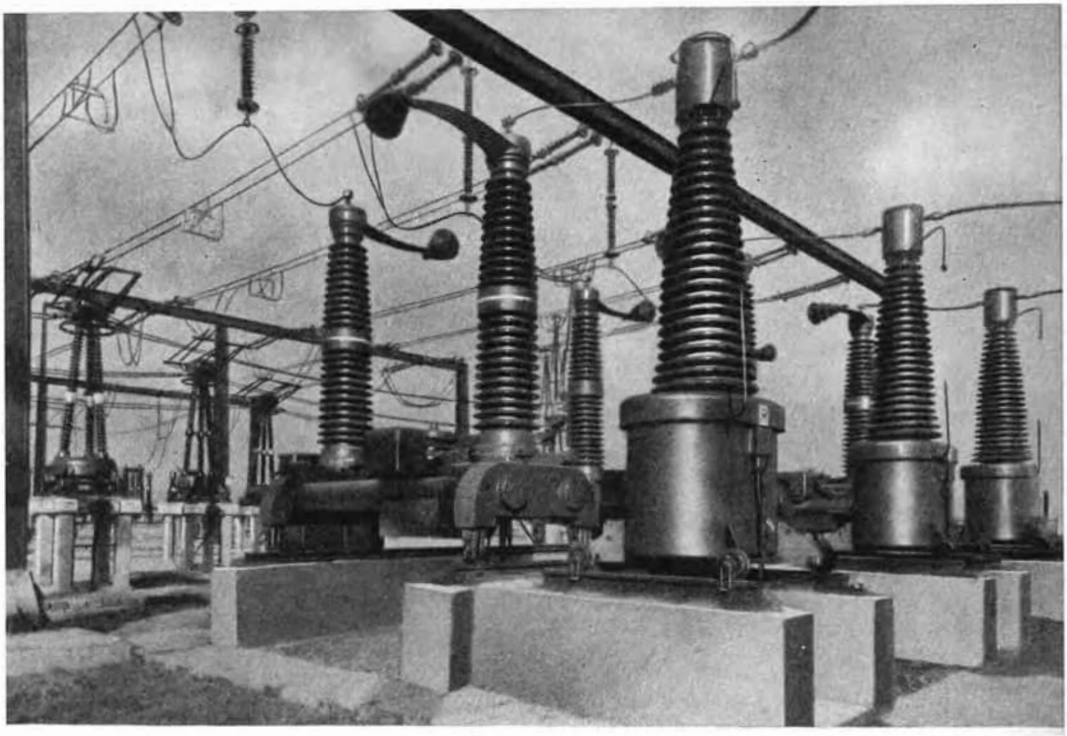


Die aus der Gießerei kommenden Stahlblöcke werden vom Elektromagnetendes Krans erfaßt und dann gestapelt. Jeder Block wiegt 2,5 t.

Elektromagnet — Dynamo

Stator und Rotor einer riesigen Dynamomaschine (Generator)





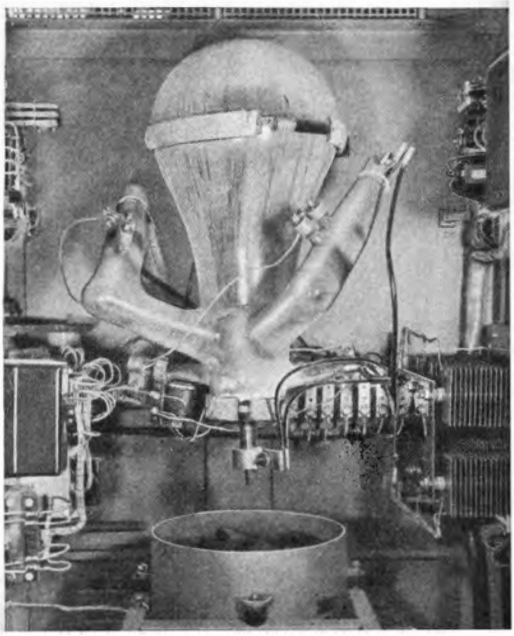
Freiluftschaltanlage für eine Übertragungsspannung von 220 kV. Im Vordergrund Leistungsschalter und Stromwandler 220 kV.

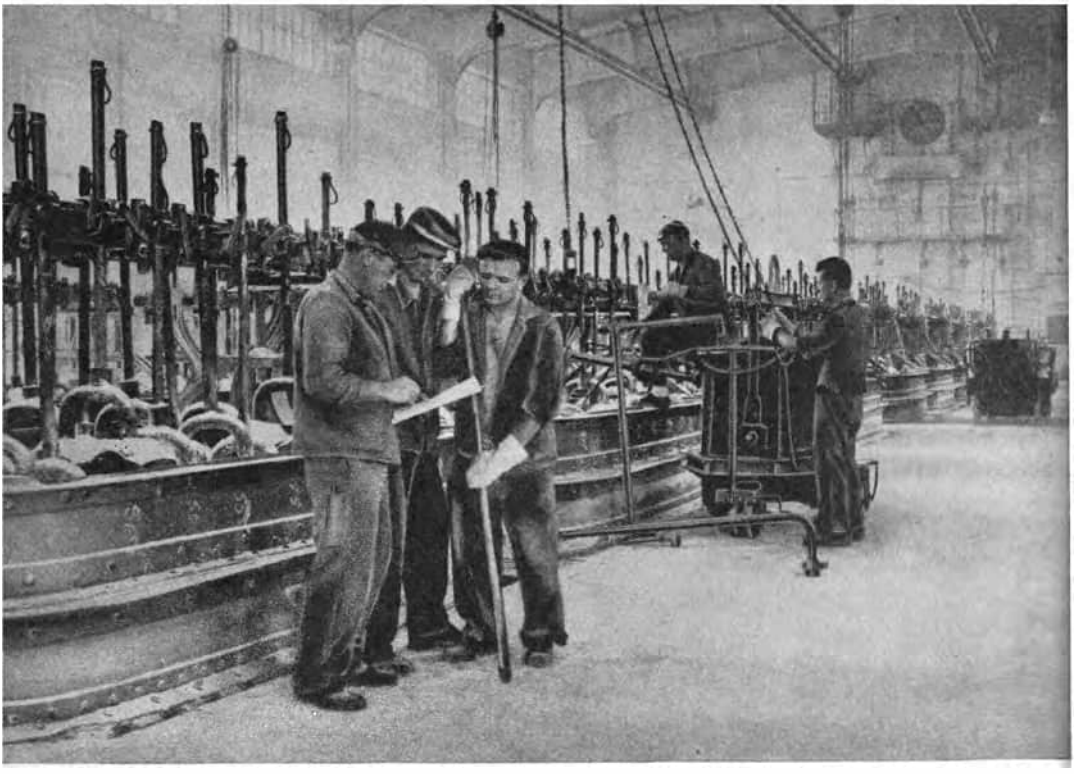
Transformator – Elektronik

Kleiner Elekronenstrahloszillograph für Servicezwecke



Dreiphasen-Quecksilberdampfgleichrichter

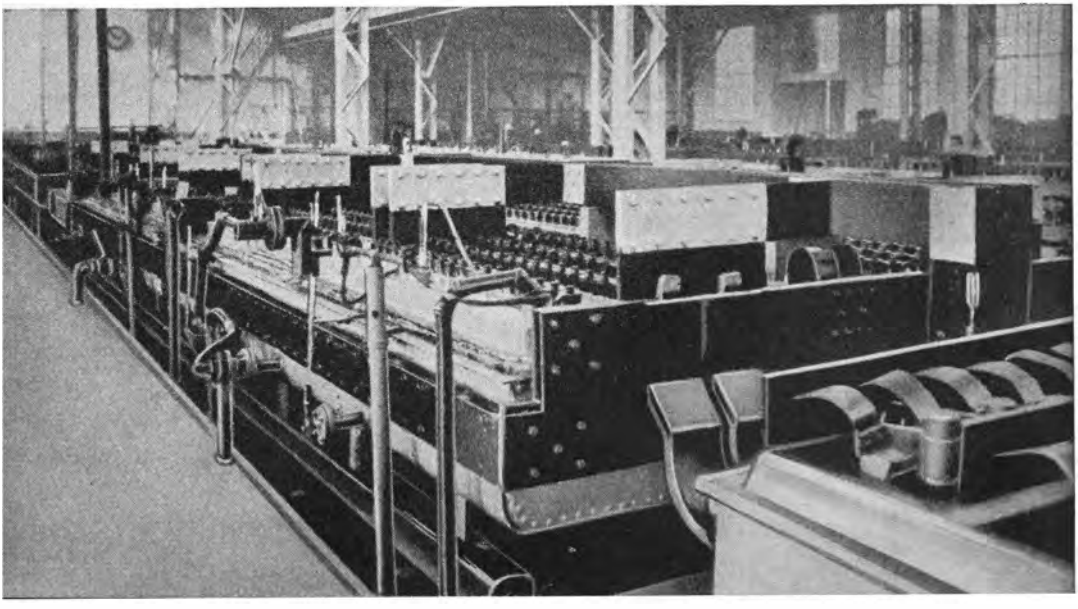


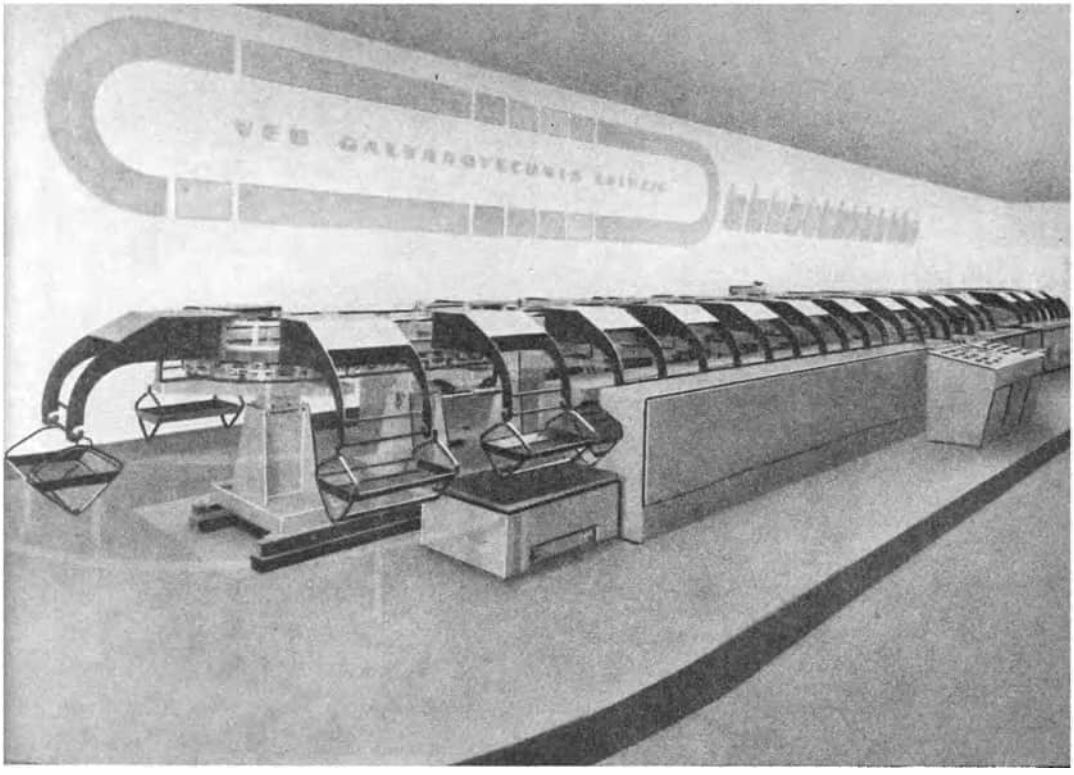


Schmelzflußelektrolyse zur Gewinnung von Aluminium

Elektrolyse

Elektrolyse von Kochsalzlösung (Chlorkali-Elektrolyse) zur Gewinnung von Wasserstoff, Chlor und Natronlauge

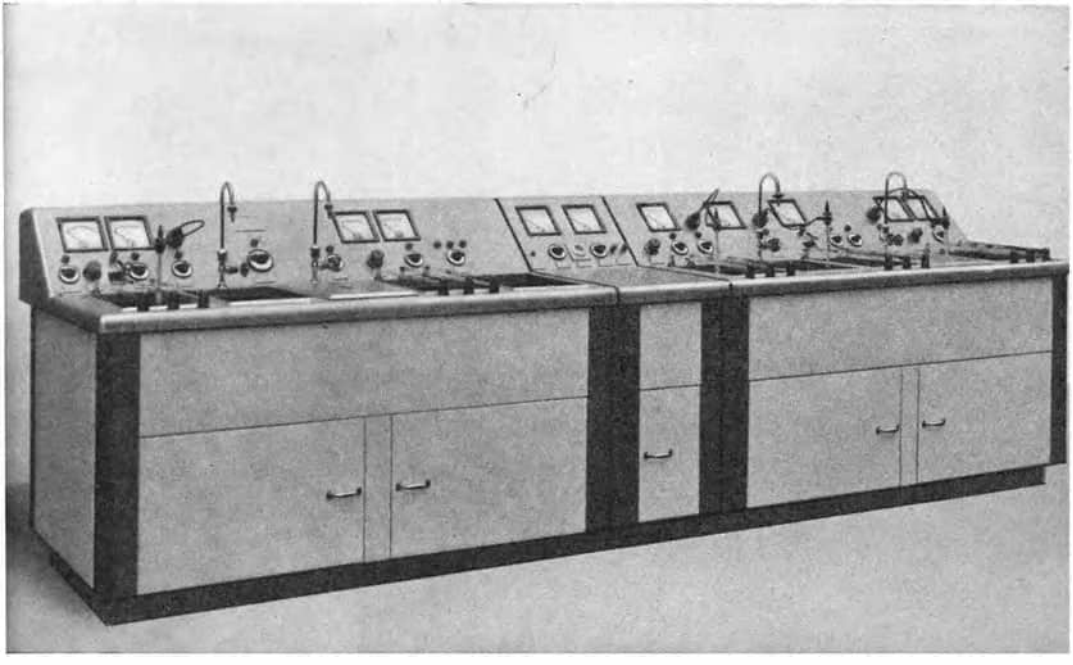


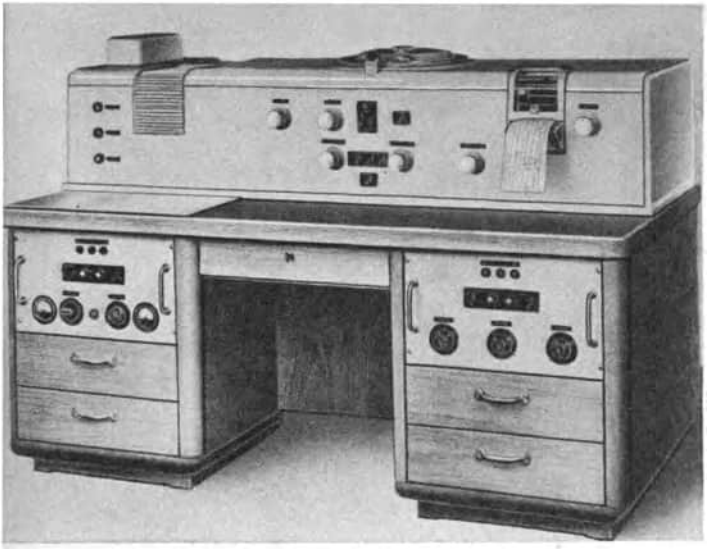


Vollautomatische Trommelstraße für das Brünieren von Kleinteilen

Galvanotechnik

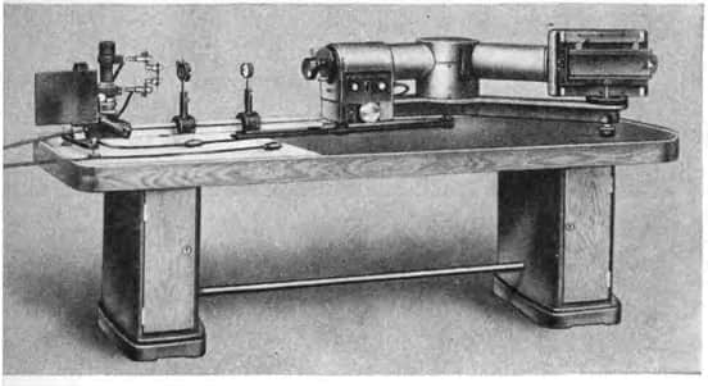
Laboranlage für galvanische Überzüge





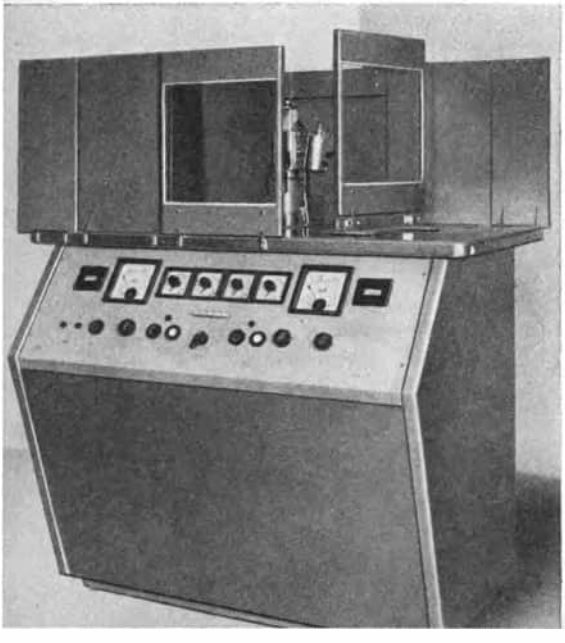
Spektralphotometer

Vollautomatisches Ultrarot-Spektralphotometer UR 10 zur chemischen Konstitutionsaufklärung, zur Beobachtung von Polymerisationsvorgängen, qualitativen und quantitativen Analysen gasförmiger, flüssiger und fester Substanzen



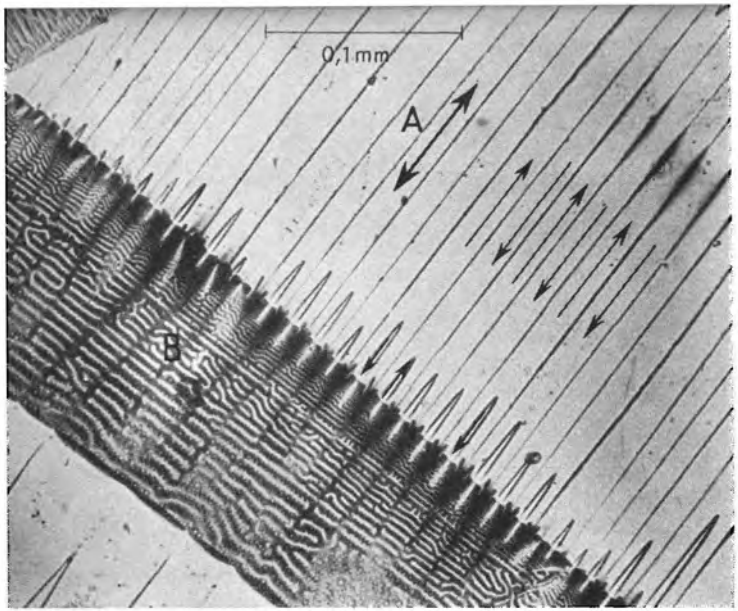
Spektrograph

UV-Spektrograph A 24 für Emissions-Spektralanalyse in metallurgischen Industrie- und Forschungslaboratorien; gestattet die photographische Auswertung des gesamten entworfenen Spektrums

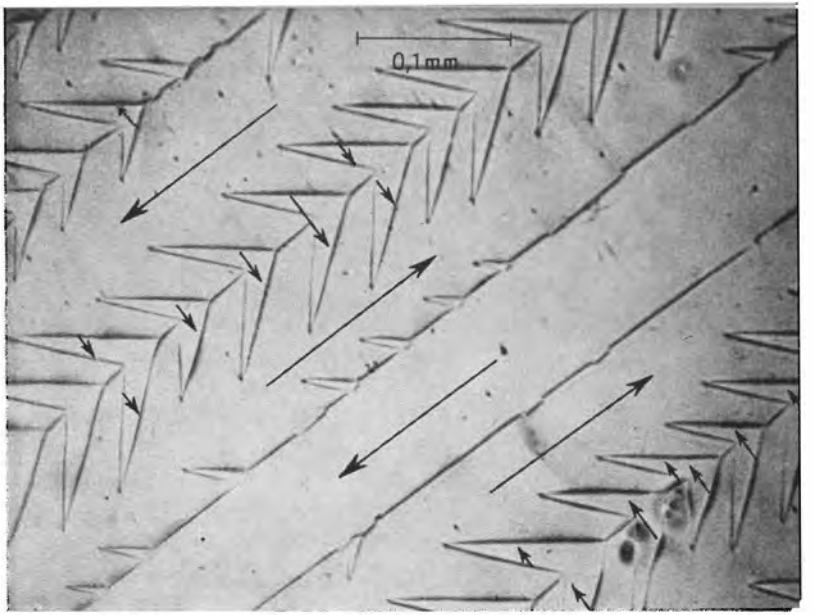


Gleichspannungs-Röntgengerät

Gleichspannungs-Röntgengerät für Feinstrukturuntersuchungen „Tu R" M 61 mit aufgesetzten Strahlenschutzteilen und Justierschutz



Grobkristallines Kobalt. Bei dem Kristallit A liegt die (hexagonale) Kristallachse (⟷) in der Oberfläche; die Weißschen Bezirke sind parallele Streifen in Richtung der Kristallachse; benachbarte Streifen sind entgegengesetzt magnetisiert. Beim Kristallit B steht die Kristallachse und die Richtung der Magnetisierung senkrecht zur Oberfläche; es tritt eine komplizierte Mäanderstruktur auf

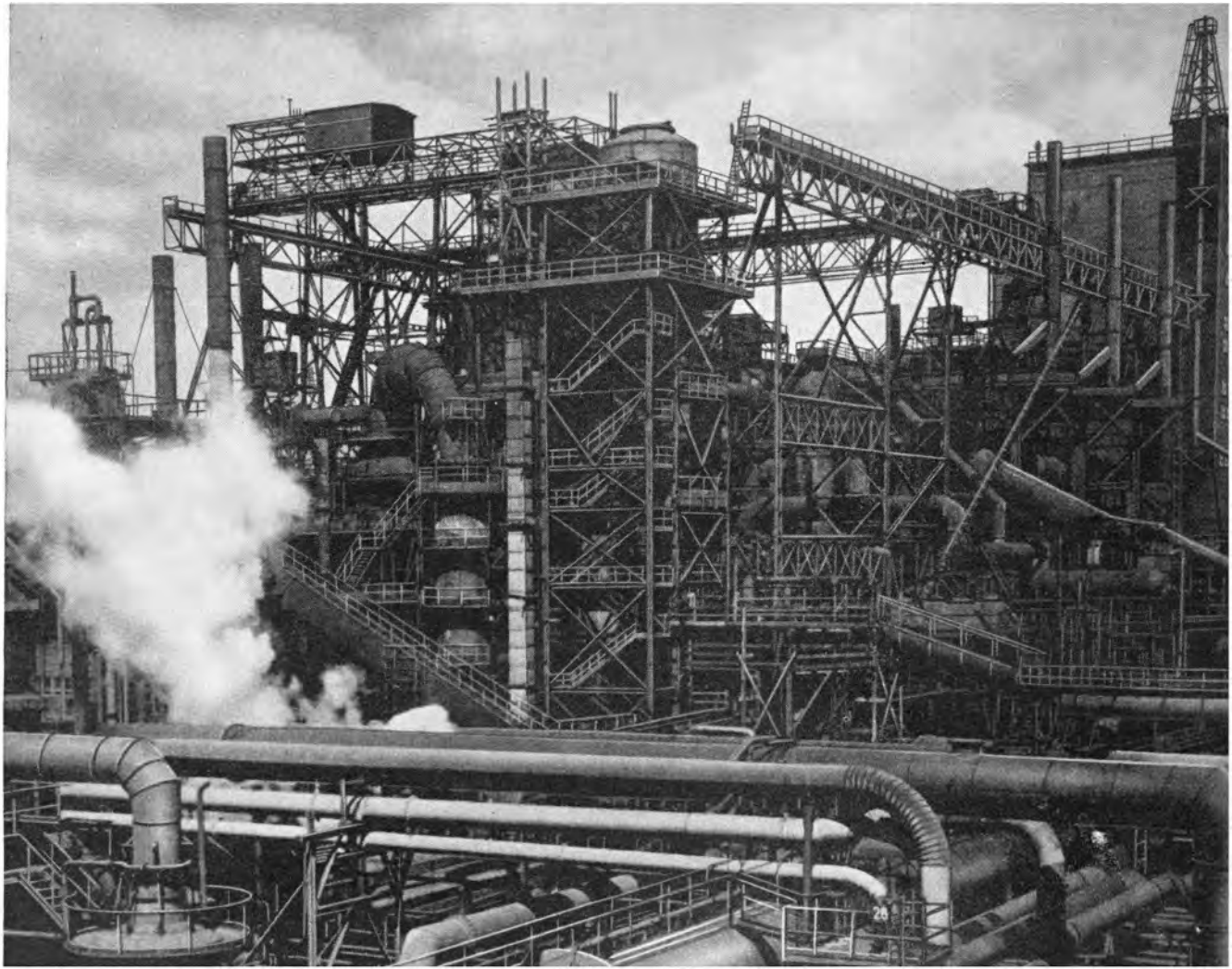


Einkristall aus siliziumhaltigem Eisen (Transformatoreisen). In die streifenförmigen Weißschen Bezirke mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung der Magnetisierung sind kleinere pfeilförmige Bezirke eingestreut, in denen die Richtung der Magnetisierung senkrecht zur Hauptrichtung orientiert ist (Tannenbaumstruktur)

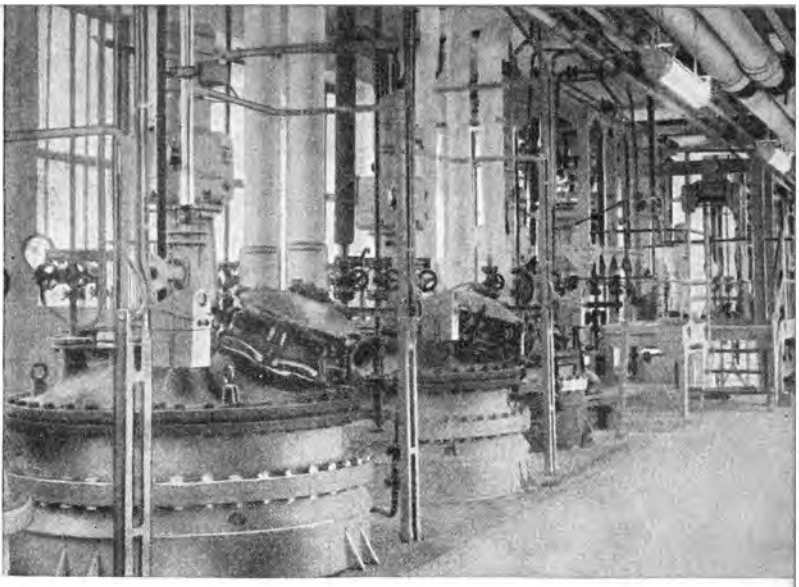
Weißsche Bezirke in ferromagnetischen Stoffen

Mikroskopische Aufnahmen von Pulvermustern oder Bitterschen Streifen auf Oberflächen ferromagnetischer Metalle. Pulvermuster werden hergestellt, indem eine Dispersion von feinem Magnetitpulver in Seifenlösung auf gut polierte Metallflächen aufgebracht wird. Die ferromagnetischen Magnetitteilchen sammeln sich an den Grenzen der Weißschen Bezirke, weil von diesen Stellen lokale Magnetfelder ausgehen, in die die Teilchen hineingezogen werden. Dadurch werden die Weißschen Bezirke sichtbar

Generatorgaserzeugung

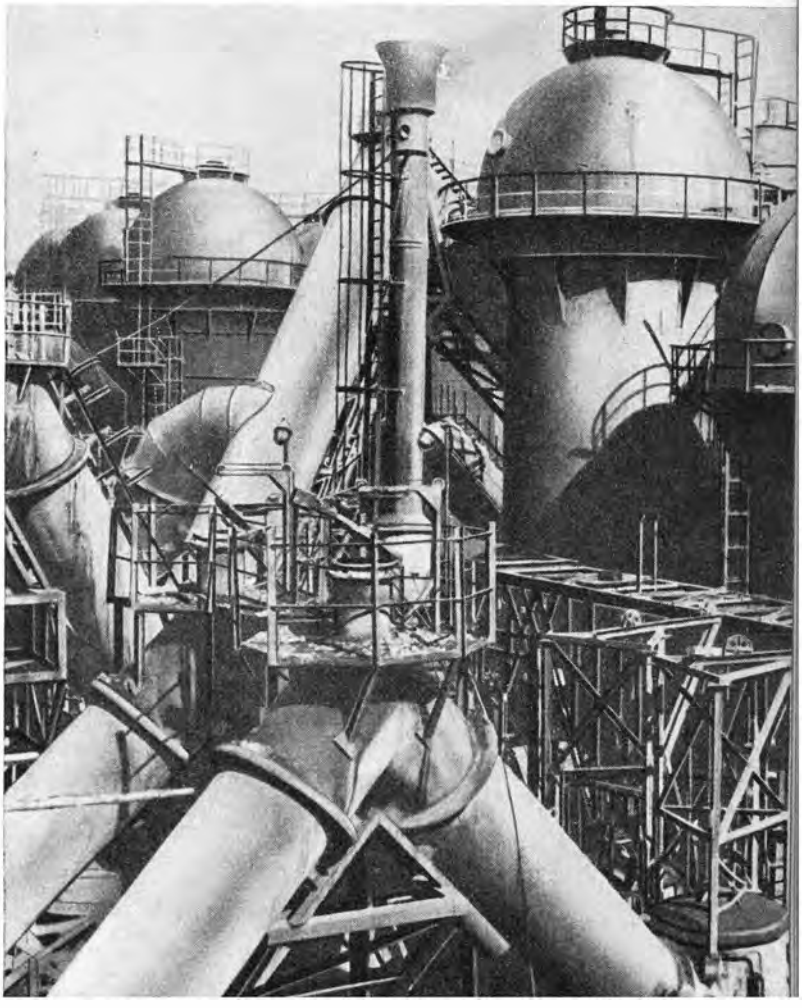


Winkler-Generatoren für die Generatorgaserzeugung aus Braunkohle; zur Beheizung z. B. von Industrieöfen verwendet



Autoklaven (verschließbare Hochdruckgefäße) in einem pharmazeutischen Betrieb

Chemieindustrie I



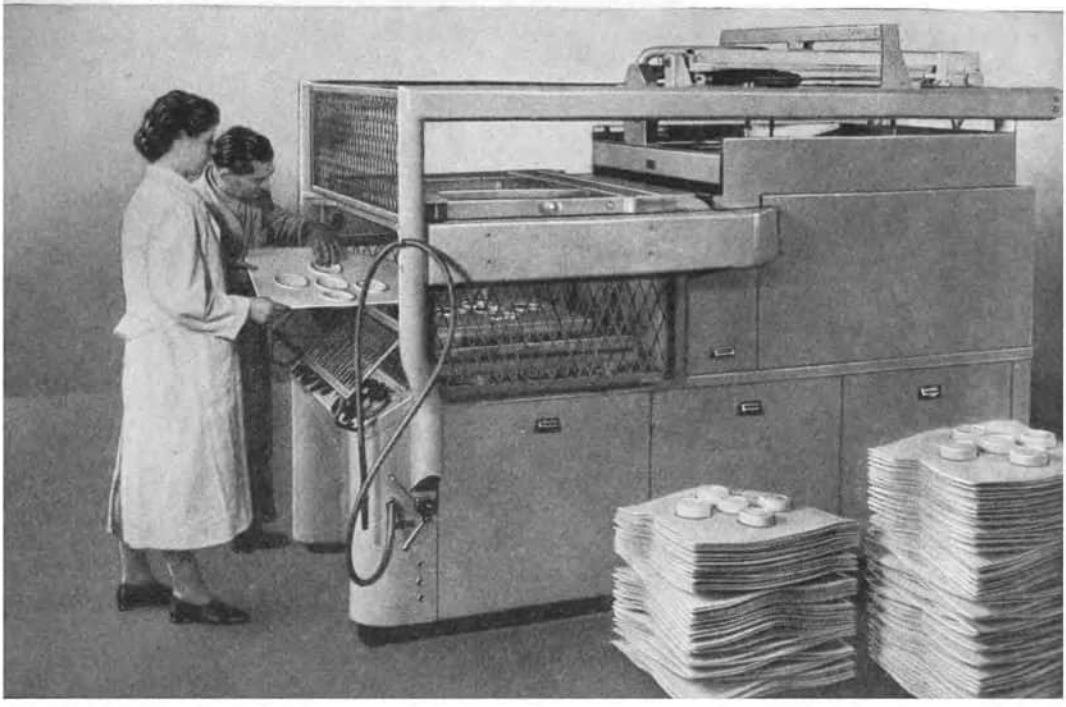
Winderhitzer und Gichtgasrohrleitungen im ersten Niederschachtofenwerk der Deutschen Demokratischen Republik

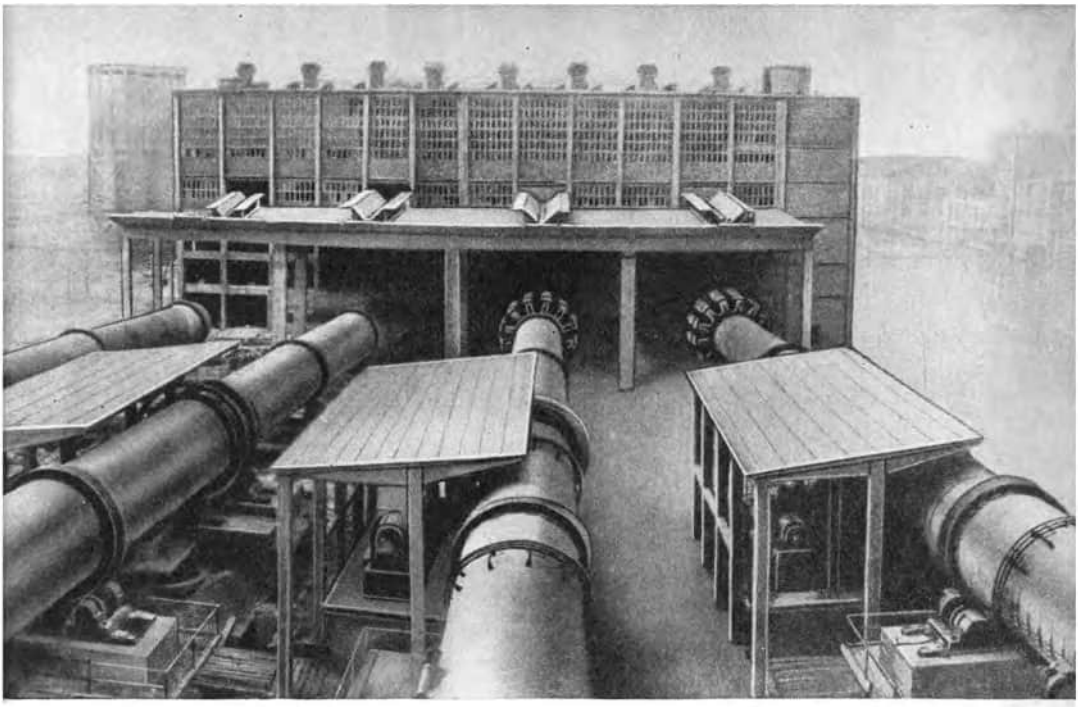


Aufwickelmaschine für DEDERON-Fasern; oben links die Viskoserohre zur Herstellung der Fasern

Chemieindustrie II

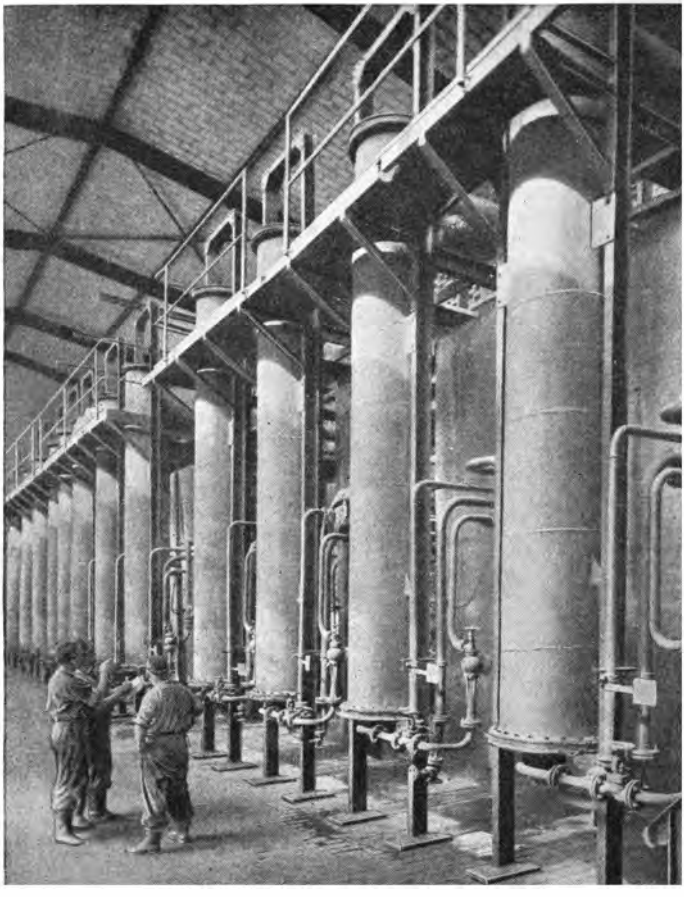
Vakuumtiefziehmaschine für Plaste



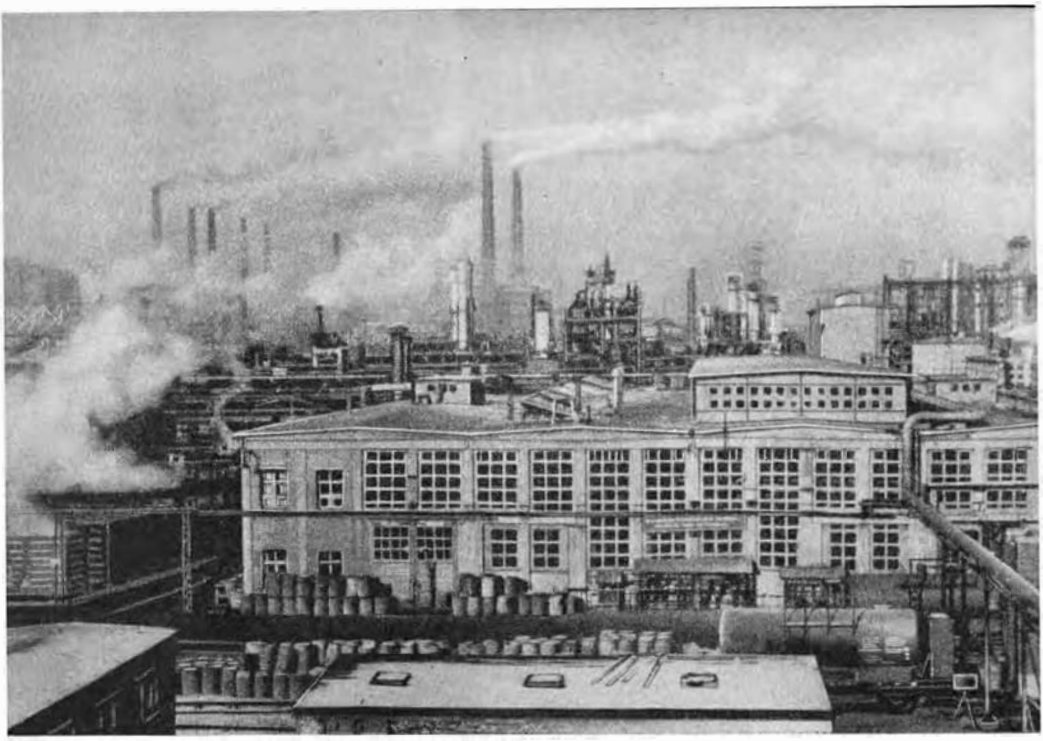


Das größte Gipsschwefelsäurewerk der Welt in Coswig; im Vordergrund Drehöfen (die beiden linken sind noch nicht in Betrieb)

Chemieindustrie III



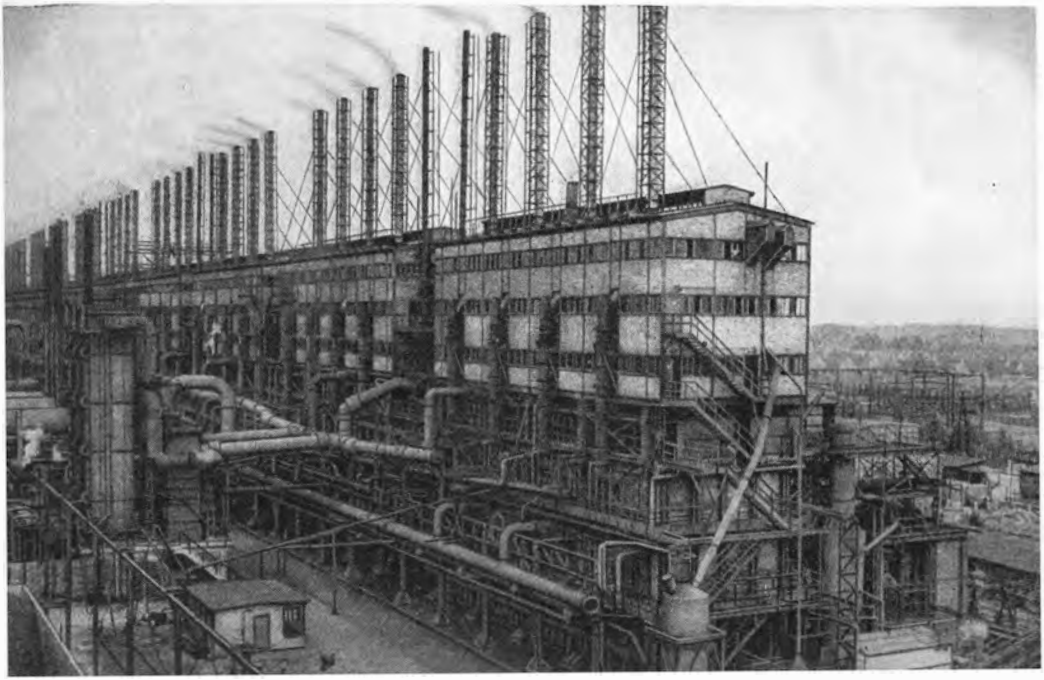
Reaktionsöfen zur Salzsäuregewinnung

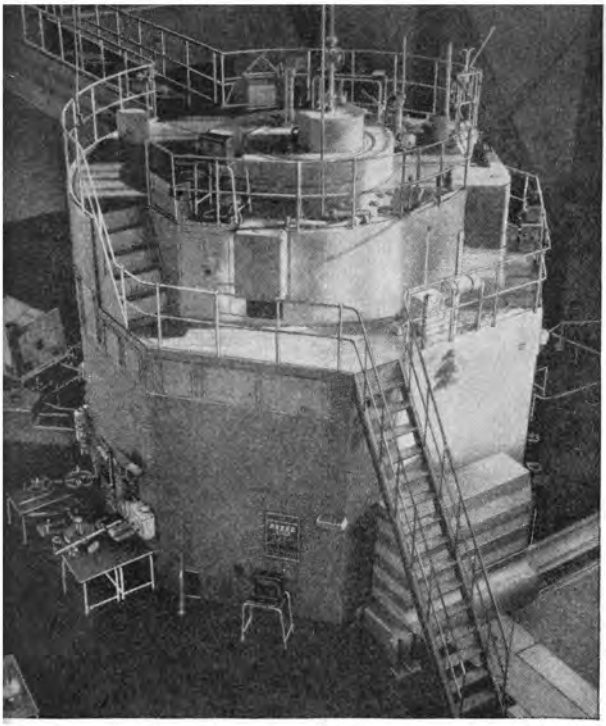


Leunawerke „Walter Ulbricht", größter Chemiebetrieb der Deutschen Demokratischen Republik

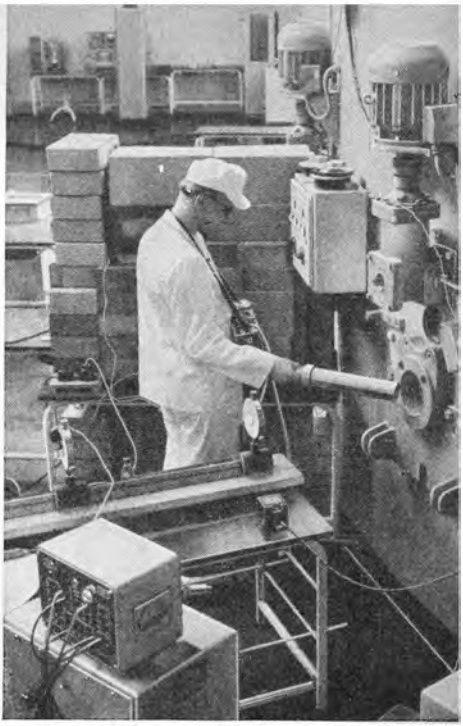
Chemieindustrie IV

Ofenanlage zur Verkokung von Braunkohle





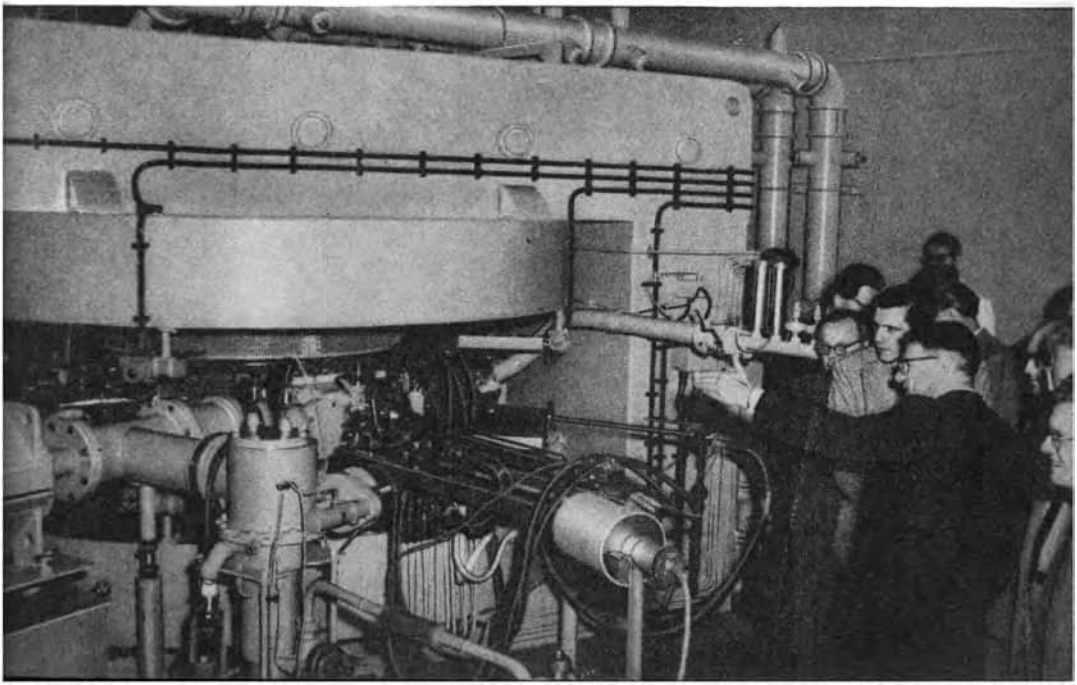
Der erste Kernreaktor der DDR in Rossendorf bei Dresden; die Inbetriebnahme erfolgte am 16. 12. 1957



Der Dosimetrist kontrolliert den Neutronenaustritt an einem Experimentierkanal

Atomenergie

Das erste Zyklotron der DDR im Zentralinstitut für Kernphysik in Rossendorf bei Dresden. Prof. Schintlmeister erklärt am Tage der Übernahme (1. 8. 1958) die Arbeitsweise des Gerätes



INHALTSÜBERSICHT

I. *Orientierung an der Sphäre und im Raum* ... 376
Sphärische Koordinatensysteme der Astronomie ... 376
Entfernungsmessungen und Maßeinheiten ... 380

II. *Sonne* ... 381
Wichtige Konstanten ... 381
Erscheinungen auf der Sonne ... 382

III. *Mond* ... 383
Größenverhältnisse, Entfernung, Umlaufszeiten, Helligkeit, Temperatur ... 383
Finsternisse ... 385

IV. *Planetensystem* ... 386
Größenverhältnisse und Entfernungen im Sonnensystem ... 386
Keplersche Gesetze ... 387
Newtonsches Gravitationsgesetz ... 387
Bahnelemente der neun großen Planeten ... 388
Weitere charakteristische Größen 390
Leben auf anderen Planeten ... 391
Monde der übrigen Planeten ... 392
System der Kleinen Planeten (Asteroiden, Planetoiden) ... 393
Kometen, Meteoriten und Meteore 394

V. *Unser Sternsystem* ... 396
Sternbilder ... 396
Fixsternhimmel ... 397
Statistik ... 398
Bewegungsverhältnisse ... 402
Sternanhäufungen ... 403
Interstellare Materie ... 405
Aufbau des Milchstraßensystems .. 407

VI. *Physik der Sterne* ... 408
Zustandsgrößen der Sterne ... 408
Veränderliche und Neue Sterne ... 411
Energieerzeugung und innerer Aufbau der Sterne ... 413
Sternentstehung und Sternentwicklung ... 414

VII. *Extragalaktische Nebel* ... 415
Zustandsgrößen ... 415
Lokales System ... 415
Einige Sternsysteme ... 416
Universum ... 417

VIII. *Sternwarten und Planetarien* ... 418
Bedeutende europäische Sternwarten 418
Bedeutende außereuropäische Sternwarten ... 420
Planetarien ... 421

IX. *Ergebnisse der Weltraumforschung mit Höhenraketen und Raumflugkörpern* 421

X. *Wichtige Jahreszahlen* ... 423

I. Orientierung an der Sphäre und im Raum

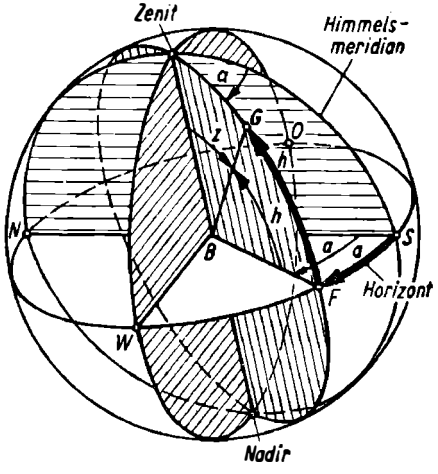
Ähnlich, wie man die Lage eines Ortes auf der Erdkugel durch seine geographische Breite und Länge festlegt, kann auch der Ort eines Gestirns an der Himmelskugel durch sphärische Koordinaten bestimmt werden. Ein solches Koordinatensystem ist gegeben durch den *Ursprung*, die *Grundebene*, die die Sphäre im Grundkreis schneidet, und durch die *Pole* dieses Grundkreises. Die Richtung zu den Polen steht senkrecht auf dem Grundkreis. Der Ursprung wechselte, war erst der Beobachtungsort, dann das Erdzentrum, der Schwerpunkt Erde—Mond, die Sonne und schließlich das Zentrum des Milchstraßensystems.

SPHÄRISCHE KOORDINATENSYSTEME DER ASTRONOMIE

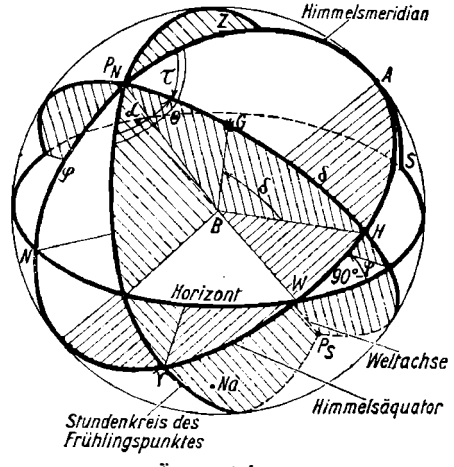
System	Grundkreis (*a*) und Pole (*b*)	Koordinaten	Ausgang und Richtung der Zählung
Horizontalsystem	(*a*) Horizont	(*a*) Azimut *a*	(*a*) vom Südpunkt über Westen, Norden, Osten; 360°
	(*b*) Zenit und Nadir	(*b*) Höhe *h*	(*b*) vom Horizont zum Zenit (positiv), vom Horizont zum Nadir (negativ); je 90°
		(*c*) Zenitdistanz *z*	(*c*) vom Zenit zum Nadir; 180°

System	Grundkreis (*a*) und Pole (*b*)	Koordinaten	Ausgang und Richtung der Zählung
Äquatorialsystem	(*a*) Äquator	(a_1) Stundenwinkel τ	(a_1) vom Meridian im Sinne der täglichen Drehung; 24 h bzw. 360°
		(a_2) Rektaszension α	(a_2) vom Frühlingspunkt entgegen der täglichen Drehung; 24 h bzw. 360°
	(*b*) Nord- und Südpol des Äquators	(*b*) Deklination δ	(*b*) vom Äquator zum Himmelsnordpol (positiv) bzw. -südpol (negativ); je 90°
Ekliptikalsystem	(*a*) Ekliptik	(*a*) ekliptikale Länge λ	(*a*) vom Frühlingspunkt über den Sommerpunkt; 360°
	(*b*) Nord- und Südpol der Ekliptik	(*b*) ekliptikale Breite β	(*b*) von der Ekliptik zu den Polen, positiv und negativ; je 90°
galaktisches System	(*a*) galaktischer Äquator	(*a*) galaktische Länge l	(*a*) vom Schnittpunkt der Galaxis mit dem Himmelsäquator (im Adler) über Kassiopeia; 360°
	(*b*) Nord- und Südpol der Galaxis	(*b*) galaktische Breite b	(*b*) vom galaktischen Äquator zu den galaktischen Polen, positiv und negativ; je 90°

Das Horizontalsystem. Das Horizontalsystem ist das natürliche Koordinatensystem, in dem die genauesten Messungen (mit Universal, Theodolit, Meridiankreis) der sphärischen Koordinaten ausgeführt werden können. (Abb.) Der Beobachter *B* befindet sich im Mittelpunkt der Sphäre. Die Senkrechte *BZ* zum Zenit *Z* bzw. zum Nadir *Nd* kann durch ein Lot, die Horizontalebene durch die Oberfläche einer offenen Flüssigkeit bzw. durch eine Wasserwaage oder Libelle dargestellt werden. Jede durch die Vertikale *ZBNd* gelegte Ebene schneidet die Sphäre in einem Großkreis, der senkrecht zum Horizont verläuft und *Vertikal* genannt wird. Die vier Haupthimmelsrichtungen Süd *S*, West *W*, Nord *N*, Ost *O* werden durch die tägliche Drehung der Gestirne (Erdrotation) bestimmt. Der durch *S* und *N* führende Vertikalkreis verläuft gleichfalls durch *Z* und *Nd* und heißt *Himmelsmeridian*; in ihm stehen die Gestirne in extremer Lage zum Horizont, sie *kulminieren* in ihm. Seine Ebene ist identisch mit der Ebene des geographischen Meridians des Beobachtungsortes. Der durch die Punkte *WNdOZ* verlaufende Vertikalkreis heißt *Erster Vertikal*.



Horizontalsystem

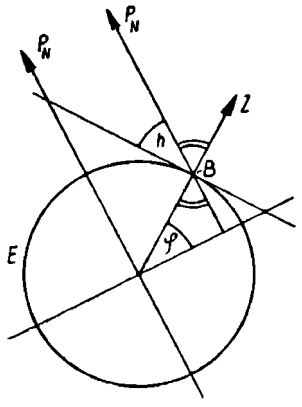


Äquatorialsystem

Zur Festlegung der Koordinaten eines Gestirns *G* zieht man den Halbkreis *ZGFNd*, der im Punkte *F* senkrecht auf dem Horizont steht, und verbindet das Gestirn mit dem Beobachter. Die Koordinaten *Azimut a* und *Höhe h* sind als $\sphericalangle SBF = a$ und $\sphericalangle FBG = h$ im Punkt *B* meßbar und treten an

der Sphäre als Bögen $\widehat{SF} = a$ und $\widehat{FG} = h$ auf. Das Azimut ist außerdem noch als $\sphericalangle SZF = a$ am Zenit vertreten. Für viele Aufgaben ist es praktischer, an Stelle der Höhe h die Zenitdistanz $z = 90° - h$ zu verwenden.

Die Koordinaten eines Gestirns im Horizontalsystem ändern sich ungleichförmig mit der Zeit und sind deshalb als charakteristische Kennzeichen der Gestirne nicht geeignet.

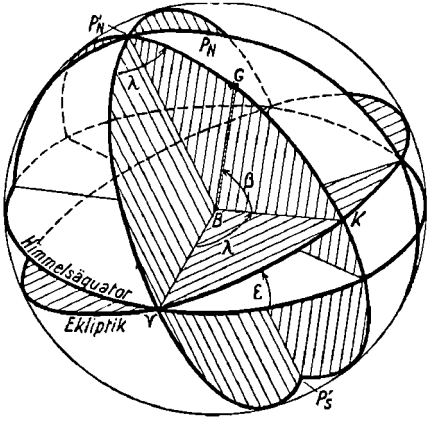


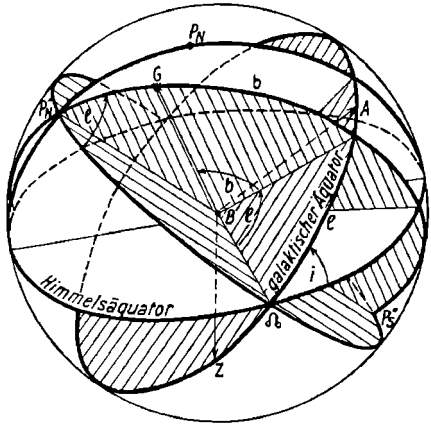
Lage des Beobachtungspunktes B auf der Erde E; Z Zenit, P_N Nordpol; die Polhöhe h ist der geographischen Breite φ gleich

Das Äquatorialsystem. Die Ebene des durch die Erdrotation definierten Äquators schneidet die Sphäre im Himmelsäquator (Abb.). Die Verlängerung der senkrecht auf der Äquatorebene stehenden Rotationsachse der Erde trifft den Sternhimmel im *Nord-* und *Südpol* (P_N, P_S). Die Drehachse der Sphäre $P_N P_S$ heißt *Weltachse.* Ihre Neigung gegen die Horizontalebene ist gleich der geographischen Breite φ des Beobachtungsortes, wie man an der Abbildung abliest, die an einem Schnitt durch die Erde die Beziehung zwischen dem Horizontal- und dem Äquatorialsystem zeigt. Alle Gestirne, deren Eigenbewegung sehr klein ist, beschreiben Tagesbahnen, die parallel zum Himmelsäquator verlaufen. Ihr Winkelabstand vom Äquator ändert sich also nicht und ist daher als eine zeitunabhängige Koordinate zu verwenden. Man bezeichnet sie als *Deklination* mit dem Buchstaben δ und hat $\sphericalangle HBG = \delta$. Dem Winkel δ entspricht auf dem *Stundenkreis* $P_N GH$ des Gestirns der Bogen $\widehat{HG}$. Das Äquatorialsystem erhält man aus dem Horizontalsystem durch Kippen um die West-Ost-Achse *WBO.* Der Kippwinkel beträgt $90° - \varphi$.

Der Winkel zwischen der Ebene des Himmelsmeridians und der Ebene des Stundenkreises des Gestirns heißt sein *Stundenwinkel* τ. Für den Beobachter entspricht dem Winkel ABH an der Sphäre der Bogen $\widehat{AH}$. Außerdem zeigt sich der Stundenwinkel τ auch am Himmelspol. Infolge der Erdrotation wächst der Stundenwinkel proportional der Zeit. Er kann sowohl im Winkel- (von 0° bis 360°) als auch im Zeitmaß (von 0 h bis 24 h) ausgedrückt werden.

Um dem Gestirn G im Äquatorialsystem auch eine zeitunabhängige Längenkoordinate zu geben, bezieht man seine Lage auf den an der täglichen Umdrehung teilnehmenden *Frühlingspunkt* Υ. Der Winkel zwischen dem Frühlingspunkt und dem Fußpunkt des Gestirns auf dem Äquator, $\sphericalangle \Upsilon BH$, ist die *Rektaszension* α, entsprechend dem Äquatorbogen $\widehat{\Upsilon H}$ oder dem Winkel am Pol $\sphericalangle \Upsilon P_N G = \alpha$. Die Rektaszension wird entgegen der täglichen Drehung der Gestirne gezählt und kann wie der Stundenwinkel im Winkel- und Zeitmaß angegeben werden. Die Summe der beiden Längenkoordinaten eines Gestirns ist der Stundenwinkel des Frühlingspunktes τ_Υ und wird, im Zeitmaß





links: Ekliptikalsystem; ε Schiefe der Ekliptik, P'_N bzw. P'_S Nord- bzw. Südpol der Ekliptik, P_N bzw. P_S Nord- bzw. Südpol des Äquators

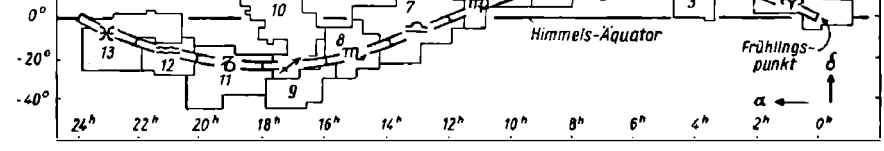
rechts: Galaktisches System; P_N bzw. P_S Nord- bzw. Südpol des Äquators, P^*_N bzw. P^*_S Nord- bzw. Südpol der Galaxis

ausgedrückt, als Sternzeit Θ bezeichnet; $\Theta = \alpha + \tau$. So hat das Äquatorialsystem eine doppelte Aufgabe: es dient als Grundlage für die *Zeitbestimmung* (τ, Θ) und liefert zugleich das *Fundamentalkoordinatensystem* der Astronomie (α, δ). Die einmal bestimmten Fundamentalkoordinaten der Fixsterne sind aus verschiedenen Gründen, wenn auch nur langsam, veränderlich.

Das Ekliptikalsystem. Zur Darstellung der Eigenbewegungen von Sonne, Mond, Planeten und Kometen wird das Ekliptikalsystem eingeführt. (Abb.) Hier ist die Ekliptik Grundkreis. Der Nordpol der Ekliptik liegt im Sternbild *Drachen*, der Südpol im Sternbild *Schwertfisch* (*Dorado*). Ein durch die Pole der Ekliptik verlaufender, senkrecht auf der Ekliptik stehender Großkreis heißt *Kolur*. Die beiden Koordinaten sind die *ekliptikale Länge* λ und *Breite* β. Man findet die ekliptikale Länge im Beobachtungsort als $\sphericalangle \Upsilon BK = \lambda$ entsprechend dem Bogen der Ekliptik $\overset{\frown}{\Upsilon K}$ und auch als Winkel am Pol der Ekliptik $\sphericalangle \Upsilon P'_N G$. Die ekliptikale Breite ist der Winkel $KBG = \beta$ oder an der Sphäre der Bogen $\overset{\frown}{KG}$.

Das galaktische System. Für Untersuchungen der Stellarastronomie ist das galaktische System eingeführt worden. Der Grundkreis ist hier der *galaktische Äquator*, in dem sich die mittlere Ebene des Milchstraßensystems mit der Sternsphäre schneidet (Abb.). Die Koordinaten sind die *galaktische Länge l* und *Breite b*. Die galaktische Länge wird von demjenigen Schnittpunkt zwischen Galaxis und Himmelsäquator aus gezählt, in dem die Galaxis mit wachsender Rektaszension nach Norden aufsteigt. Dieser *aufsteigende Knoten* ☊ liegt bei $\alpha_{\Omega} = 282°{,}25$ im Sternbild *Adler*, die Neigung beträgt $i = 62°{,}6$. Vom Beobachter aus liegt in Richtung auf den Punkt Z das *galaktische Zentrum*; auf den Punkt A, den *Apex*, zu bewegt sich die Sonne in ihrem Umlauf um das Zentrum. Der galaktische Nordpol P^g_N liegt im Sternbild *Haar der Berenike* (*Coma*), der Südpol P^g_S im Sternbild *Bildhauer* (*Sculptor*).

Der Tierkreis. Die Sonne bewegt sich scheinbar auf dem Tierkreis oder der Ekliptik, die den Himmelsäquator in zwei Punkten (Frühlings- und Herbstpunkt) schneidet. Seit alten Zeiten hat man die Ekliptik vom *Frühlingspunkt* ab in 12 Teile zu je 30° eingeteilt, die *Tierkreiszeichen* genannt

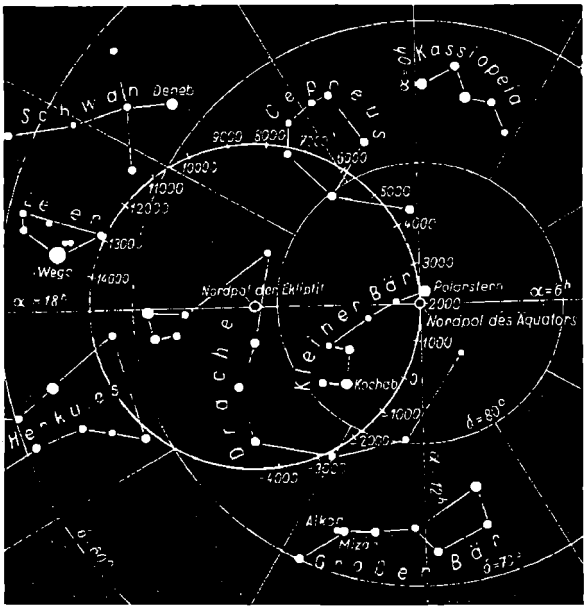


Scheinbare Sonnenbahn durch die Sternbilder und Tierkreiszeichen während eines Jahres; *α Rektaszension, δ Deklination. Die Sternbilder sind durch ihre Umgrenzungslinien gegeben; sie sind: 1 Fische, 2 Widder, 3 Stier, 4 Zwillinge, 5 Krebs, 6 Löwe, 7 Jungfrau, 8 Waage, 9 Skorpion, 10 Schlangenträger (Ophiuchus), 11 Schütze, 12 Steinbock, 13 Wassermann; die Tierkreiszeichen bedeuten (mit den Rektaszensionswerten):* ♈ *Widder* ($0^h \cdots 2^h$), ♉ *Stier* ($2^h \cdots 4^h$), ♊ *Zwillinge* ($4^h \cdots 6^h$), ♋ *Krebs* ($6^h \cdots 8^h$), ♌ *Löwe* ($8^h \cdots 10^h$), ♍ *Jungfrau* ($10^h \cdots 12^h$), ♎ *Waage* ($12^h \cdots 14^h$), ♏ *Skorpion* ($14^h \cdots 16^h$), ♐ *Schütze* ($16^h \cdots 18^h$), ♑ *Steinbock* ($18^h \cdots 20^h$), ♒ *Wassermann* ($20^h \cdots 22^h$), ♓ *Fische* ($22^h \cdots 24^h$). *Die Sonnenbahn ist dargestellt als sinusförmige Linie, die den Himmelsäquator für die Rektaszensionswerte* 0^h, 12^h *und* 24^h *schneidet. Bei Frühlingsbeginn, am 21. März* (0^h), *tritt die Sonne beim Überschreiten des Himmelsäquators nach alter Zählung* (*s. Präzession des Frühlingspunktes*) *in das Zeichen des Widders im Sternbild Fische. Am 21. Juni erreicht sie das Zeichen des Krebses* (6^h; *Sternbild Zwillinge*) *und damit den größten nördlichen Abstand vom Äquator. Am 23. September* (12^h) *schneidet ihre Bahn wieder den Äquator, und sie tritt in das Zeichen der Waage* (*Sternbild Jungfrau*). *Am 21. Dezember* (18^h) *tritt sie in das Zeichen des Steinbocks* (*Sternbild Schütze*) *und erreicht ihren größten südlichen Abstand vom Äquator. Danach wendet sie sich wieder dem Äquator zu, den sie am 21. März erreicht. Damit ist ein Jahr von Frühlingsbeginn zu Frühlingsbeginn geschlossen*

werden und die Namen der damals mit ihnen zusammenfallenden Sternbilder tragen. Infolge der rückläufigen Bewegung des Frühlingspunktes, der Präzession, stimmen die Tierkreiszeichen heute nicht mehr mit den entsprechenden Sternbildern überein.

Tierkreiszeichen

Widder	♈	Krebs	♋	Waage	♎	Steinbock	♑
Stier	♉	Löwe	♌	Skorpion	♏	Wassermann	♒
Zwillinge	♊	Jungfrau	♍	Schütze	♐	Fische	♓



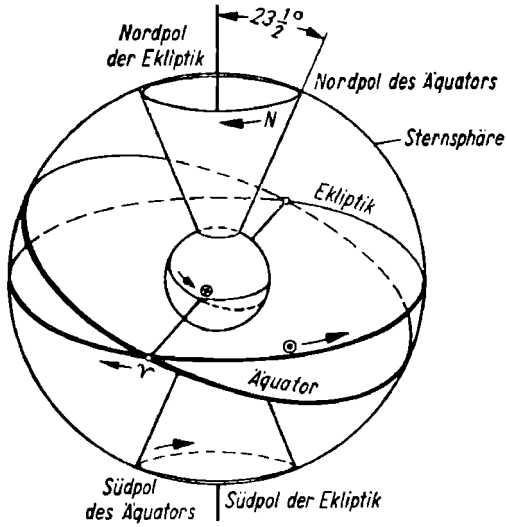
Wanderung des Nordpols des Äquators von 4000 v. u. Z. bis 14000 u. Z. am Sternhimmel

Präzession des Frühlingspunktes. Der *Frühlingspunkt* wandert jährlich 50″,3 auf dem Tierkreise westwärts. Das ergibt in 72 Jahren etwa 1°, in 2100 Jahren etwa 30° und in etwa 26000 Jahren 360°. Das heißt: alle 2100 Jahre gelangt der Frühlingspunkt in ein neues Sternbild des Tierkreises und hat in 26000 Jahren alle Sternbilder des Tierkreises durchlaufen. Da man aber die Zeichen des Tierkreises, wie zu Zeiten des Ptolemäus mit dem Widder beginnend, vom Frühlingspunkt zählt, so sind die Zeichen nicht mehr gleichlautend mit den Sternbildern, nach denen sie ursprünglich genannt waren. Der Frühlingspunkt befindet sich seit langem im Sternbild der Fische und wird bald das des Wassermanns erreicht haben.

Diese Bewegung des Frühlingspunktes bezeichnet man als *Präzession* (lat. *praecedere*, vorrücken) und den Zeitraum von 26000 Jahren als *Platonisches* oder *Großes Jahr*. Da die Sternörter sich auf Frühlingspunkt und Himmelsäquator beziehen, erleiden sie eine langsame, aber fortgesetzte Veränderung. Deshalb ist auf allen Sternkarten angegeben, auf welchen Zeitpunkt (Äquinoktium) sich die Ortsangaben beziehen. Infolge der Präzession wandert der *Himmelspol*, die verlängerte Erdachse, in einer Entfernung von $23^1/_2°$ um den Pol der Ekliptik; er befindet sich zur Zeit in der Nähe des Sternes α im Kleinen Bären, der jetzt Polarstern ist. Er wird diesem in Zukunft noch näher rücken und sich dann wieder von ihm entfernen. Nach 6000 Jahren wird α Cephei und nach 12000 Jahren die helle Wega Polarstern sein.

Der Tierkreis schneidet den Himmelsäquator in einem Winkel von ungefähr $23^1/_2°$. Diesen Winkel bezeichnet man als *Schiefe der Ekliptik*. Sie ist keine konstante Größe, sondern langsam veränderlich. Sie betrug

1900: 23° 27′ 8″,26
1950: 23° 26′ 44″,83



Wanderung der Pole des Äquators an der Sternsphäre als Folge der Präzession des Kreisels Erde; → ⊗ Rotationsbewegung der Erde, ⊙ → scheinbare Jahresbewegung der Sonne, ♈ Frühlingspunkt

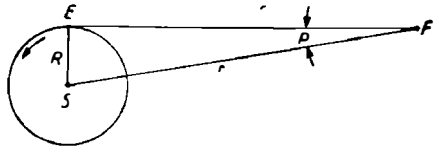
ENTFERNUNGSMESSUNGEN UND MAßEINHEITEN

Zur Bestimmung der Lage eines Körpers im Raum kommt zu den zwei sphärischen Koordinaten als dritte Koordinate die *Entfernung r*. Es gibt eine große Anzahl von Methoden der Entfernungsbestimmung.

Die trigonometrische Methode. Die Grundlage aller astronomischen Entfernungsmessungen ist die trigonometrische Methode (Abb.). Durch Winkelmessung wird im Dreieck *FES* die *Parallaxe p* und damit das Größenverhältnis der Seiten *R* und *r* bestimmt. Bei der Messung der Sonnenentfernung (*astronomische Einheit* AE) ist die Basis *R* der Erdhalbmesser, *S* der Mittel-

punkt, E ein Punkt auf der Oberfläche der Erde, F die Sonne und r ihr Abstand von der Erde; bei der Messung der Entfernung von Sternen dient der Erdbahnhalbmesser als Basis R, S ist die Sonne, E die Erde, F ein Fixstern und r seine Entfernung von der Sonne.

Die Kurzwellenmethode. Wird ein Radarsignal von einem Körper reflektiert, so kann aus der Laufzeit die Entfernung des Körpers sehr genau bestimmt werden. Derartige Methoden werden für die Entfernungsbestimmungen im Planetensystem in Zukunft eine große Rolle spielen.



Zur Methode der trigonometrischen Entfernungsbestimmung

Die photometrischen Methoden. Mit der bekannten *absoluten Helligkeit* M eines Gestirns kann aus der gemessenen *scheinbaren Helligkeit* m die Entfernung r berechnet werden. Kernstück der photometrischen Methoden ist, die absolute Helligkeit M zu gewinnen. Bei den δ-Cephei-Veränderlichen hängt die Helligkeit M von der Periode des Lichtwechsels ab, kann also mit Hilfe der *Perioden-Helligkeits-Beziehung* bestimmt werden. Unter scheinbarer Helligkeit ist die mit Hilfe photometrischer Methoden meßbare Helligkeit gemeint, in der uns das Gestirn erscheint. Sie hängt ab von seiner Leuchtkraft und seiner Entfernung. Um die Sterne ihrer Leuchtkraft nach vergleichen zu können, bringt man sie rechnerisch in die gleiche Entfernung von 10 Parsek (pc). Die Helligkeit, mit der ein Gestirn im Abstand 10 pc erscheinen würde, heißt seine absolute Helligkeit M.

Entfernungseinheiten. Die Grundeinheit der Entfernungsmessungen ist das Meter, m, bzw. die von ihm abgeleiteten Längenmaße Kilometer, km, und Zentimeter, cm. In der Himmelsmechanik wird die große Halbachse der Erdbahnellipse als *astronomische Einheit* verwendet; 1 AE = $1{,}496 \cdot 10^{13}$ cm oder 149600000 km. Auf der AE baut sich über die trigonometrische Entfernungsbestimmung die Parallaxensekunde, pc, auf; das ist die Entfernung, aus der die astronomische Einheit AE unter einem Winkel von einer Bogensekunde, 1'', erscheint. Es ist 1 pc = $2{,}063 \cdot 10^5$ AE = $3{,}086 \cdot 10^{18}$ cm oder 30860000000000 km. Im *interstellaren Raum* rechnet man mit Kiloparsek (kpc; 1 kpc = 1000 pc), im *intergalaktischen Raum* mit Megaparsek (Mpc; 1 Mpc = 1000000 pc). In der Berechnung unbequem und daher kaum noch gebräuchlich ist die Entfernungsangabe durch die Zeit, die der Lichtstrahl zum Durchlaufen der Strecken braucht. 1 Lichtsekunde = 300000 km; 1 Lichtjahr = 9,46 Bill. km = 0,307 pc.

II. Sonne

WICHTIGE KONSTANTEN

Mechanisch-dynamische Größen. Aus der *Masse* $\mathfrak{M}_\odot = 1{,}99 \cdot 10^{33}$ g = $1{,}99 \cdot 10^{27}$ t = 746 · Masse aller Planeten = 333000 · Masse der Erde und dem *Radius* $R_\odot = 6{,}96 \cdot 10^{10}$ cm = 696000 km findet man die *mittlere Dichte* $\bar{\varrho} = 1{,}41$ g · cm^{-3}, die *Oberflächenbeschleunigung* $g_0 = 2{,}74 \cdot 10^4$ cm · s^{-2} = 274 ms^{-2} und die *Entweichungsgeschwindigkeit* $v_\infty = 6{,}18 \cdot 10^7$ cm · s^{-1} = 618 kms^{-1}; das *Trägheitsmoment* Θ ist $5 \cdot 10^{53}$ g · cm^2 und die *potentielle Energie* $\Omega = -7{,}4 \cdot 10^{48}$ erg = $-7{,}4 \cdot 10^{41}$ J. Die potentielle Energie eines Sternes wird dargestellt durch die Arbeit, die erforderlich wäre, um seine Masse über alle Grenzen weit zu zerstreuen. Die gleiche Energie wird gewonnen, wenn sich die Masse des Sternes aus großen Entfernungen zusammenballt.
Die *Rotationsdauer* der Sonne ist nicht einheitlich; sie liegt zwischen 25 bis 31 Tagen. Am schnellsten rotieren die Außenschichten am Äquator. Infolge der langsamen Rotation der Sonne liegt ihre Abplattung unterhalb der Nachweisbarkeitsgrenze. Die *räumliche Bewegung*, $v = 1{,}94 \cdot 10^6$ cm · s^{-1} = 19,4 kms^{-1}, relativ zu den Sternen der Umgebung ist auf den Punkt $\alpha = 271°$, $\delta = +30°$ an der Sphäre gerichtet, die Bewegung relativ zum Milchstraßenzentrum, $V = 2{,}2 \cdot 10^7$ cm · s^{-1} = 220 kms^{-1} auf den Punkt $\alpha = 313°$, $\delta = +46°$ an der Sphäre.

Entfernungen und Winkelgrößen. Die *mittlere Entfernung* der Sonne von der Erde, auch astronomische Einheit genannt, beträgt 1 AE = $1{,}496 \cdot 10^{13}$ cm, der kleinste Abstand, die *Perihelentfernung* $r_P = 1{,}471 \cdot 10^{13}$ cm = 147100000 km, der größte Abstand, die *Aphelentfernung* r_A dagegen $1{,}521 \cdot 10^{13}$ cm = 152100000 km. Daraus ergeben sich für die Sonne eine *mittlere Äquatorial-Horizontal-Parallaxe*, d. h. der Winkel p, unter dem der Äquatorradius der Erde vom Mittelpunkt der Sonne aus erscheint, zu $p = 8{,}794''$ und ein *mittlerer scheinbarer Radius* (im Winkelmaß) R'' von 959,6'' oder 15' 59,6'', die *Fläche F der Sonnenscheibe* im Quadratgrad beträgt $F = 0{,}223\,\square°$. Die *mittlere Winkelgeschwindigkeit* der Sonne relativ zum Meridian ist $\omega_M = 15''/\text{s}$ und relativ zum Frühlingspunkt $\omega_\gamma = 4{,}11 \cdot 10^{-2}''/\text{s}$.

Strahlungsenergetische Größen. Die Sonne ist ein Fixstern vom *Spektraltyp und der Leuchtkraftklasse* G1 V; die effektive Temperatur ihrer Oberfläche beträgt $T_e = 5785$ °K.

Helligkeit in Sterngrößen

scheinbare	absolute
$m_{pv} = -26{,}86$	$M_{pv} = +4{,}71$
$m_{pg} = -26{,}41$	$M_{pg} = +5{,}16$
$m_{bol} = -26{,}95$	$M_{bol} = +4{,}62$

Die Indizes bedeuten: *pv* = photovisuell, *pg* = photographisch, *bol* = bolometrisch. Bolometrisch heißt die Helligkeit, wenn die Gesamtstrahlung aller Wellenlängen (soweit dies möglich ist) erfaßt wird, photovisuell und photographisch, wenn nur die Strahlung des Empfindlichkeitsbereiches des menschlichen Auges bzw. der normalen photographischen Emulsion gemessen wird.

Leuchtkraft, $L = 3{,}86 \cdot 10^{33}$ erg $\cdot$ s$^{-1} = 3{,}86 \cdot 10^{26}$ J $\cdot$ s^{-1}. Die von der Sonne in der Sekunde auf einen Quadratzentimeter der Erdoberfläche fallende Strahlungsenergie bei mittlerer Entfernung der Erde von der Sonne, wenn angenommen wird, daß die Erdatmosphäre alle Strahlung durchläßt, heißt *Solarkonstante*, ihr Wert ist $S = 1{,}37 \cdot 10^6$ erg $\cdot$ cm^{-2} $\cdot$ s^{-1} $= 1{,}97$ cal $\cdot$ cm^{-2} $\cdot$ min^{-1}.

Farbenindex ..... $FI = m_{pg} - m_{pv} = +0{,}45$
mittlere Leuchtdichte ..... $B = 2{,}08 \cdot 10^5$ stilb (sb)
Bestrahlungsstärke durch die Sonne ..... $E = 1{,}41 \cdot 10^6$ lux (lx)
Lichtstärke ..... $I = 3{,}16 \cdot 10^{27}$ candela (cd)

ERSCHEINUNGEN AUF DER SONNE

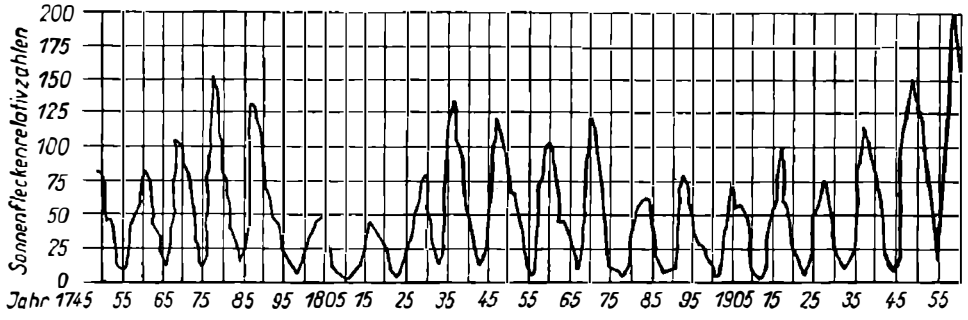
Schichten der Sonnenatmosphäre. Das beobachtbare Licht der Sonne stammt aus einer rund 500 km dicken Schicht glühender Gase von der mittleren Dichte 10^{-7} g/cm^3; durch die Absorptionswirkung sind tiefer liegende Schichten nicht sichtbar. Die tiefste Schicht wird *Photosphäre* genannt. Über ihr liegt die *Chromosphäre* mit rund 10000 km Höhe, die uns bei Sonnenfinsternissen oder mit besonderen astronomischen Geräten (Lyot-Blende) als farbiger Lichtsaum sichtbar ist. In ihr schießen dauernd flammenähnliche Lichtzungen nach außen. Auch leuchtende Wolken, Flocculi, von Wasserstoff oder Kalzium treten auf. Nach der darüberliegenden *Korona* zu steigt die Temperatur an auf 100000 bis 1 Mill. °K.

Sonnenatmosphäre

Atmosphärenschicht	Spektrum	Struktur	Einwirkung auf die Erde
Photosphäre (unterste Schicht)	kontinuierliches Spektrum mit Absorptionslinien	Granulation, Fakkeln, Sonnenflecken mit starken magnetischen Feldern. Ausgang der eruptiven Protuberanzen	Licht und Wärme, Korpuskel- (Teilchen-) Strahlen, ausgehend von den eruptiven Protuberanzen und lokalen Eruptionsherden, erreichen mit 500 bis 1500 km/s Geschwindigkeit die Erde und erzeugen Polarlichter, erdmagnetische Stürme, Störungen der Ionosphäre, Schwunderscheinungen im Kurzwellenempfang
Chromosphäre (mittlere Schicht)	Emissions- bzw. Absorptionslinien	wolkenartige Grobstruktur, körnige Feinstruktur, gestört durch Eruptionen	kurzwellige Strahlen erzeugen D-Schicht unterhalb 90 km Höhe
Korona (oberste Schicht)	Linien 12- bis 15fach ionisierten Eisens, Nikkels und Kalziums, daneben Kontinuum und Absorptionsspektrum	strahlenförmige Struktur, die sich mit den Sonnenfleckenzyklen ändert	Einwirkung auf die Ionisierung der Atmosphäre in Höhen über 100 km

Die Fleckentätigkeit der Sonne. Die *Sonnenflecken* erreichen ihre Höchstzahl in einer Breite von 20° nördlich und südlich vom Sonnenäquator. Als Maß für die Fleckenhäufigkeit gilt die *Sonnenfleckenrelativzahl*. Weder die Maxima noch die Minima sind sich gleich. Der Anstieg zum Maximum ist steiler als der Abfall zum Minimum. Die ersten Flecken einer neuen Periode zeigen sich in mittleren

Breiten, während die letzten in unmittelbarer Nähe des Äquators auftreten. Die Rekordzahlen von über 200 im Mai 1947, Februar 1956 und November 1957 wurden seit Jahrhunderten nicht erreicht. Die *Photosphäre* (griech. *phos*, Licht) zeigt die *Granulation*, die den mittleren Teil der Sonnenoberfläche körnig erscheinen läßt. Diese körnigen Gebilde sind *Turbulenzelemente* von etwa 1000 km Durchmesser, die durch aufwärtsgerichtete schlauchförmige Strömungen entstehen und nach Wärmeabgabe in wenigen Minuten wieder vergehen. Die *Fackeln* zeigen erhöhte Helligkeit und Temperatur.



Häufigkeit der Sonnenflecken von 1745 bis 1959

Sie bevorzugen die Nähe der Flecken, breiten sich flächenhaft und in langen Lichtadern aus und sind besonders gut in der Randzone der Sonnenscheibe zu sehen. Die *Flecken* besitzen eine Temperatur, die um 1200 grd niedriger ist als die ihrer Umgebung. Sie durchbrechen die Photosphäre und werden verursacht durch wirbelartige Strömungserscheinungen in einer tieferen Schicht, die unserem Einblick entzogen ist. Größere Sonnenflecken können mehrere Sonnenumdrehungen überdauern. Der größte bisher beobachtete Fleck maß 18 Erddurchmesser. Die Aufspaltung der Fraunhoferschen Linien in den Flecken weist auf starke Magnetfelder hin, die gelegentlich Werte bis zu $4{,}5 \cdot 10^{-1}$ Vs/m² erreichen, während das Magnetfeld der Erde nur $5 \cdot 10^{-5}$ Vs/m² mißt. Die *eruptiven Protuberanzen* bestehen hauptsächlich aus Wasserstoff, Helium und ionisiertem Kalzium. Diese Protuberanzen werden mit Geschwindigkeiten bis zu 400 km/s in Höhen bis zu 1 Mill. km emporgeschleudert und bewegen sich dann wieder herab, wobei sie durch die Magnetfelder der Sonne beeinflußt werden. *Aufsteigende Protuberanzen* lösen sich von der Sonne und verlieren sich im Weltenraum (Engelsprotuberanzen).

Die in der obersten Schicht der Photosphäre und in der untersten Schicht der Chromosphäre liegenden Gase geringerer Temperatur absorbieren von dem aus der Photosphäre kommenden Licht die Frequenzen, die sie selbst aussenden. Im kontinuierlichen Spektrum der Photosphäre erscheinen deshalb dunkle Linien, die *Fraunhoferschen Linien*. Bei Sonnenfinsternissen dagegen ist das Licht der Photosphäre vom Monde abgeblendet. Das von den oben erwähnten Gasen seitlich ausgestrahlte Licht ergibt dann bei der Betrachtung helle Linien gerade an den Stellen des Spektrums, an denen sonst dunkle Linien auftreten (*Blitz-Spektrum*). Mittels der Fraunhoferschen Linien sind von den auf der Erde vorhandenen Elementen 57 auf der Sonne sicher nachzuweisen, darunter vor allem Wasserstoff, Helium, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Magnesium, Natrium, Kalium, Kalzium, Aluminium.

Die *Chromosphäre* reicht bis zu einer Höhe von 14000 km.

Die *Koronastrahlen* erstrecken sich während des Fleckenmaximums gleichförmig nach allen Seiten, während des Minimums sind sie dagegen nach den *Polen* zu stark abgeplattet. Die Koronastrahlen sind wahrscheinlich Bahnen rasch bewegter Teilchen (Elektronen), welche die stark verdünnten Sonnengase in der Nähe der Sonne zum Leuchten anregen. Ihre Energie erhalten sie vermutlich aus elektrischen Feldern, hervorgerufen durch die Magnetfelder der Sonnenflecken. Das Fleckenmaximum ist von einer erhöhten Gesamttätigkeit der Sonne begleitet.

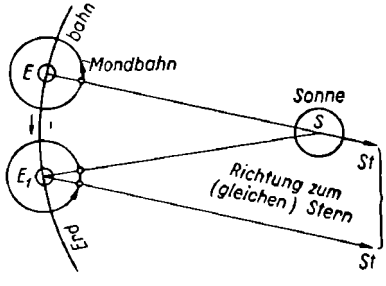
III. Mond

GRÖßENVERHÄLTNISSE, ENTFERNUNG, UMLAUFSZEITEN, HELLIGKEIT, TEMPERATUR

Mittlerer scheinbarer Durchmesser	31′ 5″
wahrer Durchmesser: 0,27 Erddurchmesser oder	3476 km
Dichte: $^3/_5$ oder 0,61 der Erddichte oder	3,34 g · cm^{-3}
Masse: $^1/_{81}$ oder 0,0123 der Erdmasse, d. h.	$7{,}34 \cdot 10^{25}$ g
einzelne Mondberge erreichen über ihrer Umgebung Höhen von mehr als	8000 m

die Wälle der großen Ringgebirge überragen das Innere häufig um	3000···4000 m
Durchmesser der größten Ringgebirge übertrifft	200 km
größter Erdkrater im Vergleich dazu	18 km
mittlere Entfernung von der Erde: 60,267 Erdhalbmesser oder	384400 km
größte Mondentfernung	406000 km
kleinste Mondentfernung	363500 km
mittlere numerische Exzentrizität der Mondbahn	0,055
siderische Umlaufszeit (Wiederkehr zum selben Stern), wegen der gebundenen Rotation gleichzeitig Dauer einer vollen Umdrehung um die eigene Achse	27,321 66 Tage
synodische Umlaufszeit, d. h. mittlere Zeit zwischen zwei Neumonden	29,530 59 Tage
drakonitische Umlaufszeit, d. h. Zeit zwischen zwei Durchgängen durch den aufsteigenden Knoten der Mondbahn	27,212 22 Tage
Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik	5° 8′ 43″
Albedo (Rückstrahlungsvermögen) in Prozenten des eingestrahlten Lichtes	7,3 %
größte scheinbare visuelle Helligkeit des Vollmondes	$-12^{m}74$
Helligkeit des aschgrauen Lichtes bei Neumond	$-1^{m}6$
Temperatur der Mondoberfläche bei Sonnenstand im Zenit	+130 °C
Temperatur auf der Nachtseite	−150 °C

Unter dem *scheinbaren Durchmesser* versteht man den Vollmonddurchmesser, wie er uns am Himmel erscheint, gemessen im Winkelmaß. Seine Größe ist von der jeweiligen Entfernung abhängig.
Die *Höhe der Mondberge* läßt sich aus der Höhe des Sonnenstandes über der betreffenden Mondlandschaft und aus der Schattenlänge berechnen. In den großen Fernrohren sind Erhebungen von einigen Metern bei günstiger Beleuchtung noch erkennbar.
Die *Entfernung* des Mondes von der Erde schwankt, da sich der Mond in einer Ellipse um sie bewegt. Die *numerische Exzentrizität* gibt die Form der Ellipse an. Bei der geringen Exzentrizität der Mondbahn erhält man ein hinreichend getreues Abbild, wenn man sie als Kreis darstellt, aus dessen Zentrum man den Mittelpunkt der Erde um 5,5 % des Bahnhalbmessers herausrückt. Die *heliozentrische* Bahn des Mondes ist ebenso wie die der Erde eine Schlangenlinie von rund $12^1/_2$ Windungen im Jahr um die elliptische Bahn des *Schwerpunktes* Erde–Mond, die meist als *Erdbahn* bezeichnet wird und die Lage der Ekliptik bestimmt. Wenn man diese Erdbahn als Kreis mit einem Radius von 6 cm zeichnet, liegt die Mondschlangenlinie innerhalb der Strichdicke von 0,3 mm.



Siderischer und synodischer Umlauf des Mondes

Der Unterschied zwischen *siderischer* (lat. *sidus*, Stern) und *synodischer Umlaufszeit* ist aus der nebenstehenden Zeichnung ersichtlich. Bei E ist für die Erde Neumond: Erde, Mond, Sonne und Stern stehen in gleicher Richtung. Bei E_1 hat sich nach einem Umlauf des Mondes die Richtung zum unendlich weiten Stern nicht geändert, doch ist infolge der Bewegung der Erde um die Sonne noch nicht wieder Neumond. Der Mond muß noch den Winkel SE_1St durchlaufen und braucht dazu $2^1/_2$ Tage. (Näheres über die *drakonitische Umlaufszeit* und die Bedeutung der *Neigung der Mondbahn* gegen die Ekliptik für die Wiederkehr der Mond- und Sonnenfinsternisse siehe unter Finsternisse.)
Der Mond dreht sich in derselben Zeit, in der er die Erde umkreist, auch einmal um seine eigene Achse und wendet der Erde daher ungefähr die gleiche Halbkugel, „das gleiche Angesicht", zu. Da die Umlaufsgeschwindigkeit des Mondes schwankt, er also zeitweise relativ zu einer gedachten gleichförmigen Umlaufsbewegung vorauseilt oder zurückbleibt, der Äquator des Mondes nicht in der Ebene der Mondbahn liegt und wir von verschiedenen Standorten der Erde aus auf den Mond blicken können, so schauen wir nach einer gewissen Zeit nördlich und südlich, westlich und östlich über die im Mittel erkennbare Mondhälfte hinaus und erfassen 59 % der gesamten Oberfläche. Von den der direkten Beobachtung unzugänglichen 41 % wurden im Jahre 1959 durch die Apparate im *Lunik III* weitere 30 % photographiert und durch Bildfunk zur Erde übertragen, so daß heute nur noch rund $^1/_{10}$ der Mondoberfläche unbekannt ist.
Unter der *Albedo* versteht man das Vermögen eines Stoffes, das Licht zurückzustrahlen. Die Albedo des Mondes ist auffallend gering (7,3 %) und deutet auf dunkle Oberflächengesteine nach Art unserer vulkanischen Aschen und Bimssteine.
Das *aschgraue Licht* des Mondes, das man besonders im Frühling abends und im Herbst vor Sonnenaufgang auf dem von der Sonne nicht beleuchteten Teile des Mondes erblickt, ist der Widerschein der von der Erde beleuchteten Mondkugel; in einem Punkte zusammengefaßt, erreicht es die Helligkeit des Sirius. Man hat daraus auf die *Albedo der Erde* schließen können, die mit 43 % sehr hoch ist.

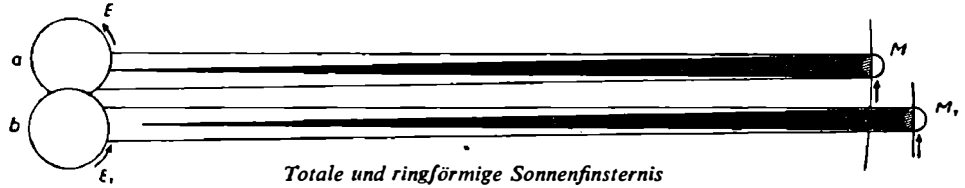
Die großen *Temperaturgegensätze* entstehen durch den Mangel an Luft und Wasser. Sollte der Mond einmal eine Atmosphäre besessen haben, so hat sich diese längst infolge seiner geringen Anziehungskraft in den Weltenraum verflüchtigt bis auf sehr geringe — erst in den letzten Jahren mit empfindlichen Beobachtungsmethoden nachgewiesene — Spuren.

FINSTERNISSE

Sonnenfinsternisse

1954	30. Juni	total	1976	29. April	ringförmig
1961	15. Februar	total	1990	22. Juli	total
1966	20. Mai	total	1999	11. August	total

Sonnenfinsternisse können sich nur ereignen, wenn der Mond zwischen Sonne und Erde tritt, also nur bei Neumond. Würde sich der Mond auf der Ekliptik, d. h. der scheinbaren Sonnenbahn, bewegen, so müßte bei jedem Neumond eine Sonnenfinsternis eintreten. Die Mondbahn schneidet



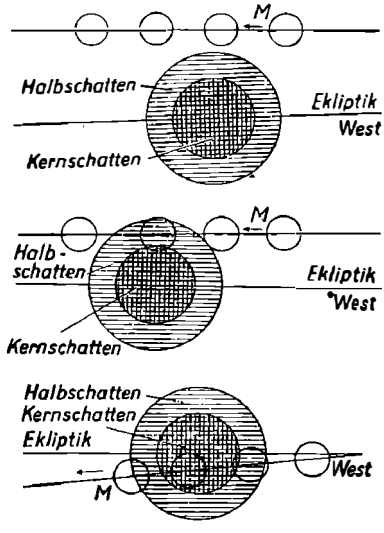
Totale und ringförmige Sonnenfinsternis

a Mond M in mittlerer Entfernung von der Erde E. Die Spitze des Kernschattens des Mondes erreicht die Erde. Die Sonnenfinsternis ist innerhalb eines engen Bezirkes, der über die Erde hinweggeht, total. Befindet sich der Mond in Erdnähe, so erweitert sich der Bezirk der Totalität. b Mond M in Erdferne. Die Spitze des Kernschattens erreicht die Erde E nicht. Die Finsternis ist ringförmig

jedoch die Sonnenbahn unter einem Winkel von etwas über 5° in zwei Punkten, den (*Mondbahn-*) *Knoten*. Kreuzt der Mond, von Süden nach Norden kommend, die Ekliptik, so durchläuft er den *aufsteigenden Knoten* (☊); ihm gegenüber liegt der *absteigende Knoten* (☋). Diese Knoten bewegen sich langsam auf der Ekliptik in 18 Jahren und 7 1/3 Monaten einmal rückwärts herum. Eine Sonnenfinsternis kann nur stattfinden, wenn der Mond nicht weiter als 16° vom Knoten entfernt ist.

Bei *Mondfinsternissen* tritt die Erde zwischen Sonne und Mond. Mondfinsternisse sind nur bei Vollmond möglich, wenn der Abstand des Mondes vom Knoten 10° nicht überschreitet.

Die Zeit zwischen Neumond und dessen Wiederkehr bezeichnet man als *synodischen Monat*. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen durch den aufsteigenden Knoten bezeichnet man als *Drachenmonat* oder *drakonitischen Monat* (lat. *draco*, Drache).



oben: Vollmond ohne Finsternis, der Normalfall. Der Mond M ist zu weit von der Ekliptik entfernt

Mitte: Vollmond mit partieller Mondfinsternis. Der Mond M durchläuft den Halbschatten und taucht nur wenig in den Kernschatten der Erde ein

unten: Vollmond mit totaler Mondfinsternis. Der Mond M geht nacheinander durch den Halbschatten, den Kernschatten und wieder durch den Halbschatten der Erde. Dauer des Durchganges der Mondscheibe bei zentraler Verfinsterung ungefähr 4 Stunden

Für die Wiederkehr von Sonnen- und Mondfinsternissen sind also offenbar Zeiträume notwendig, in denen ein Vielfaches von Drachenmonaten einem Vielfachen von synodischen Monaten möglichst nahekommt. Da 242 Drachenmonate nur ungefähr 223 synodischen Monaten entsprechen, so treten im Laufe der Zeit wachsende Verschiebungen ein.

Verdeckt der Mond die Sonne für irgendeinen Punkt der Erde ganz, so ist die *Sonnenfinsternis* für diesen Ort *total*. Steht der Mond während der Finsternis in Erdferne, so reicht die Mondscheibe nicht aus, um die Sonne ganz zu verdecken; die Finsternis wird *ringförmig*. Bleiben beim Vorübergang die Mittelpunkte von Sonne und Mond erheblich voneinander entfernt, so kommt es nur zu einer *partiellen* (teilweisen) Sonnenfinsternis.
Für ein und denselben Ort auf der Erde sind Mondfinsternisse häufiger als Sonnenfinsternisse, auf die ganze Erde bezogen ist es umgekehrt. Der Mond wird tatsächlich verfinstert, und dieser Vorgang kann überall auf der Erde gesehen werden, wo der Mond über dem Horizont steht. Die Sonnenfinsternisse sind dagegen nur scheinbar, verfinstert wird eigentlich die Erde, und zwar nur auf einem schmalen Streifen, dessen Lage von Finsternis zu Finsternis wechselt.
Der Durchgang des Mondes durch den Halbschatten der Erde ist kaum bemerkbar. Die *kupferrote Färbung*, die der Mond während einer totalen Mondfinsternis annimmt, rührt von dem rötlichen Licht her, das durch die Erdatmosphäre in den *geometrischen* Kernschattenkegel der Erde hineingebrochen wird.

Mondfinsternisse. Die Bilder zeigen schematisch die möglichen Lagen der Mondbahn zur Zeit des Vollmondes und das Entstehen einer partiellen bzw. totalen Mondfinsternis.

Totale Mondfinsternisse
von 1950 bis 2000

1950: 2. April
26. September
1953: 29./30. Januar
26. Juli
1954: 19. Januar
1956: 18. November
1957: 13. Mai
7. November
1960: 13. März
5. September
1961: 26. August
1963: 30. Dezember
1964: 25. Juni
19. Dezember
1967: 24. April
18. Oktober
1968: 13. April
6. Oktober
1971: 10. Februar
6. August
1972: 30. Januar
1974: 29. November
1975: 25. Mai
18. November
1978: 24. März
16. September
1979: 6. September
1982: 9. Januar
6. Juli
30. Dezember
1985: 4. Mai
28. Oktober
1986: 24. April
17. Oktober
1989: 20. Februar
17. August
1990: 9./10. Februar
1992: 9. Dezember
1993: 4. Juni
29. November
1996: 4. April
27. September
1997: 16. September
2000: 20./21. Januar

IV. Planetensystem

Himmelskörper des Planetensystems

Große Planeten	9
Kleine Planeten	
katalogisiert	über 1660
mindestens einmal beobachtet	etwa 4000
bis zur 20. Größenklasse geschätzt	50000
Kometen, Gesamtzahl	10^{10}...10^{11}
in den letzten 2400 Jahren erfaßt	647
davon kehren nach kurzer Periode wieder	35
bisher festgestellte Meteorschwärme	etwa 30
Satelliten (Monde der Planeten)	31

GRÖßENVERHÄLTNISSE UND ENTFERNUNGEN IM SONNENSYSTEM

Das Licht der Sonne durchläuft die Strecke bis zur Erde in $8^1/_3$ Minuten, bis zum Planeten Pluto in $5^1/_2$ Stunden.
Um sich ein anschauliches Bild von den Größenverhältnissen und Entfernungen im Sonnensystem und von der Leere im Weltraum zu machen, stelle man sich ein Modell dieses Systems in milliardenfacher Verkleinerung vor. In ihm würde 1 Million km = 1 m sein. So gesehen,

würde die *Sonne* zu einem strahlenden Ball von 1,4 m *Durchmesser*. Um ihn kreisten die Planeten in folgenden Größen und Abständen:

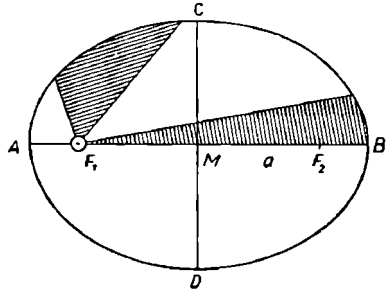
Merkur	als eine Erbse	von 5 mm	Durchmesser in	58 m Abstand
Venus	als eine Kirsche	von 12 mm	Durchmesser in	108 m Abstand
Erde	als eine Kirsche	von 13 mm	Durchmesser in	150 m Abstand
Mars	als eine Erbse	von 7 mm	Durchmesser in	228 m Abstand
Jupiter	als eine Kokosnuß	von 143 mm	Durchmesser in	778 m Abstand
Saturn	als eine Kokosnuß	von 121 mm	Durchmesser in	1400 m Abstand
Uranus	als ein Apfel	von 48 mm	Durchmesser in	2900 m Abstand
Neptun	als ein Apfel	von 45 mm	Durchmesser in	4500 m Abstand
Pluto	als eine Kirsche	von 14 mm	Durchmesser in	5900 m Abstand

KEPLERSCHE GESETZE

Die Bewegungen der Planeten um die Sonne verlaufen nach den drei Keplerschen Gesetzen:

1. Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

2. Die Verbindungslinie Sonne–Planet, der Leitstrahl oder Radiusvektor, überstreicht in gleichen Zeiträumen gleiche Flächen. (Daraus folgt, daß der Planet in Sonnennähe rascher läuft als in Sonnenferne.)



2. Keplersches Gesetz: zur besseren Veranschaulichung sind die Brennpunkte F_1 und F_2 übertrieben weit auseinandergerückt. AB große Achse; AM = BM halbe große Achse (a); M Mittelpunkt der Ellipse; CD kleine Achse

3. Die Quadrate der Umlaufzeiten (U) der Planeten verhalten sich wie die Kuben oder dritten Potenzen der großen Halbachsen (a), d. h. $\frac{a^3}{U^2} = \text{const}$. Rechnet man mit AE und Jahren als Maßeinheiten, so ist die Konstante 1; in CGS-Einheiten wird sie $3{,}38 \cdot 10^{24}\ \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-2}$.

Beispiele für das 3. Keplersche Gesetz

	a in AE	U in Jahren	a^3	U^2
Merkur	0,3871	0,2408	0,0580	0,0580
Venus	0,7233	0,6152	0,3784	0,3785
Erde	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Mars	1,5237	1,8808	3,5375	3,5374
Jupiter	5,203	11,862	140,8	140,7
Saturn	9,539	29,457	867,9	867,7

AE: *astronomische Einheit, d. h. mittlere Entfernung der Erde von der Sonne (Erdbahnhalbmesser)*

NEWTONSCHES GRAVITATIONSGESETZ

Newton leitete das Gravitationsgesetz aus den Keplerschen Gesetzen ab. Das Newtonsche Gravitationsgesetz ist der Ausgangspunkt für die Mechanik des Planetensystems:

$$k = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Newton erkannte, daß die Schwerkraft der Erde ein Sonderfall der allgemeinen Massenanziehung ist, die er *Gravitation* (lat. *gravitas*, Schwere) nannte. Er bewies, daß die *Kraft k*, mit der sich zwei Massen m_1 und m_2 anziehen, direkt proportional dem Produkt der Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihres *Abstandes r* ist. G (oft auch mit γ bezeichnet) ist die *Gravitationskonstante*, eine Naturkonstante, die unabhängig ist von der Beschaffenheit der beiden Körper. Ihr Wert wird bestimmt durch die benutzten Maßeinheiten und beträgt

$$G = 6{,}674 \cdot 10^{-8} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Das heißt: zwei Massen von je 1 g im Abstand von 1 cm ziehen sich mit der Kraft $k_1 = 6{,}674 \cdot 10^{-8}$ dyn an.

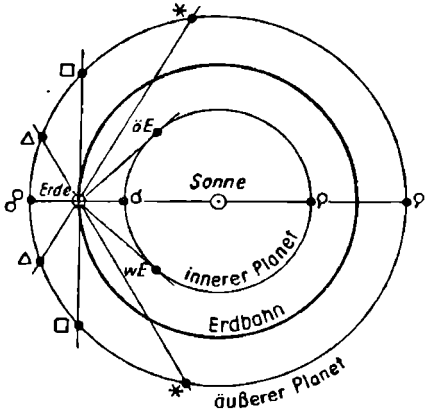
BAHNELEMENTE DER
für 1. Januar 1950,

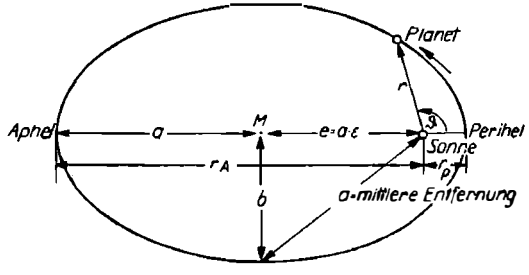
Name und Zeichen	Merkur ☿	Venus ♀	Erde ♁	Mars ♂
siderische Umlaufszeit U in Jahren	0,241	0,615	1,000	1,881
synodische Umlaufszeit $U_{\odot}$ in Tagen	115,88	583,92	—	779,94
mittlere Entfernung a von der Sonne	0,387 AE = 58 Mill. km	0,723 AE = 108 Mill. km	1,000 AE = 149,6 Mill. km	1,524 AE = 228 Mill. km
numerische Exzentrizität ε	0,206	0,007	0,017	0,093
Neigung i der Bahn gegen die Ekliptik	7°,004	3°,394	—	1°,850
Länge Ω des aufsteigenden Knotens	47°,739	76°,230	—	49°,172
Länge π des Perihels	76°,677	130°,868	102°,080	335°,139
Länge L des Planeten	31°,122	80°,771	99°,096	144°,061

Die unteren 6 Zeilen geben die 6 Elemente der Ellipsenbahnen an.

Aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz lassen sich die von Kepler empirisch gewonnenen Gesetze der Planetenbewegungen ableiten und verfeinern.
Unter der Annahme, daß es universell gilt, kann es zur Bestimmung von Sternmassen verwendet werden. Es werden dazu Beobachtungen von Doppelsternen herangezogen, d. h. von zwei Sternen, die sich unter der Wirkung der Gravitationskraft (Schwerkraft) umeinander bewegen.
Das Gravitationsgesetz gilt nicht nur für Planetenbewegungen, sondern auch für die Bewegung der Fixsterne (darunter auch die der Sonne) um den Kern des Milchstraßensystems.

Die *siderische Umlaufszeit* ist die eigentliche Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit zwischen zwei Konjunktionen (Abb.) mit einem und demselben Fixstern.
Nach dem 3. Keplerschen Gesetz läßt sich aus der Umlaufszeit eines Planeten seine mittlere Entfernung von der Sonne berechnen.





links: Die gebräuchlichsten Konstellationen, gezeigt am Beispiel eines inneren und eines äußeren Planeten; innerer Planet: ☌ untere bzw. ☍ obere Konjunktion, öE östliche bzw. wE westliche maximale Elongation; äußerer Planet: ☍ Konjunktion, ⚹ Sextilschein, □ Quadratur, △ Trigon, ☌ Opposition

rechts: Wichtige Elemente einer elliptischen Planetenbahn; a große, b kleine Halbachse, e lineare, ε numerische Exzentrizität, r Radiusvektor, ϑ wahre Anomalie, $r_P = a(1-\varepsilon)$ Perihel-, $r_A = a(1+\varepsilon)$ Aphelentfernung

NEUN GROßEN PLANETEN
0h Weltzeit

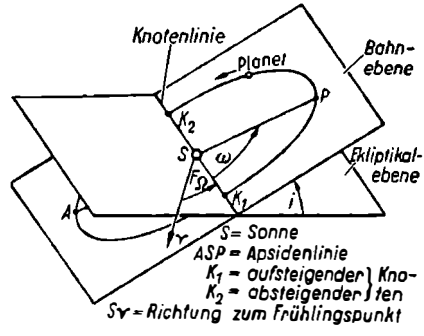
Jupiter ♃	Saturn ♄	Uranus ♅	Neptun ♆	Pluto ♇
11,862	29,458	84,018	164,78	248,4
398,88	378,09	369,66	367,49	366,74
5,203 AE = 778 Mill. km	9,546 AE = 1428 Mill. km	19,20 AE = 2872 Mill. km	30,09 AE = 4498 Mill. km	39,5 AE = 5910 Mill. km
0,048	0,056	0,047	0,009	0,247
1°,306	2°,491	0°,773	1°,774	17°,144
99°,949	113°,227	73°,727	131°,231	109°,633
13°,526	92°,077	172°,291	47°,440	223°,175
316°,117	158°,286	99°,118	194°,395	165°,575

Synodische Umlaufszeit ist die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichartigen *Konjunktionen* oder zwischen zwei aufeinanderfolgenden *Oppositionen.*

Da sich die Planeten in Ellipsen um die Sonne bewegen, die in einem ihrer Brennpunkte steht, so ändert sich die Entfernung r laufend. Diese Änderung befolgt zeitlich das 2. Keplersche Gesetz; der Größe nach ergibt sie sich aus der großen Halbachse (mittlere Enfernung) a und der Exzentrizität ε der Bahnellipse. Mittlere Entfernung und numerische Exzentrizität bestimmen Größe und Form der Ellipse (Abb.).

Neigung der Bahn gegen die Ekliptik. Die Neigung i ist der Winkel zwischen der Ekliptikalebene und der Bahnebene des Planeten (Abb.).

Länge des aufsteigenden Knotens. Die Punkte K_1 und K_2, in denen die Planetenbahn die Ekliptikalebene durchstößt, nennt man ihre *Knoten.* Die Schnittgerade zwischen der Ekliptikalebene und der Bahnebene des Planeten heißt *Knotenlinie.* Die Lage dieser Linie in der Ekliptikalebene wird bestimmt durch den Winkel Ω. Dieser Winkel heißt *Länge des aufsteigenden Knotens.* In der durch die Länge Ω des aufsteigenden Knotens Ω und die Neigung i festgelegten Ebene wird die Lage der Planetenbahn durch die Länge ihres Perihels bestimmt.



Räumliche Lage einer Planetenbahn, gegeben durch die 3 Bahnelemente i, Ω, ω bzw. π = Ω + ω, S Sonne, A Aphel, P Perihel, ASP Apsidenlinie, K_1 aufsteigender, K_2 absteigender Knoten, Sγ Richtung zum Frühlingspunkt

Länge des Perihels. Das Perihel ist der Endpunkt der großen Achse, der dem Brennpunkt, in dem sich die Sonne befindet, am nächsten liegt. Die Länge π des Perihels P wird bestimmt durch den Winkel zwischen der Richtung von der Sonne nach dem Frühlingspunkt und der nach dem Perihel, gemessen von ♈ bis K_1 in der Ekliptik, von K_1 bis P in der Bahn, also $\pi = \Omega + \omega$. Der Winkel ω heißt *Abstand des Perihels vom Knoten.*

Neigung der Bahn, Länge des aufsteigenden Knotens und Länge des Perihels bestimmen die Lage der Planetenbahn zur Ekliptik.

Länge des Planeten. Um den Ort eines Planeten berechnen zu können, braucht man schließlich noch die heliozentrische Länge zu einer bestimmten Zeit, also z. B. am 1. Januar 1950 0h Weltzeit. Man kann auch statt dessen den Zeitpunkt des Durchgangs des Planeten durch das Perihel wählen, doch ist diese Angabe in obiger Tabelle nicht mit aufgeführt.

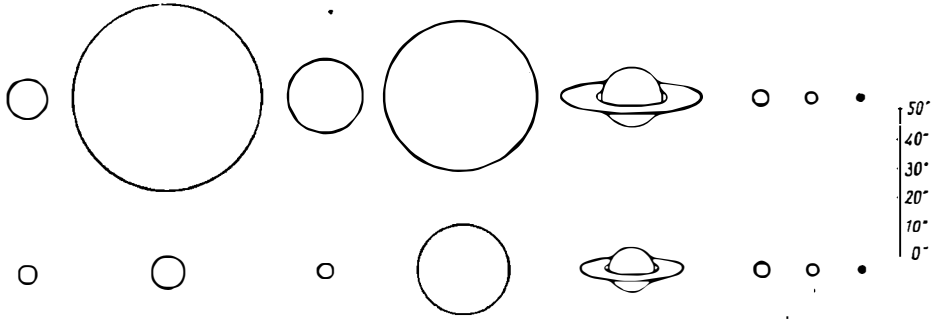
WEITERE CHARAKTERISTISCHE GRÖßEN

Übersichtstabelle

Name	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto
1 Entfernung von der Erde: kleinste	82 Mill. km	40 Mill. km	–	56 Mill. km	591 Mill. km	1200 Mill. km	2580 Mill. km	4300 Mill. km	4280 Mill. km
2 Entfernung von der Erde: größte	217 Mill. km	259 Mill. km	–	399 Mill. km	965 Mill. km	1650 Mill. km	3150 Mill. km	4680 Mill. km	7510 Mill. km
3 Äquatordurchmesser: scheinbar kleinster	4″,6	9″,5	–	3″,5	30″,6	15″,1	3″,1	2″,0	0″,4
4 Äquatordurchmesser: scheinbar größter	12″,2	63″,6	–	25″,2	49″,8	20″,7	3″,8	2″,1	0″,7
5 Äquatordurchmesser: wahrer	4840 km	12400 km	12756 km	6800 km	142800 km	120800 km	47600 km	44600 km	14400 km
6 Abplattung	0,0	0,0	0,0034	0,0052	0,062	0,096	0,056	0,02	–
7 Rauminhalt (Erde = 1)	0,055	0,91	$1{,}000 = 1{,}09 \cdot 10^{12}$ km³	0,150	1317	762	50	42	1,3
8 Strahlungsfluß in $cal \cdot cm^{-2} min^{-1}$	13,15	3,76	1,97	0,85	0,073	0,022	0,0053	0,0022	0,0013
9 Albedo	7 %	61 %	43 %	15 %	41 %	42 %	46 %	54 %	16 %
10 größte und kleinste Helligkeit	$-1^m,9$ [1]	$-4^m,3$ bis $-3^m,4$	–	$-2^m,8$ bis $+1^m,3$	$-2^m,6$ bis $-1^m,9$	$+0^m,1$ bis $+1^m,0$ [2]	$+5^m,4$ bis $+6^m,0$	$+7^m,6$ bis $+7^m,9$	$+14^m,3$ bis $+12^m,0$
11 mittlere Temperatur in °K	480	350	300	240	130	100	70	50	40
12 Masse (Erde = 1)	0,053	0,815	$1{,}000 = 5{,}98 \cdot 10^{27}$ g	0,107	318	95,2	14,55	17,23	0,9
13 Dichte (Erde = 1)	0,96	0,90	$1{,}0 = 5{,}52$ g $\cdot$ cm^{-3}	0,72	0,24	0,12	0,29	0,41	0,72
14 Oberflächenbeschleunigung in $m \cdot s^{-2}$ (Erde = 1)	3,60 (0,37)	8,50 (0,87)	9,81 (1,00)	3,76 (0,38)	26,00 (2,65)	11,2 (1,14)	9,45 (0,96)	15,0 (1,53)	8,0 (0,82)
15 Entweichungsgeschwindigkeit in $km \cdot s^{-1}$	4,2	10,3	11,2	5,0	61	37	22	25	10
16 siderische Rotation	88^d	22^h oder 11^h?	$23^h 56^m$	$24^h 37^m$	$9^h 50^m,5$	$10^h 14^m$	$10^h 49^m$	$15^h 40^m$	16^h

[1]) bei Merkur ist eine untere Helligkeitsgrenze schwer anzugeben
[2]) ohne die Helligkeit des Ringes

Entfernungen von der Erde, scheinbare und wahre Größe. Die in den Zeilen 1 und 2 gegebenen extremen Abstände von der Erde werden wegen der elliptischen Planetenbahnen nicht bei jedem synodischen Umlauf erreicht. — Die scheinbare, d. h. die im Winkelmaß ausgedrückte Größe der Planeten liegt entsprechend den extremen Abständen zwischen den in den Zeilen 3 und 4 gegebenen Werten. Die sogenannten wahren Durchmesser findet man in Zeile 5 bzw. anschaulich dargestellt in der Abbildung. Die scheinbaren Größenverhältnisse der Planeten entsprechen den extremen Abständen. Mit Hilfe der Abplattung (Zeile 6) errechnet sich der Rauminhalt (Zeile 7).



	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto
	☿	♀	♂	♃	♄	♅	♆	♇
1	12,2	63,6	25,2	49,8	20,7 (47,7)	3,8	2,1	0,7
2	4,6	9,5	3,5	30,6	15,1 (34,8)	3,1	2,0	0,4

Das scheinbare Größenverhältnis der Planeten im kleinsten (oben) und größten (unten) Abstand von der Erde im Winkelmaß

Strahlung, Helligkeit und mittlere Temperatur. Die Wirkung der Sonnenstrahlung auf den Planeten wird durch den *Strahlungsfluß* gekennzeichnet. Er ist als Mittelwert auf die mittlere Entfernung von der Sonne bezogen und heißt bei der Erde *Solarkonstante* (Zeile 8). Ein bestimmter Bruchteil, *Albedo* (Zeile 9), wird in den Weltraum zurückgestreut und tritt als Helligkeit der Planeten in Erscheinung. Da die *Helligkeit* eines Planeten, außer von seinem Abstand von der Sonne und der Albedo seiner Außenschichten, auch von seiner Entfernung zur Erde, seinem Durchmesser und dem Winkel zwischen Einstrahlungs- und Ausstrahlungsrichtung (Phasenwinkel) abhängt, schwankt die Helligkeit aller Planeten zwischen bestimmten Grenzen. Diese Grenzhelligkeiten stehen in Zeile 10. — Der nicht reflektierte Anteil der Sonnenstrahlung heizt den Planeten auf, dessen Außenschichten demzufolge eine bestimmte Gleichgewichtstemperatur annehmen (Zeile 11), die naturgemäß auch von der stofflichen Zusammensetzung dieser Schichten abhängig sind.

Masse, Dichte, Anziehungswirkungen und Rotation. Die Masse der mondlosen Planeten kann aus ihrer direkten Anziehungswirkung auf andere Weltkörper gemäß dem Newtonschen Gravitationsgesetz errechnet werden. Die Masse der übrigen Planeten ergibt sich aus der Konstanten des 3. Keplerschen Gesetzes (Zeile 12). Masse und Rauminhalt bestimmen die *mittlere Dichte* (Zeile 13). Aus der Masse und dem Durchmesser folgen weiter die *Schwerebeschleunigung* an der Planetenoberfläche (Zeile 14) und die *Entweichungsgeschwindigkeit* von der Oberfläche (Zeile 15), d. h. die Geschwindigkeit, die ein Körper haben muß, der sich, von der Reibung abgesehen, ganz aus dem Anziehungsbereich des Planeten entfernen soll. In der letzten Zeile ist die Rotationsdauer der Planeten angegeben.

LEBEN AUF ANDEREN PLANETEN

Leben im Sinne des Lebens auf der Erde ist an bestimmte physikalische und chemische Bedingungen geknüpft.
Es sind die folgenden:
1. Ein bestimmter *Temperaturbereich* an den Oberflächen der planetarischen Körper, und zwar zwischen 200 °K und 350 °K. Gemäß dieser Forderung läßt sich um jeden Stern (Sonne) eine Kugelschale angeben, in deren Innerem die genannten Temperaturen vorkommen können. Die Grenzflächen dieser als *Biosphäre* bezeichneten Kugelschale sind infolge der verschiedenartigen Strahlungseigenschaften der Planeten von Natur aus unscharf. In unserem Planetensystem befinden sich die Venus am inneren Rande, die Erde und der Mars innerhalb der Biosphäre.

2. Das Vorhandensein von *Wasser in flüssiger Form*. Die Temperatur darf also nicht dauernd unter dem Gefrierpunkt bleiben.

3. Der Planet muß eine *Atmosphäre* besitzen, in der ein nicht zu kleiner Anteil an freiem Sauerstoff vorhanden ist. Auch müssen vor allem Kohlenstoff und Stickstoff in entsprechender Form vorhanden sein.

4. Das *Zentralgestirn* (Sonne) muß einige Milliarden Jahre alt sein, da die Entwicklung des Lebens solche Zeiten erfordert. Unsere Sonne hat das entsprechende Alter. Bei zahlreichen Sternen unseres Milchstraßensystems wird sich auf den in der Biosphäre befindlichen Planeten noch kein Leben finden.

Nach allem, was wir über unsere beiden Nachbarplaneten wissen, können höhere Lebensformen auf dem Planeten Mars sicher nicht, auf dem Planeten Venus wahrscheinlich nicht vorhanden sein, niedere Lebensformen sind dagegen auf beiden Planeten zu erwarten.

MONDE DER ÜBRIGEN PLANETEN

Namen und Anzahl	Entfernung vom Planeten in 1000 km	siderische Umlaufszeit in Tagen	Durchmesser in km
Mars (2):			
Phobos	9,38	0,32	16
Deimos	23,46	1,26	8
Jupiter (12):			
Jo	422	1,77	320
Europa	671	3,55	2880
Ganymed	1071	7,15	4940
Kallisto	1884	16,69	4680
V	181	0,5	160
VI	11500	251	120
VII	11750	260	40
VIII	23500	739	40
IX	23700	755	22
X	11750	260	20
XI	22500	696	24
XII	21000	625	20
Saturn (9):			
Mimas	186	0,94	520
Enceladus	238	1,37	600
Tethys	295	1,89	1200
Dione	378	2,74	1300
Rhea	527	4,52	1800
Titan	1223	15,95	5000
Hyperion	1484	21,28	400
Japetus	3563	79,33	1200
Phoebe	12950	550,45	300
Uranus (5):			
Ariel	192	2,52	600
Umbriel	267	4,14	400
Titania	439	8,71	1000
Oberon	587	13,46	800
Miranda	130	1,41	120
Neptun (2):			
Triton	354	5,88	4000
Nereide	5560	359,9	300

Phobos umkreist den Mars rascher, als der Planet rotiert. Er geht daher am Marshimmel im Westen auf und im Osten unter. Die vier großen *Jupitermonde* sind schon bei schwacher Vergrößerung zu beobachten; ihre häufigen Verfinsterungen dienten in früherer Zeit den Seeleuten als Zeitzeichen.

Der V. Mond gehört mit den vier großen Monden zu dem Untersystem, dessen Mitglieder sich in der Äquatorebene des Jupiter bewegen. Die Monde VI, VII und X bilden ein weiteres Untersystem, dessen Hauptebene gegen die Äquatorebene um rund 30° geneigt ist. Die Monde VIII, IX, XI und XII schließlich bewegen sich im äußeren Bereich der Einflußsphäre des Jupiter im entgegengesetzten Sinne seiner Rotation und könnten eingefangene Planetoiden sein. Auch beim Saturn gibt es drei ähnliche Untersysteme. Die Monde 1 bis 7 bewegen sich in der Äquatorebene. Der 8. Mond hat eine Bahnneigung von rund 14°, der 9. Mond bewegt sich weit außerhalb in rückläufiger Bahn. — Die Bahnen der fünf Uranusmonde liegen in der Äquatorebene des Planeten. — Der innere Mond des Neptun, Triton, umläuft den Planeten entgegen dem Rotationssinne. Der 5. Mond des Uranus, Miranda, wurde 1948, der 2. Neptunmond 1949, der zwölfte Jupitertrabant 1951 entdeckt.

Saturnringe. Zu den Monden oder Satelliten können auch die *Ringe des Saturn* gerechnet werden, denn sie bestehen aus zahllosen kleinen Körpern. Befindet sich der Saturn, von uns aus gesehen, zwischen Stier und Zwillingen oder im Schlangenträger, so erscheinen die Ringe am weitesten geöffnet; steht er dagegen in den Fischen oder im Löwen, so sind sie nahezu unsichtbar, weil wir dann auf die Kante schauen, die nur eine Dicke von etwa 20 km hat. Zwischen weitester Öffnung und Unsichtbarkeit verstreichen 7 Jahre und 4 Monate.

Der Saturn und sein Ringsystem

Äquatordurchmesser des Saturn		120800 km
Polardurchmesser des Saturn		109200 km
Außenring:	Außendurchmesser	276000 km
	Innendurchmesser	240000 km
Innenring:	Außendurchmesser	232000 km
	Innendurchmesser	180000 km
Kreppring:	Innendurchmesser	142000 km

Die Lücken zwischen den Ringen betrachtet man als *verbotene Zonen*, in denen infolge der Störungen durch die inneren Saturnmonde stabile Bahnen nicht möglich sind.

SYSTEM DER KLEINEN PLANETEN (ASTEROIDEN, PLANETOIDEN)

Titius-Bodesche Regel

Name	n	Abstand nach Titius-Bode	mittlere Entfernung (AE)
Merkur	$-\infty$	0,4	0,39
Venus	0	0,7	0,72
Erde	1	1,0	1,00
Mars	2	1,6	1,52
Kleine Planeten	3	2,8	(2,78)
Jupiter	4	5,2	5,20
Saturn	5	10,0	9,55
Uranus	6	19,6	19,20
Neptun	—	—	30,09
Pluto	7	38,8	39,5

Die von Titius erkannte und von Bode publizierte *Abstandsfolge* der Planeten von der Sonne lautet in AE ausgedrückt:

$$a_n = 0{,}4 + 0{,}3 \cdot 2^n.$$

Hierbei ist für die Laufzahl n jeweils der in der Tabelle angegebene Wert zu setzen. Die Laufzahl $-\infty$ für Merkur und die Lücke beim Neptun lassen erkennen, daß es sich hier nicht um ein strenges Gesetz handelt. Die schon von Kepler hervorgehobene Lücke zwischen Mars und Jupiter erhielt die Laufzahl 3. Als der 1787 entdeckte Uranus sich dieser Reihe ebenfalls mit der Laufzahl 6 einfügte, begann man den Planeten $n = 3$ zu suchen. So entdeckte man das System der Planetoiden.

Die Kleinen Planeten. Die Planetoiden bewegen sich überwiegend im *Raum zwischen Mars und Jupiter*. Heute kennt man über 1660 gesicherte Bahnen; die Anzahl der berechneten, aber nicht wiedergefundenen Asteroiden übertrifft 3000, die Gesamtzahl wird auf über 50000 geschätzt. Ihre Gesamtmasse beträgt rund $7 \cdot 10^{24}$ g, also rund $^1/_{10}$ der Mondmasse. Diese Masse ist ungleichförmig über den Raum zwischen Mars- und Jupiterbahn verteilt. Es gibt Lücken und Häufungsbereiche, die ähnlich wie beim System der Saturnringe durch die Störungen des Jupiters und in geringerem Maße auch des Mars hervorgerufen werden. 98% der Planetoiden bewegen sich im Entfernungsbereich 2,3 AE bis 3,7 AE. Einige gelangen auch bis in die inneren Bezirke des Sonnensystems, in denen heute bereits fünf künstliche Asteroiden kreisen, andere gelangen auch über die Jupiterbahn hinaus.

KOMETEN, METEORITEN UND METEORE

Kometen des zentralen planetarischen Systems
(nach Umlaufszeiten geordnet)

Name	zuerst beobachtet bzw. entdeckt	Anzahl n der bis zum Datum T beobachteten Umläufe		Umlaufszeit in Jahren	kleinste Entfernung von der Sonne in AE	größte Entfernung von der Sonne in AE	
		n	T				
Encke	1786	46	1961 Febr. 11	3,303	0,33	4,1	Jupiterfamilie
Tempel II	1873	13	1957 Febr. 2	5,310	1,39	4,7	
Pons-Winnecke	1858	16	1957 Nov. 2	6,157	1,10	5,6	
Kopff	1906	8	1957 Dez. 23	6,184	1,69	5,3	
Giacobini-Zinner	1900	8	1959 Nov. 21	6,588	1,0	6,0	
Biela	1826	6	1852 Sept. 24	6,620	0,86	6,2	
Whipple-Fedtke	1942	4	1955 Nov. 23	7,415	2,50	—	
Wolf I	1884	10	1959 Jan. 18	8,286	2,45	5,8	
Olbers	1815	3	1960 Mai 26	72,405	1,18	33	Neptunfamilie
Halley	240 v.u.Z.	30	1910 April 19	76,029	0,59	35,3	

Die periodischen Kometen bewegen sich in mehr oder weniger langgestreckten Ellipsen um die Sonne, die in der Tabelle durch *Umlaufszeit* sowie *kleinste* und *größte Entfernung* von der Sonne gekennzeichnet sind. Geringfügige Störungen können Ellipsen in Parabeln und Hyperbeln verwandeln, worauf der Komet das Sonnensystem verlassen muß; es ereignen sich aber auch umgekehrt Fälle, in denen neue Kometen in das Sonnensystem einbezogen werden. Die Störungen gehen zum Teil von den großen Planeten aus, die bestimmenden Einfluß auf die Bahnen der Kometen gewinnen können.
Da die Kometen infolge ihrer geringen Masse leicht aus der Bahn gelenkt werden, bleibt ihre *Wiederkehr* stets *ungewiß*. Durch die Störung wird die Umlaufszeit verkürzt oder verlängert. So zerfiel der *Bielasche Komet* 1845 in zwei Teile, deren Abstand 1872 bereits auf 2,411 Mill. km angewachsen war. Seitdem hat man ihn nicht mehr wiedergesehen, doch erschienen statt seiner 1872 und 1885 glänzende Sternschnuppenfälle.

Physik der Kometen. Die Kometen setzen sich zusammen aus dem Kopf, bestehend aus *Kern* und *Hülle*, und aus dem *Schweif*. Der sternartige *Kern* hat in der Regel einen Durchmesser von 5 bis 100 km, die wolkenartige *Hülle*, auch *Koma* genannt, hat vielfachen Erddurchmesser, beim Kometen Finsler (1937) 48,8 Erddurchmesser oder 626000 km. Der mattleuchtende *Schweif* entwickelt sich mit Annäherung an die Sonne oft zu ansehnlicher Länge. Beim Kometen 1861 nahm er am Himmel über 120° ein. Der Schweif des Kometen 1843 war 250 Mill. km lang.
Mit der Entwicklung von Koma und Schweif nimmt die *Helligkeit* des Kometen in der Nähe der Sonne zu. Er reflektiert nicht nur das Sonnenlicht, sondern seine stark verdünnten Gase werden durch die Sonne auch zu eigenem Leuchten angeregt (*Resonanzleuchten*). Der Kopf des Kometen von 1744 übertraf an Glanz die Venus. Das unter der Einwirkung der Sonnenstrahlung austretende Gas geht dem Kometenkern verloren, so daß sich diese Weltkörper in einem Prozeß der zeitweiligen, aber fortschreitenden Auflösung befinden. Der Kern, der überwiegend aus Eis besteht und in den *meteoritische Körper* verschiedenster Größe eingebettet sind, zerfällt, und seine festen Bestandteile verteilen sich mit der Zeit längs der ehemaligen Kometenbahn. So entsteht ein *Meteoritenring*, der im allgemeinen unsichtbar ist und folglich unbekannt bleibt. Durchquert die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne einen solchen Meteoritenring, so tritt zu diesem Zeitpunkt jährlich ein *Meteoritenstrom* am Himmel in Erscheinung.
Die Meteoritenströme werden nach den *Sternbildern* benannt, in denen zur Zeit des Maximums der Erscheinung der Ausstrahlungspunkt (*Radiant*) der Meteore liegt.
Hinsichtlich ihrer *Herkunft* ist von einem Teile der Ströme bekannt, daß sie auf bestimmte *Kometen* zurückgehen, die ihr Material mehr oder weniger stark auf ihrer Bahn verteilt haben. Etwa 20% der Meteoritenströme haben solche Bahnen. *Regelmäßige Wiederkehr* deutet auf gleichmäßige Verteilung der Materie auf der Bahn des Stromes hin. Ist die Materie auf der Bahn des Kometen noch in dessen Nähe versammelt, so kommt es nur zu Meteorfällen bei Wiederkehr des Kometen. Eine glänzende Erscheinung dieser Art sind in den letzten Jahrzehnten die *Oktober-Drakoniden* gewesen, die auf den Kometen Giacobini-Zinner zurückgehen. Sie erscheinen um den 9. Oktober und wurden 1926 zuerst beobachtet. 1933 und 1946 ereigneten sich reiche Meteorfälle. So war die mittlere Meteorhäufigkeit am Abend des 9. Oktober 1933 14000 Sternschnuppen in der Stunde, zeitweise steigerte sie sich auf 350 Meteore in der Minute.

Jährlich wiederkehrende Meteoritenströme

Zeit	Name	Herkunft	Erscheinung
3. Jan.	Bootiden (Quadrantiden)	unbekannt	ergiebiger Strom
12. März bis 5. April Maximum: 25. März	Hydraiden	Zweig der Virginiden	schwacher Strom
1. März bis 10. Mai Maximum: 3. April	Virginiden	ekliptikal	etwas stärkerer Strom
12. bis 24. April Maximum: 22. April	Lyriden	Komet 1861 I	mäßiger Strom, in Abnahme begriffen
29. April bis 21. Mai Maximum: 5. Mai	Mai-Aquariden	Komet Halley	ergiebiger Strom. Material längs der Bahn verteilt. Am Äquator und südlich davon besser zu beobachten als bei uns
20. April bis 30. Juli Maximum: 14. Juni	Scorpius-Sagittariiden	ekliptikal	schwacher Strom
25. Juli bis 10. Aug. Maximum: 3. Aug.	Juli-Aquariden	ekliptikal	lebhafter Strom, doch in südlichen Breiten besser zu beobachten als bei uns
20. Juli bis 19. Aug. Maximum: 11. Aug.	Perseiden (Laurentiusschwarm)	Komet 1862 III	stärkster bei uns zu beobachtender Strom, jedoch in den letzten Jahrzehnten abnehmend. Breite des Stromes 60 Mill. km
11. bis 30. Okt. Maximum: 19. Okt.	Orioniden	Komet Halley	lebhafter Strom. Der Komet hat das Material längs seiner Bahn verstreut
24. Sept. bis 10. Dez. Maximum: 13. Nov.	Tauriden	ekliptikal	mäßiger Strom
10. bis 20. Nov. Maximum: 16. Nov.	Leoniden	Komet 1866 I	mäßiger Strom
5. bis 19. Dez. Maximum: 12. Dez.	Geminiden	ekliptikal	lebhafter Strom

Die Bezeichnung *ekliptikal* weist darauf hin, daß der Strom nur eine geringe Neigung zur Ekliptik hat und vermutlich mit dem System der Kleinen Planeten zusammenhängt.

Ein sehr geringer Teil der Sternschnuppen und größeren Meteore entstammt dem interstellaren Raum und ist gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt. Die Erscheinung der Meteore wird von den *Meteoriten* (festen Körpern) hervorgerufen, die mit Geschwindigkeiten zwischen 10 und 70 km/s in die Erdatmosphäre eindringen. Ihre Größe liegt zwischen Staubkorn (*Mikrometeoriten*) und gewaltigen Felsblöcken (*Riesenmeteoriten*). Bei der Fahrt durch die Hochatmosphäre verdampfen die Meteoriten und werden abgebremst, in um so größerer Höhe, je kleiner sie sind. *Sternschnuppen* leuchten in 70 bis 120 km Höhe auf, *Feuerkugeln* gelangen tiefer herab, ehe sie verdampfen. Größere Meteoriten werden oft durch Erhitzen und den Luftdruck auseinandergerissen. Die größten Körper gelangen zum Teil bis auf den Erdboden und richten dort große Zerstörungen an (*Meteoritenkrater*). Doch nimmt die Häufigkeit der meteoritischen Körper mit zunehmender Masse sehr stark ab, so daß die gefährlichen Riesenmeteoriten außerordentlich selten auf die Erde fallen.

Ihrer stofflichen Zusammensetzung nach unterscheidet man *Steinmeteoriten*, *Eisen-Stein-Meteoriten* und *Eisenmeteoriten*. Die erste Gruppe ist mit 88 % massemäßig die größte, die beiden anderen sind etwa gleich, je 6 %. Das gesamte meteoritische Material, das im Laufe eines Jahres mit der Erde zusammenstößt, schätzt man auf rund 4 Millionen Tonnen. Davon sind rund 1 Million Tonnen

reines Eisen. Den Hauptanteil des jährlichen Massezuwachses der Erde an meteoritischer Materie liefern die Mikrometeoriten, nämlich 99,74 %, auf die teleskopischen Meteoriten entfallen etwa 0,2 %, auf die sichtbaren Sternschnuppen 0,05 % und schließlich auf die großen Feuerkugeln und Riesenmeteoriten nur 0,01 %.

Bedeutende Meteoritenfälle und -funde

Fundort und Jahr	Masse
Steinmeteorite:	
Haviland-krater, Kiowa County (Kansas)	550 kg
Kanyahinya (Ungarn, 1866)	294 kg
Pultusk (Polen, 1868)	Steinregen von etwa 100000 Steinchen
Kansas-Nebraska (USA, 1948)	etwa 1000 Steine, darunter einer von 1073 kg
Eisen-Nickel-Meteorite:	
Tunguska (Sibirien, 1908)	200000 kg
Sichote-Alin (Sibirien, 1947)	über 100 Krater; 100000 kg
Arizonakrater (USA, vorgeschichtlichen Ursprungs)	10 Mill. kg
Treysa (Hessen, 1916)	63 kg
Hoba, SW-Afrika	60000 kg

Der Meteorit auf der Grenze zwischen *Kansas* und *Nebraska* ist der größte bekannte Steinmeteorit. Der *Tungusker Meteorit* vernichtete einen Baumbestand auf einer Fläche von 1200 km². Der *Arizonakrater* hat Durchmesser von 1173 m und 1265 m und eine Tiefe von 134 m, bezogen auf die Außenebene. Der Wall erhebt sich bis zu 46 m über die Erdoberfläche. Im Jahre 1951 wurde in der Provinz Quebec (Kanada) der von einem See ausgefüllte Chubbkrater entdeckt, dessen Durchmesser etwa 3,2 km beträgt. Er gilt als der größte bisher bekannte Meteoritenkrater.

V. Unser Sternsystem

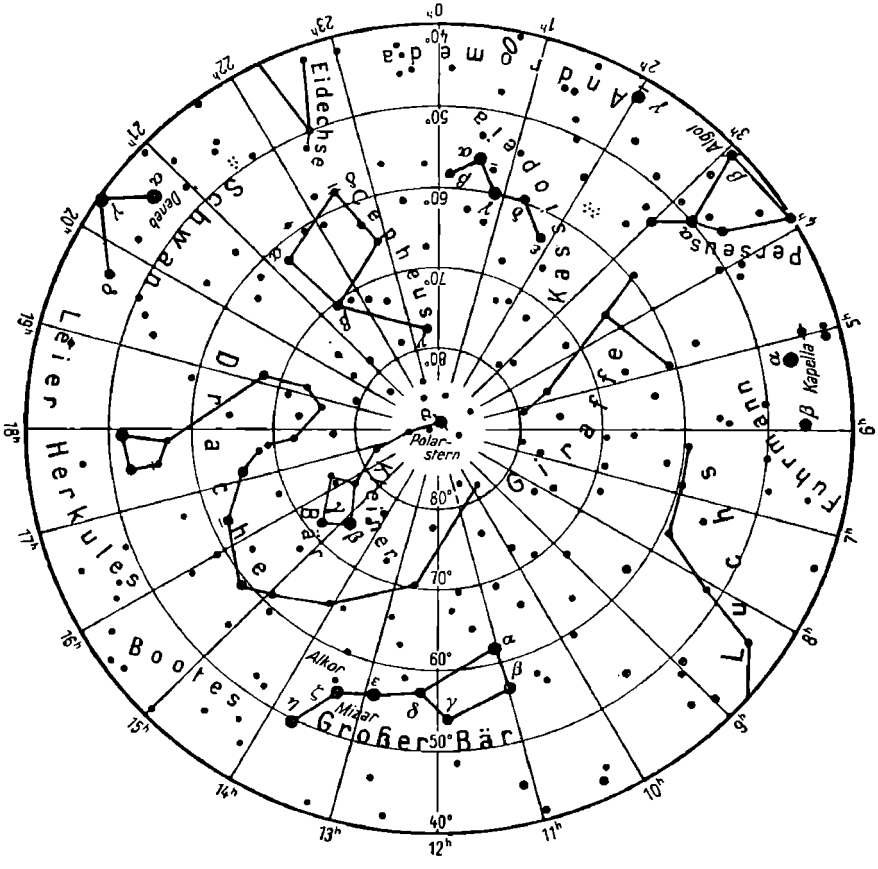
STERNBILDER

†Adler, Aquila—Aql
Altar, Ara—Ara
*Andromeda—And
Becher, Crater—Crt
Bildhauer, Sculptor—Scl
*Bootes—Boo
*Cepheus—Cep
Chamaeleon—Cha
*Delphin, Delphinus—Del
*Drache, Draco—Dra
*Dreieck, Triangulum—Tri
*Eidechse, Lacerta—Lac
†Einhorn, Monoceros—Mon
Eridanus—Eri
Fernrohr, Telescopium—Tel
†Fische, Pisces—Psc
Fliege, Musca—Mus
Fliegender Fisch, Volans—Vol
*Füchschen, Vulpecula—Vul
*Fuhrmann, Auriga—Aur
*Füllen, Equuleus—Equ
*Giraffe, Camelopardalis—Cam
Grabstichel, Caelum—Cae
*Großer Bär, Ursa maior—UMa
†Großer Hund, Canis maior—CMa
*Haar der Berenike, Coma—Com
Hase, Lepus—Lep
*Herkules—Her
Hinterdeck, Puppis—Pup
Indianer, Indus—Ind
*Jagdhunde, Canes venatici—CVn
†Jungfrau, Virgo—Vir
*Kassiopeia, Cassiopeia—Cas
Kiel, Carina—Car
*Kleiner Bär, Ursa minor—UMi
*Kleiner Hund, Canis minor—CMi
*Kleiner Löwe, Leo minor—LMi
Kleine Wasserschlange, Hydrus—Hyi
Kranich, Grus—Gru
*Krebs, Cancer—Cnc
Kreuz, Crux—Cru
*Leier, Lyra—Lyr
*Löwe, Leo—Leo
*Luchs, Lynx—Lyn
Luftpumpe, Antlia—Ant
Maler, Pictor—Pic
Mikroskop, Microscopium—Mic
Netz, Reticulum—Ret
*Nördliche Krone, Corona borealis—CrB
Ofen, Fornax—For
Oktant, Octans—Oct
†Orion—Ori
Paradiesvogel, Apus—Aps
*Pegasus—Peg

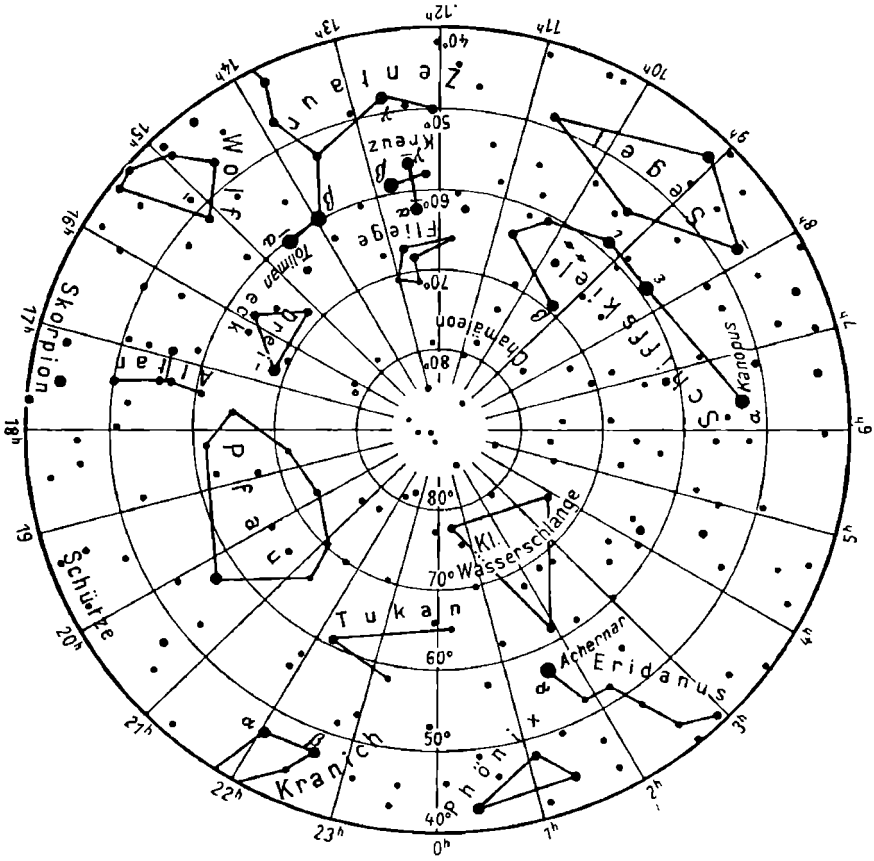
Pendeluhr, Horologium—Hor
*Perseus—Per
Pfau, Pavo—Pav
*Pfeil, Sagitta—Sge
Phoenix—Phe
Rabe, Corvus—Crv
Segel, Vela—Vel
Schiffskompaß, Pyxis—Pyx
Schild, Scutum—Sct
†Schlange, Serpens—Ser
†Schlangenträger, Ophiuchus—Oph
Schütze, Sagittarius—Sgr
*Schwan, Cygnus—Cyg
Schwertfisch, Dorado—Dor
†Sextant, Sextans—Sex
Skorpion, Scorpius—Sco
Steinbock, Capricornus—Cap
*Stier, Taurus—Tau
Südliche Krone, Corona austrina—CrA
Südlicher Fisch, Piscis austrinus—PsA
Südliches Dreieck, Triangulum austrinum—TrA
Tafelberg, Mensa—Men
Taube, Columba—Col
Tukan, Tucana—Tuc
Waage, Libra—Lib
†Walfisch, Cetus—Cet
Wassermann, Aquarius—Aqr
†Wasserschlange, Hydra—Hya
*Widder, Aries—Ari
Winkelmaß, Norma—Nor
Wolf, Lupus—Lup
Zentaur, Centaurus—Cen
Zirkel, Circinus—Crc
*Zwillinge, Gemini—Gem

Die Sternbilder sind nach deutschen Namen alphabetisch geordnet. Dann folgen die lateinischen Namen, sofern sie von den deutschen verschieden sind, und schließlich die internationalen Abkürzungen; * bedeutet, daß sich das Sternbild am nördlichen, † daß es sich sowohl am nördlichen als auch am südlichen Himmel befindet. Die Sternbilder des südlichen Himmels sind unbezeichnet geblieben.

FIXSTERNHIMMEL



Nördlicher Fixsternhimmel



Südlicher Fixsternhimmel

STATISTIK

Anzahl der Sterne bis zur 20. Größe

Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl
0	2	7	14500	14	15100000
1	10	8	41700	15	37100000
2	41	9	117000	16	83000000
3	148	10	363000	17	174000000
4	537	11	912000	18	380000000
5	1660	12	2450000	19	660000000
6	4900	13	6160000	20	1170000000

Die von uns erfaßbaren Helligkeitsunterschiede erstrecken sich von der Sonne im Zenit (141000 Candela in 1 m Entfernung oder $-26^m,86$) bis zum schwächsten z. Z. beobachtbaren Stern (1 Candela in 15740 km Entfernung bzw. 22^m).
Mit *unbewaffnetem Auge* sind am ganzen Himmel etwa 6000 Sterne sichtbar, wenn man von der Extinktion des Sternlichts in der Erdatmosphäre absieht und als Grenzgröße der Wahrnehmbarkeit $m_g = 6^m$ annimmt. Einzelne Menschen haben ein besseres Sehvermögen. Mit dem Alter geht die Grenzgröße auf 5^m bis 4^m zurück. Die *Sternhelligkeit* ist so festgelegt, daß zwei Sterne sich um eine

Größenklasse unterscheiden, wenn ihr Strahlungsfluß S im Verhältnis 1 : 2,512 steht, oder als Formel: $m_0 - m_1 = -2{,}5 \lg \frac{S_0}{S_1}$. Dem *Prismenglas* erschließen sich die Sterne bis zur Größe 7 und 8. Ein *Fernrohr* mit 10 cm Objektivöffnung erreicht noch die Sterne zwischen Größe 9 und 12. In großen Fernrohren sind noch Sterne bis zur Größe 16 erkennbar. Darüber hinaus, bis zur Größe 22, dringt nur die *Himmelsphotographie* in mehrstündiger Belichtungszeit.
Die Sternkarten enthalten nur die bekanntesten Sternbilder. Die einprägsamsten sind durch Verbindungslinien zwischen ihren Sternen hervorgehoben.

Die nächsten Fixsterne

Name	scheinbare Größe in m	Parallaxe in "	absolute Größe in M	Entfernung in Lichtjahren
Proxima Centauri	11,3	0,765	15,7	4,26
Toliman A } Doppelstern	0,0	0,754	4,5	4,32
Toliman B } Doppelstern	1,4	0,754	5,9	4,32
Barnards Stern	9,6	0,545	13,2	5,98
Luyten 726–8 A } Doppelstern	12,3	0,500	16,2	6,52
Luyten 726–8 B } Doppelstern	13,0	0,500	16,7	6,52
Wolf 359	13,5	0,420	16,5	7,75
Lalande 21185	7,5	0,398	10,5	8,19
Sirius B } Doppelstern	8,6	0,375	11,4	8,69
Sirius A } Doppelstern	− 1,4	0,375	1,5	8,69

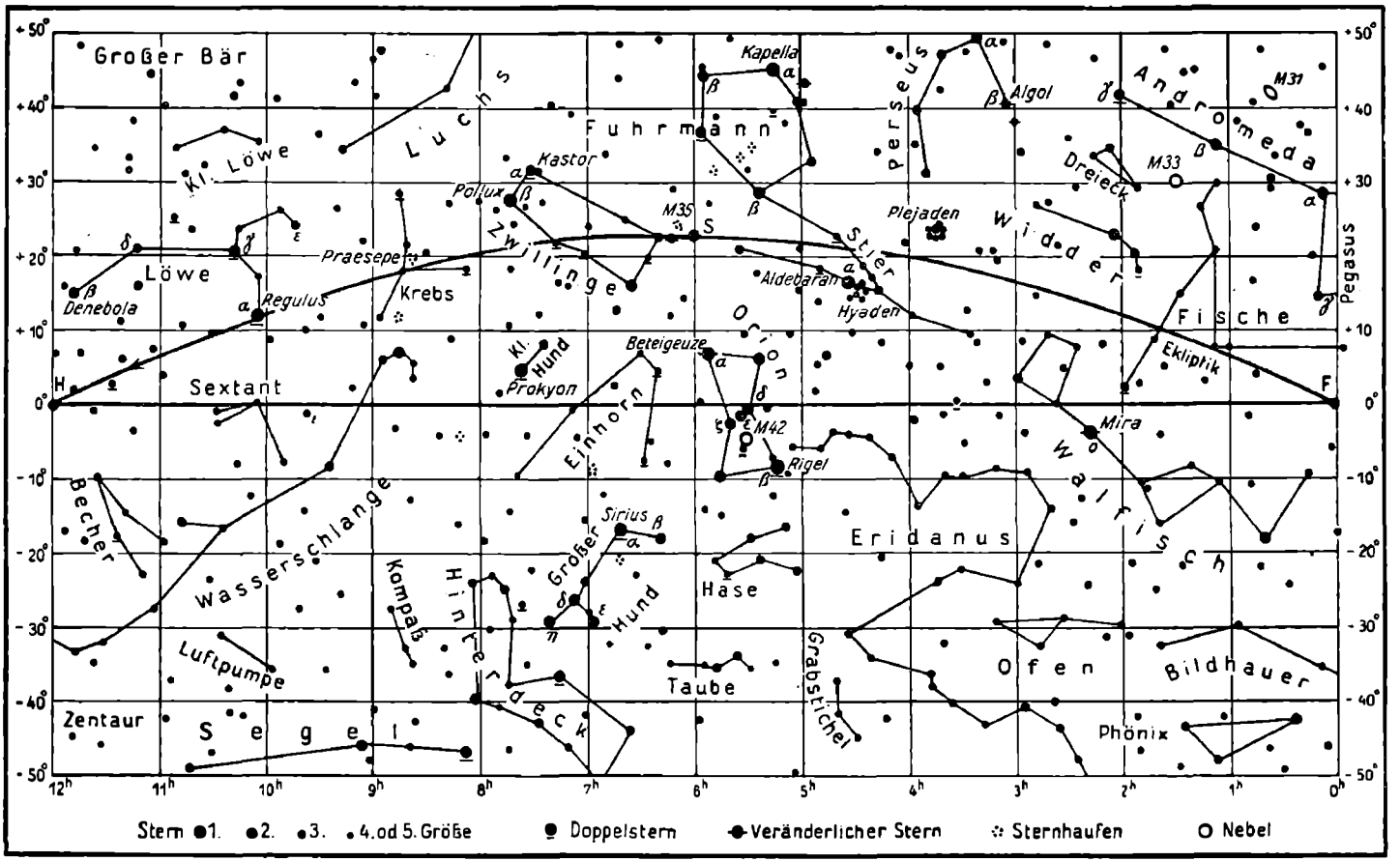
Unter den 20 nächsten Sternen befinden sich nur drei Sterne erster Größe, wenn man die Doppelsterne Toliman und Sirius als je einen Stern rechnet. *Barnards Stern* im Schlangenträger, auch „*Pfeilstern*" genannt, besitzt zugleich die größte Eigenbewegung; sie beträgt jährlich 10",3.

Modelle. Denkt man sich zur Veranschaulichung der Entfernungen im Weltraum ein Modell wie das des Planetensystems, in dem die wirklichen Entfernungen aber auf den billionsten Teil verkürzt sind, dann würde in ihm die Erde als Stäubchen von 0,013 mm Durchmesser im Abstand von 15 cm um die Sonne mit 1,4 mm Durchmesser kreisen. Der dem Sonnensystem nächste Fixstern Proxima Centauri wäre dann etwa 40,3 km von der „Modellsonne" entfernt zu denken. Im Kerngebiet der Milchstraße stehen die Sterne zwar dichter beieinander, ihre große Anzahl (rund 75 Milliarden) nimmt aber einen sehr großen, linsenförmigen Raum ein, der von der Erde aus mit 386250 km etwa bis zur Mondbahn (384400 km) reicht und im Kern eine Dicke vom 12fachen Erddurchmesser hat.
Interessant ist, daß die Milchstraßensysteme im Verhältnis zu ihrer Größe dichter aneinander liegen als die Sterne in ihnen untereinander. Verkürzt man in einem neuen Modell den Maßstab nochmals auf den 1000sten Teil ($1 : 10^{15}$), so reicht von Leipzig aus der Radius des linsenförmigen Gebildes bis Kap Arkona, die Entfernung nach den Kapwolken, den nächsten Begleitern der Milchstraße, bis Smolensk und die zum Andromedanebel wäre rund 1100 km größer als der Erddurchmesser. In einer Kugel mit diesem Radius lägen noch 12 Sternsysteme, die allerdings klein gegen die Milchstraße sind.

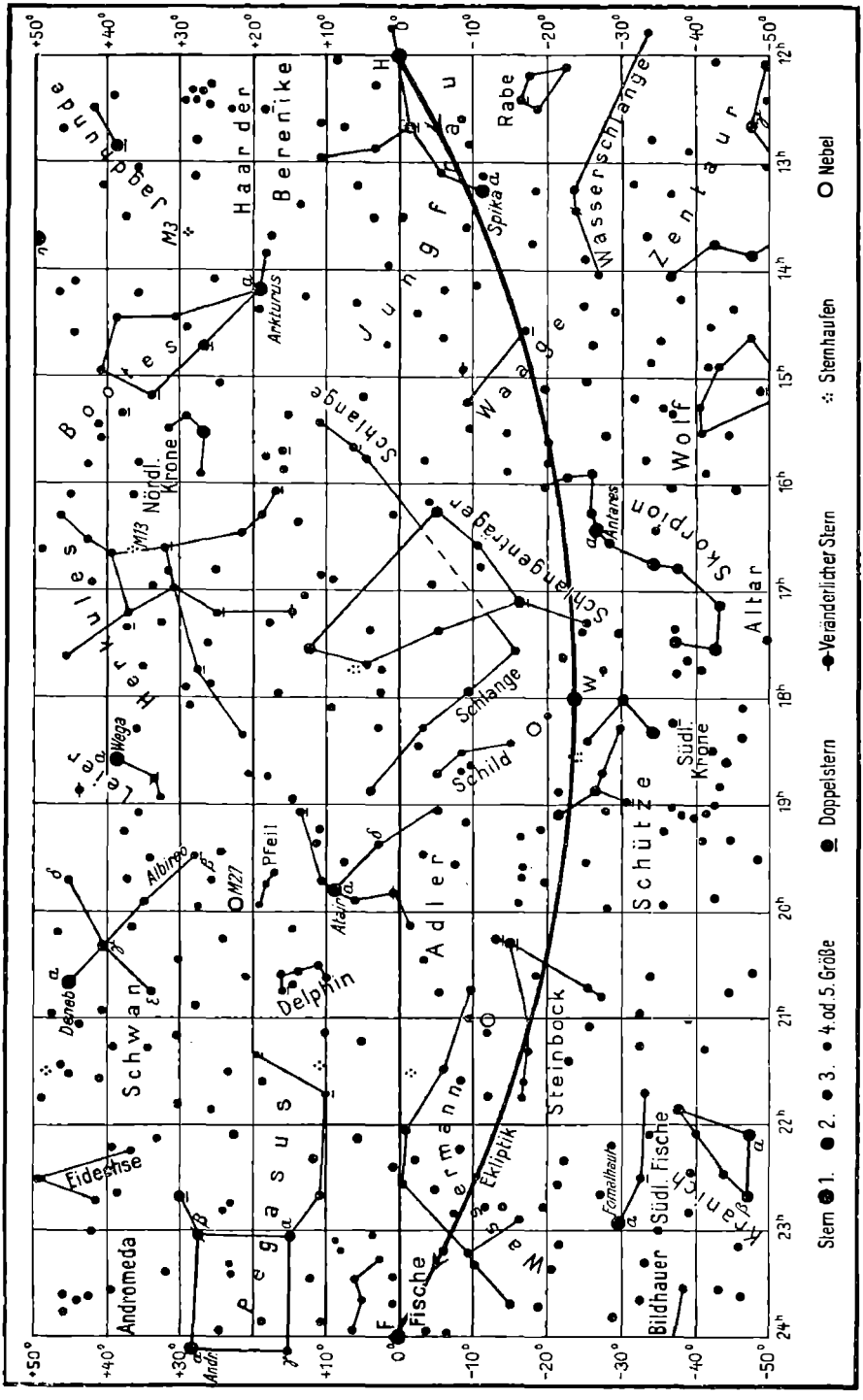
Galaktische Konzentration der Sterne. Der Anblick der Milchstraße und die schon mit bloßem Auge erkennbare Zunahme der Anzahl der Sterne zur Milchstraße hin sprechen für eine abgeflachte Gestalt unseres Sternsystems. Eine genauere Vorstellung gewinnt man aus dem Verhältnis $K = \frac{n_0}{n_{90}}$ der mittleren Sterndichte in der Milchstraße n_0 zu der am Pol der Milchstraße n_{90}. Als Sterndichte bezeichnet man die Anzahl der Sterne bis zu einer bestimmten Größe m, die auf einem Quadratgrad der Himmelsfläche stehen. Bei den hellsten Sternen unterliegt die Konzentration K noch stark den zufälligen Schwankungen und variiert zwischen 2 und 4. Von der Größe m = 7 ab (Tabelle) steigt die Konzentration mit abnehmender Helligkeit beträchtlich an. Daraus folgt, daß es schwache, also im Durchschnitt sehr entfernte Sterne vorzugsweise in der Milchstraßenebene gibt.

Die Konzentration der Sterne zur Hauptebene des Milchstraßensystems

m	K	m	K	m	K	m	K
7	3.80	11	5,89	15	14,1	19	39,8
8	3,89	12	7,08	16	18,1	20	50
9	4,36	13	8,13	17	22,4	21	63
10	5,01	14	10,23	18	30,1		



Äquatorzone I



Äquatorzone II

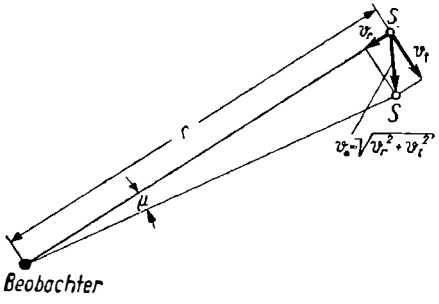
Die zwanzig

Name	scheinbare Helligkeit in m	Farbe	Parallaxe p ("/AE)	Entfernung r in Lj
Sirius, α CMa, Großer Hund	−1,58	weiß	0,375	8,7
Kanopus, α Car, Schiffskiel	−0,86	gelblich	0,021	155
Toliman, α Cen, Zentaur	0,06	gelb	0,754	4,3
Arkturus, α Boo, Bootes	0,24	orange	0,102	32
Wega, α Lyr, Leier	0,14	weiß	0,125	26
Kapella, α Aur, Fuhrmann	0,21	gelb	0,073	45
Rigel, β Ori, Orion	0,34	weiß	0,005	650
Prokyon, α CMi, Kleiner Hund	0,48	gelb	0,287	11
Achernar, α Eri, Eridanus	0,60	weiß	0,023	140
Agena, β Cen, Zentaur	0,86	weiß	0,024	136
Atair, α Aql, Adler	0,89	gelblich	0,210	15,5
Acrux, α Cru, Kreuz	0,81	weiß	0,020	160
Aldebaran, α Tau, Stier	1,06	orange	0,048	68
Antares, α Sco, Skorpion	1,22	rötlich	0,008	400
Spika, α Vir, Jungfrau	1,21	weiß	0,014	230
Pollux, β Gem, Zwillinge	1,21	orange	0,095	34
Fomalhaut, α PsA, Südlicher Fisch	1,29	gelbweiß	0,144	25
Deneb, α Cyg, Schwan	1,33	gelbweiß	0,002	1600
Regulus, α Leo, Löwe	1,34	weiß	0,038	86
Beteigeuze, α Ori, Orion (veränderlich)	0,1···1,2	orange	0,012	270

Einen Teil der *helleren* Sterne hat man mit Namen belegt. Daneben bezeichnet man sie mit einem kleinen griechischen Buchstaben und dem Sternbild, z. B. Sirius oder α Canis maioris (CMa). *Kleinere* Sterne versieht man mit Nummern, z. B. 31 Cygni.

Angaben über die Unterschiede zwischen *scheinbarer Helligkeit* m und *absoluter Helligkeit* M und ihre Bedeutung für die Entfernungsbestimmung s. Entfernungsmessungen und Maßeinheiten (Die photometrischen Methoden).

Die oben angeführten 20 hellsten Sterne sind nicht die uns nächsten. Der erste Stern, dessen Parallaxe von Bessel mit 0",35 gemessen werden konnte, war 61 Cygni von der Größe 5m,6.



Radialgeschwindigkeit v_r und Eigenbewegung μ eines Sternes S lassen sich bei bekannter Entfernung r zur Raumgeschwindigkeit v_* zusammensetzen

BEWEGUNGSVERHÄLTNISSE

Eigenbewegung und Radialgeschwindigkeit. Unter *Eigenbewegung* versteht man die Bewegung rechtwinklig zu unserer Blickrichtung, gemessen in Bogensekunden je Jahr ["/a]. Sie ergibt die tangentiale Komponente der räumlichen Bewegung (Abb.). Die *Radialgeschwindigkeit* ist die Geschwindigkeit in unserer Blickrichtung.

Man gewinnt sie aus der Verschiebung der Linien im Spektrum nach dem *Dopplerschen Prinzip*. Ein Stern, der sich von uns entfernt, zeigt in seinem Spektrum eine Verschiebung der Linien in Richtung langer Wellen (*Rotverschiebung*). Seine Radialgeschwindigkeit wird positiv gerechnet. Bei einer Violettverschiebung der Spektrallinien zählt man die Radialgeschwindigkeit negativ. Das bedeutet nicht, daß der Stern jemals in die Nähe unserer Sonne gelangt. Dies wäre nur der Fall, wenn gleichzeitig die tangentiale Komponente Null sein würde. Aus der Abbildung folgt, daß ein Stern S, dessen räumliche Geschwindigkeit relativ zur Sonne v_* ist, eine negative radiale Geschwindigkeit v_r und infolge der tangentialen Geschwindigkeitskomponente v_t bei der Entfernung r die Eigenbewegung μ hat. Die für die Untersuchung der Eigenschaften unseres Milchstraßensystems wichtige Kenntnis der räumlichen Bewegung der Sterne relativ zur Sonne wird also aus den drei Beobachtungsgrößen Radialgeschwindigkeit v_r, Größe und Richtung der Eigenbewegung μ gewonnen, wenn

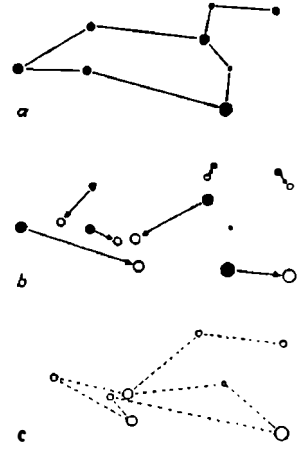
hellsten Sterne

absolute Helligkeit M	(Sonne = 1)	Eigenbewegung μ (''/Jahr)	Richtungswinkel der Eigenbewegung	Radialgeschwindigkeit in km/s	Spektraltyp	Leuchtkraftklasse (LKK)
1,5	19	1,32	204°	− 8	A1	V
− 5,0	8000	0,02	56°	+20	F0	Ib
4,2	1,6	3,68	281°	−22	G2	Ib
0,2	63	2,29	209°	− 5	K0	III
0,6	44	0,35	36°	−13	A0	V
− 0,5	120	0,44	168°	+30	G1	III
− 6,5	30000	0,00	135°	+24	B8	Ia
2,6	7	1,24	214°	− 3	F5	IV
− 2,6	830	0,09	108°	+19	B5	IV
− 2,5	760	0,04	220°	−12	B1	II
2,4	8	0,66	54°	−26	A7	V
− 2,7	910	0,048	228°	− 7	B1	IV
− 0,6	130	0,20	160°	+54	K5	III
− 4,0	3000	0,03	192°	− 3	M1	Ib
− 3,3	1600	0,05	229°	+ 2	B1	V
1,0	30	0,62	264°	+ 4	G9	III
2,0	13	0,37	117°	+ 6	A3	V
− 7,0	48000	0,00	315°	− 5	A2	Ia
− 1,0	190	0,25	247°	+ 3	B8	V
− 4,1	3300	0,03	74°	+21	M2	Ib

gleichzeitig die Entfernung r bzw. die Parallaxe bekannt ist. Da alle diese Einzelwerte nur für verhältnismäßig wenige Sterne bekannt sind, greift man zu statistischen Methoden, die sich entweder auf die Eigenbewegungen oder die Radialgeschwindigkeiten stützen.

Apexbewegung der Sonne. Mit diesen Methoden gewinnt man auch die Relativbewegung der Sonne gegen den Bewegungsschwerpunkt der Sterne der Sonnenumgebung. Man gibt die Größe und Richtung dieser Geschwindigkeit an, die Richtung durch den Zielpunkt der Bewegung an der Sphäre, den man den *Sonnenapex* nennt.

Sternströme und Rotation der Milchstraße. Den Zielpunkt eines Sternstromes nennt man *Vertex*. Die Sterne der Sonnenumgebung zeigen zwei ungefähr entgegengesetzte Vorzugsrichtungen der Bewegung. Die frühere Auffassung von zwei einander durchdringenden Sternströmen (Zweistromhypothese) wurde schließlich im Sinne der Erkenntnis einer allgemeinen Umlaufsbewegung der Mitglieder unseres Sternsystems (Rotation der Milchstraße) gedeutet.

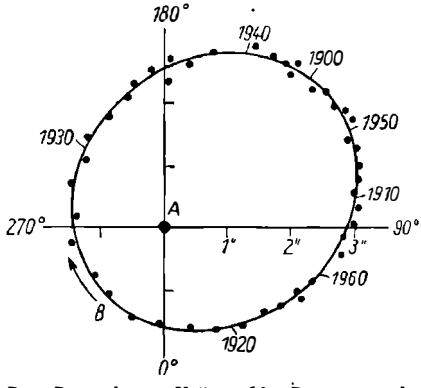


Beispiel für die Eigenbewegung der Sterne: a heutige Stellung der Sterne im Löwen; b ihre Eigenbewegung in den nächsten 100000 Jahren, heutiger Ort als Punkt, zukünftiger als Ring; c Stellung der Sterne nach 100000 Jahren

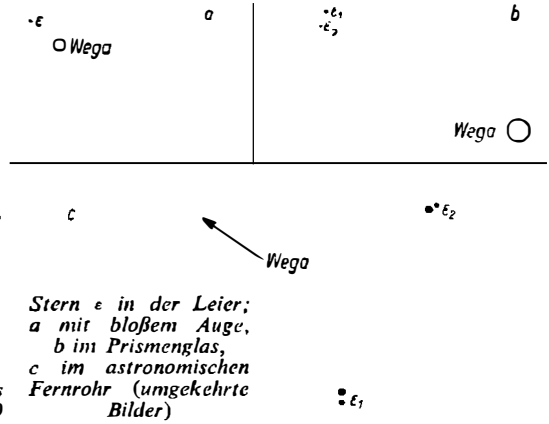
STERNANHÄUFUNGEN

Doppel- und mehrfache Sterne. Die Sterne kommen nur bis zu etwa 50% als Einzelobjekte vor, die übrigen sind in Systemen von 2 oder mehr Sternen vereinigt. Die weitaus überwiegende Anzahl der mehrfachen Systeme sind Doppelsterne. Man hat *optische* und *physische* Doppelsterne zu unterscheiden, also solche, die nur perspektivisch benachbart sind, und solche, die ein wirkliches System bilden, deren Komponenten sich umeinander bewegen. Die Anzahl der optischen Systeme ist verschwindend gering, die meisten sind physische Systeme. Von diesen gibt es wiederum vier Unter-

gruppen: *freisichtbare*, die mit bloßem Auge getrennt werden können, *teleskopische*, die nur im Fernrohr als Doppelsterne erkennbar sind, *spektroskopische*, deren Doppelsternnatur aus der Linienverschiebung im Spektrum erkannt wird, und *photometrische*, die sich während eines Umlaufs



Der Doppelstern Krüger 60; Bewegung des Begleiters B um den Hauptstern A seit 1900



Stern ε in der Leier; a mit bloßem Auge, b im Prismenglas, c im astronomischen Fernrohr (umgekehrte Bilder)

zweimal gegenseitig abdecken und als Sterne veränderlicher Helligkeit erscheinen. Für die beiden ersten Gruppen kennt man auch die gemeinsame Bezeichnung *visuelle* Doppelsterne. Bei engen und nahen Doppelsternen kann man im Laufe relativ kurzer Zeit die Veränderung ihrer gegenseitigen Lage beobachten (Abb.).

Einige Beispiele von Doppelsternen

Sternbild	Bezeichnung	m_{vis} A	m_{vis} B	a "	U Jahre	p "	$\mathfrak{M}/\mathfrak{M}_\odot$ A	$\mathfrak{M}/\mathfrak{M}_\odot$ B
Kassiopeia	η Cas	6,4	7,2	12,0	480	0,17	0,94	0,58
Großer Hund	α CMa	− 1,5	8,6	7,6	50	0,38	2,28	0,98
Bootes	ξ Boo	4,7	6,7	4,9	150	0,15	0,85	0,75
Herkules	ζ Her	2,9	5,5	1,4	34	0,10	1,07	0,78
Schwan	61 Cyg	5,6	6,3	24,4	692	0,31	0,60	0,50
Schlangenträger	70 Oph	5,1	8,5	4,6	88	0,20	0,90	0,65
Pegasus	85 Peg	5,8	8,9	0,8	26	0,08	0,82	0,80

Zwischen den Massen der beiden Komponenten wirkt die Schwerkraft, die Bewegung erfolgt nach den Keplerschen Gesetzen. Insbesondere ergibt sich aus dem dritten die Bedeutung der Doppelsterne für die Bestimmung der Massen der Sterne. Es gilt $\mathfrak{M}_A + \mathfrak{M}_B = \frac{1}{U^2}\left(\frac{a''}{p''}\right)^3$; sind die Umlaufszeit U in Jahren, die große Halbachse a der Bahn der kleineren Komponente B um die größere A und die Parallaxe p in Bogensekunden ausgedrückt, so erhält man die Summe der Massen beider Komponenten in Einheiten der Sonnenmasse. In vielen Fällen gelingt es auch noch, die Gesamtmasse in die beiden Teilmassen aufzuspalten. Auch ist es vielfach möglich, die Durchmesser der beiden Sterne zu bestimmen. Aus solchen Ergebnissen weiß man, daß es sehr enge Doppelsternsysteme gibt, deren Oberflächen sich berühren, und anderseits sehr ausgedehnte, deren Abstand Hunderte von astronomischen Einheiten beträgt. Dementsprechend liegen die Umlaufszeiten zwischen weniger als einem Tag und 10000 Jahren (s. Tabelle).

Sieben leicht trennbare Doppelsterne

Sternbild	Name	Sterngröße m (scheinbare Helligkeit) A	Sterngröße m (scheinbare Helligkeit) B	Abstand in "
Leier	ε Lyrae	5,0	5,0	207
Leier	ζ Lyrae	4,3	5,7	44
Drachen	ν Draconis	5,0	5,0	62
Stier	τ Tauri	4,3	7,3	63
Stier	σ Tauri	4,8	5,2	430
Hase	γ Leporis	3,8	6,4	95
Cepheus	δ Cephei	3,7/4,4	7,5	41

Doppelsterne dienen auch zur Prüfung der optischen Qualität eines Fernrohres; dazu kann z. B. die Tabelle leicht trennbarer Doppelsterne verwendet werden.

Außer den Doppelsternen gibt es auch *mehrfache Systeme.* ε Lyrae ist, wie die nebenstehende Zeichnung veranschaulicht, ein vierfaches System. In der Tabelle auf S. 404 tritt es nur als zweifaches System auf.
Unter den spektroskopischen und photometrischen Doppelsternen gibt es eine Reihe sehr enger Systeme, bei denen durch die gegenseitige Anziehung und die Zentrifugalkraft (Flutkräfte) erhebliche Abweichungen von der Kugelgestalt auftreten. Auch besonders extreme Massen hat man in diesen Systemen gefunden (Tabelle).

Photometrische Doppelsterne

Sternbild	Bezeichnung	U Tage	m_{pg} Max.	Min.	$\mathfrak{M}/\mathfrak{M}_\odot$ A	B	$R/R_\odot$ A	B
Fuhrmann	ε Aur	9899	3,1	4,0	42	28	1280	720
Cepheus	VV Cep	7430	6,6	7,4	24	24	1940	19
Fuhrmann	ζ Aur	972	4,9	5,6	16	10	245	5
Kassiopeia	RX Cas	32,5	10,0	11,1	0,60	0,58	7,5	17,5
Leier	β Lyr	12,9	3,4	4,4	9,7	19,5	19,2	13,8
Orion	δ Ori	5,7	2,5	2,6	30	11	14,8	9,2

Sternhaufen. Zu unserem Milchstraßensystem gehören zwei Arten von Sternhaufen: die sogenannten *offenen Sternhaufen* und die *Kugelsternhaufen.* Die Haufen der ersten Gruppe gehören zum eigentlichen flachen Milchstraßenraum, sie sind folglich am häufigsten in der Milchstraße anzutreffen. Die Kugelsternhaufen befinden sich im Außenraum um unser Sternsystem. Sie treten am häufigsten zu beiden Seiten des Milchstraßengürtels in etwa $\pm 10°$ galaktischer Breite auf. Außerdem sind sie im Durchschnitt erheblich größer und sternreicher als die offenen Sternhaufen, die auch als *galaktische Sternhaufen* bezeichnet werden.

Offene (galaktische) Sternhaufen

Bezeichnung Nr. im Katalog von Messier	Sternbild	m_{vis}	scheinbarer Durchmesser in Bogenminuten	Sternzahl N	Entfernung r in Parsek
M 45	Stier (Plejaden)	1,4	100	130	140
M 35	Zwillinge	5,3	40	120	830
M 41	Großer Hund	4,6	30	50	780
M 24	Schütze	4,6	4	50	4900
M 46	Hinterdeck	9,2	24	150	1800

Kugelsternhaufen

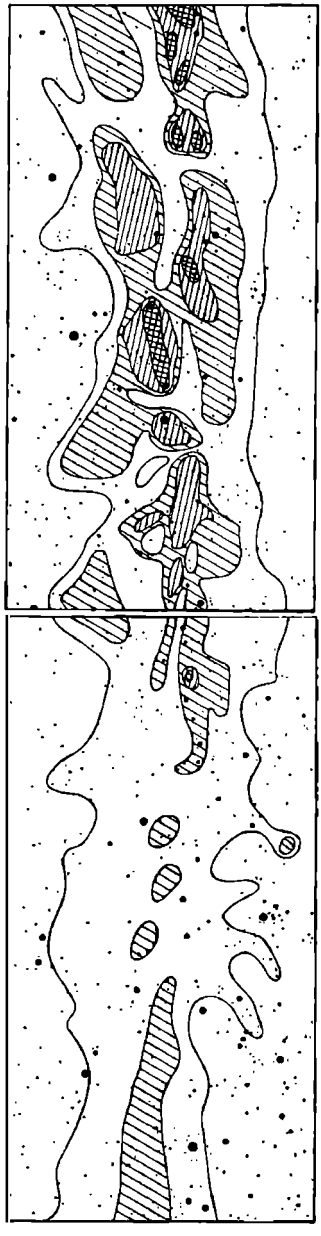
Bezeichnung	Sternbild	m_{vis}	Durchmesser in Bogenminuten	r(pc)	Sternzahl N
M 13	Herkules	5,8	10,0	7000	500000
M 53	Haar der Berenike	7,6	3,3	18000	—
M 4	Skorpion	6,3	14,0	7300	60000
M 75	Schütze	8,0	1,9	48500	—
M 15	Pegasus	6,2	7,4	13200	6000000

Sternwolken. Noch größere Sternansammlungen treffen wir in der Hauptebene des Milchstraßensystems an. Es sind die bereits mit unbewaffnetem Auge erkennbaren größeren und kleineren *Sternwolken* der Milchstraße (Abb.: Die Sommer- und Wintermilchstraße).
Untersuchungen der Sternverteilung in galaktischer Länge machten schon seit langem deutlich, daß die größte Sternhäufigkeit im Sternbild Schütze zu finden ist. In dieser Richtung sucht man auch das *zentrale Kerngebiet* des Milchstraßensystems.

INTERSTELLARE MATERIE

Interstellare Teilchen und Magnetfelder. Schon mit bloßem Auge erkennt man in der Milchstraßenzone *Sternverdichtungen* und *Sternleeren.* Noch eindrucksvoller zeigen photographische Aufnahmen (Tafeln) diesen Sachverhalt. Darüber hinaus erkennt man *leuchtende, diffuse Gasmassen* und lokal

eng begrenzte, vielfach rundliche Gasnebel, die sog. *planetarischen Nebel*, die beim Aufleuchten von überhellen Neuen Sternen (Supernova) entstehen und nicht im engeren Sinne zur interstellaren Materie gerechnet werden. Wir wissen heute, daß der Raum zwischen den Sternen von gas- und staubförmiger Materie erfüllt ist, die eine mittlere Dichte von $\overline{\varrho} = 10^{-24}$ g/cm³ besitzt; das bedeutet etwa ein Wasserstoffatom im Kubikzentimeter. Die interstellare Materie nimmt an der allgemeinen Bewegung im Sternsystem teil und wäre schon längst von den Sternen aufgesaugt worden, wenn sie nicht fortwährend erneuert würde. Von den meisten Sternen strömen andauernd Atome und Elektronen in den Raum. Am stärksten sind diese Ströme bei den heißen Riesensternen. Aber auch unsere Sonne gibt Protonen und Elektronen mit Geschwindigkeiten von im Mittel 1000 km/s in den interplanetaren Raum, die beim Zusammenstoß mit den Atomen und Molekülen der irdischen Ionosphäre die Polarlichter erzeugen. Da die Elementarteilchen der interstellaren Materie zu einem hohen Prozentsatz elektrisch geladen (ionisiert) sind, entsteht im Zusammenhang mit ihrer Bewegung ein allgemeines *galaktisches Magnetfeld*. Da sie außerdem noch Impulse aus dem Strahlungsstrom der Sterne erhalten, entstehen lokale Verdichtungen und Wirbel und somit stärkere, eng begrenzte Magnetfelder. Besonders die heißen Sterne erzeugen infolge ihrer intensiven ultravioletten Strahlung in ihrer unmittelbaren Umgebung verstärkte Ionisationsgebiete und durch Aufstau starke Verdichtungen der überwiegend neutralen Partikel der interstellaren Materie.



HI- und HII-Gebiete. Da der Hauptbestandteil der Sterne und somit auch des interstellaren Gases der Wasserstoff (Zeichen H) ist, werden die neutralen Verdichtungen als H I-Gebiete, die ionisierten als H II-Gebiete bezeichnet. Die mittlere Temperatur ist in beiden Gebieten sehr unterschiedlich, in den H I-Gebieten etwa 90 °K, in den H II-Gebieten rund 10000 °K. Die H I-Gebiete verraten sich bei hinreichender *optischer Dicke* durch scharfe, dunkle Absorptionslinien der Atome der Metalle Natrium, Kalium, Kalzium, Titan, Eisen u. a. sowie einiger Kohlenstoffverbindungen in den Spektren der hinter ihnen stehenden frühen Sterne. Unter optischer Dicke versteht man das Produkt aus der Absorptionswirkung der räumlichen Dichte (Anzahl der Teilchen je Kubikzentimeter) und der Tiefenerstreckung des Gebiets. Im Wellenlängenbereich der Radioastronomie hat die 21-cm-Linie eine große Bedeutung für die Bestimmung der Entfernungen und Lokalisierung der H I-Gebiete und damit für die Feststellung der Struktur des Skeletts unseres Milchstraßensystems. Im Spektrum der intensiv leuchtenden H II-Gebiete, die man früher *Emissionsnebel*, auch *chaotische Nebel* nannte, finden wir Linien des Wasserstoffs und die sogenannten *verbotenen* Linien des Sauerstoff- und

oben: Der visuelle Anblick der in unseren Breiten sichtbaren Sommermilchstraße läßt mehrere helle Sternwolken und die dazwischenliegenden Dunkelwolken im Zepheus, Schwan, Adler und Schützen erkennen

unten: Der visuelle Anblick der in unseren Breiten sichtbaren Wintermilchstraße zeigt nicht so helle und ausgedehnte Sternwolken, dafür ausgedehnte Dunkelwolken im Perseus, Fuhrmann, Stier und Orion

Stickstoffatoms, die früher als *Nebuliumlinien* bezeichnet wurden. Das bekannteste Beispiel eines Emissionsnebels ist der *Orion-Nebel*. Sein Leuchten wird angeregt durch die Strahlung sehr heißer Sterne (Trapez u. a.). Würden diese Sterne nicht dort inmitten der Gasmassen stehen, so wäre an dieser Stelle kein Nebel zu sehen (Tabelle).

Bei niedriger Temperatur der benachbarten Sterne werden die Atome des interstellaren Gases nicht mehr zur Emission der Wasserstoff-, Sauerstoff- und Stickstofflinien angeregt.

Emissionsnebel

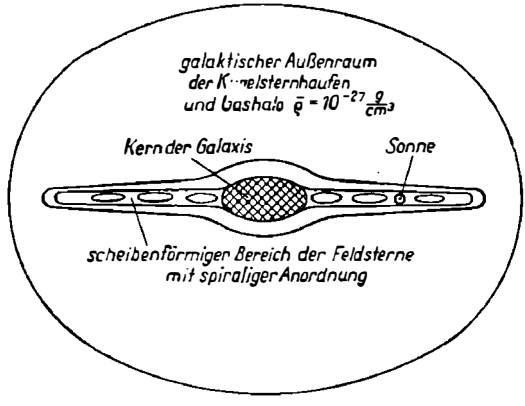
Bezeichnung	Sternbild	m	r (pc)	Durchmesser in Bogenminuten
M 42	Orion	4,0	400	50
M 20	Schütze	8,5	600	25
M 8	Schütze	5,8	700	40

Die Reflexionsnebel. Da mit den Gasen stets auch winzige, feste Partikel vermengt sind, wird das Licht benachbarter heller Sterne auch von diesem *kosmischen Staub* reflektiert. Man bezeichnet solche durch Sterne erhellte Gebiete als *Reflexionsnebel*. Der auffälligste Reflexionsnebel am nördlichen Himmel ist das Gebiet der Plejaden. Aber auch im Leuchten der Emissionsnebel ist stets ein Anteil reflektierten Staubleuchtens enthalten.

Dunkelwolken. Wenn die staubförmige Materie größere Dichte und weite Tiefenerstreckung hat, macht sie sich als Dunkelwolke durch Abschirmung des Lichtes der hinter ihr stehenden Sterne bemerkbar. Da die interstellare Materie äußerst stark zur Hauptebene der Galaxis konzentriert ist, findet man im Zuge der Milchstraße neben Sternwolken auch ausgesprochene Dunkelwolken (Tafel). Bekannt sind die Stelle oberhalb des Deneb in der Sommermilchstraße und der Kohlensack am südlichen Sternhimmel. Auch die unterhalb des Sternbildes Schwan beginnende Teilung der Milchstraße in zwei nebeneinander herlaufende Äste, die sich bis in die Nähe des Zentauren am südlichen Himmel erstreckt, wird durch ausgedehnte Dunkelwolken hervorgerufen. Diese Dunkelwolken sind auch die Ursache dafür, daß man das Kerngebiet der Milchstraße, das etwa 75 Milliarden Sterne enthält, nicht unmittelbar sehen und beobachten kann.

Globulen. Eng begrenzte Dunkelnebel sind die sog. *Globulen*. Dies sind Gebiete der interstellaren Materie mit sehr starker Dichtekonzentration und folglich auch großer Dichte der Staubmassen. Ihre Durchmesser liegen zwischen 10000 und 100000 AE, erfüllen also einen Raum kleiner als die Einflußsphäre der Sonne. Die Absorptionswirkung erreicht vielfach 5 Größenklassen. Die in ihnen enthaltene Masse der lichtabschirmenden festen Partikel liegt zwischen dem doppelten und dem 50fachen der Jupitermasse. Die Masse der im selben Raum befindlichen Gase läßt sich nicht abschätzen, wird aber als erheblich größer betrachtet, so daß die Annahme berechtigt ist, in den Globulen Vorstufen des leuchtenden Sterndaseins zu erblicken.

Das interstellare Strahlungsfeld. Der interstellare Raum wird von der Strahlung aller Sterne durchflutet. Die Dichte dieser Strahlung ist im Mittel $\bar{u} = 1{,}2 \cdot 10^{-12}$ erg/cm³. In diesem Strahlungsfeld würde ein *schwarzer Körper* (der alle auf ihn fallenden Strahlen verschluckt) eine Gleichgewichtstemperatur von $T_G = 3{,}6$ °K annehmen. In der Nähe von Sternen steigt diese Temperatur, wie wir aus unserem Planetensystem wissen, beträchtlich an. Der Dichte des galaktischen Strahlungsfeldes entspricht eine Massendichte von im Mittel $\bar{\varrho}_{Str} = 1{,}3 \cdot 10^{-33}$ g/cm³, also rund ein Milliardstel der Dichte der gasförmigen Materie.



Schematische Darstellung unseres Sternsystems (von der Seite gesehen)

AUFBAU DES MILCHSTRAßENSYSTEMS

Bis zum Anfang dieses Jahrhunderts nahm man an, daß unsere Sonne nicht weit vom Zentrum unseres stark abgeplatteten Sternsystems entfernt ist. Die Berücksichtigung der Sichtbehinderung durch die in der galaktischen Ebene konzentrierten Dunkelwolken, die sorgfältige Analyse der Längenabhängigkeit der Eigenbewegungen und Radialgeschwindigkeiten und die Anwendung neuer Beobachtungsmethoden haben bereits in den zwanziger Jahren zu der Erkenntnis geführt, daß sich unser Sternsystem in Richtung auf das Sternbild Schütze erheblich weiter erstreckt und daß unsere Sonne eine sehr exzentrische Stellung einnimmt (Abb.). Es wurde damit als ein Mit-

glied in die Welt der *extragalaktischen Nebel* eingereiht. Das *Kerngebiet* der Milchstraße, das etwa 75 Milliarden Sonnenmassen umfaßt, liegt rund 8,2 kpc von der Sonne entfernt. Es ist abgeplattet, die Sterndichte nimmt von der Mitte zum Rand hin ab. Der *scheibenförmige* Bereich der *Feldsterne* zeigt eine noch stärkere Abplattung. Hier liegen symmetrisch um die Hauptebene die wolkenförmig angeordneten Gas- und Staubmassen der interstellaren Materie sowie die auf Spiraläste verteilten Sternwolken. Die Sonne befindet sich im Raum zwischen zwei Spiralarmen, und zwar etwa 14 pc nördlich der Hauptebene. Senkrecht zur Hauptebene, auf der Zeichnung nach oben zum galaktischen Nordpol, nehmen die Dichte der interstellaren Materie und die Sterndichte rasch ab. Das scheibenförmige Sternsystem, das einen Durchmesser von 25 kpc hat, liegt in einem nur wenig abgeplatteten *Gashalo* eingebettet, in dessen Raum sich mindestens 200 Kugelsternhaufen, eine große Anzahl veränderlicher Einzelsterne und selbstverständlich auch kleinste feste Partikel befinden. Die Abplattung deutet darauf hin, daß unser Sternsystem rotiert, am stärksten der Scheibenbereich der Feldsterne. Unsere Sonne bewegt sich mit $V = 220$ km/s (in der Abb. senkrecht aus der Papierebene heraus) um das Zentrum und vollendet in rund 200 Millionen Jahren einen Umlauf.

Übersicht des Milchstraßensystems

Größter Durchmesser des Gashalo in der Milchstraßenebene	30 kpc
Dicke des Systems, vom Rand bis zur Mitte ansteigend	1 bis 5 kpc
Lage des Zentrums der Milchstraße, von der Sonne aus gesehen	326° galaktische Länge
Masse im Zentrum (etwa 75 Milliarden Sonnenmassen)	$7{,}5 \cdot 10^{10}$ Sonnen
Gesamtmasse (etwa 120 Milliarden Sonnenmassen)	$1{,}2 \cdot 10^{11}$ Sonnen
Abstand der Sonne von der Milchstraßenebene	14 pc nördlich
Abstand der Sonne vom Massenzentrum	8,2 kpc
Umlaufsgeschwindigkeit der Sonne	220 km/s
Umlaufszeit der Sonne etwa	200 Mill. Jahre
Durchmesser des Systems der Kugelhaufen	30 kpc

VI. Physik der Sterne

ZUSTANDSGRÖßEN DER STERNE

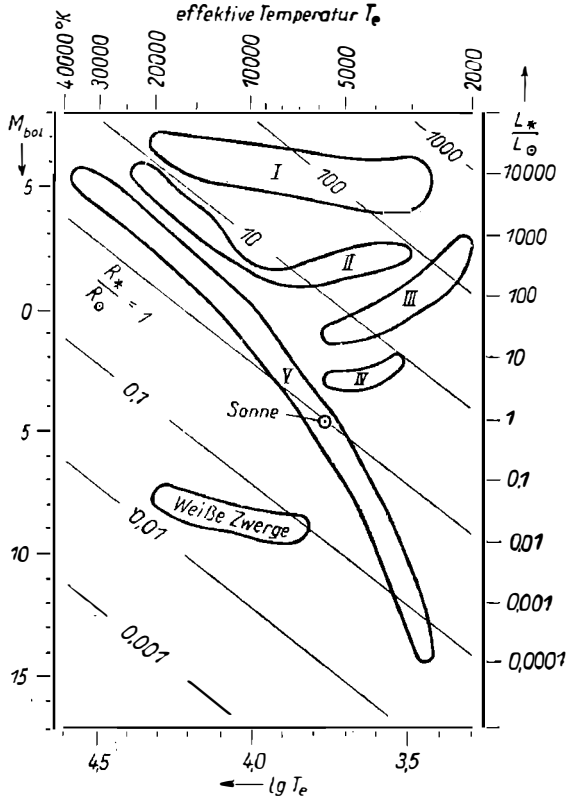
Die schon mit unbewaffnetem Auge erkennbare verschiedene Färbung des Sternlichts von bläulich über weiß, gelb bis rötlich läßt erkennen, daß die Sterne sich in verschiedenen Zuständen befinden. Man kann jeden Stern durch eine Reihe von Angaben charakterisieren, die unter dem Namen *Zustandsgrößen* bekannt sind (Tafel).

Die Zustandsgrößen der Sterne

(1) Leuchtkraft L [erg/s]
(2) Spektraltyp und Leuchtkraftklasse
(3) effektive Oberflächentemperatur T_e [°K]
(4) Radius R [cm]
(5) Masse $\mathfrak{M}$ [g]
(6) Rotationsfrequenz $\omega = \frac{2\pi}{P}$ [s^{-1}]
(7) Magnetfeld $\mathfrak{H}$ [Gauß]
(8) Abplattung α
(9) chemische Zusammensetzung

Die *Leuchtkraft* L eines Sternes gibt die Leistung an, die der im Inneren arbeitende Mechanismus der Kernumwandlungsprozesse hervorbringt. Nimmt man die Energieproduktion der Sonne als Einheit ($L_\odot = 1$), so gibt es Sterne, deren Leistung das 10000fache bzw. ein Zehntausendstel beträgt (Abb.).
Der Leuchtkraft proportional ist die absolute Helligkeit der Gesamtstrahlung, die sogenannte *absolute bolometrische Helligkeit* M_{bol}. Man kann sie aus der scheinbaren Helligkeit m und der Parallaxe p eines Sternes bei Kenntnis seiner effektiven Temperatur T_e berechnen. Der *Spektraltyp* eines Sternes kann aus seinem Spektrum ermittelt werden, indem man die Intensitäten bestimmter Linien miteinander vergleicht. Der kontinuierliche Untergrund des Spektrums dagegen kann zur Bestimmung der Oberflächentemperatur herangezogen werden. Die gebräuchlichste Oberflächentemperatur ist die *effektive Temperatur* T_e, die mit der Leuchtkraft und dem Radius des Sterns durch die einfache Beziehung $L = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$ verbunden ist $\left(\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{grd}^4}\right)$. Der größte Teil der Sterne läßt sich in sieben Hauptspektraltypen einordnen, die man mit den Buchstaben O, B, A, F, G, K, M bezeichnet. Zwischenstufen werden dezimal unterteilt.
Die Erkenntnisse über Zusammensetzung und physikalischen Zustand der Sternatmosphäre wurden ermöglicht durch den Ausbau der *Spektralanalyse*. Mit Hilfe eines Prismas oder eines

Beugungsgitters werden die Lichtstrahlen eines Sternes nach ihren Wellenlängen verschieden stark abgelenkt und dadurch zum Spektrum auseinandergezogen. Man untersucht nun die *Intensität* (Stärke, Helligkeit) der einzelnen Wellenlängenbereiche sowie die Lage und Breite der sogenannten *Fraunhoferschen Linien*, die — verglichen mit den Ergebnissen der Spektralanalyse irdischer Stoffe — das Vorhandensein bestimmter Elemente und Verbindungen auf dem fernen Stern erschließen. Die Verteilung der *Intensität des Lichtes* im kontinuierlichen Spektrum der Sterne ist bedingt durch Temperatur und stoffliche Zusammensetzung, daher läßt sich aus ihr die *Temperatur* des Sternes berechnen.



Das Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm mit der Lage der Gebiete der 5 Leuchtkraftklassen und dem Gebiet der Weißen Zwerge

Die Sterne von B bis A bezeichnet man als *frühe*, die von F bis G als *mittlere* und die folgenden als *späte Typen*. Diese Ausdrücke waren ursprünglich kosmogonisch gemeint, werden heute noch gelegentlich als bloße Gruppenbezeichnungen verwendet, kommen aber immer mehr außer Brauch. Seltenere Spektralklassen sind die der neuen Sterne (Q), die planetarischen Nebel (P) mit Linien auf sehr schwachem, kontinuierlichem Spektrum und die durch Besonderheiten ausgezeichneten Klassen W, O, S, R und N.

Um die Lage eines Sternes im *Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm* (TL-Diagramm) zu kennzeichnen, fügt man neuerdings an das Symbol des Spektraltyps noch die *Leuchtkraftklasse* an, weil es Sterne des gleichen Spektraltyps, aber sehr verschiedener absoluter Helligkeit (Leuchtkraft) gibt. So ist unsere Sonne ein Stern vom Typ G 1 V. Der Bereich der Oberflächentemperaturen der Sterne reicht von etwa 2000 °K bis 40000 °K. In besonderen Einzelfällen mögen auch noch höhere Temperaturen vorkommen. Aus der Leuchtkraft und der Temperatur kann man auf den Radius der Sternkugel schließen. Die schrägen Linien im TL-Diagramm geben das Verhältnis von Stern- zu Sonnenradius an. Es gibt Sterne, deren Radien über 500mal größer sind und solche, deren Radius fast ein Hundertstel ist.

Die wichtigsten Spektralklassen der Fixsterne

Spektral-klasse	Hauptkennzeichen	Sternfarbe (Beispiele)	Oberflächen-temperatur in °K
B	Das Spektrum ist besonders kräftig im Blau und Violett. Einige dunkle Linien deuten auf Wasserstoff und auf Helium in der Sternatmosphäre hin	*blauweiß:* Rigel, Bellatrix, Gürtelsterne des Orion	25000···12300
A	Wasserstofflinien treten stark hervor, Helium- und Kalziumlinien sind schwach	*weiß:* Sirius, Wega	10000···7900
F	Im Spektrum tritt jetzt Violett zurück, Gelb und Rot verstärken sich. Die Wasserstofflinien werden schwächer. Kalziumlinien treten stark hervor; daneben machen sich zahlreiche Metallinien bemerkbar	*gelbweiß:* Prokyon, Polarstern, Kanopus	7500···6000
G	Die bei F einsetzende Änderung des Kontinuums nimmt bei G und K zu. Wasserstofflinien gehen erheblich zurück. Metallinien kräftigen sich	*gelb:* Sonne, Kapella, Pollux	6000···5000
K	Metallinien werden häufiger. Erstes Auftreten von Molekülbanden im Spektrum, die besonders vom Titanoxyd herrühren. Das Spektrum wird auf der kurzwelligen Seite nahezu völlig von Linien überdeckt	*orange:* Arktur, Aldebaran	4000···3500
M	Auch auf der langwelligen Seite des Spektrums vermehrt sich die Anzahl der Linien. Die Temperaturen der Sternatmosphären sind so weit gesunken, daß chemische Verbindungen bestehen können. Sehr kräftig: Titanoxyd, daneben Kohlenstoffverbindungen	*rötlich:* Beteigeuze, α Herculi	3500···2500

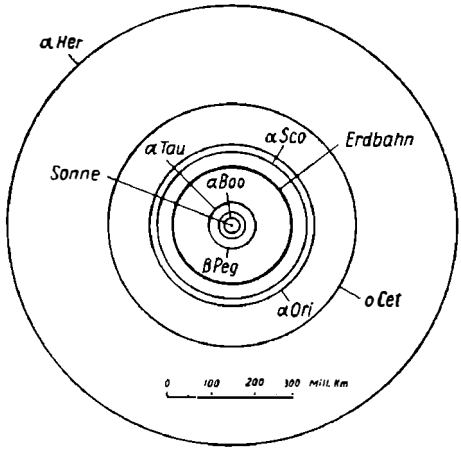
Durchmesser der Riesensterne

Name		Sternbild	Durchmesser in Mill. km
Ras Algethi,	α Her	Herkules	1100
Mira,	o Cet	Walfisch	640
Beteigeuze,	α Ori	Orion	420
Antares,	α Sco	Skorpion	400
Scheat,	β Peg	Pegasus	150
Aldebaran,	α Tau	Stier	50
Arktur,	α Boo	Bootes	32
Sonne (zum Vergleich)			1,39

Anmerkung. Der lineare Durchmesser in Kilometern wird aus dem scheinbaren Durchmesser, der bei großen Fixsternen mit dem *Interferometer* gemessen werden kann, und der Entfernung berechnet; Ungenauigkeit der Messung bis zu 25%.

Eine sehr wichtige Größe ist die *Masse*, die ein Maß für die Menge der Materie darstellt, die der Stern bei seiner Entstehung hatte und die im Verein mit der stofflichen Zusammensetzung auch den Lebensweg des Sterns bestimmt. Der Bereich der Sternmassen beginnt unten bei $^1/_{25}$ Sonnen-

masse und reicht oben bis etwa 100 Sonnenmassen. Doch sind Sterne mit der 10fachen Sonnenmasse schon äußerst selten. Aus der Masse und dem Radius eines Sternes lassen sich drei wichtige Angaben berechnen: die *mittlere Dichte* $\bar{\varrho}$ (bei der Sonne = 1,4), die *Oberflächenschwere* g_0 und die *Entweichungsgeschwindigkeit* v_∞. Bei den Sternen der fünf Leuchtkraftklassen umfaßt die mittlere Dichte den beachtlichen Bereich von $2 \cdot 10^{-7}$ bis 25 g/cm³. Eine Sonderstellung nehmen die aus entarteter Materie bestehenden *Weißen Zwerge* mit 10^6 bis $4 \cdot 10^5$ g/cm³ ein. Die Oberflächenbeschleunigung beträgt bei der Sonne 274 m/s². Bei den Sternen kann sie zwischen 1 cm/s² und 600 km/s² schwanken. Ähnlich extrem sind die Werte der Entweichungsgeschwindigkeit, die an der Sonnenoberfläche 618 km/s beträgt. Bei den weitausgedehnten roten Riesensternen ist sie nur 110 km/s, bei den Weißen Zwergen dagegen 3500 km/s, auf der Erdoberfläche zum Vergleich 11 km/s.



Die Erdbahn (dick ausgezogener Kreis) im Verhältnis zu den Dimensionen einiger Riesensterne

Sterne sind Gaskugeln, die durch die Schwerkraft zusammengehalten werden. Sterne, die eine höhere *Rotationsfrequenz* haben, müssen stärker von der Kugelgestalt abweichen. Ihre *Abplattung* hängt außer von der Rotationsfrequenz auch von der Massenverteilung im Inneren ab. Strömungen an der Oberfläche und im Inneren der Sterne rufen Magnetfelder hervor, weil die strömenden Gase elektrisch geladen sind. Das Sternengas ist ein dichtes, das interstellare Gas ein sehr verdünntes Plasma. Durch die Rotation werden Strömungen gefördert. Das *allgemeine Magnetfeld* unserer Sonne beträgt nur einige Gauß, das der Sonnenflecken viele tausend Gauß. Rasch rotierende Sterne besitzen entsprechend höhere magnetische Feldstärken als die Sonne.

Für die Energieproduktion und die Entwicklung eines Sternes ebenso wichtig wie die Masse ist die *chemische Zusammensetzung* eines Sternes. Nach der heutigen Kenntnis ist die *Häufigkeitsverteilung* der verschiedenen Elemente im Weltall weitgehend gleich. Das häufigste Element ist der *Wasserstoff*, das nächstfolgende ist das *Helium*. Dann kommen in weitem Abstand die übrigen Elemente. Die Sterne sind praktisch aus demselben Gemisch von Elementen zusammengesetzt wie die interstellare Materie. In einem Kubikmeter interstellaren Raumes sind im Durchschnitt 1 Million Atome enthalten. Davon entfallen rund 840000 auf den Wasserstoff und 158000 auf das Helium. Der Rest von 0,2% verteilt sich auf die übrigen Elemente, deren wichtigste die Tabelle enthält.

Element	Häufigkeit	Element	Häufigkeit	Element	Häufigkeit
Sauerstoff	678	Eisen	64	Nickel	8
Neon	642	Magnesium	40	Aluminium	4
Stickstoff	194	Silizium	37	Natrium	2
Kohlenstoff	136	Schwefel	10	Kalzium	1

VERÄNDERLICHE UND NEUE STERNE

Sterne mit zeitlich veränderlicher Helligkeit sind gegenwärtig etwa 15000 bekannt, ihre Anzahl wächst ständig durch Neuentdeckungen. Verglichen mit der Anzahl der Sterne haben aber nur wenige Sterne merklich veränderliche Zustandsgrößen. Dabei sind allerdings noch die photometrischen Doppelsterne, auch *Bedeckungsveränderliche* genannt, abzuziehen. Ihr bekanntester Vertreter ist der Stern *Algol* (β Per). Zwei Sonnen, die in vielen Fällen gleich hell sind, bewegen sich so umeinander, daß für den Beobachter auf der Erde eine gegenseitige Abdeckung stattfindet. Unter den rund 1000 bekannten Bedeckungsveränderlichen gibt es keinen mit einem dunklen Begleiter. Alle anderen Veränderlichen nennt man *physische Veränderliche*.

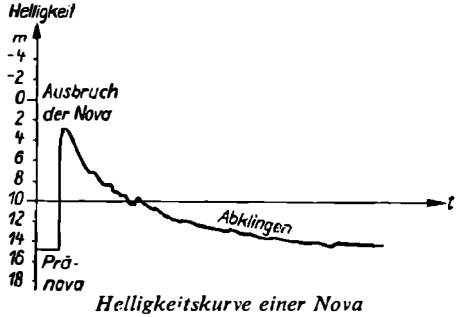
Nach ihrer Lage im Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm unterscheidet man zwei Hauptgruppen: *veränderliche Riesen* bzw. *Überriesen* und *veränderliche Sterne der Hauptreihe*. Hier deutet die Veränderlichkeit der Helligkeit des Sternes auf Zu- und Abnahme seines Radius und im Zusammenhang damit auf Steigen und Fallen der Oberflächentemperatur hin. Der Stern pulsiert bei der ersten Gruppe mit einer Periode, die ungefähr der Eigenschwingung seiner äußeren Schichten entspricht. Den Anstoß zur *Pulsation* erhält der Stern durch Ablauf der Energieerzeugung bzw. des Energietransportes. Bei der zweiten Gruppe handelt es sich anscheinend um Störungen des Gleichgewichts

oder um Prozesse, die in diesem Stadium der Sternentwicklung zur Erreichung des Gleichgewichtszustandes auf der Hauptreihe führen. Störungen des Gleichgewichts in allergrößtem Maße ereignen sich bei den *Novae* und *Supernovae*. Die Bezeichnung Nova bedeutet soviel wie *neuer Stern*. Sie stammt aus dem 16. Jahrhundert und ist irreführend. Ein vorher meist schwacher Stern (*Pränova*) erfährt eine fast plötzliche Steigerung seiner Helligkeit um 9 bis 12 Größenklassen. Seine Energieausstrahlung wächst meist innerhalb weniger Stunden auf das 10000- bis 100000fache (Abb.).

Veränderliche Sterne

Sternbild	Bezeichnung	scheinbare Helligkeit Max.	scheinbare Helligkeit Min.	Periode *d*	Typ	Art der Veränderlichkeit
Perseus	β Per	2,2	3,5	2,87	Algol	Bedeckungsveränderliche
Stier	λ Tau	3,5	4,0	3,95	Algol	Bedeckungsveränderliche
Schlangenträger	U Oph	5,8	6,5	1,68	Algol	Bedeckungsveränderliche
Leier	β Lyr	3,4	4,3	12.91	β Lyrae	Bedeckungsveränderliche
Herkules	u Her	4,6	5,1	2.05	β Lyrae	Bedeckungsveränderliche
Cepheus	δ Cep	3,8	4,6	5,37	δ Cephei	physische Veränderliche
Adler	η Aql	3,7	4,4	7,18	δ Cephei	physische Veränderliche
Zwillinge	ζ Gem	3,7	4,1	10,15	δ Cephei	physische Veränderliche
Walfisch	o Cet	3,8	9,3	331,5	Mira	physische Veränderliche
Andromeda	R And	6,7	14,3	408,9	Mira	physische Veränderliche
Dreieck	R Tri	6,3	11,6	265,9	Mira	physische Veränderliche
Löwe	R Leo	5,5	10,0	313,1	Mira	physische Veränderliche
Schwan	χ Cyg	5,4	13,3	406,7	Mira	physische Veränderliche

Nach Erreichen der größten Helligkeit klingt die Erscheinung zunächst rascher, dann immer langsamer ab und kommt erst nach Jahren, mitunter erst nach Jahrzehnten zum Stillstand, wenn schließlich im Zustand der *Postnova* angenähert die ursprüngliche Ausgangshelligkeit erreicht wird. Der Stern hat beim Helligkeitsausbruch wahrscheinlich nur seine äußerste Hülle abgeworfen, die etwa ein Tausendstel seiner Masse beträgt und ist zu einem *Weißen Zwerg* geworden. Die bei dem Ausbruch ausgestrahlte Energie ist das 10000fache der Jahresproduktion unserer Sonne. Innerhalb unseres Milchstraßensystems leuchten jedes Jahr etwa 40 Novae auf. Die viel selteneren *Supernovae* treten etwa alle 500 Jahre einmal in Erscheinung. Hier ist die ausgestrahlte Energie das 10- bis 100millionenfache der Jahresausstrahlung unserer Sonne. Im Zustand der Vollentwicklung erreicht eine Supernova die Helligkeit eines ganzen Sternsystems. Beim Zustandekommen dieses Phänomens spielen die Kernenergie sowie die Gravitationsenergie des Sternes eine wesentliche Rolle. Beim Ausbruch einer Supernova wird ein beachtlicher Teil der Masse des ursprünglichen Sternes in den Weltraum ausgestoßen, wobei gleichzeitig ein Teil jener Elementarteilchen in Bewegung gesetzt wird, der die primäre *kosmische Strahlung* bildet. Die Gase expandieren mit Geschwindigkeiten von 5000 bis 8000 km/s und werden von der energiereichen Strahlung des Reststernes durchflutet, dessen Oberflächentemperatur die höchsten bekannten Werte von 40000 bis 80000 °K besitzt. Solche Sterne senden den Hauptteil ihrer Energie in dem kurzwelligen Bereich aus, den unsere Atmosphäre nicht durchläßt. Infolgedessen erscheinen sie sehr lichtschwach inmitten der von ihrer „unsichtbaren" Strahlung zum Leuchten angeregten Gase, die wir in der Spektralklassifikation als *P-Sterne* oder *Planetarische Nebel* bezeichnen. Der Krebs-Nebel im Stier verdankt seine Entstehung der im Jahre 1054 aufgeleuchteten Supernova. Im Jahre 1572 leuchtete eine Supernova in der Kassiopeia auf, die von *Brahe* beschrieben wurde. 1604 beobachtete *Kepler* im Schlangenträger (Oph) ebenfalls eine Supernova. Die übrigen bisher über 60 photographisch beobachteten Supernovae sind in *extragalaktischen Nebeln* aufgetreten; dabei erschwert allerdings ihre große Entfernung die Feststellung wichtiger Einzelheiten oder macht sie ganz unmöglich.



Helligkeitskurve einer Nova

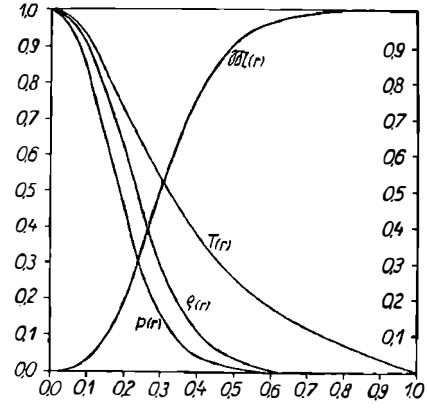
Einige Novae

Bezeichnung	Sternbild	scheinbare Helligkeit Max.	Min.
Supernova Tauri (1054)	Stier	− 2,2	—
Supernova Cassiopeiae (1572)	Kassiopeia	− 3,5	13,7
Supernova Ophiuchi (1604)	Schlangenträger	− 2,2	—
Nova Persei (1901)	Perseus	0,2	13,7 (vis.)
Nova Aquilae (1918)	Adler	− 1,1	11,0 (phot.)
Nova Herculis (1934)	Herkules	1,3	15 (phot.)

ENERGIEERZEUGUNG UND INNERER AUFBAU DER STERNE

Die Energieerzeugung der Sonne beträgt 386 Quadrillionen Watt. Dies ist eine so große Leistung, daß keine der mechanisch-chemischen Energiequellen ausreicht, um sie für die Dauer des Daseins der Sonne zu decken: weder die *Gravitationsenergie*, auf die als *Kontraktionsenergie H. v. Helmholtz* hingewiesen hat, noch die *kinetische Energie* auf die Sonne stürzender Meteoriten, durch die sich *R. Mayer* die der Sonne zur Ausstrahlung nötige Energie zugeführt dachte, noch die *Verbrennungsenergie*. Ausreichend ist allein die *Kernenergie*. Die für die Strahlung der Sterne wichtigsten Kernreaktionen sind (1) der *Kohlenstoff-Stickstoff-Zyklus* (C-N-Zyklus), (2) die *Proton-Proton-Reaktion* (H-H-Reaktion) und (3) der *Salpeterprozeß*. In den ersten beiden Prozessen wird aus vier Wasserstoffkernen (H) ein Heliumkern (He) aufgebaut, wobei im Durchschnitt je Reaktion $4{,}1 \cdot 10^{-5}$ erg für den Stern verfügbar werden. Ein Stern mit Sonnenmasse, der fast aus reinem Wasserstoff bestünde, würde auf diese Weise rund $1{,}2 \cdot 10^{52}$ erg zur Ausstrahlung zur Verfügung haben. Der durch Ausstrahlung dieser Energie eintretende Masseverlust wäre noch nicht einmal 1 ‰ seiner Gesamtmasse. Diese Energie würde bei gleicher Ausstrahlung wie heute für rund 10^{11} Jahre ausreichen. Unter Salpeterprozeß versteht man Reaktionen des Heliums. Sie werden wirksam, sobald durch die beiden erstgenannten Reaktionen im zentralen Bereich eines Sternes der Wasserstoff fast völlig in Helium umgewandelt ist. Aus zwei Heliumkernen wird ein Berylliumkern aufgebaut, die Reaktion des Berylliumkerns mit einem dritten Heliumkern führt zu einem Kohlenstoffkern usw. Die Frage, welche und wie viele weitere Prozesse bei der Energieerzeugung im Sterninneren noch eine Rolle spielen, ist keineswegs endgültig beantwortet. Sicher ist jedoch, daß zu Beginn des Sterndaseins und beim Durchlaufen von Zwischenstufen auch die Gravitationsenergie in Form der Kontraktion zeitweilig eine wichtige Rolle spielt.

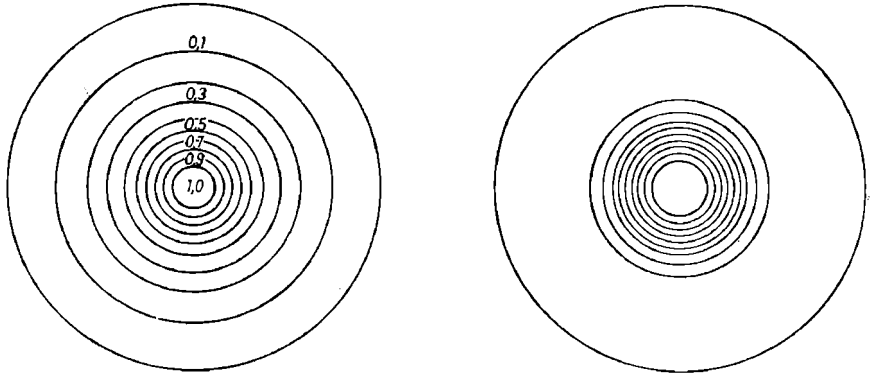
Damit die genannten Kernprozesse auch quantitativ die erforderliche Energiemenge liefern, sind im Innern der Sterne bestimmte Werte der Dichte und Temperatur erforderlich. Schon lange, bevor man die Kernreaktionen und die Voraussetzungen ihres Ablaufs kannte, hatte man auf Grund theoretischer Untersuchungen eine ziemlich gute Vorstellung von den physikalischen Verhältnissen im Sterninneren gewonnen. Die Sterne sind *Gaskugeln*, die zu Beginn ihrer Entwicklung überwiegend aus Wasserstoff bestehen. Zusammengehalten wird diese Gasmasse durch die *Gravitation*; ihr entgegen wirken der *Gas-* und der *Strahlungsdruck*, gegebenenfalls spielt auch die *Zentrifugalkraft* noch eine merkliche Rolle. Die normalen und wesentlich unveränderlichen Sterne befinden sich in einem doppelten *Gleichgewicht*: im *mechanischen* oder, wie es meistens heißt, *hydrostatischen Gleichgewicht* und im *Strahlungsgleichgewicht*. Das erste besagt, daß in jedem beliebigen Punkt des Sterninnern der Druck so groß ist, daß er die über ihm lagernde Gasmasse zu tragen vermag. Strahlungsgleichgewicht herrscht in einem Stern, wenn durch die Oberfläche einer um den Mittelpunkt gedachten konzentrischen Kugel gerade so viel Energie austritt, wie innerhalb dieser Kugel erzeugt wird. Störungen dieses doppelten Gleichgewichtes finden wir in schwacher Form bei den physischen Veränderlichen, in starker Form bei den Novae und Supernovae.



Der durchschnittliche Verlauf der 4 Zustandsgrößen im Innern eines Sterns auf der Hauptreihe

Bei allen Sternen steigt die Temperatur im Innern von der Oberfläche zum Zentrum hin an. Im Mittelpunkt liegt sie bei den Sternen der Hauptreihe zwischen 15 Millionen °K bei den M-Sternen

und 30 Millionen °K bei den B-Sternen. Die zentrale Dichte variiert zwischen dem 8- bis 160fachen der mittleren Dichte. Auch der Druck steigt zum Zentrum hin und erreicht Werte zwischen $3 \cdot 10^{16}$ dyn/cm² bei den weißen Riesen und $3 \cdot 10^{17}$ dyn/cm² bei den roten Zwergen. Sieht man von den geringfügigen individuellen Unterschieden der chemischen Zusammensetzung und von den verschiedenen Entwicklungsstufen ab, so zeigt die Abbildung den ungefähren Verlauf der vier Zustandsgrößen Temperatur $T(r)$, Dichte $\varrho(r)$, Druck $p(r)$ und Masse $\mathfrak{M}(r)$ im Innern eines Sternes der Hauptreihe, ausgedrückt in Einheiten der Zentralwerte; hat z. B. der Stern den Radius R, so umschließt eine Kugel mit dem Radius $r = 0{,}3\ R$ bereits die Hälfte seiner gesamten Masse.



links: Der Temperaturabfall vom Zentrum des Sterns bis zur Oberfläche in Einheiten der Zentraltemperatur
rechts: Die zentrale Kugel und jede der darüberliegenden Kugelschalen enthalten ein Zehntel der Sternmasse

Abweichend von diesem Aufbau ist das Innere der gelben und roten Riesen und Überriesen sowie der physischen Veränderlichen und der Weißen Zwerge. Die anderen drei Werte nehmen von einem Maximalwert im Zentrum zur Oberfläche hin ab, am stärksten der Druck p, am langsamsten die Temperatur T (Abb.).

STERNENTSTEHUNG UND STERNENTWICKLUNG

Sterne bilden sich aus interstellarer Materie überall dort, wo diese so stark verdichtet wird, daß sie sich unter dem Einfluß der eigenen Gravitation zusammenziehen kann. Diese kritische Dichte liegt bei etwa $1{,}5 \cdot 10^{-22}$ g/cm³, wenn keine störenden Kräfte vorhanden sind. Je nach der Größe des Gebietes, in dem diese Dichte erreicht wird, bildet sich ein Stern mit geringerer oder größerer Masse als die Sonne oder sogar eine Sternassoziation. Die Radien der kugelförmigen Volumina liegen bei 50000 AE für $\mathfrak{M} = 0{,}1 \cdot \mathfrak{M}_\odot$, bei etwa 100000 AE für Sonnenmasse $\mathfrak{M}_\odot$ und bei 200000 AE für die zehnfache Sonnenmasse. Die Phase der Kontraktion, also die Entwicklung vom *Protostern* zum Stern, dauert 4 bis 8 Millionen Jahre, ist also kosmogonisch betrachtet äußerst kurz. Man unterscheidet in einem Sternsystem Sterne mehrerer Generationen. Die erste Generation entsteht bei der Bildung des Systems selbst. Ihre Sterne beginnen mit einem Gasgemisch, das aus Wasserstoff besteht mit nur Spuren anderer Elemente. Im Laufe der Entwicklung werden im Stern Elemente mit höherer Atommasse aufgebaut. Die von diesen Sternen in den interstellaren Raum abgestoßene Materie enthält also einen etwas höheren Prozentsatz schwererer Kerne. Die sich aus dieser interstellaren Materie bildenden Sterne der zweiten Generation haben eine etwas andere Ausgangsposition.

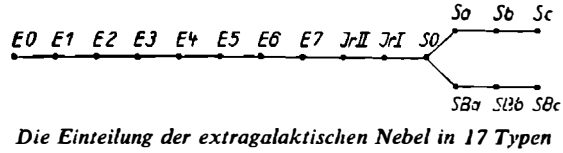
In der Kontraktionsphase verdichtet sich der Stern; Druck und Temperatur steigen und die Ausstrahlung beginnt. Sobald im Zentralgebiet des Sternes eine ausreichende Dichte und eine Temperatur von 10^7 °K erreicht ist, setzen die Kernprozesse ein. Sterne kleiner Masse erreichen selbst bei großer Dichte keine so hohe Zentraltemperatur wie die Riesenmassen; ihre Energieproduktion bleibt folglich gering, und ein solcher Stern strahlt bei relativ niedriger Oberflächentemperatur als roter Zwergstern. Ein Riesenstern erreicht aus demselben Grunde eine stärkere Energieproduktion und strahlt folglich bei höherer Temperatur als bläulichweißer Riese. In dieser Entwicklungsphase erreichen die Sterne verschiedener Masse das Gleichgewicht zwischen Energieerzeugung und Ausstrahlung auf der Hauptreihe, so daß im TL-Diagramm rechts unten die kleinsten und links oben die größten Massen anzutreffen sind. Da die weißen Riesen etwa das zehnmillionen- bis hundert-

millionenfache der roten Zwerge ausstrahlen, aber nur die hundert- bis tausendfache Masse haben, sind sie mit dem aus dem Kohlenstoffzyklus stammenden Energievorrat zuerst am Ende. Die Sterne haben aber neue Energiequellen. Sobald etwa 10 bis 12% der Masse in Helium umgewandelt ist, kann die in der Oberfläche des Heliumkerns liegende *Brandzone* nicht mehr so viel Strahlung erzeugen, daß die darüberliegenden Schichten des Sternes gegen die Gravitation getragen werden können. Durch eine Kontraktion steigt die Temperatur im Heliumkern an, bis die als Salpeter-Prozeß bezeichneten Kernreaktionen einsetzen. Während der Heliumkern schrumpft und dichter wird, bläht die zunehmende Strahlung die Außenschichten der Sterne so gewaltig auf, daß die Oberflächentemperatur sogar abnimmt. Die Entwicklung zum gelbroten und roten Riesenstern hat begonnen. So löst sich die Hauptreihe von oben nach unten auf. Der Weitergang der Entwicklung ist noch keineswegs geklärt. Der Stern scheint aus dem kühlen Riesenstadium wieder beim Ansteigen der Oberflächentemperatur durch weitere Kernprozesse ein Stadium der Instabilität zu durchlaufen, also zu einem physischen Veränderlichen zu werden. Man nimmt an, daß dieser Zustand der Pulsation beendet wird durch einen Novaausbruch und daß der Stern so schließlich zu einem Weißen Zwerg wird. Die Aufleuchthäufigkeit der Novae und die Anzahl der Weißen Zwerge steht mit dieser Annahme nicht in Widerspruch.

VII. Extragalaktische Nebel

Extragalaktische Nebel oder Galaxien sind Sternsysteme, die sich außerhalb des Bereiches der Milchstraße (Galaxis) befinden und unserem Sternsystem gleichgeordnet sind. Ihrem Aussehen und ihrer Gestalt nach teilt man sie in 4 Klassen ein, nämlich in elliptische Nebel (E), in normale Spiralen (S), in Balkenspiralen (SB) und in irreguläre Nebel (Ir) (Abb.).

Innere Struktur zeigen nur die normalen und Balkenspiralen und die irregulären Systeme der Klasse Ir I; eine innere Struktur ist nicht erkennbar bei der Klasse Ir II und bei den elliptischen Nebeln, wenn man von gelegentlichen Absorptionsstreifen bei den E-Nebeln absieht. Die fortlaufende Bezifferung der elliptischen Sternsysteme bezeichnet das 10fache ihrer Abplattung $\frac{a-b}{b}$, wenn



Die Einteilung der extragalaktischen Nebel in 17 Typen

a den größten und *b* den kleinsten Halbmesser angeben. E0 sind demnach Kugelnebel, bei den E7 beträgt die Abplattung 0,7. Bei den Spiralen bedeutet die Folge 0, a, b, c ein Kriterium für zunehmende Öffnung der Spiralarme.

ZUSTANDSGRÖßEN

Die Leuchtkraft der extragalaktischen Sternsysteme liegt zwischen dem 10^7- bis 10^{10}fachen der Leuchtkraft unserer Sonne. Die absoluten, photographischen Helligkeiten umfassen den Bereich von -12^M bis -20^M. Entsprechend sind die Extremwerte der Massen das $3 \cdot 10^7$- bis $2 \cdot 10^{11}$fache der Sonnenmasse. Als Anzahl der Sterne eines extragalaktischen Nebels werden 10^9 bis 10^{11} angegeben. Wegen der zahlreichen, auf die großen Entfernungen nicht erkennbaren Zwergsterne muß die wirkliche Anzahl erheblich größer sein. Das Spektrum der Sternsysteme ist ein Gemisch aus den Spektren der hellsten Sterne. Der Charakter sowohl des Kontinuums als auch des Linienspektrums wird durch die am häufigsten vorkommenden hellen Sterne bestimmt. Die Dimensionen der extragalaktischen Sternsysteme hängen stark von der Gestalt ab. Am einfachsten lassen sich die Durchmesser bei den elliptischen Nebeln angeben. Sie liegen zwischen 1 und 6 kpc. Die irregulären Systeme sind von derselben Größenordnung und haben größte Durchmesser zwischen 2 und 8 kpc. Mit diesen Systemen vergleichbar sind die Kerngebiete der Spiralen, wogegen die Dimensionen des scheibenförmigen Bereichs der Feldsterne zwischen 15 und 30 kpc liegen. Die Rotation der extragalaktischen Sternsysteme erfolgt im Kerngebiet mit konstanter Winkelgeschwindigkeit, im Bereich der Feldsterne nach dem 3. Keplerschen Gesetz, wie beim Milchstraßensystem.

LOKALES SYSTEM

Das lokale System umfaßt 16 extragalaktische Systeme; 6 weitere Systeme gehören ihm wahrscheinlich auch an. Unter den 16 sind zwei Dreifachsysteme: die Milchstraße mit den beiden Magellanschen Wolken und der Andromeda-Nebel mit seinen beiden elliptischen Begleitern sowie ein

elliptischer Doppelnebel etwa 1° westlich von ζ Cassiopeiae; die restlichen 8 sind Einzelsysteme (Tabelle).

Bezeichnung	Typ	galaktische Koordinaten		Entfernung r	Durchmesser D	absolute Größe	Masse
		L	B	kpc	kpc	M_{pg}	$\mathfrak{M}/\mathfrak{M}_\odot$
Milchstraße (Galaxis)	Sb	324°	0°	8	25	−19,7	$1{,}6 \cdot 10^{11}$
Große Kapwolke	Ir I	247°	−33°	42	7	−17,6	$2 \cdot 10^{9}$
Kleine Kapwolke	Ir I	269°	−45°	47	4	−16,4	$6 \cdot 10^{8}$
M 31 NGC 224	Sb	89°	−21°	440	27	−19,4	$1{,}6 \cdot 10^{11}$
M 32 NGC 221	E 2	89°	−22°	440	0,8	−14,9	$2{,}5 \cdot 10^{9}$
— NGC 205	E 5	89°	−21°	440	1,7	−14,9	$1{,}6 \cdot 10^{9}$
M 33 NGC 598	Sc	103°	−31°	460	9	−17,3	$3 \cdot 10^{9}$
— NGC 6822	Ir	354°	−20°	300	1,7	−13,8	$1 \cdot 10^{9}$
M 33 NGC 147	E	88°	−14°	380	1,1	−13,4	$3 \cdot 10^{8}$
NGC 185	E	89°	−14°	380	0,8	−13,7	$5 \cdot 10^{8}$
IC 1613	Ir I	99°	−60°	460	2,7	−13,7	$8 \cdot 10^{7}$
Scl-System	E	241°	−83°	140	2,5	−12,1	$1{,}2 \cdot 10^{9}$
For-System	E	203°	−64°	290	5,0	−13,6	$4 \cdot 10^{8}$
Wolf-System	E 5	46°	−74°	500	1,9	−12,7	$3 \cdot 10^{7}$
Leo-System I	E 4	195°	+50°	400	1,9	—	—
Leo-System II	E 0	188°	+69°	400	1,7	—	—
IC 10	Sc	87°	−3°	—	—	—	—
IC 342	Sc	106°	+11°	—	—	—	—
NGC 6946	Sc	64°	+11°	800	1,9	−15,6	$1 \cdot 10^{9}$
Leo-System III	Ir	165°	+55°	—	—	—	—
Sex-System	Ir	215°	+41°	—	—	—	—
NGC 300	S	258°	−80°	360	4	−14	$2 \cdot 10^{8}$

NGC = New General Catalogue
M = Messier Catalogue
IC = Index Catalogue

Die Nebel werden durch die Nummern bezeichnet, die sie in den nebenstehenden Katalogen haben.

Die Häufigkeitsverteilung der Sternsysteme auf die drei Hauptklassen zeigt in der Umgebung unseres Sternsystems das folgende Bild:

Spiralen 32%; Irreguläre 27%; Elliptische 41%

EINIGE STERNSYSTEME

Helle und nahe Sternsysteme

Bezeichnung	Typ	Koordinaten		D	r	m_{pg}	v_r
		L	B	kpc	Mpc		km/s
NGC 253	Sc	100°	−88°	8	1,3	8,5	−130
NGC 2403	Sc	117°	+30°	9	1,4	8,9	+175
NGC 3031 M 81	Sb	108°	+42°	6	1,3	7,9	+70
NGC 3034 M 82	Ir I	108°	+42°	3	1,3	9,3	+390
NGC 3115	E 6	216°	+38°	2	1,7	10,0	+440
NGC 3627 M 66	Sb	211°	+65°	4,5	2,0	9,4	+610
NGC 4594	Sa	268°	+51°	3	1,5	9,0	+1130
NGC 4736 M 94	Sb	86°	+76°	2	1,3	8,7	+410
NGC 4826 M 64	Sb	296°	+82°	4	1,7	9,1	+230
NGC 5194 M 51	Sc	69°	+68°	5	1,2	8	+420
NGC 5236 M 83	Sc	284°	+32°	4	1,5	9	+480
NGC 5457 M 101	Sc	67°	+60°	7	1,1	9,3	+480

Haufen von Sternsystemen

Sternbild	Bezeichnung	Koordinaten L	Koordinaten B	Anzahl n	D Mpc	r Mpc	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ Rotverschiebung
Jungfrau	Vir	250°	+ 74°	2500	2,5	12	0,004
Pegasus	Peg	55°	− 49°	100	0,7	38	0,013
Perseus	Per	118°	− 13°	500	1,9	52	0,017
Haar der Berenike	Com	26°	+ 87°	1000	3,9	74	0,025
Großer Bär	UMa I	106°	+ 59°	300	1,8	150	0,050
Nördliche Krone	CrB	8°	+ 55°	400	1,8	210	0,070
Großer Bär	UMa II	115°	+ 55°	200	1,5	420	0,140
Wasserschlange	Hya	194°	+ 31°	200	2,1	610	0,203

UNIVERSUM

Wir wissen, daß sich das Universum über jede angebbare Grenze hinaus erstreckt. Der Teil des Universums, den die Beobachtungen erschließen, ist in seinen Dimensionen bedingt durch die verwendeten Instrumente. Mit dem bisher größten Spiegelteleskop von 5 m Durchmesser erreicht man im äußersten Falle Objekte der scheinbaren Helligkeit $m = +23^m$. Bis zur 21. Größe läßt sich die Anzahl der Nebel an der ganzen Sphäre durch die Beziehung

$$\lg N(m) = 0{,}50\, m - 3{,}00$$

darstellen. Bis zur 21. Größe sind es demnach etwa 32 Millionen Sternsysteme, die eine Raumkugel mit dem Halbmesser von rund 140 Mpc erfüllen. Die mittlere Dichte in diesem Raum ist $\bar{\varrho} = 10^{-29}$ [g/cm³]. Seit dem Jahre 1922 kennt man das merkwürdige Verhalten der Linien im Spektrum der extragalaktischen Sternsysteme. Sieht man von den Spiralnebeln in der näheren Umgebung der Milchstraße bis etwa $r = 2$ Mpc ab, so zeigt sich, daß die Linien in den Spektren der Nebel, verglichen mit einem irdischen Spektrum, nach Rot verschoben sind und daß der Betrag dieser Rotverschiebung um so größer ist, je kleiner die Durchmesser bzw. die scheinbare Helligkeit der Nebel sind, je größer also ihre Entfernung ist.

Bis zu den Nebeln der 21. Größenklasse scheint diese einfache Beziehung zu gelten, so daß man aus der gemessenen Rotverschiebung die Entfernungen selbst derjenigen Sternsysteme bestimmen kann, die einen so großen Abstand haben, daß man auch die sehr weit reichende photometrische Methode nicht mehr anwenden kann. Nur ab und zu ist es möglich, die auf diesem Wege gewonnenen Abstände zu prüfen, wenn in einem dieser fernen Sternsysteme eine Supernova aufleuchtet.

Die in dem von den Riesenteleskopen durchforschten Volumen befindlichen Sternsysteme haben einen durchschnittlichen Abstand von 1 Mpc, was etwa dem 100fachen ihres mittleren Durchmessers entspricht. Infolgedessen finden verhältnismäßig oft Zusammenstöße zwischen diesen Sternsystemen statt, nämlich in einer Million Jahren 1 bis 2 Kollisionen. Da die Relativgeschwindigkeit der Sternsysteme gering ist, dauert eine solche Kollision schätzungsweise 10 bis 100 Millionen Jahre. Die erste Kollision ist noch nicht über ihr Anfangsstadium hinaus, wenn bereits die nächste und übernächste beginnen. Es müssen also an der ganzen Sphäre eine beträchtliche Zahl kollidierender Sternsysteme sichtbar sein. Die Beobachtungen bestätigen diese Überlegungen.

Zur philosophischen Deutung der Rotverschiebung. Wenn man die gemessenen Rotverschiebungen in den Spektren entfernter Sternsysteme nach dem Doppler-Effekt deutet, ergibt sich eine mit zunehmender Entfernung zunehmende Geschwindigkeit, mit der sich diese Objekte voneinander entfernen, eine Ausdehnung des beobachtbaren Teiles des Weltalls.

> „Hieraus zogen idealistische Philosophen und Astronomen den Schluß, daß das gesamte Weltall einst auf außerordentlich kleinem Raum konzentriert, eine Art ‚Uratom' gewesen sei, sich aber zu irgendeinem Zeitpunkt plötzlich auszudehnen begonnen habe, womit auch die ‚Ausdehnung des Raumes', der ursprünglich unendlich klein gewesen sei, eingesetzt habe. Dem wurde die Erklärung hinzugefügt, dieses ‚Uratom' sei von Gott geschaffen worden und habe sich nach seinem Willen auszudehnen begonnen.
>
> Diese reaktionäre, offen fideistische Theorie von der ‚Expansion des Weltalls', von der ‚Expansion des Raumes', hält keiner Kritik stand. Erstens liegt keinerlei Grund vor, die von uns beobachteten extragalaktischen Nebel mit dem ganzen Weltall überhaupt zu identifizieren. Sie sind nur ein unermeßlich kleiner Teil des Weltalls. Zweitens haben wir keinen Grund zu der Annahme, daß sich die Bewegung schlechthin aller extragalaktischen

Nebel auf entsprechende Weise vollzieht, nämlich nur vom ‚Zentrum' weg, und daß es keinerlei entgegengesetzte oder noch kompliziertere Bewegungen anderer extragalaktischer Nebel gäbe. Drittens besteht kein Grund zu der Annahme, daß selbst in dem von uns beobachteten Teil des Weltalls die Nebelbewegung immer dieselbe geblieben ist. Also haben wir keine Ursache, eine lokale Erscheinung, die nur in einem durchaus begrenzten Teil des Weltalls vorkommt und in einem relativ unbedeutenden Zeitintervall beobachtet wird, für ein allgemeines Bewegungsgesetz des unendlichen Weltalls insgesamt auszugeben. Dazu kommt, daß die Erklärung der Rotverschiebung extragalaktischer Nebel durch ihr Auseinanderstreben streng genommen nicht die einzig mögliche und endgültige ist, da noch andere Faktoren entdeckt werden können, die denselben Effekt hervorzurufen imstande sind."
(Grundlagen der marxistischen Philosophie, S. 149/150.)

Die Theorie von der Expansion des Weltalls ist also in keiner Weise geeignet, die These von der Unendlichkeit des Weltalls in Raum und Zeit zu erschüttern.

VIII. Sternwarten und Planetarien

Abkürzungen. Refr.: *Refraktor* [Linsenfernrohr]; Sp.: *Spiegelteleskop*; Astr.: *Astrograph* [spezielles photographisches Fernrohr]; Tu.: *Turmteleskop*; RaT.: *Radioteleskop*; Br.: *Brennweite*; Univ.: *Universität.*

BEDEUTENDE EUROPÄISCHE STERNWARTEN

Name, besondere Instrumente, Verdienste und Aufgaben	Seehöhe in m	geogr. Breite + nördlich − südlich	geogr. Länge + westlich − östlich
Bamberg (Remeis-Stiftung; Forschungsinstitut). 60-cm-Sp. Veränderliche Sterne. Geschichte der Astronomie	288	+ 49° 53′,1	− 0h 43m,6
Berlin-Babelsberg (Deutsche Akademie der Wissenschaften). Meridiankreis; 65-cm-Refr. 10,4 m Br.; lichtelektrische Photometrie. Veränderliche Sterne; Monde der Planeten	82	+ 52° 24′,4	− 0h 52m,4
Bonn (Univ.). Meridiankreis; 36-m-Doppelrefr. „Bonner Durchmusterung"; Eifel-Observatorium „Hoher List". 30-cm-Astr.; 50-cm-Sp. RaT. 25 m ⌀	62	+ 50° 43′,8	− 0h 28m,4
Brüssel (Uccle). 19-cm- und 16-cm-Meridiankreise; 40-cm-Doppelastr.; 100-cm-Sp.; Positionsastronomie, Astrophysik, Planetenphysik	105	+ 50° 47′,9	− 0h 17m,4
Cambridge (Univ.). 63,5-cm-Refr. 9,08 m Br.; 91-cm-Sp.; Sonnenphysik, theoretische Astrophysik, Radioastronomie	28	+ 52° 12′,9	− 0h 0m,4
Castel Gandolfo (neue Vatikansternwarte). 40-cm-Astr.; Astrophysik	600	+ 41° 44′,8	− 0h 50m,6
Freiburg i. Br. (Fraunhofer Institut). Gitter- und Prismenspektroheliograph, Sonnenüberwachung, Hochfrequenzforschung, ionosphärische Vorgänge. Zum Institut gehört:			
Schauinsland-Observatorium: 2 Tu.; Sonnenphysik	1240	+ 47° 54′,9	− 0h 31m,6
Göttingen (Univ.). Tu. mit 45-cm-Sp.; Sonnenflecken und Korona; photographisch-photometrische Helligkeitsbestimmungen von Fixsternen; Sterntemperaturen	161	+ 51° 31′,8	− 0h 39m,8
Greenwich (ehem. staatliche Sternwarte). Meridiankreis definierte die Lage des „Nullmeridians" der Erde. Das Observatorium wurde im März 1954 aufgelöst. Neue Beobachtungsstation in	47	+ 51° 28′,6	0h 0m,0

Name, besondere Instrumente, Verdienste und Aufgaben	Seehöhe in m	geogr. Breite + nördlich − südlich	geogr. Länge + westlich − östlich
Herstmonceux. Meridiankreis, 249-cm-Sp.; Positionsastronomie, Zeitdienst, Sonnenphysik	32	+ 50° 52′,0	− 0h 1m,4
Hamburg-Bergedorf (Städtische Sternwarte). 60-cm-Doppelrefr. 9 m Br.; 100-cm- und 150-cm-Sp.; Lippert-Astr., 120-cm-Schmidt-Spiegel; Himmelsaufnahmen mit Weitwinkelkamera; photographischer Helligkeitskatalog; Spektraldurchmusterung; Spiralnebel	41	+ 53° 28′,8	− 0h 40m,9
Heidelberg (Univ.). 70-cm-Sp.; 40-cm-Doppelastr. (Bruceteleskop); Meridiankreis. Photographische Aufnahmen der Milchstraße; photographische Beobachtungen der Kleinen Planeten (Katalog); Fixsternkatalog	570	+ 49° 23′,9	− 0h 34m,9
Leiden. Photographisch-photometrischer Helligkeitskatalog; Eigenbewegung der Plejaden; Radioastronomie	6	+ 52° 9′,3	− 0h 17m,9
Meudon bei Paris. 62-cm- und 83-cm-Doppelrefr.; 100-cm-Sp.; Physik der Sonne	162	+ 48° 48′,3	− 0h 8m,9
Moskau. Kometenbeobachtungen und -theorie; Sternassoziationen; Zeitbestimmungen; Planetenphysik; astronomisches Recheninstitut; Veränderliche Sterne	142	+ 55° 45′,3	− 2h 30m,3
Ondřejov (bei Prag). RaT.; Sonnen- und Meteorenforschung	527	+ 49° 54′,6	− 0h 59m,1
Paris (Univ.). 23,6-cm-Meridiankreis; 60-cm-Refr.; 120-cm-Sp. — Photographischer Mondatlas	59	+ 48° 50′,2	− 0h 9m,3
Pic du Midi (Pyrenäen). Physik der Sonne; Protuberanzenfilm. — Filiale von Toulouse	2850	+ 42° 56′,5	− 0h 0m,6
Potsdam (Deutsche Akademie der Wissenschaften, Berlin). 50-cm- und 80-cm-Doppelrefr. 12,5 m Br.; 85-cm-Tu. Photometrische Durchmusterung zwischen Nordpol und Äquator; Doppelsternphotographie; Sternfarben; Physik der Sonne	97	+ 52° 22′,9	− 0h 52m,3
Pulkowo bei Leningrad. RaT.; 65-cm-Refr. 10,5 m Br.; Doppelsterne und Kometen; Granulation der Sonne; Fixsternaufnahmen mit Weitwinkelkamera	75	+ 59° 46′,3	− 2h 1m,3
Sonneberg-Erbisbühl (Deutsche Akademie der Wissenschaften, Berlin). 70-cm-Sp. Veränderliche Sterne; Meteore; leuchtende Nachtwolken; Leuchtstreifen; photogr. Himmelsüberwachung	640	+ 50° 22′,7	− 0h 44m,8
Stockholm-Saltsjöbaden. 100-cm-Sp.; 41-cm-Refr.; 40-cm-Astr.; Stellardynamik, Sonnenphysik (Beobachtungsstation auf Capri)	44	+ 59° 20′,5	− 1h 12m,2
Tautenburg (Deutsche Akademie der Wissenschaften, Berlin). 200-cm-Sp.	330	+ 50° 58′,9	− 0h 46m,8
Wien (neue Sternwarte). 68-cm-Refr. 10,5 m Br.; Kleine Planeten. — Filiale auf Mallorca	240	+ 48° 13′,9	− 1h 5m,4
Zürich (Univ.). Zentrale der Sonnenfleckenstatistik. — Filiale in Arosa, Sonnenobservatorium	468	+ 47° 22′,6	− 0h 34m,2

BEDEUTENDE AUßEREUROPÄISCHE STERNWARTEN

Name, besondere Instrumente, Verdienste und Aufgaben	Seehöhe in m	geogr. Breite + nördlich − südlich	geogr. Länge + westlich − östlich
Ann Arbor (USA, Univ. Michigan, Detroit-Observatorium). 91-cm-Sp.	285	+ 42° 16′,8	+ 5h 34m,9
Bloemfontein (Filiale des Harvard-Observatoriums Cambridge). 61-cm-Astr.; 152-cm-Sp. Doppelsterne	1379	− 29° 12′	− 1h 45m,9
Cambridge bei Boston (USA, Harvard-Observatorium). Älteste amerikanische Sternwarte mit Filialen in Oak Ridge und Bloemfontein. Beherrscht mit 27 Refr. und einem 154-cm-Sp. den Nord- und Südhimmel. Helligkeitsbestimmungen von Fixsternen. Nebeldurchmusterung; Radioastronomie	24	+ 42° 22′,8	+ 4h 44m,5
Córdoba (Argentinien; mit Filiale in Bosque Alegre). 152-cm-Sp. „Córdoba-Durchmusterung" von 23° südlicher Breite bis zum Südpol; etwa 614000 Sterne	439	− 31° 25′,2	+ 4h 16m,8
Flagstaff (Arizona, USA; Lowell-Observatorium). 61-cm-Refr. 9,8 m Br; 107-cm- und 79-cm-Sp. Planeten	2210	+ 35° 12′,5	+ 7h 26m,7
Johannesburg (Filiale von New Haven; Yale-Univ.). 67-cm-Refr.; Doppelsternphotographie; Katalog der südlichen Doppelsterne	1741	− 26° 11′,2	− 1h 52m,1
Kap der Guten Hoffnung. 63-cm-Refr.; photographische „Kap-Durchmusterung" für alle Sterne bis zur Größe 9,2 zwischen Südpol und 19° südlicher Breite	16	− 33° 56′,1	− 1h 13m,9
McDonald-Observatorium (Fort Davis, Texas; Filiale des Yerkes-Observatoriums). 208-cm-Sp.; Astrophysik	2070	+ 30° 40′,2	+ 6h 56m,1
McMath-Hulbert-Observatorium (Lake Angelus, USA). 2 Tu.; Sonnenphysik; Astrophysik	296	+ 42° 39′,8	+ 5h 33m,1
Mt. Hamilton (Kalifornien; Lick-Observatorium). 91,4-cm-Refr. 18,28 m Br.; 305-cm- und 91-cm-Sp.; 20zölliger Doppelastr.; Nebeldurchmusterung bis zur Größe 19; Spektroskopie; Doppelsterne; Spiralnebel- und Mondphotographie; Katalog der planetarischen Nebel	1283	+ 37° 20′,4	+ 8h 6m,6
Mt. Palomar (Kalifornien). 508-cm-Sp. 20 m Br.; 122-cm-Sp.; photographische Erforschung der Spiralnebel; Sternspektrographie; Sky Atlas	2000	+ 33° 10′,0	+ 7h 44m,1
Mt. Wilson (bei Pasadena; Kalifornien). 152-cm- und 254-cm-Sp.; 2 Tu.; Spektroskopie; Parallaxen der Fixsterne; Nebeldurchmusterung; Sonnenphysik	1742	+ 34° 13′,0	+ 7h 52m,2
Pretoria (Südafrikanische Union; Südstation des Radcliffe-Observatoriums). 188-cm-Sp.; Photometrie und Spektroskopie	1542	− 25° 47′,3	− 1h 52m,6
Toronto (Kanada; David-Dunlap-Observatorium). 188-cm-Sp.	244	+ 43° 51′,8	+ 5h 17m,7
Victoria (Vancouverinsel, Kanada; Dominion-Observatorium). 182-cm-Sp.; Radialgeschwindigkeiten an spektroskopischen Doppelsternen; Untersuchungen zur Rotation der Milchstraße	229	+ 48° 31′,2	+ 8h 13m,7
Williams-Bay (Wisconsin, USA; Yerkes-Observatorium der Univ. Chicago). 102-cm-Refr. 19,4 m Br.; größter Refraktor der Gegenwart. Spektroheliographie (Sonnenforschung)	334	+ 42° 34′,2	+ 5h 54m,2

PLANETARIEN

Das Planetarium dient zur Veranschaulichung von Bewegungen der Himmelskörper, insbesondere der Planeten. Es ist ein Lehr- und Anschauungsmittel von hervorragendem Wert.

Projektionsplanetarien. Durch ein System von Projektionsapparaten im Mittelpunkt eines großen halbkugelförmigen Raumes kann der Sternhimmel einschließlich Sonne, Mond und Planeten und ihre scheinbaren Bewegungen so abgebildet werden, wie sie an jedem beliebigen Ort der Erde zu sehen sind. Die Fehler bei den Abbildungen sind außerordentlich gering. So ist erst nach dem mechanischen Ablauf von 5000 Jahren für den Stand des Merkur (größte Exzentrizität aller Planeten) ein Lagefehler von 1° zu verzeichnen. Das Planetarium enthält weiterhin Zusatzgeräte für die Darstellung der Milchstraße, der Sternschnuppen, Kometen, Sonnen- und Mondfinsternisse, Sternbildnamen, des astronomischen Liniennetzes u. a. Das erste Planetarium wurde 1923 für das deutsche Museum von den Zeiss-Werken, dem jetzigen VEB Carl Zeiss Jena, hergestellt.

Mechanische Planetarien. Mechanische Planetarien werden hauptsächlich für Lehrzwecke in Schulen verwandt. Hier werden Sonne, Planeten und deren Monde in verändertem, für die Anschauung günstigem Verhältnis als Kugelmodelle dargestellt, und ihre Bewegungen können, von der Sonne oder der Erde aus gesehen, veranschaulicht werden.

IX. Ergebnisse der Weltraumforschung mit Höhenraketen und Raumflugkörpern

Die ersten sporadischen Versuche, die praktische Weltraumforschung durch raketengetriebene Meßgeräteträger zu erweitern, setzten in der Sowjetunion und den USA etwa 1946 ein. In dem Programm zum *„Internationalen Geophysikalischen Jahr"* (1. 7. 1957 bis 31. 12. 1958) traten Raketen zum erstenmal planmäßig als Träger umfassender Forschungsaufgaben in der Hochatmosphäre und im anschließenden Bereich des kosmischen Raumes in Erscheinung. Allein in der Sowjetunion kamen während dieses Zeitraumes *125 Höhenforschungsraketen* mit Gipfelhöhen zwischen 100 und 500 km zum Einsatz. Darüber hinaus gelang es zunächst den Wissenschaftlern der Sowjetunion, die ersten *künstlichen Satelliten* (Meßsatellit Sputnik I am 4. 10. und Biosatellit Sputnik II am 3. 11. 1957) auf Umlaufbahnen um die Erde zu bringen. Die Reihe der amerikanischen Satelliten begann am 31. 1. 1958 mit Explorer I. Inzwischen hat sich das sowjetische Raumfahrtforschungsprogramm besonders vielfältig entwickelt. Es führte über das *automatische Raumlaboratorium* Sputnik III und die drei Raumsonden der Lunik-Serie zu den fünf Experimenten mit rückführbaren unbemannten Raumschiff-Satelliten und schließlich zu den ersten *bemannten Raumschiff-Satelliten* (Wostok-Serie) der Erde. Das amerikanische Raumfahrtforschungsprogramm konzentrierte sich dagegen mehr auf den massierten Einsatz weniger massereicher Meß- und Beobachtungssatelliten sowie verschiedener kleinerer Raumsonden. Die überwiegende Mehrzahl dieser Flugkörper diente zudem ausschließlich militärischen Erprobungen. Der erste bemannte amerikanische Satellitenflug (Projekt Mercury) folgte rund 10 Monate nach dem Start des sowjetischen Raumschiffes Wostok I (12. 4. 1961, Pilot: *J. A. Gagarin*).
Obwohl die Auswertung vieler Satelliten- und Raumsondenmeßreihen auch heute noch nicht abgeschlossen ist und damit die Interpretation mancher Entdeckungen oder Beobachtungen sich in gewissen Grenzen noch wandeln kann, ist die Bereicherung unseres Wissens auf dem Gebiet der Weltraumforschung, einschließlich seiner terrestrischen Grenzgebiete, durch Raketen und Raumflugkörper nicht mehr zu übersehen.

Untersuchungen der Hochatmosphäre. Die Vorstöße von Raketen und Satelliten in die Hochatmosphäre schufen zum erstenmal die Möglichkeit, unmittelbar Messungen über Struktur und Vorgänge in diesen Bereichen der Erdatmosphäre durchzuführen. Sie führten praktisch zu einem neuen physikalischen Modell der Erdatmosphäre bis zu einer Höhe von etwa 500 km. Darüber hinaus ergab sich die überraschende Entdeckung, daß die *Dichte der Hochatmosphäre* mit der Höhe viel langsamer abnimmt, als zuvor angenommen. So scheint die diffus in den interplanetaren Raum übergehende Grenze der Erdatmosphäre bei etwa 3000 km Höhe zu liegen und nicht schon bei 1000 km. Weiterhin wurde erkennbar, daß die Dichte der Hochatmosphäre sehr starken *lokalen* und *zeitlichen Schwankungen* unterworfen ist, wobei offensichtlich der Einfluß der solaren Strahlung eine hervorragende Rolle spielt. Aus diesen Erfahrungen beginnen sich die ersten Erkenntnisse herauszukristallisieren, die ein besseres Verstehen des Wettergeschehens ermöglichen werden. Mit sowjetischen Höhenraketen gelang ferner der Nachweis, daß es in der *Ionosphäre*, von der F-Schicht abgesehen, keine eindeutig definierbaren Schichten gibt. Auch über die Vorgänge, die zur Entstehung von Ladungsträgern in der Hochatmosphäre (Elektronen, Ionen) führen, sowie über Aufheizungserscheinungen erbrachten Raketen und Satelliten zahllose neue Erkenntnisse. So zeigt sich unter anderem, daß besonders von heißen Gebieten kondensierten Gases in der Sonnenkorona eine sehr energiereiche Strahlung (He^+-Linie bei 30,4 nm) ausgeht (sie wird nebenbei von einer Radio-

strahlung bei 20 cm Wellenlänge begleitet), welche eine beträchtliche Erwärmung der ionosphärischen F-Schicht (*Temperaturinversion*) hervorzurufen vermag. Sowjetische Wissenschaftler berechneten, daß bei derartigen Gelegenheiten die Temperatur im Bereich der F-Schicht bis auf etwa 3000 °C ansteigen kann. Untersuchungen über die Zusammensetzung der Hochatmosphäre mittels *Massenspektrometern* ergaben, daß in Höhen bis zu rund 200 km Ionen des Stickoxyds (NO^+) überwiegen, während in Höhen zwischen 230 km und 900 km die Hauptkomponente von Ionen des atomaren Sauerstoffs gebildet wird.

Geokorona und interplanetares Gas. Über den Verlauf der Gasdichte über das Randgebiet der Hochatmosphäre in den interplanetaren Raum hinaus haben vor allem die sowjetischen Lunik-Flüge wertvolles Material erbracht. Bislang neigte man auf Grund terrestrischer Messungen der Polarisation des Zodiakallichtes zu der Annahme, daß das interplanetare Gas (vornehmlich H^+, also Protonen) im Abstand der Erdbahn von der Sonne eine *Dichte* von rund 1000 Teilchen/cm³ habe. Von den Instrumenten der Lunik-Raumsonden wurden jedoch in größeren Entfernungen als 22000 km von der Erdoberfläche keine meßbaren Konzentrationen ionisierten Gases mehr festgestellt. Es scheint daher, als sei die Erde außerhalb der Hochatmosphäre von einer *Hülle ionisierten Wasserstoffgases* umgeben, deren Dichte jenseits 15000 km sehr rasch absinkt. Nach einem früheren, aber im Prinzip etwas abweichenden Gedanken des deutschen Geophysikers und Polarforschers A. Wegener wird diese Wasserstoffhülle vielfach als *Geokorona* bezeichnet. Außerhalb dieser Geokorona kann von einer gleichförmigen Verteilung gasförmiger Materie im interplanetaren Raum, wie sie früher angenommen wurde, offenbar keine Rede sein. Als Ursache nimmt man an, daß von der Sonne ausgestoßene *Partikelwolken* (*solare Eruptionen*) den interplanetaren Raum sozusagen leer fegen. Die Hauptwirkung geht dabei von einer vor dem ionisierten Sonnengas herlaufenden *magnetischen Stoßwelle* aus. Mit der amerikanischen Raumsonde Pioneer V gelang es zum erstenmal, eine derartige Wolke von Sonnengas weit draußen im interplanetarischen Raum zu erfassen. Mit dieser Raumsonde wurde zugleich die bisherige Rekordentfernung von rund 36 Millionen Kilometern bei funktechnischen Meßübertragungen überbrückt.

Strahlungsgürtel der Erde. Die bisher größte Überraschung erbrachten Satelliten und Raumsonden mit der Entdeckung ausgedehnter torusförmiger Bereiche um die Erde, in denen Ladungsteilchen (Ionen und Elektronen) längs der Kraftlinien des Erdmagnetfeldes wie in einem magnetischen Käfig zwischen den Polen hin- und herpendeln. Man bezeichnet diese Gebiete als *Strahlungsgürtel*. Das Zustandekommen dieser Strahlungsgürtel sowie die starken Veränderungen in ihnen hängen in vorläufig noch schwer durchschaubarer Weise von komplizierten Wechselwirkungen zwischen der *Sonnenaktivität* (solare Ausbrüche) und dem *Erdmagnetfeld* ab. Bisher konnte mit Sicherheit die Existenz von zwei getrennten Gürteln nachgewiesen werden (Van-Allen-Gürtel). Der innere liegt in Höhen von 1000 bis 6000 km über der Erdoberfläche, mit geringerer Erstreckung zu höheren geomagnetischen Breiten. Er besteht aus energiereichen *Protonen* (bis zu 100 MeV). Der äußere Strahlungsgürtel baut sich aus relativ energiearmen *Elektronen* auf (etwa 100 keV) und liegt in Höhen von 15000 bis 25000 km (die Höhenangaben bezeichnen jeweils das Maximum der Strahlungsdichte). Der äußere Strahlungsgürtel reicht bis in sehr hohe geomagnetische Breiten und dort bis auf wenige hundert Kilometer an die Erdoberfläche heran. Magnetfeldmessungen durch Lunik I ließen außerdem erkennen, daß in etwa 20000 bis 22000 km Entfernung von der Erdoberfläche ein *Ringstromgebiet* vorhanden sein müßte, wodurch das Bild der Verhältnisse in diesen Bereichen weiter kompliziert würde.

Mikrometeorite. Der Untersuchung meteoritischer Materie im kosmischen Raum widmeten besonders die sowjetischen Wissenschaftler große Aufmerksamkeit. Besonders Sputnik II war in dieser Hinsicht gut ausgerüstet. Es gelang beispielsweise, mit seiner Hilfe im August 1958 den Meteorstrom der Perseiden eindeutig nachzuweisen. Eine vorläufige Auswertung der Meßergebnisse ergab eine *mittlere Häufigkeit* von $1{,}7 \cdot 10^{-3}$ Treffer je Quadratmeter und Sekunde, was einem mittleren Massestrom von $4{,}4 \cdot 10^{-12}$ g/m² s entspricht. Darüber hinaus zeigte sich, daß die Häufigkeit der Mikrometeoriten starken Schwankungen unterworfen war.

Mondforschung. Die Anwendung der Raumfahrttechnik auf die Erforschung des Mondes gelang bisher nur den sowjetischen Wissenschaftlern. Ihre drei Raumsonden der *Lunik-Serie* lieferten bereits umfangreiche und interessante Ergebnisse. So gelang schon mit Lunik I (Start 2. 1. 1959), der sich dem Mond bis auf etwa 6000 km näherte, der Nachweis, daß der Mond nur ein *sehr schwaches Magnetfeld* haben kann. Zumindest reicht es nicht hin, um ähnliche Strahlungsgürtel, wie sie die Erde hat, zu bilden. Dieser Befund konnte dann durch den Flug von Lunik II (Start 12. 9. 1959) erhärtet werden. Das Magnetometer dieser Raumsonde war bis zum Aufschlag des Meßgerätebehälters auf der Mondoberfläche in Funktion und lieferte keinen Hinweis auf ein Magnetfeld. Lediglich die eingebauten Ionenfallen registrierten von etwa 10000 km Entfernung an eine geringe Zunahme ionisierter Teilchen. Daraus könnte man auf das Vorhandensein einer allerdings sehr dünnen *Mondionosphäre* schließen. Den bisher bedeutendsten Beitrag zur Mondforschung lieferte dann Lunik III (Start 4. 10. 1959) mit der Übertragung der ersten Aufnahmen der bis zu diesem Zeitpunkt unbekannten Rückseite des Mondes. Die Auswertung dieses Materials in selenologischer Hinsicht wird jedoch noch einige Zeit in Anspruch nehmen.

Sonnenforschung. Die schon seit längerer Zeit bestehende Erkenntnis, daß das solare Geschehen in engstem Zusammenhang mit geophysikalischen Erscheinungen im weitesten Sinne steht (solar-terrestrische Beziehungen), führte zwangsläufig dazu, auch die Mittel der Raumflugtechnik auf die Sonnenforschung anzuwenden. Vor allem mit Höhenraketen und Satelliten wurden zahlreiche Untersuchungen über die verschiedensten Arten der Sonnenstrahlung durchgeführt. So wurde das *Fraunhoferspektrum* der Sonne bis herunter zu 150,0 nm vollständig erfaßt. Es konnten dabei über 1000 Absorptionslinien zusätzlich identifiziert werden. Es gelang ferner, die bedeutsame *Lyman-Alpha-Linie* des Wasserstoffs zu photometrieren und weitere Glieder der Lyman-Serie zu entdecken. Daneben gelang zwischen 190,0 und 8,4 nm die Entdeckung mehrerer hundert *Emissionslinien.* Besonders interessant waren Photographien der Sonne im Licht der Lyman-Alpha-Strahlung sowie im Bereich der solaren Röntgenstrahlung.

Biologische Versuche. Für die Belange der Raumfahrt selbst (Problem des bemannten Weltraumfluges) wurden zahlreiche bedeutsame Beiträge erarbeitet. Auch auf diesem Gebiet ging die sowjetische Raumfahrtforschung mit beträchtlichem Vorsprung voran. Nach zahlreichen Vorversuchen mit Höhenraketen, in denen *Versuchstiere* zunächst bis in Höhen von 450 km emporgetragen wurden, folgte als erster Schritt das Experiment mit dem *Biosatelliten* Sputnik II (Laika). Es gelang damit der Nachweis, daß es auch einem höher entwickelten tierischen Organismus möglich ist, die Belastungen beim Aufstieg eines astronautischen Flugkörpers zu ertragen sowie während länger anhaltender Schwerelosigkeit lebensfähig zu bleiben. Nach weiterem Ausbau der Raumflugtechnik folgte die Versuchsserie der sowjetischen unbemannten *Raumschiff-Satelliten I* bis *V*, bei der das raumfahrtbiologische Material erweitert und vertieft wurde. Zugleich wurden die notwendigen technischen Voraussetzungen erprobt, um ein Lebewesen von einer Satellitenbahn wieder wohlbehalten zur Erde zurückzuführen. Auf der Basis dieser breiten Vorbereitungen stand dann der erste bemannte *Weltraumflug* des sowjetischen Fliegermajors *J. A. Gagarin*, dem knapp vier Monate später sein Kamerad *G. S. Titow* mit dem ersten ganztägigen Raumflug eines Menschen folgte. Die bei diesen Versuchen erhaltenen Messungen sind so außerordentlich vielseitig, daß mit dem Abschluß ihrer Auswertungen erst in einiger Zeit zu rechnen sein wird. Für die weitere Bearbeitung der Probleme des bemannten Raumfluges werden sie jedoch von größter Bedeutung sein. Eine gewisse Ergänzung dieses Materials kann man auch von der Auswertung des ersten amerikanischen bemannten Satellitenfluges (*J. H. Glenn*) erwarten.

X. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
9.—4. Jahrtausend	Schriften und Baudenkmäler der *Mayas* (Indianer Mittelamerikas) bezeugen astronomische Kenntnisse.
4. Jahrtausend	*Stonehenge* bei Salisbury (Südengland), Steinkreis der Jungsteinzeit nach dem Sonnenwendpunkt geortet.
3400	Die Grundkanten der *Cheopspyramide* sind nach den vier Himmelsrichtungen orientiert.
15. 2. 3379	Mondfinsternis von den *Mayas* aufgezeichnet.
3. Jahrtausend	Anfänge der *babylonischen Astronomie.* Kenntnisse über die Wiederkehr der Finsternisse.
um 2500	Ägyptischer Kalender nach dem Sonnenlauf.
2. Jahrtausend	Mondsonnenjahr der *Babylonier.* Wahl der 12 Sternbilder des „Tierkreises". Venustafel des Ammisaduga. *Chinesischer Kalender.* In Stein gemeißelte Sternkarten.
763	Älteste überlieferte Beobachtung einer *totalen Sonnenfinsternis* durch die Babylonier.
etwa 624—547	Der griechische Philosoph *Thales* aus Milet sagt für den 23. 5. 585 eine Sonnenfinsternis voraus.
etwa 500	Die griechische Philosophenschule der *Pythagoreer* lehrt die Kugelgestalt der Erde im Gegensatz zu der bis dahin vertretenen Ansicht, daß die Erde eine Scheibe sei.
um 440	Der Athener *Meton* bestimmt die Sonnenwendpunkte mit dem „Gnomon" (Schattenwerfer).
um 300	Der griechische Astronom *Aristyllos* von Samos und der alexandrinische Astronom *Timocharis* führen die erste Ortsbestimmung von Fixsternen aus.
um 265	Der griechische Astronom *Aristarch* von Samos berechnet die Entfernung von Sonne und Mond in Erdhalbmessern. Nach ihm bewegt sich die Erde um die Sonne.
um 240	Der alexandrinische Gelehrte *Eratosthenes* (276 bis 195) aus Kyrene berechnet den Erdumfang aus dem Breitenunterschied und der Entfernung zwischen Alexandria und Syene (Assuan) auf 250000 Stadien (46000 km nach heutigem Maß).

um 150 Der griechische Astronom *Hipparch* (etwa 190 bis 125) gibt ein Verzeichnis der Fixsterne heraus und entdeckt durch Vergleich mit älteren Angaben die Bewegung (*Präzession*) des Frühlingspunktes. Er berechnet die Entfernung des Mondes zu 59 (statt 60,267) Erdhalbmessern. Planetentafeln.

45 *Cäsar* (100 bis 44) läßt den alten römischen Kalender verbessern (Julianischer Kalender).

u. Z.

um 140 Der alexandrinische Geograph und Mathematiker *C. Ptolemäus* gibt in Alexandria in der „*Megale syntaxis tes astronomias*" (*Großes astronomisches System*) ein Lehrbuch der Astronomie heraus, das in arabischer Übersetzung (Kitab al magisti) als *Almagest* das wichtigste astronomische Lehrbuch des Mittelalters war. Darin vertritt er ein geozentrisches Planetensystem.

um 1000 Der arabische Astronom *Ibn Jûnus* gibt das bedeutendste Werk arabischer Astronomie heraus, die *Hakimitischen Tafeln*, benannt nach dem Kalifen Al-Hâkim, der eine beachtliche Sternwarte erbauen ließ.

um 1250 *Alfons X. von Kastilien* veranlaßt die Aufstellung von Planetentafeln (*Alfonsinische Tafeln*).

1394—1449 Der Tatarenfürst *Ulug-Beg* erbaut in Samarkand eine Sternwarte mit zahlreichen Instrumenten von riesigen Dimensionen.

1471 Der deutsche Astronom und Mathematiker *Regiomontanus* (1436 bis 1476) errichtet in Nürnberg eine Sternwarte mit Werkstatt und Buchdruckerei. Er gibt astronomische Jahrbücher heraus.

1510 Der polnische Astronom *N. Kopernikus* (1473 bis 1543) äußert im „*Commentariolus*" (*Kurzer Kommentar*) seine Gedanken über den Aufbau des Sonnensystems. 1543 erscheint sein Hauptwerk „*De revolutionibus orbium coelestium*" (*Über die Umläufe der Himmelskreise*) und begründet das heliozentrische Planetensystem.

1546—1601 Der dänische Astronom *Tycho Brahe* (genauester Beobachter der vorteleskopischen Zeit) beobachtet in vielen Jahren die Bewegungen der Planeten und schafft damit die Grundlage für die Beseitigung der Unvollkommenheiten des heliozentrischen Planetensystems nach Kopernikus.

1584 Der italienische Naturforscher und Philosoph *Giordano Bruno* (1548 bis 1600) sieht in den Dialogen „*Della causa, principio ed uno*" (*Über die Ursache, das Prinzip und das Eine*) und „*Dell' infinito, universo e mondi*" (*Über das Unendliche, das Universum und die Welt*) das unendliche Weltall von einer göttlichen Weltseele durchdrungen und in den Fixsternen andere Sonnen. Er wird wegen Ketzerei in Rom auf dem Scheiterhaufen verbrannt.

1582 Papst *Gregor XIII.* läßt den Kalender verbessern (Gregorianischer Kalender).

1608 In Holland wird das Fernrohr erfunden.

1609 Der deutsche Astronom *J. Kepler* (1571 bis 1630) stellt im Anschluß an die Beobachtungen Tycho Brahes in „*Astronomia nova*" (*Neue Astronomie*) das erste und zweite und in „*Harmonices mundi*" (*Die Harmonien der Welt*) 1619 das dritte Keplersche Gesetz der Planetenbewegungen auf und erreicht damit Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung.

1610 Der italienische Physiker und Mathematiker *G. Galilei* (1564 bis 1642) entdeckt mit dem von ihm verbesserten Fernrohr die Jupitermonde, die Sonnenflecken, den Phasenwechse der Venus, Mondberge, die „*Dreigestalt des Saturn*". Sein „*Dialog über die beiden Weltsysteme*" (1632) fordert 1633 einen Prozeß der Inquisition heraus. Galilei muß die neue Lehre abschwören.

1647 Der deutsche Astronom *J. Hevelius* (1611 bis 1687) begründet in seiner „*Selenographia*" (*Mondkunde*) die Kenntnis der Mondoberfläche.

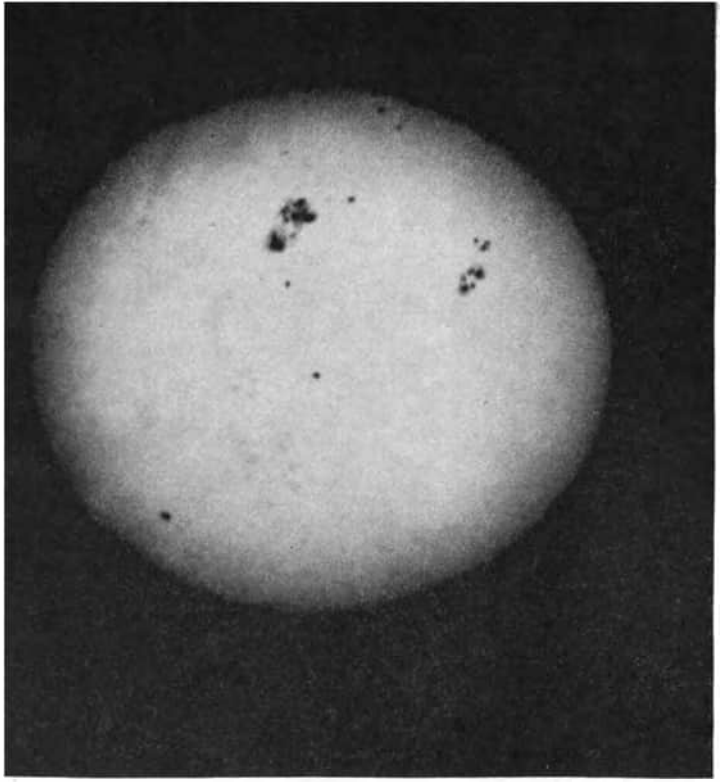
1655 Der niederländische Physiker *Chr. Huygens* (1629 bis 1695) entdeckt die wahre Natur der Saturnringe und den ersten Saturnmond.

1679 Der englische Astronom *E. Halley* (1656 bis 1742) gibt ein erstes Sternverzeichnis des Südhimmels nach Beobachtungen auf St. Helena heraus. 1706 sagt er mit Hilfe der Newtonschen Methode die Wiederkehr eines großen Kometen voraus, der seinen Namen erhält. 1718 entdeckt er die Eigenbewegung von Fixsternen durch Vergleich ihrer Sternörter mit den Angaben Hipparchs.

1675 Der englische Astronom *J. Flamsteed* (1646 bis 1719) veranlaßt König Karl II. zum Bau der Sternwarte Greenwich. Seine dortigen Beobachtungen veröffentlicht er in den ersten beiden neuzeitlichen Sternkatalogen „*Historia coelestis Britannica*" (*Britische Geschichte des Himmels*; 1712/25) und „*Atlas coelestis*" (*Himmelsatlas*; 1729).

1675	Der dänische Astronom *O. Römer* (1644 bis 1710) benutzt die Verfinsterungen der Jupitermonde, um die Lichtgeschwindigkeit zu berechnen.
1687	Der englische Philosoph und Mathematiker *I. Newton* (1643 bis 1727) stellt in „*Philosophiae naturalis principia mathematica*" (*Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie*) das Gravitationsgesetz auf und begründet die klassische Mechanik.
1728	Der englische Astronom *J. Bradley* (1692 bis 1762) entdeckt die Aberration des Lichtes.
1735—1743	Die *Gradmessung* der Pariser Akademie in Perú unter *La Condamine* und *P. Bouguer* bestätigt die Abplattung der Erde und ermöglicht eine genauere Berechnung der Länge des Meridians und des Erdhalbmessers.
1755	Der deutsche Philosoph *I. Kant* (1724 bis 1804) stellt in der „*Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels*" eine Entstehungsgeschichte des Sonnensystems aus einem Staubnebel dar. Er erkennt auch die Bedeutung der Milchstraße für den Aufbau des Weltalls und sieht in den Nebelflecken ähnliche Systeme.
1761 u. 1769	Die *Vorübergänge der Venus* vor der Sonnenscheibe werden auf Vorschlag *Halleys* benutzt, um die Sonnenparallaxe und den Erdbahnhalbmesser zu berechnen.
1776	Das *Berliner Astronomische Jahrbuch* wird von *J. E. Bode* begründet.
1781	Der englische Astronom *F. W. Herschel* (1738 bis 1822) entdeckt mit einem selbstgebauten Spiegelteleskop den Uranus. Er untersucht den Aufbau unseres Sternsystems.
1796	Der französische Astronom und Mathematiker *P. S. de Laplace* (1749 bis 1827) entwickelt in „*Exposition du système du monde*" (*Darstellung des Systems der Welt*) seine Theorie der Entstehung des Sonnensystems aus einem rotierenden Gasball. 1799 bis 1825 erscheint seine „*Mécanique céleste*" (*Himmelsmechanik*).
1801	Der italienische Astronom *G. Piazzi* (1746 bis 1826) aus Ponte entdeckt den ersten Kleinen Planeten, der den Namen Ceres erhält.
1815	Der deutsche Physiker und Optiker *J. Fraunhofer* (1787 bis 1826) bestimmt die Wellenlängen der nach ihm benannten Linien im Sonnenspektrum.
1821—1825	Der deutsche Astronom *F. W. Bessel* (1784 bis 1846) aus Minden legt mit 32000 Ortsbestimmungen den Grund zu einer Präzisionsastronomie. 1838 bestimmt er für 61 Cygni die erste Fixsternparallaxe und berechnet die Entfernung auf 300000 Erdbahnhalbmesser.
1831—1904	Der russische Gelehrte *T. Bredichin* fördert an den Sternwarten zu Moskau und Pulkowo die Kometenforschung.
1834—1838	Der englische Astronom *J. F. W. Herschel* (1792 bis 1871), Sohn des obengenannten F. W. Herschel, erschließt vom Kap der Guten Hoffnung aus den südlichen Sternhimmel.
1839	*W. Struve* (1793 bis 1864) aus Altona wird zum Direktor der neuen russischen Hauptsternwarte in *Pulkowo* ernannt. Er öffnet damit die Pforten eines bis in die Gegenwart berühmten und erfolgreichen Instituts. Sein Hauptaufgabengebiet war die Doppelsternastronomie.
1843	Der deutsche Liebhaber-Astronom *H. Schwabe* (1789 bis 1875) entdeckt die Periodizität der Sonnenflecken, für die *Wolf* 1852 11,1 Jahre angibt.
1846	Der deutsche Astronom *J. G. Galle* (1812 bis 1910) entdeckt den Neptun nach Angaben *Leverriers*, der den Ort schon vorher aus Störungen der Bahn des Uranus errechnet hatte.
1851—1922	Der niederländische Astronom *J. C. Kapteyn* organisiert die *photographische Kap-Durchmusterung*, welche die Lage und photographische Größe aller Sterne bis zur 10. Größe zwischen Südpol und 18° südlicher Deklination feststellt und veröffentlicht diese zusammen mit Gill 1896 bis 1900.
1852—1862	Der deutsche Astronom *F. W. Argelander* (1799 bis 1875) erarbeitet einen Sternkatalog, der sämtliche Sterne bis zur Größe 9,5 zwischen (Himmels-) Nordpol und 2° südlicher Deklination enthält, die sogenannte *Bonner Durchmusterung*.
1857—1900	*J. E. Keeler*, amerikanischer Astronom, stellt mit großer Genauigkeit die ersten Radialgeschwindigkeiten von Spiralnebeln fest und erkennt den meteoritischen Aufbau der Saturnringe.
1857—1923	Der amerikanische Astronom *E. E. Barnard* erarbeitet am Yerkes-Observatorium einen photographischen Milchstraßenatlas.
1859	Der deutsche Physiker *R. Kirchhoff* (1824 bis 1887) begründet zusammen mit *Bunsen* die Spektralanalyse.
1868	Der englische Astronom und Physiker *W. Huggins* (1824 bis 1910) deutet die Linienverschiebungen im Spektrum von Fixsternen als Bewegungen in der Gesichtslinie (Radialbewegungen; Dopplersches Prinzip).

1868—1921	Die nordamerikanische Astronomin *H. S. Leavitt* entdeckt die Beziehungen zwischen der wahren Helligkeit (Leuchtkraft) und der Lichtperiode der Veränderlichen vom Typ δ Cephei.
1890	Der deutsche Astronom *M. Wolf* (1863 bis 1932) beginnt mit photographischen Aufnahmen von Nebeln, Sternhaufen und Teilen der Milchstraße. Er entdeckt die Nebelhaufen im Haupthaar der Berenike und die Dunkelwolken.
1896	Die Größe der *Sonnenparallaxe* wird mit Hilfe eines erdnahen kleinen Planeten zu 8″,80 gemessen und international anerkannt.
ab 1896	Der österreichische Astronom *M. Loewy* und sein französischer Kollege *P. Puiseux* veröffentlichen den berühmten „Pariser photographischen Mondatlas".
1917	Der amerikanische Astronom *H. D. Curtis* bestimmt als erster die Entfernung eines extragalaktischen Nebels (Andromedanebel).
1919	Die *Weltzeit*, d. i. die mittlere Ortszeit von Greenwich, wird in der Astronomie international eingeführt.
1930	Der Planet *Pluto* wird von der Flagstaff-Sternwarte (USA) durch *Tombaugh* entdeckt.
1931	Der französische Forscher *K. G. Janski* stellt Kurzwellenstrahlungen aus dem Weltall fest, und der Astronom *G. Reber* beobachtet anschließend in den USA, daß sie im wesentlichen aus der Milchstraßenzone kommen.
1946	Die Entwicklung eines neuen, sehr erfolgreichen Forschungszweiges, der *Radioastronomie*, setzt ein.
1947	Der sowjetische Astrophysiker und Staatspreisträger *W. A. Ambarzumjan* (geb. 1908) stellt die *Sternassoziationen* fest. Die amerikanischen Astronomen *J. Stebbins* und *A. E. Whitford* photographieren den Kern der Milchstraße.
1948	Am McDonald-Observatorium (Texas) wird durch *G. P. Kuiper*, der 5. Uranusmond entdeckt, ein Jahr später der zweite Neptunmond.
1949	Das bislang *größte Fernrohr* der Welt (ein Spiegelteleskop von 5 m Durchmesser) wird auf dem Mt. Palomar (Kalifornien) nach 15jähriger Bauzeit aufgestellt.
1952	Dem niederländischen Astronomen *J. H. Oort* gelingt es, mit Hilfe radioastronomischer Beobachtungen die Spiralstruktur eines Teils unserer Milchstraße nachzuweisen.
1957	Mit Hilfe elektronischer Rechenmaschinen werden Untersuchungen der Bewegungen in Sternhaufen und der Entstehung und Entwicklung der Sterne möglich.
4. 10. 1957	Der erste künstliche Erdsatellit, Sputnik I, wird in der UdSSR gestartet. Er hat eine Masse von 86,3 kg und umkreist die Erde in 96,17 Minuten. Im gleichen Jahre, am 3. 11. 1957, befördert Sputnik II (508,3 kg) das erste Lebewesen, die Hündin Laika, auf eine Ellipsenbahn um die Erde.
31. 1. 1958	Der erste nordamerikanische Meßsatellit Explorer I wird in eine Bahn um die Erde gebracht. Er hat eine Masse von 14 kg und eine Umlaufzeit von 108,2 Minuten.
2. 1. 1959	Der erste künstliche Planetoid Lunik I wird in der UdSSR gestartet. Er hat eine Masse von 1472 kg und umkreist die Sonne in 444 Tagen. Im gleichen Jahr erreicht der am 12. 9. 1959 gestartete Lunik II den Mond und Lunik III (Start am 4. 10. 1959) photographiert die Rückseite des Mondes. Der nordamerikanische künstliche Planetoid Pioneer IV (33 kg, Start 3. 3. 1959) kann von Funkpeilstationen 655000 km verfolgt werden.
15. 5. 1960	Das erste sowjetische Raumschiff (4540 kg Gesamtmasse) wird mit einer Kabine für den geplanten Menschenflug gestartet. Das zweite Raumschiff (Start 19. 8. 1960) enthält in seiner Kapsel Hunde, Ratten, Mäuse, Insekten, Pflanzen und Mikroben, die wieder zur Erde zurückgeführt werden.
12. 4. 1961	Der erste Kosmonaut, Major *J. A. Gagarin*, umkreist im Raumschiff Wostok I in 89,1 Minuten die Erde und landet im vorgesehenen Gebiet. Im gleichen Jahre (Start 6. 8. 1961) umkreist Major *G. S. Titow* in dem Raumschiff Wostok II die Erde 14mal und landet im vorgesehenen Gebiet. Am 12. 2. 1961 wird in der UdSSR die Venussonde (Masse 643,5 kg) gestartet.
20. 2. 1962	Der nordamerikanische Kosmonaut, Oberstleutnant *J. Glenn*, startet in einer Mercury-MA 6-Rakete (Masse 1000 kg) und umkreist wie der am 24. 5. 1962 gestartete Nordamerikaner *S. Carpenter* die Erde dreimal; sie landen im Ozean und können geborgen werden.
11.—15. 8. 1962	Gruppenflug von Major *A. G. Nikolajew* und Oberstleutnant *P. R. Popowitsch* in den Raumschiffen Wostok III und IV, die untereinander und mit den sowjetischen Bodenstationen in Kurzwellenverbindung standen, sich einander auf 6 km näherten und nach 95 bzw. 71 Stunden Flug kurz nacheinander landeten.
1. 11. 1962	Start der sowjetischen Raumstation Mars 1 (Masse 893,5 kg).

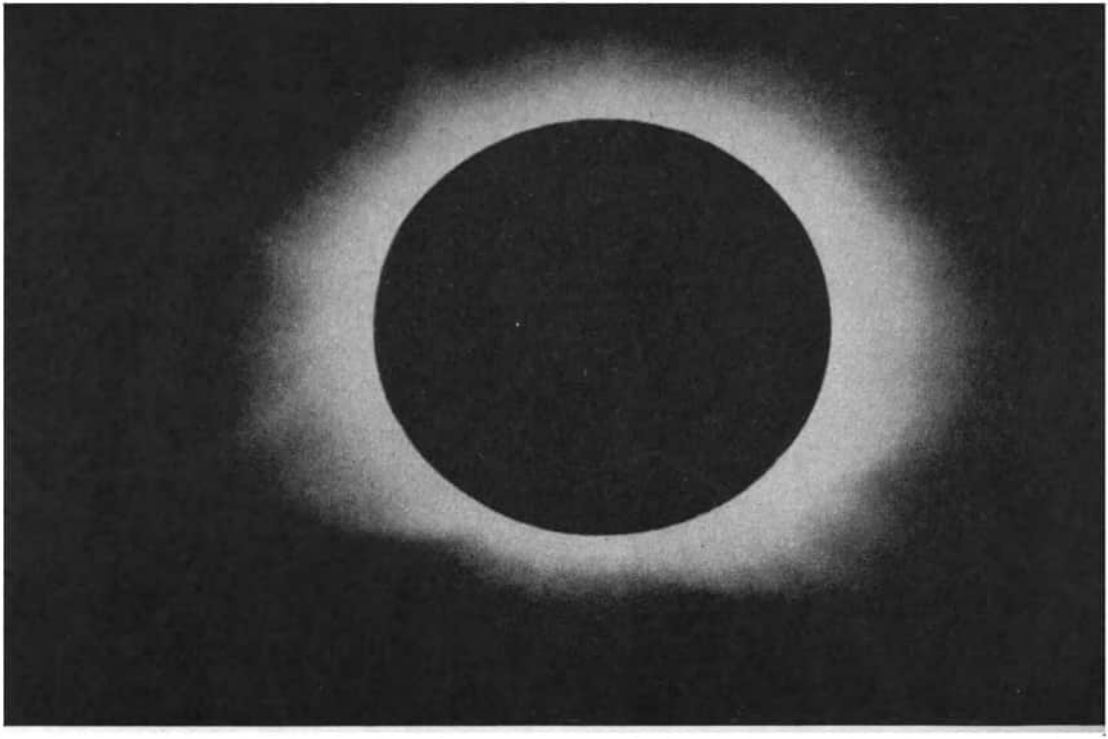


Die Sonne mit zwei ausgedehnten Fleckengruppen und zahlreichen Einzelflecken. Gegen den Rand der Sonnenscheibe hin nimmt die Leuchtdichte ab (Randverdunklung). In dieser lichtschwächeren Randzone sind als geringe Erhellungen die Fakkeln zu erkennen

Sonne mit Flecken — Protuberanz

Bogenförmige Protuberanz am Sonnenrand. Die helle Sonnenscheibe ist durch eine im Fernrohr befindliche Blende abgedeckt. Protuberanzen sind heiße Gasmassen, die aus der mittleren Schicht der Sonnenatmosphäre emporgeschleudert werden



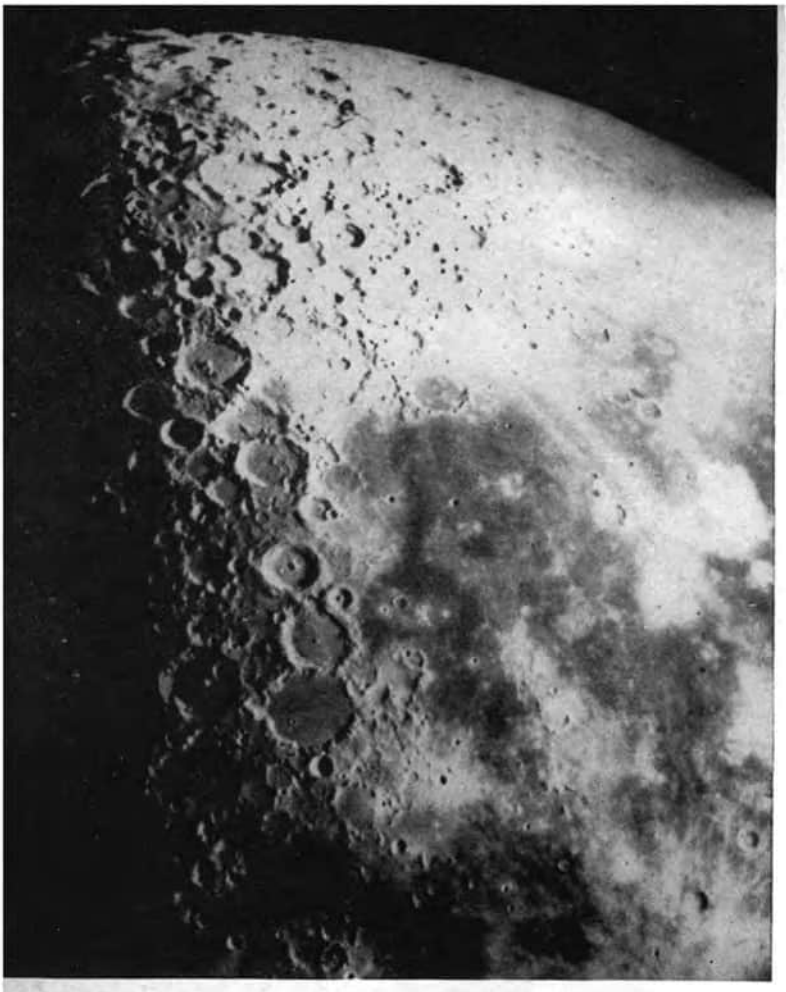


Die Sonnenkorona bildet die höchsten Schichten der Sonnenatmosphäre. Die von Natur aus lichtschwache Erscheinung ist am einfachsten während der Hauptphase einer totalen Sonnenfinsternis zu beobachten. Die Aufnahme in Bol, Insel Brač (Jugoslawien), zeigt die mittlere Sonnenkorona bei der totalen Sonnenfinsternis am 15. Februar 1961

Sonnenkorona — Mondoberfläche

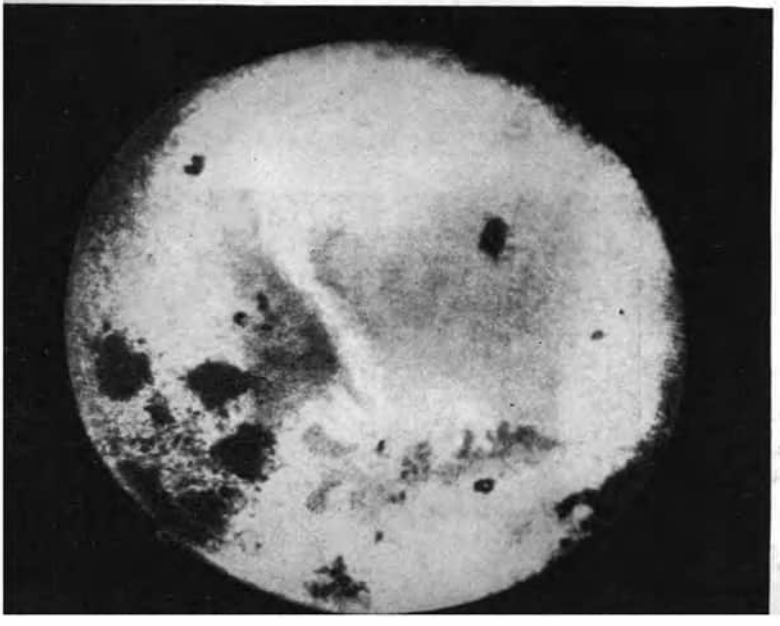


Auf der festen Oberfläche des Mondes sind zahlreiche Krater, Berge, Rillen und Ebenen zu erkennen. Die Krater haben Durchmesser bis etwa 200 km und sind von schroff aufsteigenden Ringgebirgen umgeben, deren Gipfel bis zu 8000 m Höhe reichen



Anblick einer Gebirgslandschaft auf der Südhalbkugel des Mondes. Etwas unterhalb der Bildmitte liegt das größte Ringgebirge „Clavius" (238 km Durchmesser). Darüber als deutlich ausgeprägtes Oval: Tycho

Mondlandschaft — Mondrückseite



Teilansicht der Rückseite des Mondes, aufgenommen und übertragen von den Geräten des Lunik 3





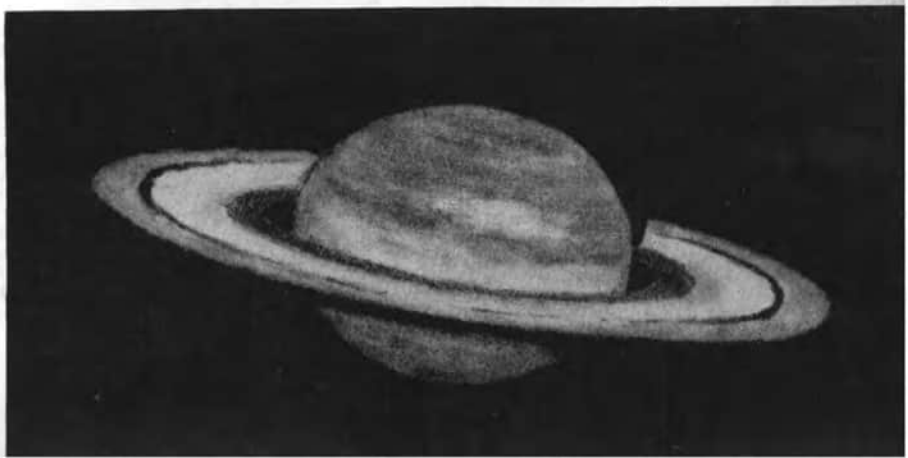
1 **Venus** als Morgenstern. Ihre Außenschicht ist ein Wolkenmeer, in dem nur selten dunklere Konturen zu erkennen sind

2 **Mars** Auf seiner festen Oberfläche erkennt man dunkle und helle Gebiete, die in groben Umrissen stets dieselbe Gestalt zeigen. Eines der Polargebiete ist meist als weißer Fleck deutlich zu erkennen. Die Größe dieses Polarfleckes hängt von der Jahreszeit auf dem Mars ab

3 **Jupiter** hat eine merklich von der Kugelform abweichende Gestalt. Charakteristisch sind seine strukturreichen dunklen Streifen, die nördlich und südlich parallel zum Äquator verlaufen. Es handelt sich dabei um eine geschlossene Wolkendecke, deren Gebilde rasch veränderlich sind

4 **Saturn** ist noch stärker abgeplattet als Jupiter. Seine Wolkendecke zeigt nur selten eine auffällige Struktur. Das Ringsystem besteht aus kleinen meteoritischen Körpern, die sich nahezu in einer Ebene um den Planeten bewegen





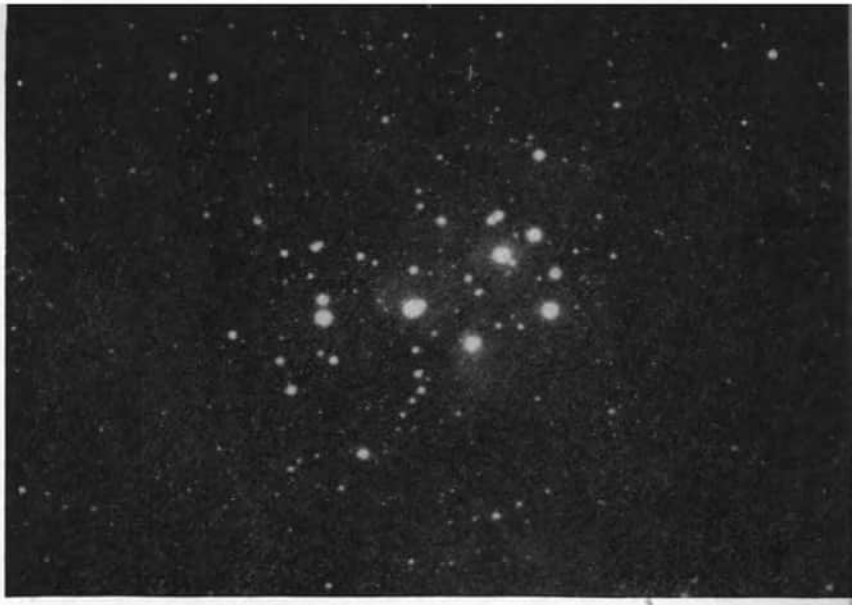


Halleyscher Komet am 12. Mai 1910. Der Kopf des Kometen hatte an diesem Tage einen Durchmesser von mehr als vier Erddurchmessern. Der Schweif war achtmal so lang wie die Entfernung Erde–Mond. Der Komet beschreibt eine so riesige Ellipse um die Sonne, daß er nur aller 76 Jahre in Sonnennähe kommt und von der Erde aus zu sehen ist. Die nächste Wiederkehr des Halleyschen Kometen wird für das Jahr 1986 erwartet

Komet — Milchstraße



Teil der Milchstraße. Das milchig schimmernde Band der Milchstraße, das sich quer über den Himmel spannt, wird bei Betrachtung im Fernrohr in Milliarden von Lichtpünktchen aufgelöst, von denen jedes einzelne eine riesige Sonne darstellt. Es ist zu vermuten, daß viele jener fernen Sonnen — ebenso wie unsere Sonne — von Planeten umgeben sind. Zum Sternensystem der Milchstraße gehört auch unsere Sonne mit ihren Planeten

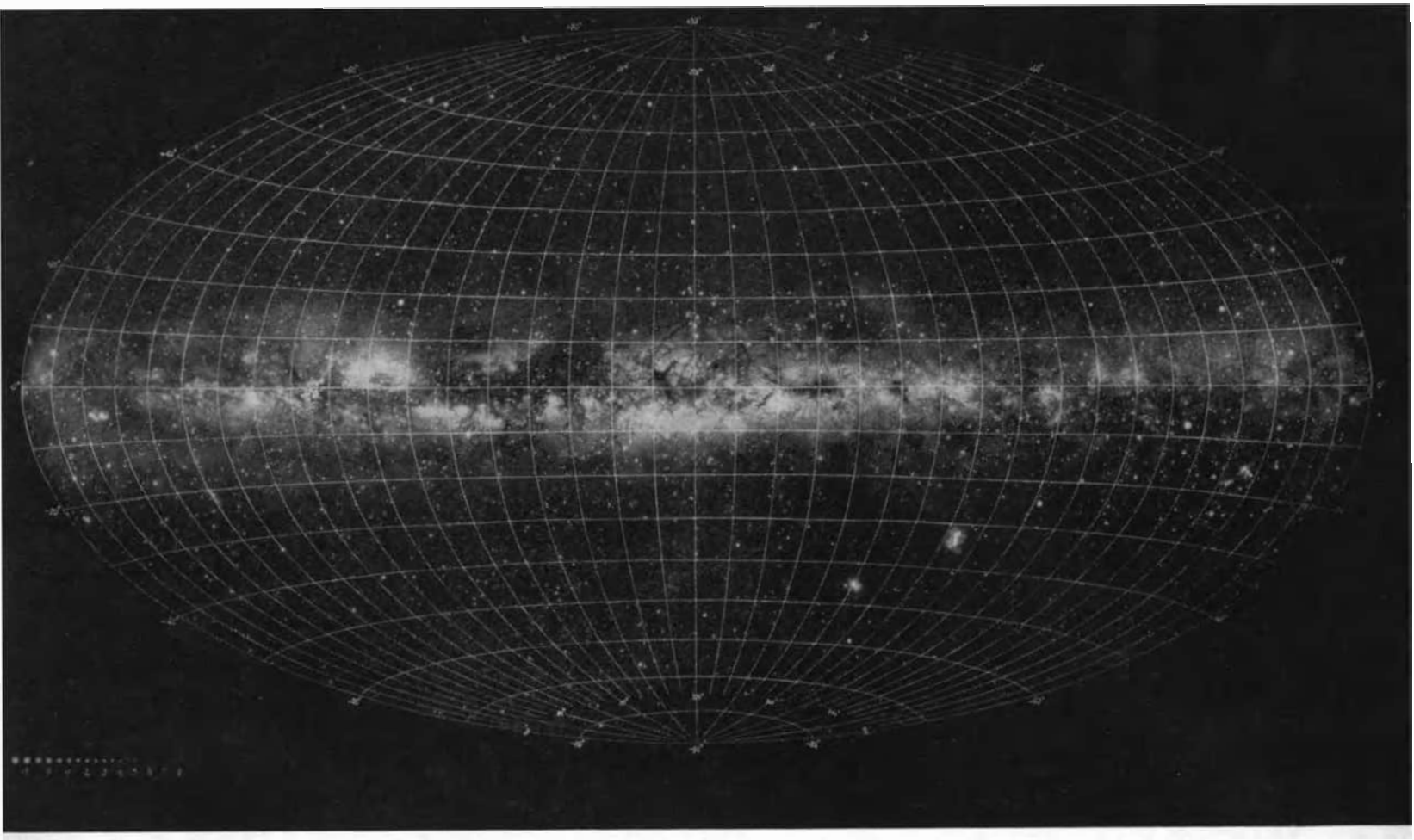


Die Plejaden, ein offener Sternenhaufen im Stier. Diese verhältnismäßig junge Sternfamilie (Alter: 50 Millionen Jahre) konnte sich noch nicht im allgemeinen Sternfeld der Sonnenumgebung zerstreuen

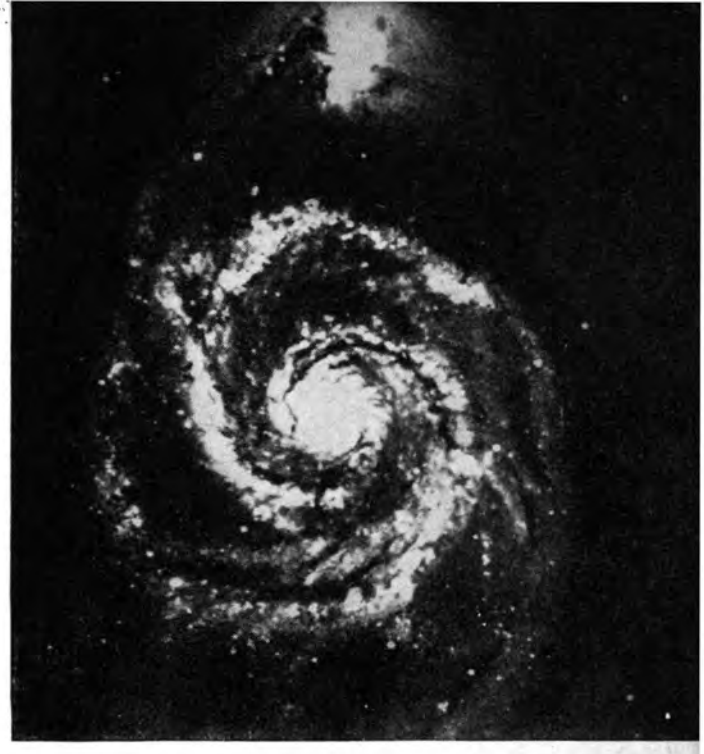
Plejaden — Orionnebel



Diffuser Gasnebel im Orion um den Stern ϑ Orionis. Die außerordentlich dünn verteilten Gase werden durch die in ihnen eingebetteten heißen Sterne (UV-Strahlung) zum Leuchten angeregt



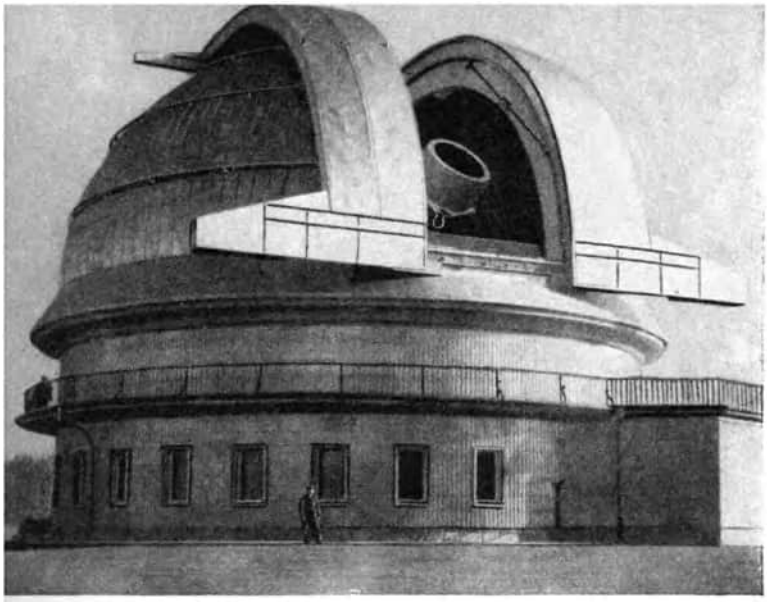
Milchstraße nach Photographien von Tatjana und Martin Kesküla, Sternwarte Lund (Schweden), mit Koordinatennetz der galaktischen Längen l und Breiten b im Abstand von je 10°. Die Milchstraße zieht sich von links über die Sternbilder Fuhrmann, Perseus, Cepheus, Schwan, Adler (Spaltung in zwei Arme durch Dunkelwolken), Schütze (Mitte, Zentrum des Milchstraßensystems), Zentaur, Kreuz, Hinterdeck zum Einhorn. Das Bild zeigt rund 7000 der hellsten Sterne des Milchstraßensystems sowie den Andromedanebel ($l = 90°$, $b = -20°$), die Große ($l = 250°$, $b = -30°$) und die Kleine ($l = 270°$, $b = -40°$) Magellansche Wolke



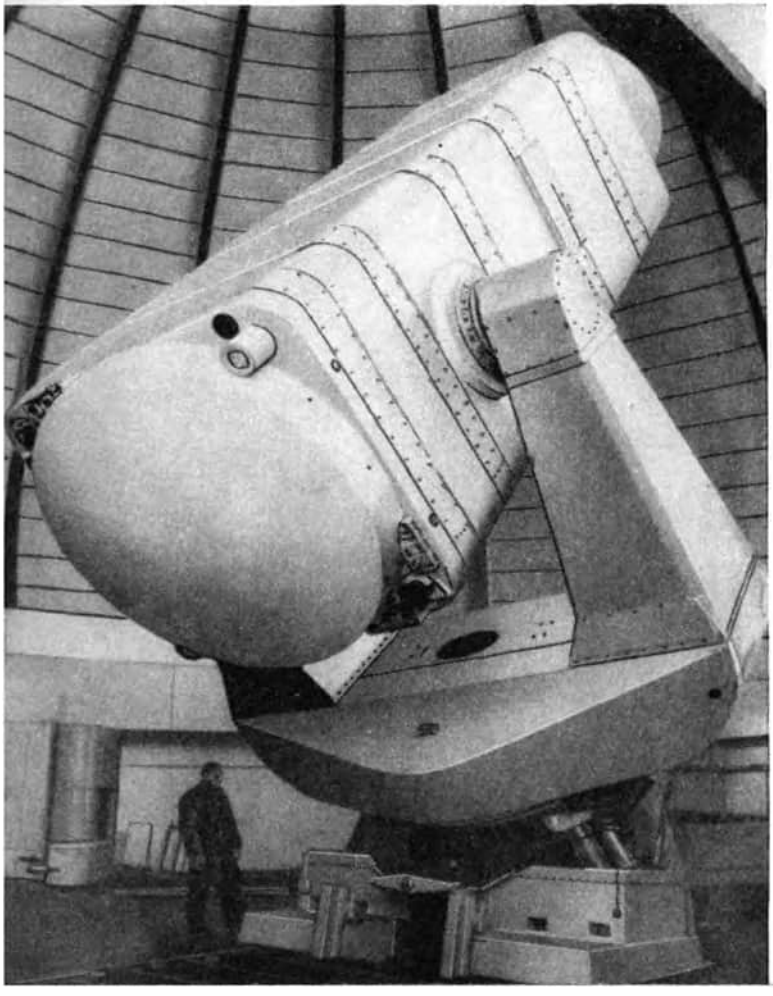
Spiralnebel im Sternbild der „Jagdhunde". Spiralnebel sind Sternensysteme, die unserem Milchstraßensystem gleichen. Im Fernrohr sind Millionen solcher Nebel zu erkennen

Spiralnebel

Andromedanebel als Beispiel eines von der Erde her fast seitlich gesehenen Spiralnebels. Durch das Bild läuft die Bahn eines Meteors, das sich in stärkster Umwandlung befindet. Die hellen dicken Stellen lassen Teilexplosionen des Meteors erkennen



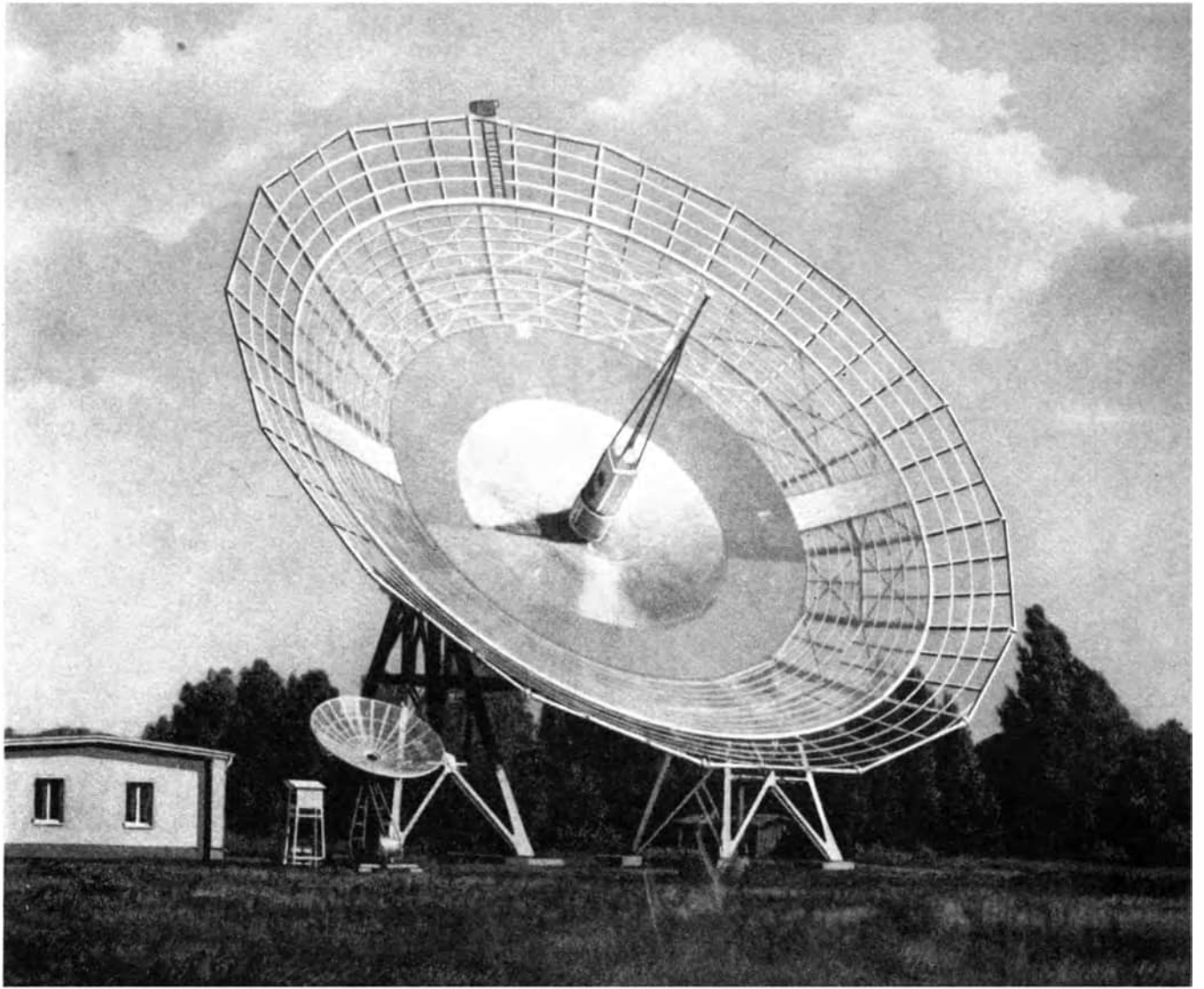
Das Kuppelgebäude des Karl-Schwarzschild-Observatoriums



Karl-Schwarzschild-Observatorium

Das 2-m-Spiegelteleskop der Deutschen Akademie der Wissenschaften im Tautenburger Forst

Radioteleskop



Das 36-m-Radicteleskop des Heinrich-Hertz-Institutes (Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin)

ERDE

INHALTSÜBERSICHT

I. *Sonne und Erde* 427
Die Sonne als Energiequelle 427

II. *Gestalt, Größe und Gliederung der Erde* 428
Umfang der Erde 428
Abplattung der Erde 429
Orte annähernd gleicher geographischer Breitenlage 429
Orte annähernd gleicher geographischer Länge 430
Land- und Wasserflächen der Erde 431
Pole der Erde 431

III. *Erdmagnetismus* 432
Deklination, Inklination, Intensität 432
Der Kompaß 432

IV. *Geologischer Bau der Erde* 435
Die chemischen Elemente der Erdrinde 435
Schalenaufbau der Erde 435
Geothermische Tiefenstufe 435
Das Alter der Erde 436
Geologische Vorgänge 436
Die Erdzeitalter 440

V. *Mineralogie, Lagerstättenkunde und geophysikalische Lagerstättenerkundung* 445
Bedeutung und Grundlagen der Mineralogie 445
Die Lehre von den Mineralen 445
Lagerstättenkunde und geophysikalische Lagerstättenerkundung .. 450

VI. *Vulkanismus und Erdbeben* 454
Vulkanismus 454
Berühmte Thermen Europas 455
Die wichtigsten tätigen Vulkane der Erde 456
Erdbeben 458

VII. *Die Lufthülle der Erde* 464
Schichten der Atmosphäre 464
Dämmerung 465
Barometrische Höhenstufe 466
Die allgemeine Luftzirkulation ... 467
Regelmäßige, periodische und lokale Winde 467
Skale der Windstärken 468
Jahreszeitliche Verteilung der jährlichen Regenmengen in einigen Gebieten 469
Niederschlagsreiche und niederschlagsarme Gebiete der Erde 469
Klimatische Verhältnisse europäischer Großstädte 470
Pflanzen und Jahreszeiten 470
Festlandsflächen (ohne Antarktis) und Bevölkerungsverteilung 1960 nach den geographischen Breiten .. 471
Wetterkarte 472
Barometer — Wettertabelle 474
Wetterregeln 474
Wetterbeeinflussung durch Atombombenexplosionen? 476
Heizgradtage als Maß für den Wärmebedarf 476
Klimaänderungen, langfristige Wettervorhersage, Wetterextreme 476

VIII. *Festland* 478
Gliederung des Festlandes 478
Das Relief der Erde 481
Die geographischen Zonen 498
Höhengrenzen — Höhenstufen ... 499
Die Gletscher der Erde 509
Die Gewässer des Festlandes 512
Inseln, Halbinseln, Landengen 527
Die Depressionen der Erde 533
Die Waldflächen der Erde 535
Höhlen 535

IX. *Meer* 543
Die Ozeane und ihre Nebenmeere 543
Salzgehalt der Meere 544
Meerestiefen 544
Tauchtiefen 545
Ursache des gegenwärtigen Meeresspiegelanstiegs 545
Die Gezeiten 545
Meeresströmungen 547
Meerengen 548
Arten des Meereises 549
Wichtige Fjorde 549

X. *Ortsbestimmung auf der Erdoberfläche* 550
Übersicht der Koordinatensysteme 550
Astronomische Ortsbestimmung .. 551
Geodätische Grundlagen 553

XI. *Darstellung der Erdoberfläche* 558
Die Landkarte 558
Kartennetzentwürfe 560
Karteninhalt 564

XII. *Wichtige Jahreszahlen* 565
Die Erweiterung des Gesichtsfeldes vom Altertum bis zur Gegenwart .. 565
Entdeckungsreisen und geographische Forschungen 566

I. Sonne und Erde

DIE SONNE ALS ENERGIEQUELLE

Die *einzige ursprüngliche Energiequelle* der Erde ist die *Sonne*. Sie strahlt zweimilliardenmal mehr Energie aus, als die Erde empfängt. Durch die von der Erde aufgenommene Energie werden physikalische, chemische und vor allem biologische Prozesse hervorgerufen und beeinflußt.

Wenn die *Sonnenenergie* auch nicht in dem Ausmaß schwankt, wie man früher annahm, so ist sie doch *nicht unveränderlich*. In den Jahren des Sonnenfleckenmaximums ist sie durchschnittlich größer als in fleckenarmen Jahren, da neben den Flecken zugleich Fackeln von übernormaler Helligkeit und Temperatur auftreten. Außerdem konnte der dänische Meteorologe *Lysgaard* auch eine allgemeine Temperaturzunahme feststellen.
Die *Quellen der Sonnenenergie* sind kernphysikalische Reaktionen, vor allem die Umwandlung von Wasserstoff in Helium, bei denen gewaltige Energiemengen frei werden.

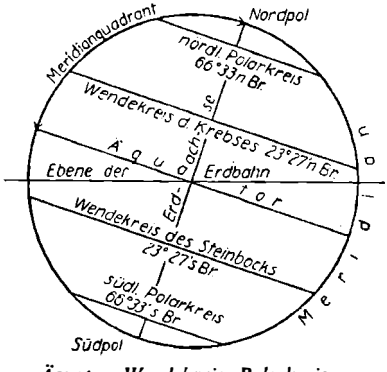
Jährliche Sonnenenergie. Die *Gesamtstrahlung* der Sonne beträgt ..... $9{,}1 \cdot 10^{25}$ cal/s
oder $2{,}87 \cdot 10^{33}$ cal/Jahr
das entspricht ..... $3{,}724 \cdot 10^{33}$ erg/s
oder $1{,}175 \cdot 10^{41}$ erg/Jahr.
Die Sonne erleidet dadurch einen Verlust an Masse von ..... 4150000 t in der Sekunde.
Bei einer Ausstrahlung im Zeitraum von 10 Milliarden Jahren entspräche dies jedoch nur einem Masseverlust von ..... 1/1500 der Sonnenmasse.
Die obere Grenze der Erdatmosphäre erhält von der Gesamtstrahlung je cm^2 in der Minute (Solarkonstante) ..... 1,901 cal
Die Erde empfängt von der Gesamtstrahlung der Sonne insgesamt ..... $1{,}414 \cdot 10^{24}$ cal/Jahr
davon = $141400 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
die Lufthülle ..... $85000 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
die Erdoberfläche ..... $56400 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
Damit könnte ein die Erde umschließender Eispanzer von 36 m Dicke geschmolzen werden.
Von der Sonnenstrahlung werden *verwertet*
im *Pflanzenwuchs* ..... $14 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
davon im Wald ..... $9{,}4 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
durch *Wasser und Wind*, und zwar durch
Verdunstung ..... $36000 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
Regen ..... $848 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
abfließendes Wasser ..... $5{,}8 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr
Windenergie (planetarische Zirkulation) ..... $3500 \cdot 10^{16}$ kcal/Jahr

Auf der Erde gespeicherte Sonnenenergie. Die auf der Erde gespeicherte Sonnenenergie besteht in Form von *Kohle und Erdöl*
Steinkohlenvorrat, auf 5 Bill. t geschätzt, entspricht ..... $3500 \cdot 10^{16}$ kcal
davon wahrscheinlich nutzbar ..... $700 \cdot 10^{16}$ kcal
Erdölvorrat, auf 21,5 Milliarden t geschätzt, entspricht ..... $21{,}5 \cdot 10^{16}$ kcal
in Form von *hochgehobenem Wasser*
Wassermasse der Wolken, entspricht ..... $280000 \cdot 10^{16}$ kcal

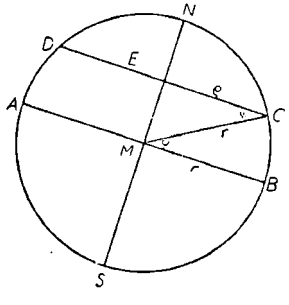
II. Gestalt, Größe und Gliederung der Erde

UMFANG DER ERDE

längs des Äquators	40076,59 km
an den Wendekreisen 23° 27′ nördl. und südl. Breite	36784 km
an den Polarkreisen 66° 33′ nördl. und südl. Breite	15993 km
über beide Pole hinweg (Meridianellipse)	40009,15 km
Länge des Meridianquadranten	10002,29 km



Äquator, Wendekreis, Polarkreis



Umfangsberechnung eines Parallelkreises

Erläuterung. Der *Äquator* (lat. Gleicher) teilt die Erde in Nord- und Südhalbkugel. Über jedem *Wendekreis* steht die Sonne einmal im Jahr senkrecht, d. h., sie kulminiert mittags im Zenit, dann „wendet" sie sich in südliche bzw. nördliche Richtung. Der *Meridianquadrant* ist der 4. Teil eines Meridians (Längen-, Mittagskreises).

Der *Umfang* eines *Parallel-* (*Breiten-*) *Kreises* wird berechnet nach der Formel $2r \cdot \cos\varphi \cdot \pi$. — Ist ϱ der Radius des Parallelkreises durch DC, so ist dessen Umfang $2\varrho\pi$. Das Verhältnis von ϱ zum Erdradius r wird berechnet aus dem Dreieck MCE. $\sphericalangle BMC = \varphi$, die geographische Breite des Parallelkreises DC. Im $\triangle MCE$ *ist*

$$MC = r \quad \text{und} \quad \sphericalangle MCE = \varphi, \quad \text{also:} \quad \cos\varphi = \frac{\varrho}{r},$$

$\varrho = r \cdot \cos\varphi$; also $DC = 2r \cdot \cos\varphi \cdot \pi$, d. h., die Parallelkreise nehmen in der Richtung auf die Pole mit dem Kosinus der geographischen Breite ab.

Länge ausgewählter Parallelgrade

geographische Breite	Länge in km
0°	111,30
10°	109,63
20°	104,63
30°	96,47
40°	85,38
50°	71,69
60°	55,79
70°	38,18
80°	19,39

Länge ausgewählter Meridiangrade

geographische Breite	Länge in km
0···1°	110,56
29···30°	110,83
59···60°	111,39
89···90°	111,68

ABPLATTUNG DER ERDE

Infolge der Rotation um eine Achse hat die Erdoberfläche die Gestalt eines *Ellipsoids* angenommen. Die Abplattung an den beiden Polen ist von der Dichte und der Rotationsgeschwindigkeit abhängig.
Die gebräuchlichsten Werte, die für das Erdellipsoid errechnet wurden, sind:

	Äquatorradius a	Polarradius b	Abplattung $\frac{a-b}{a}$
Bessel (1841)	6377397 m	6356079 m	1 : 299,15
Hayford (1924)	6378388 m	6356911 m	1 : 296,99
Krassowski (1942)	6378245 m	6356863 m	1 : 298,30

Von der „Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik" wurde ein dem *Hayford*schen sehr ähnliches Rotationsellipsoid angenommen.

Werte des *Internationalen Erdellipsoids:*

Halbmesser des Äquators (Äquatorradius) ..... $a = 6378388$ m
halbe Erdachse (Polradius) ..... $b = 6356912$ m
Differenz zwischen Äquator- und Polradius ..... $a - b = 21476$ m
Abplattung der Erde $\frac{a-b}{a} = \frac{21476}{6378388} = \frac{1}{297}$
Länge des Äquatorgrades ..... 111323,872 m
Länge des mittleren Meridiangrades (= $^1/_{90}$ Meridianquadrant) ..... 111136,537 m
Oberfläche der Erde ..... 510100933,5 km²
Rauminhalt der Erde ..... 1083319780000 km³
Masse der Erde ..... 5973 Trillionen t
mittlere Dichte der Erde ..... 5,514 g · cm⁻³

ORTE ANNÄHERND GLEICHER GEOGRAPHISCHER BREITENLAGE

Nördlicher Polarkreis ..... Nordküste von Island, Südküste der Halbinsel Kola, Kap Deshnjow an der Beringstraße, Fort Yukon (Alaska), Großer Bärensee
60° nördlicher Breite ..... Shetlandinseln, Oslo, Leningrad, Ochotsk, Südspitze Grönlands

50°	Mainz, Prag, Kraków, Charkow, Belucha (Berg i. Altai), Komsomolsk, Vancouver, Winnipeg, Neufundland
40°	Madrid, der Olymp, Ankara, Baku, Samarkand, Peking, Denver, Philadelphia
30°	Kairo, Abadan, Delhi, Hangtschou (VR China), New Orleans
nördlicher Wendekreis	Rio de Oro, Assuan, Indusmündung, Kalkutta, Kanton, Hawaii-Inseln, Habana
20°	Tibesti (Sahara), Mekka, Bombay, Tonking, Mexiko
10°	Conakry, Addis Abeba (Äthiopien), Nordspitze von Ceylon, Saigon, Bikini-Atoll, Costa Rica, Caracas (Venezuela), Trinidad
Äquator	São Thomé (Golf von Guinea), Nordküste des Viktoriasees (Ostafrika), Padang (Sumatera), Galapagos-Inseln (westlich Ecuador), Quito (Ecuador), Mündung des Amazonas
10° südlicher Breite	Luanda, Nordende des Njassasees (Ostafrika), Insel Timor (Indonesien), Torresstraße (Australien)
20°	Otavi, Ngamisee (Südafrika), Mauritius (Indischer Ozean), Tonga-Inseln (Polynesien), Iquique (Chile)
südlicher Wendekreis	Walfischbucht, Südmadagaskar, Zentralaustralien, Antofagasta (Chile), São Paulo, Rio de Janeiro
30°	Durban (Natal), Perth, Nordende des Torrens-Sees (Australien), La Serena, Porto Alegre (Brasilien)
40°	Baßstraße (Tasmanien), Valdivia (Chile)
50	Antipodeninsel bei Neuseeland, Santa Cruz (Argentinien)
60°	Südshetland-Inseln (Antarktis)
südlicher Polarkreis	Wilkesland, Graham-Insel (Antarktis)

(Auf 42° nördlicher Breite liegt Rom, auf 41° nördlicher Breite New York, auf 38° nördlicher Breite Sizilien, auf 36° nördlicher Breite Tokio; auf gleichen Längenkreisen liegen das Nordkap und die Insel Kreta, Leningrad und Alexandria.)

ORTE ANNÄHERND GLEICHER GEOGRAPHISCHER LÄNGE

0° westlicher bzw. östlicher Länge	London, Valencia, Accra (Ghana)
15° östlicher Länge	Bodö, Bornholm, Görlitz, Catania, Tschadsee, Walfischbucht
30° östlicher Länge	Leningrad, Kiew, Alexandria, Tanganjikasee
45° östlicher Länge	Gorki, Wolgograd, Tbilissi, Bagdad, Aden, Westküste von Madagaskar
60° östlicher Länge	Swerdlowsk (Ural), Aralsee, Ostzipfel Arabiens, Mauritius
75° östlicher Länge	Omsk, Karaganda, Lahore
90° östlicher Länge	Kusnezker Industriegebiet, Lhasa, Gangesmündung
105° östlicher Länge	Taimyrhalbinsel, Irkutsk, Tschungking, Hanoi, Singapur
120° östlicher Länge	Gr. Chingan, Tsingtau, Hangtschou, Manila, Makassar (Sulawesi), Coolgardie-Goldfeld (Westaustralien)
135° östlicher Länge	Werchojansk (Sibirien), Chabarowsk, Osaka, Palau-Inseln, Alice Springs (Zentralaustralien)
150° östlicher Länge	Neusibirische Inseln, Magadan, Bismarckarchipel, Sydney
165° östlicher Länge	Kommandeur-Inseln (östlich von Kamtschatka), Marshall-Inseln, Neukaledonien
180° östlicher/westlicher Länge (Datumsgrenze)	Tschuktschenhalbinsel, Fidschi-Inseln, östlich der Nordinsel von Neuseeland
165° westlicher Länge	Westküste von Alaska (Beringstraße), westliche Hawaiinseln
150° westlicher Länge	Seward (Alaska), Tahiti
135° westlicher Länge	Mackenziemündung, Juneau (Alaska)
120° westlicher Länge	Großer Bärensee, Los Angeles
105° westlicher Länge	Regina (Kanada), Denver (USA), Guadalajara (Mexiko)
90° westlicher Länge	St. Louis, New Orleans, Guatemala, Galapagos-Inseln
75° westlicher Länge	Ottawa, Philadelphia, Ostspitze Cubas, Baranquilla (Kolumbien), Valdivia (Chile)
60° westlicher Länge	Labrador, Cap-Breton-Inseln, Trinidad, Manáus (Amazonas), Rosario (Argentinien)
45° westlicher Länge	Südspitze Grönlands, Maranhão (Brasilien), São Paulo (Brasilien)
30° westlicher Länge	Azoren, Südsandwich-Inseln
15° westlicher Länge	Ostküste von Island, Kanarische Inseln, Dakar

LAND- UND WASSERFLÄCHEN DER ERDE

Erdteile und Meere

	der ganze Erdball Fläche in		nördliche Halbkugel Fläche in		südliche Halbkugel Fläche in	
	km²	%	km²	%	km²	%
Land	148200000	29	98750000	39	49450000	19
Wasser	362000000	71	156300000	61	205700000	81
Erdoberfläche	510200000	100	255050000	100	255150000	100

Zur Beachtung. Kleine Unterschiede zwischen dieser und anderen Übersichten über die Größe der Gesamtfläche der Landmasse und der Meere beruhen auf verschiedenen Berechnungsmethoden.

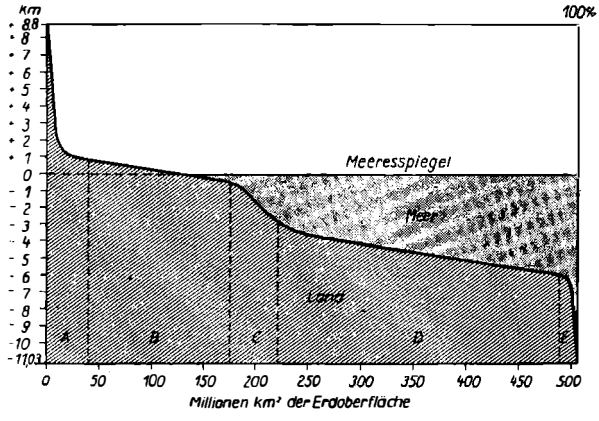
Die hypsographische Kurve der Erdoberfläche. Die hypsographische Kurve der Erde stellt den Anteil dar, den die Höhenstufen der Kontinente und die Tiefenstufen der Ozeane an der gesamten Erdoberfläche haben. Als Extreme erscheinen die größten Landhöhen bis 8848 m (Mount Everest) einerseits und die größten Meerestiefen bis zu 11034 m (Triestetiefe im Marianengraben) andererseits. Der Niveauunterschied beträgt also maximal 19882 m.
Es lassen sich deutlich fünf aufeinanderfolgende Stufen erkennen:

A Stufe der *Gebirgsländer.* Mittlere Höhe 2110 m (7,8% der Erdoberfläche).

B *Kontinentaltafel.* Hauptareal der Festländer, hierzu zählt auch die Schelfregion (Flachmeerbereich bis 200 m Tiefe). Mittlere Höhe 825 m (27,1 % der Erdoberfläche).

C *Kontinentalabhang.* Gebiet entlang der Ränder der Kontinente außerhalb des Schelfs bis zu Tiefen von 2500 m (8,6 % der Erdoberfläche).

D *Tiefseeboden.* Mittlere Tiefe 4420 m als mittlere Tiefenlage des Bodens der Weltmeere (52,4 % der Erdoberfläche).



Hypsographische Kurve der Erdoberfläche

E *Tiefseegräben.* Mittlere Tiefe 6100 m. Die Tiefseerinnen sind vorwiegend im Umkreis des Pazifischen Ozeans anzutreffen (4,1 % der Erdoberfläche).

POLE DER ERDE

Die geographischen Pole. Die *geographischen* (oder *mathematischen*) Pole der Erde sind die Durchstoßpunkte der Rotationsachse der Erde. Sie sind die Schnittpunkte der Meridiane auf 90° nördlicher bzw. 90° südlicher Breite.
Die Erdachse weist auf die Himmelspole. Auf der nördlichen Himmelshalbkugel zeigt sie etwa auf den Polarstern.
Die Richtung der Erdachse ist nicht völlig konstant, sondern ändert sich in einigen periodischen Bewegungen.

Die magnetischen Pole. Die *magnetischen Pole* der Erde ändern langsam ihre Lage.
Der dem geographischen Nordpol benachbarte magnetische Pol — im physikalischen Sinne handelt es sich um den magnetischen Südpol — wurde erstmalig 1831 von dem englischen Polarforscher *James Clarke Ross* auf der Halbinsel Boothia Felix (70° 15′ nördlicher Breite 96° 45′ westlicher Länge) verläßlich festgestellt. Der Norweger *Roald Amundsen* bestimmte ihn 1904 erneut etwas nordwestlich von dem *Ross*schen Punkt.
Vermessungen des kanadischen Staates ergaben ihn im Jahre 1946 auf der Nordsomerset-Insel (73° 30′ nördlicher Breite 92° 30′ westlicher Länge) und im darauffolgenden Jahre auf Prince-of-

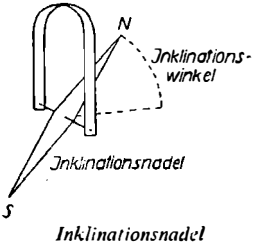
Wales-Land (74° nördlicher Breite 100° westlicher Länge), also 300 km nördlich und 110 km östlich seiner Lage von 1904.
Seit 1904 hat sich der Pol infolge der *Säkularvariation* (Änderung, deren Ausmaß in Jahrhunderten beträchtlich wird) um etwa 500 km in nordwestlicher Richtung bewegt. Da der dem geographischen Nordpol benachbarte magnetische Pol südmagnetisch ist, d. h. den Nordpol der Kompaßnadel anzieht, müßte dieser magnetische Pol der Erde eigentlich Südpol heißen (s. oben!). Einige Länder verfahren auch in dieser Weise.
Der magnetische Pol auf der Südhalbkugel lag 1945 in 68° 12′ südlicher Breite 145° 24′ östlicher Länge.

Die Klimapole. Die *Klimapole* liegen in Gebieten extremer Jahres- und Monatsmittel.
Kältepole (Jahresmittel): Nordpol −22 °C, Südpol −22,8 °C, Grönlandeis −32 °C, Werchojansk (Sibirien) −16,3 °C. Die Oimjakonsenke im Bergland bei Werchojansk galt bisher als Kältepol; als tiefste Temperatur wurden bisher −78 °C festgestellt. Auf der sowjetischen Forschungsstation „Wostok" in der Antarktis sank das Thermometer im August 1959 auf −87,4 °C.
Wärmepole (Juli mit +34° bis +36,5 °C): Nordafrika, Vorderasien, Nordindien, Westaustralien, Südkalifornien. Höchsttemperaturen wurden bisher erreicht mit +56,5 °C im Juli 1910 im Todestal der Mohavewüste (Kalifornien) und mit +57,7 °C im September 1922 in Azizia bei Tripolis.

III. Erdmagnetismus

DEKLINATION, INKLINATION, INTENSITÄT

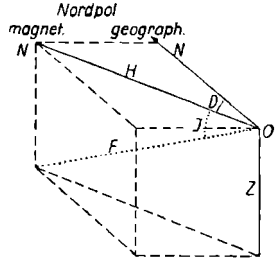
Da die geographischen und magnetischen Pole nicht zusammenfallen, so weist die Magnetnadel nicht genau nach Norden. Den Winkel, den sie mit der Nordsüdrichtung bildet, bezeichnet man als *magnetische Mißweisung* oder *Deklination* (lat. Abweichung). Die Mißweisung der Nadel nach Westen bezeichnet man als negativ, die nach Osten als positiv. Europa, einschließlich der westlichen Zonen der UdSSR, Afrika, der Atlantische und der Indische Ozean, Ostasien sowie die östlichen Vorsprünge Nord- und Südamerikas haben westliche, alle übrigen Gebiete östliche Mißweisung.



Inklinationsnadel

Deklination, Inklination, Intensität

O	*Ort der Beobachtung*
ON	*geographischer Meridian*
HOF	*magnetischer Meridian*
D	*Deklination*
I	*Inklination*
H	*Horizontalintensität*
Z	*Vertikalintensität*
F	*Totalintensität oder magnetische Feldstärke*



Die in ihrem Schwerpunkt senkrecht aufgehängte Magnetnadel stellt sich außer an den magnetischen Polen, wo die Magnetnadeln versagen, nicht senkrecht zur Erdoberfläche, sondern bildet mit ihr einen Winkel, den man *Inklination* (lat. Neigung) nennt. Orte, über denen die Inklinationsnadel waagrecht steht, liegen auf dem *magnetischen Äquator*.
Der *magnetische Meridian* wird an jedem Ort durch die sich aus der Richtung der Inklinations- und der Kompaßnadel ergebende Vertikalebene bestimmt.
Die gesamte auf eine Magnetnadel wirkende erdmagnetische Kraft heißt *Totalintensität*.
Die auf die Deklination wirkende Teilkraft ist die *Horizontalintensität*, die auf die Inklination wirkende die *Vertikalintensität*.
Deklination, Inklination, Intensität sind nach Ort und Zeit bis in den Tages- und Jahreslauf hinein *veränderlich*.
Die von der Sonne ausgesandten Kathodenstrahlen treffen auf das erdmagnetische Feld in den stark verdünnten höheren Luftschichten. Dort rufen sie zum Beispiel in gewisser Entfernung von den Polen die *Polarlichter* hervor.

DER KOMPAß

Der Magnetkompaß. Der *Magnetkompaß* ist ein wichtiges, die Kräfte des erdmagnetischen Feldes nutzendes Instrument, das zur Bestimmung der Himmelsrichtungen dient. Die leicht drehbare, waagrecht schwingende *Magnetnadel* stellt sich in den magnetischen Meridian (scheinbare Nord-

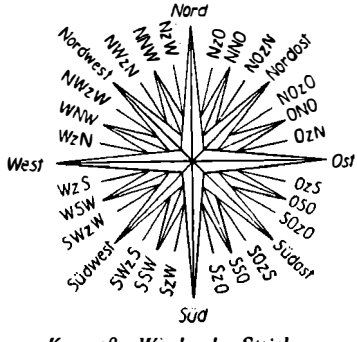
südrichtung) ein, der mit dem geographischen Meridian (mathematische Nordsüdrichtung) einen Winkel bildet, der Deklination oder Mißweisung genannt wird. Unter der Magnetnadel befindet sich die *Kompaß-, Wind- oder Strichrose.* Diese entsteht durch fortlaufende Halbierung zunächst der rechten und dann aller sich dadurch ergebenden Winkel bis zum „Strich", d. h. bis der Vollkreis in 32 gleiche Abschnitte geteilt ist. Die Einheit der Strichrose ist daher gleich dem 32. Teil von 360° = $11^1/_4$°. Der Seemann spricht nicht von Windrichtungen, sondern von „Strichen". Die Abkürzungen an der abgebildeten Strichrose werden, z. B. zwischen West und Nord, gelesen: West, West zu Nord, Westnordwest, Nordwest zu West, Nordwest, Nordwest zu Nord, Nordnordwest, Nord zu West, Nord.

Beispiel. Ein Schiff befindet sich auf Nordkurs; dann ergeben sich folgende Beziehungen zwischen Himmelsrichtung, Strichbezeichnung und Gradeinteilung:

N	Kurs	0°	S	Kurs	180°
N zu O	1 Strich Steuerbord	$11^1/_4$°	S zu W	15 Strich Backbord	$191^1/_4$°
NNO	2 Strich Steuerbord	$22^2/_4$°	SSW	14 Strich Backbord	$202^2/_4$°
NO zu N	3 Strich Steuerbord	$33^3/_4$°	SW zu S	13 Strich Backbord	$213^3/_4$°
NO	4 Strich Steuerbord	45°	SW	12 Strich Backbord	225°
NO zu O	5 Strich Steuerbord	$56^1/_4$°	SW zu W	11 Strich Backbord	$236^1/_4$°
ONO	6 Strich Steuerbord	$67^2/_4$°	WSW	10 Strich Backbord	$247^2/_4$°
O zu N	7 Strich Steuerbord	$78^3/_4$°	W zu S	9 Strich Backbord	$258^3/_4$°
O	8 Strich Steuerbord	90°	**W**	8 Strich Backbord	270°
O zu S	9 Strich Steuerbord	$101^1/_4$°	W zu N	7 Strich Backbord	$281^1/_4$°
OSO	10 Strich Steuerbord	$112^2/_4$°	WNW	6 Strich Backbord	$292^2/_4$°
SO zu O	11 Strich Steuerbord	$123^3/_4$°	NW zu W	5 Strich Backbord	$303^3/_4$°
SO	12 Strich Steuerbord	135°	NW	4 Strich Backbord	315°
SO zu S	13 Strich Steuerbord	$146^1/_4$°	NW zu N	3 Strich Backbord	$326^1/_4$°
SSO	14 Strich Steuerbord	$157^2/_4$°	NNW	2 Strich Backbord	$337^2/_4$°
S zu O	15 Strich Steuerbord	$168^3/_4$°	N zu W	1 Strich Backbord	$348^3/_4$°

Die *genaue Himmelsrichtung* erhält man erst, wenn man die örtliche Deklination berücksichtigt. Bei *westlicher Deklination* ist der Betrag hinzuzuzählen, wenn die Strichrichtung zwischen Norden und Westen liegt, und abzuziehen, wenn sie zwischen Norden und Osten liegt. Bei *östlicher Deklination* ist umgekehrt zu verfahren.

Der Kreiselkompaß. Der *Kreiselkompaß* ist vom Magnetfeld der Erde unbeeinflußt. Er besteht aus einer kardanisch aufgehängten Scheibe, die sich unter elektrischem Antrieb rasch um eine waagerechte Achse dreht, die ihrerseits sich wiederum in der waagerechten Ebene frei drehen kann. Auf die sich drehende Scheibe, den Kreisel, wirkt das *Drehmoment der Erdrotation* so ein, daß sich die Achse in die Nordsüdrichtung einstellt. Auf einer Strichrose, die mit dem Kreisel verbunden ist, kann dann jede Richtung mit größerer Genauigkeit abgelesen werden als mit dem Magnetkompaß. Eine *geringe Mißweisung* tritt nur durch die zusätzliche Winkelgeschwindigkeit des in Fahrt befindlichen Schiffes ein.



Kompaß-, Wind- oder Strichrose

Der Gyrokompaß. Der *Gyrokompaß* (oder *Selbststeuerer*), von den Seeleuten auch als „schlauer Heinrich" bezeichnet, besteht aus einem Elektromotor, der mit einem Kreiselkompaß und der Rudermaschine verbunden ist. Verläßt das Schiff den eingestellten Kurs, so lenkt der Motor entsprechend das Ruder.

Die Funkpeilung. Die *Funkpeilung*, von Schiffen und namentlich von Flugzeugen benutzt, verbindet Strichrose und Rahmenantenne, mit der zwei verschiedene Sender angepeilt werden. Sender in Richtung der Rahmenkante werden am besten gehört, Sender senkrecht zur Rahmenkante werden kaum oder gar nicht gehört. Aus dem Schnittpunkt der beiden Richtungen wird in Verbindung mit der Strichrose der Kurs festgestellt.

Jahresmittel der magnetischen Elemente einiger europäischer Orte oder erdmagnetischer Stationen

Ort oder Station (O. *Observatorium*)	nördliche Breite	geographische Länge	Jahr	Deklination	Horizontalintensität	(nördliche) Inklination
Matotschkin Schar (Nowaja Semlja)	73° 16′	+ 56° 24′	1940	+ 22° 41′,1	0,089 *Γ*	80° 40′,9
Oslo	59° 54′,7	+ 10° 43′	1930	− 7° 58′,9	0,159 *Γ*	—
Leningrad (O. Sluzk)	59° 41′,2	+ 30° 29′	1941	+ 5° 18′,2	0,152 *Γ*	72° 19′,0
Kopenhagen (O. Rude Skow)	55° 50′,6	+ 12° 27′	1946	− 3° 34′,8	0,166 *Γ*	69° 49′,3
Kasan (O. Saimistsche)	55° 50′	+ 48° 51′	1945	+ 9° 40′,9	0,165 *Γ*	71° 21′,7
Moskau (O. Kutschino)	55° 46′	—	1927	+ 6° 36′,1	0,178 *Γ*	68° 59′,5
Wilhelmshaven (O. Wingst)	53° 44′,6	+ 9° 4′	1946	− 4° 59′,7	0,176 *Γ*	68° 21′,2
Utrecht (O. Witteveen)	52° 48′,8	+ 6° 40′	1946	− 6° 14′,7	0,179 *Γ*	67° 45′,0
Warschau (O. Swider)	52° 6′,9	+ 21° 15′	1938	− 0° 51′,6	0,183 *Γ*	67° 24′,4
Potsdam (O. Niemegk)	52° 4′,3	+ 12° 41′	1943	− 3° 46′,0	0,184 *Γ*	67° 4′,6
Leipzig (O. Collm)	51° 18′,5	+ 13° 00′	1935	− 4° 44′,0	0,188 *Γ*	66° 15′,0
Greenwich (O. Abinger)	51° 11′,1	− 0° 23′	1946	− 9° 51′,1	0,185 *Γ*	66° 45′,4
Wien (O. Auhof)	48° 12′,2	+ 16° 4′	1942	− 2° 20′,9	0,204 *Γ*	63° 52′,5
München (O. Fürstenfeldbruck)	48° 9′,9	+ 11° 17′	1944	− 4° 13′,6	0,203 *Γ*	63° 57′,7
Paris (O. Chambon-la-Forêt bei Orléans)	48° 1′,4	+ 2° 16′	1946	− 8° 1′,0	0,200 *Γ*	64° 15′,6
Odessa	46° 47′	+ 30° 53′	1925	− 1° 36′,4	0,212 *Γ*	63° 18′,9
Genua (O. Castellacio)	44° 26′	+ 8° 56′	1944	− 5° 35′,1	0,221 *Γ*	60° 20′,0
Athen (O. Dekelia)	38° 6′,1	+ 23° 46′	1939	− 0° 34′,4	0,260 *Γ*	53° 21′,0

Es bedeutet: + östliche Länge, östliche Deklination, − westliche Länge, westliche Deklination.

Erläuterung. Die Horizontalintensität wurde bisher in Gauß (*Γ*) gemessen, 1 *Gauß* (*Γ*) = 1 dyn je Einheit der Polstärke = 1,019 mp Gewichtszug auf den Pol einer Magnetnadel von der Stärke einer *absoluten Einheit*. Die Einheit „Gauß" wird jetzt durch die neue Einheit Weber/Quadratmeter (Wb/m^2) ersetzt. $1\ \Gamma = 10^{-4}\ Wb/m^2$.

In Europa nehmen die *westlichen Deklinationen* von Osten nach Westen, die positiven Werte der *Inklination* von Süden nach Norden und die *Horizontalintensitäten* von Norden nach Süden zu. Im allgemeinen nimmt die westliche Mißweisung in Europa seit Beginn des 19. Jahrhunderts ab.

Die *Totalintensität* des Magnetfeldes der Erde an ihrer Oberfläche liegt zwischen 0,69 *Γ* in der Nähe der magnetischen Pole und 0,3 *Γ* in der Nähe des Äquators. Sie nimmt also von den Polen nach dem Äquator zu ab. An den beiden magnetischen Polen der Erde ist die Horizontalintensität gleich Null, während die Inklination 90° beträgt.

Erdmagnetische Elemente, die vom normalen Wert der Breitenkreise abweichen, bezeichnet man als örtliche *erdmagnetische Störungen*. Eine besonders starke Störung liegt im Donezgebiet bei Kursk. Die Vertikalintensität erreicht dort das 4- bis 5fache des Normalwertes.

IV. Geologischer Bau der Erde

DIE CHEMISCHEN ELEMENTE DER ERDRINDE

Anteile in Gewichts-%

Sauerstoff	49,42	Schwefel	0,048
Silizium	25,75	Barium	0,047
Aluminium	7,51	Chrom	0,033
Eisen	4,70	Stickstoff	0,030
Kalzium	3,39	Fluor	0,027
Natrium	2,64	Zirkon	0,023
Kalium	2,40	Nickel	0,018
Magnesium	1,94	Strontium	0,017
Wasserstoff	0,88	Vanadin	0,016
Titan	0,58	Kupfer	0,010
Chlor	0,188	alle übrigen Elemente[1]	0,046
Phosphor	0,120		
Kohlenstoff	0,087	zusammen:	100,000
Mangan	0,080		

[1] Das Vorkommen von *Uran* wird auf 0,000005 %, das Vorkommen von *Gold* auf 0,0000001 % geschätzt.

Bei der Berechnung der Tabelle sind nicht nur die in der *Lithosphäre* (Erdrinde) chemisch gebundenen, sondern auch die in der *Atmosphäre* (Lufthülle) und *Hydrosphäre* (Wasserhülle) enthaltenen Bestandteile berücksichtigt worden.

SCHALENAUFBAU DER ERDE

Die Elemente haben nicht alle den gleichen Anteil am Aufbau der Erde. Die moderne *Geophysik* hat namentlich durch Messungen von Erdbebenwellen den Forschern eine Fülle von physikalischen Einzelheiten in die Hand gegeben, die es gestatten, Hypothesen über den Erdaufbau aufzustellen. — Eine dieser Hypothesen nimmt einen festen Nickel-Eisen-Kern (*Nife*) in der Mitte der Erde an. Diesen Kern mit einem Durchmesser von 7000 km soll ein Mantel umhüllen, der eine Dicke von 1700 km hat und — bei einer Dichte von 5 bis 6 g/cm³ — silikatische Gesteine und oxydische Eisenerze enthält. Um diese Kugelschale, auch *Chalkosphäre* (Erzmantel) genannt, legt sich die 1200 km tiefe Erdrinde, die *Lithosphäre* (Gesteinsmantel).

Die Lithosphäre wird nochmals unterteilt: Eine — von der Oberfläche der Erde aus gesehen — 10 bis 20 km tiefe Zone (die *Sial*zone) enthält vorwiegend Sauerstoff, Silizium und Aluminium mit einer mittleren Dichte von 2,7 g/cm³. Darunter liegt eine 1100 km dicke Zone (die *Sima*zone), die aus Sauerstoff, Silizium und Magnesium besteht und eine Dichte von 3,5 g/cm³ hat.

Die physikalischen Eigenschaften ändern sich an den Grenzflächen der verschiedenen Zonen sprunghaft (Konrad-, Mohorovičič- und Mintrop-Diskontinuität). Druck und Temperatur steigen nach dem Erdinnern stark an.

Im Erdmittelpunkt herrschen eine Temperatur von über 4500 °C und ein Druck von 1 Million at. — Die mittlere Dichte der gesamten Erde beträgt 5,52 g/cm³.

Neuere Theorien kommen auf ähnliche Abstufungen der Dichte, nehmen aber in den einzelnen Schichten andere Elemente (z. B. einen Wasserstoffkern mit der Dichte von 11 g/cm³) an und unterteilen Kern, Mantel und Erdrinde noch weiter.

In der sowjetischen Wissenschaft wird die Theorie des Schalenaufbaues der Erde im Hinblick auf die verschiedenen Ergebnisse der Forschungen in Geologie, Geophysik und Geochemie nicht von allen Wissenschaftlern anerkannt. Die Vorstellung von der zonaren Struktur der Erde vertreten z. B. Wernadski, Tammann, Fersman, Bubleinkow. Der Schalenbau wird bestritten von Klusmann, Lodotschnikow, Lewin. Diese lehnen das Vorhandensein eines Eisenkerns und einer Reihe von Silikathüllen mangels Beweisen ab. Sie nehmen an, daß von der Erdkruste bis zum Erdmittelpunkt die chemische Zusammensetzung der Erdsubstanz annähernd gleichartig ist, obgleich diese Substanz unter dem Einfluß des hohen Druckes in einen dichten Zustand überging, demzufolge sich der Kern der Erde bildete.

GEOTHERMISCHE TIEFENSTUFE

In einer Tiefe von 20 m bleiben in unseren Breiten die jährlichen Temperaturschwankungen unwirksam. Von da ab nimmt die Temperatur im allgemeinen mit der Tiefe zu, und zwar in allen Jahreszeiten und allerorts, aber nicht überall in gleichbleibendem Maße. Die *geothermische Tiefenstufe* gibt an, wieviel Meter man hinabsteigen muß, um eine Temperaturzunahme von 1 °C feststellen zu können. Vulkanische Gesteine, chemische Umsetzungen, Radioaktivität, kühle Wassermassen und die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine sind dabei von Einfluß. Die geothermische Tiefenstufe schwankt zwischen 11 und 125 m und beträgt im Durchschnitt 33 m.

DAS ALTER DER ERDE

Die Angaben über das Alter der Erde schwanken, da nur absolute Altersbestimmungen an Gesteinen und Mineralen durchgeführt werden können, die an der heutigen Erdoberfläche oder in Bohrungen angetroffen werden. Der Zeitraum zwischen der Entstehung der Erde und der Bildung der Gesteine, die für absolute Altersbestimmungen zugängig sind, kann nur geschätzt werden.
Für die absolute Altersbestimmung von Gesteinen können folgende Methoden benutzt werden:

Uran-Blei-Methode. Ihr liegt die Bestimmung der Isotopenverhältnisse Pb^{207}/Pb^{206} und Pb^{207}/Pb^{208} zugrunde.

Kalium-Argon-Methode. Ihr liegt die Bestimmung des A^{40}/K^{40}-Verhältnisses zugrunde.

Strontium-Rubidium-Methode. Ihr liegt die Bestimmung des Sr^{87}/Rb^{87}-Verhältnisses zugrunde.

C^{14}-*Methode.* In jedem Lebewesen liegt das radioaktive Kohlenstoffisotop C^{14} in einer bestimmten, durch die Stoffwechselvorgänge bedingten Konzentration (z. B. bei den Pflanzen durch Assimilation) vor. Die Methode der Altersbestimmung besteht darin, daß man die C^{14}-Aktivität z. B. eines fossilen Holzes mit derjenigen in heute lebenden Pflanzen vergleicht. Infolge der kurzen Halbwertszeit von C^{14} liefert die Methode nur Altersangaben für den Zeitraum der letzten 30000 bis 50000 Jahre.

Das Alter von Gesteinen

(nach *Wilson, Russell, Farquhar* 1956, in Milliarden Jahren)

Bearbeiter bzw. Erdteil	Anzahl der Proben	Alter Pb^{207}/Pb^{206}	Alter Pb^{207}/Pb^{208}
Vinogradov	28	$4{,}4 \pm 0{,}2$	4,5
Nier	13	$3{,}1 \pm 0{,}3$	3,3
Geiss	16	$3{,}5 \pm 0{,}4$	3,1
Farquhar	23	$2{,}8 \pm 0{,}5$	3,4
Asien	24	$4{,}5 \pm 0{,}2$	4,6
Europa	35	$4{,}2 \pm 0{,}2$	4,5
Nordamerika	15	$3{,}2 \pm 0{,}3$	3,5

In der geologischen Praxis erfolgt die Altersangabe einer Gesteinsschicht nicht in absoluten Zahlen; es wird eine relative Altersdatierung verwandt, die auf folgendem Prinzip beruht: Eine früher abgelagerte, d. h. ältere Gesteinsschicht liegt im Normalfall unter einer später abgelagerten, d. h. jüngeren Schicht. In diesen Sedimentgesteinsschichten treten verbreitet *Fossilien* auf, Reste der Lebewesen, die im Zeitraum der Bildung der Gesteine die Meere und Seen bevölkerten. Für jede größere Gesteinsschicht gibt es Fossilien, die charakteristisch für diese sind und weder in der liegenden älteren noch in der hangenden jüngeren Schicht anzutreffen sind. Solche Fossilien bezeichnet man als *Leitfossilien*.
Mit Hilfe dieser Leitfossilien läßt sich eine Gesteinsschicht in die relative, durch bestimmte Tier- und Pflanzengemeinschaften charakterisierte Zeitskale eingliedern (Prinzip der *Biostratigraphie*). So muß ein Schieferpaket, das als Leitfossil einen Trilobiten der Gattung Paradoxides führt, in das mittlere Kambrium gestellt werden.
Die relative Zeitskale wird mit Hilfe absoluter Altersbestimmungen in die absolute Zeitskale eingehängt.
Die Methode der Biostratigraphie (vgl. Tabelle „Die Erdzeitalter") kann nur für den Zeitabschnitt der Erdgeschichte angewandt werden, aus dem Reste des ehemaligen Lebens in Form von Fossilien erhalten sind. Dieser Zeitabschnitt umfaßt die letzten 500 bis 550 Mill. Jahre. Bei allen älteren, in der Regel kristallinen Gesteinen ist der Geologe auf absolute Altersbestimmungen angewiesen.

GEOLOGISCHE VORGÄNGE

Die Erde hat im Laufe der Jahrmillionen eine stete Entwicklung durchgemacht, sie ist kein toter Körper, sondern es wirken zu jeder Zeit und an jedem Punkt der Erde Vorgänge, die zur Veränderung des Bestehenden drängen. Diese geologischen Vorgänge vollziehen sich im allgemeinen sehr langsam, so daß sie in dem kurzen Abschnitt eines Menschenlebens kaum wahrnehmbar werden. Wer die Vorgänge im Innern der Erde und an ihrer Oberfläche und deren heutige Erscheinungsweise verstehen will, muß in großen, d. h. geologischen Zeiträumen denken können. Die geologischen Vorgänge lassen sich zwanglos in zwei Bereiche gliedern: in die im Erdinnern und die an der Erdoberfläche wirkenden Vorgänge.

Die geologischen Vorgänge im Innern der Erde (*endogene Vorgänge*). Das geologische Bild an der Erdoberfläche ist der Ausdruck von Bewegungsabläufen in der Erdkruste und in tiefer gelegenen Schichten der Erde (endogene Vorgänge).

Die Gesteine an der Erdoberfläche zeigen ganz bestimmte Lagerungsformen; sie können gefaltet, aus der horizontalen Lage in eine schräge Stellung gekippt bzw. durch Verwerfungen in Schollen zerbrochen sein. Diese Lagerungsformen sind ein Ausdruck für den Bau, die *Tektonik*, der Erdkruste. In vielfacher Hinsicht läßt sich die Tektonik der Erdkruste mit der Architektur menschlicher Bauwerke vergleichen. Wie in der Architektur spricht man auch in der tektonischen Geologie von einem Baustil, einem Bauplan einzelner Krustenteile, die ihrerseits Ausdruck eines bestimmten Kräfteplanes sind.

Diese Kräfte äußern sich in zweierlei Hinsicht: Über lange geologische Zeiträume hinweg wirksam, bestimmen sie durch Heben oder Senken größerer Krustenteile die Verteilung von Land und Meer, somit die Geographie der jeweiligen geologischen Epoche (*Paläogeographie*). Die Verteilung von Land und Meer unterliegt einer steten Wandlung, und sie war in vergangenen geologischen Zeiten völlig anders als gegenwärtig.

In geologisch kurzen Zeiträumen wirksam, führen die endogenen Kräfte zu einer starken Deformation der Gesteinsschichten, zu einer Gebirgsbildung (*Orogenese, Tektogenese*). Solche Orogenesen sind in der Regel auf Zonen der Erdkruste beschränkt, die über lange geologische Zeiten hinweg eine starke Senkungstendenz zeigten und dadurch zu großen Sedimentsammelbecken (*Geosynklinalen*) wurden. In einem bestimmten Entwicklungsstadium solcher Geosynklinalen wurden die mächtigen Sedimentschichten zusammengeschoben, gefaltet und übereinandergeschoben, es bildeten sich die langen Faltengebirge, die das morphologische und geologische Bild der Festlandsgebiete beherrschen (Alpen, Himalaja). Dieser Baustil mit starken Faltungen, Deckenbildungen und weiträumigen Überschiebungen ist in den europäischen Alpen besonders eindrucksvoll ausgebildet; er wird deswegen als *alpinotyp* bezeichnet. Die Kräfte, die in den mobilen Geosynklinalzonen einen alpinotypen Baustil erzeugen, sind in weniger labilen Gebieten der Erde nur fähig, die Gesteinsschichten zu zerbrechen, in Schollen zu zerlegen und diese Schollen etwa wie Eisschollen gegeneinander zu bewegen, zu kippen oder schwach zu falten.

Diese Form der Bewegung bezeichnet man als *Bruch-* oder *Bruchfaltentektonik*. Einprägsame Beispiele bieten das Thüringer Becken, das nördliche Harzvorland, das Weserbergland und große Teile Süddeutschlands.

Charakteristisch sind große Verwerfungszonen, z. B. Gotha-Arnstädter Störungszone im Thüringer Becken, an denen einzelne Schollenteile als *tektonischer Graben* eingesunken sind, andere sich als *Horst* herausgehoben haben.

Dieser Baustil mit Bruch- und Bruchfaltentektonik ist in Deutschland sehr verbreitet und geologisch eingehend untersucht; man bezeichnet ihn daher als *germanotypen* Baustil.

Erstarrungsgesteine. Mit den tektonischen Vorgängen eng verknüpft ist die Bildung von Erstarrungsgesteinen. Sie haben sich aus einer flüssigen oder sehr zähflüssigen Gesteinsschmelze (*Magma*) durch Erstarrung gebildet. In einer bestimmten Tiefe unter der Erdoberfläche befindet sich das Gesteinsmaterial in einem plastisch-zähflüssigen Zustand, der bedingt ist durch erhöhte Temperatur (geothermische Tiefenstufe) und erhöhten Druck, und bildet eine stofflich weitgehend einheitliche Schmelze (*Sima*). Aus diesem einheitlichen Magma haben sich alle uns bekannten Erstarrungsgesteine gebildet. Die Vielfalt der Erstarrungsgesteine erklärt sich daraus, daß bei der langsamen Erkaltung des Magmas sich zunächst die Minerale ausscheiden, die den höchsten Schmelzpunkt haben. Es sind dies vorwiegend Erzminerale und eisenhaltige dunkle Minerale. Der hohe Schwermetallgehalt bedingt eine große Dichte, so daß diese Minerale in dem plastischen Magma langsam nach unten sinken. Es tritt dadurch eine Spaltung (*Differentiation*) des ursprünglich einheitlichen Magmas ein.

Der zuerst auskristallisierende Teil enthält vorwiegend dunkle, basische (SiO_2-arme) Gesteine, die in der Hauptsache aus schwermetallreichen Mineralen gebildet werden, z. B. Magnetit, Chromit, Olivin, Hornblende, Augit.

Im Laufe der Abkühlung reichern sich in der Schmelze die leichter flüchtigen Bestandteile an; es kommt zur Bildung von sauren (SiO_2-reichen) Gesteinen, die vorwiegend aus Quarz und Feldspat (besonders Orthoklas) zusammengesetzt sind.

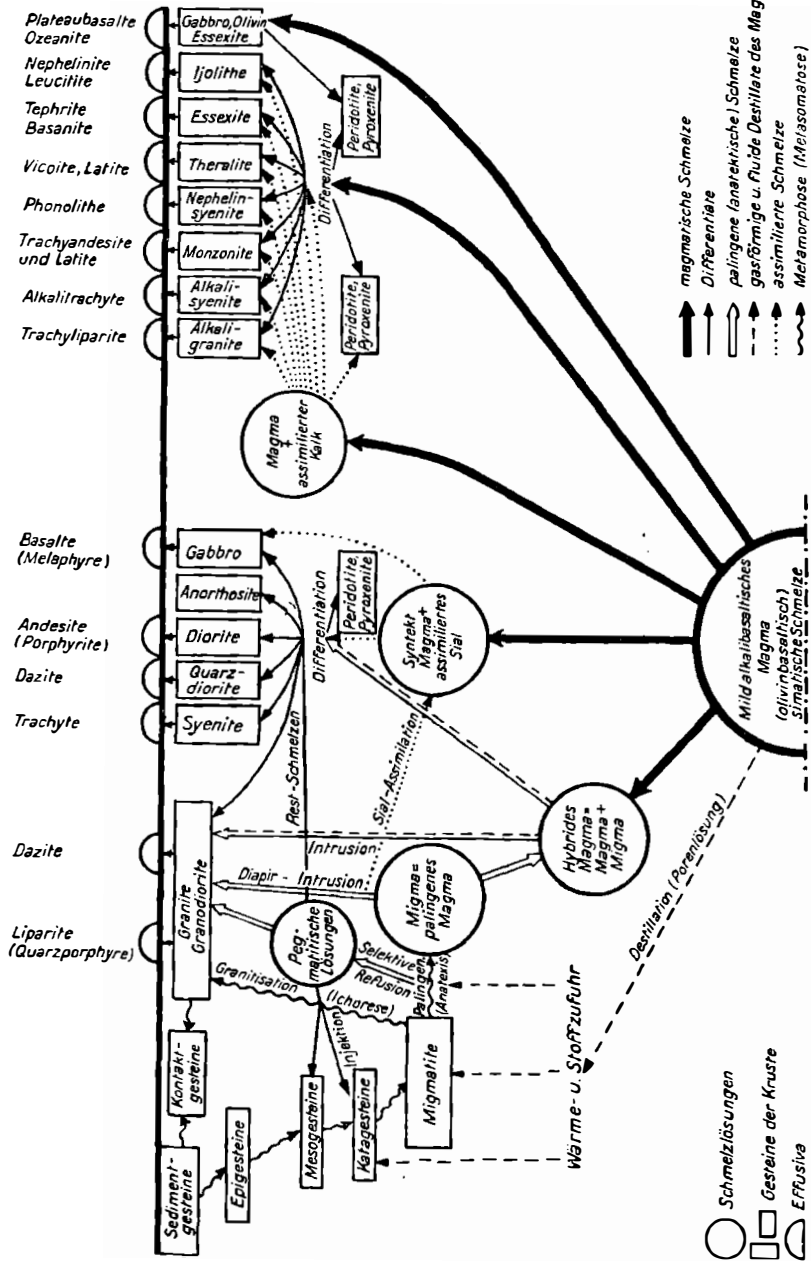
Durch diese *Kristallisationsdifferentiation* entsteht ein ganzes Spektrum von Gesteinstypen von ultrabasischem bis stark saurem Chemismus.

Treten in der Erdkruste Schwächezonen auf, so dringt das Magma infolge Druckentlastung nach oben. Je nachdem, ob es in der Tiefe der Erdkruste langsam erstarrt oder bis zur Erdoberfläche empordringt und dort sehr rasch erkaltet, unterscheidet man *Tiefengesteine* (*Plutonite*) und *Ergußgesteine* (*Vulkanite*).

Tiefengesteine. Die Tiefengesteine bilden in der Erdkruste große Körper, ihre Form kann sehr unterschiedlich sein. Pilzförmige Körper bezeichnet man als *Lakkolithe*, ein *Batholith* zeigt eine mit der Tiefe immer mehr zunehmende seitliche Erstreckung.

Infolge der langsamen Abkühlung hatte die Gesteinsschmelze Zeit, vollständig auszukristallisieren. Die Größe der Einzelkristalle kann schwanken. Nach dem Chemismus (zunehmender SiO_2-Gehalt) unterscheidet man: Dunit, Peridotit, Gabbro, Diorit, Syenit, Granit.

Ergußgesteine. Dringt das Magma bis dicht an die Erdoberfläche oder ergießt sich über sie in Lavaströmen und Deckenergüssen, so erstarrt die Schmelze sehr rasch und kann nur unvollständig auskristallisieren. Es bilden sich Gesteinsgläser oder sehr feinkristalline Gesteine mit eingesprengten

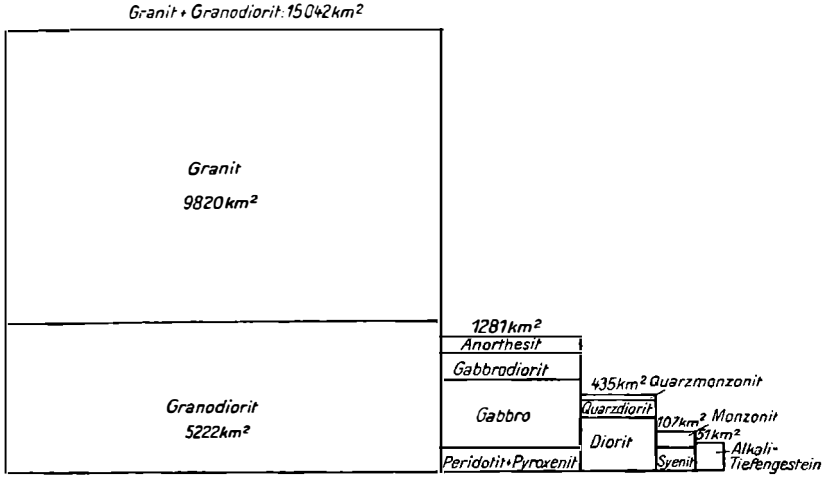


Schematisches Diagramm der Gesteinsbildung (aus Leitmeier, nach Cloos und Rittmann)

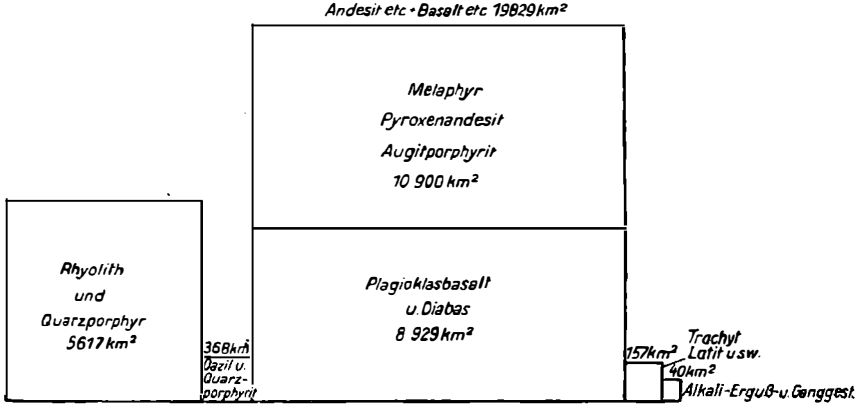
größeren Kristallen. Nach dem Chemismus kann man unterscheiden: Basalt, Melaphyr, Diabas, Andesit, Porphyrit, Phonolith, Trachyt, Quarzporphyr.

Ganggesteine. Zwischen den Tiefengesteinen und den Oberflächengesteinen (Ergußgesteinen) vermitteln Ganggesteine, die sich durch ein bestimmtes Gefüge kennzeichnen.

Zu jedem Tiefengestein gehört ein Ergußgestein entsprechender chemischer Zusammensetzung. Dem Gabbro als Tiefengestein entspricht der Basalt als Ergußgestein, dem Granit der Quarzporphyr. Ermittelt man den Flächenanteil, den die verschiedenen Tiefen- und Ergußgesteine an der Erdoberfläche einnehmen, so zeigt sich, daß bei den Tiefengesteinen der Granit als saures Gestein bei weitem überwiegt, bei den Ergußgesteinen dagegen der basische Basalt die sauren Ergußgesteine um ein Vielfaches übertrifft.



Mengenmäßige Verteilung der an der Erdoberfläche anstehenden Tiefengesteine (nach Daly, 1951)



Mengenmäßige Verteilung der an der Erdoberfläche anstehenden Ergußgesteine (nach Daly, 1951)

Die geologischen Vorgänge an der Erdoberfläche (*exogene Vorgänge*). Die Oberfläche der Festlandgebiete ist Niederschlägen, Wind, Sonnenschein und Kälte ausgesetzt. Diese Faktoren führen zur Verwitterung, d. h. zum Zerfall der festen anstehenden Gesteine. Diese Zerkleinerung kann als *physikalische Verwitterung* rein mechanisch vor sich gehen, z. B. durch Frostsprengung, oder als *chemische Verwitterung* durch Veränderung der chemischen Zusammensetzung, z. B. durch Lösung,

DIE ERDZEITALTER[1]

(auf mitteleuropäische Verhältnisse bezogen)

Zeitalter	Formation	Schichtenfolge: Abteilung	Schichtenfolge: Stufe	Vorgänge in und auf der Erdrinde	Gesteinsbildungen innerhalb Deutschlands bzw. Europas	Lebewesen (*Leitfossilien*)	heute aktivierte Wirtschaftswerte
Erdneuzeit (Känozoikum)	*Quartär* (lat., viertes Erdzeitalter [alter Zählung])	*Holozän* (Alluvium) vor 10000 Jahren		Nach Rückgang des Eises erfolgt Übergang zu den heutigen Verhältnissen	Dünen, Aueablagerungen, Abtragungsschutt der Gebirge	Tier- und Pflanzenarten der Gegenwart, Herausbilden von Haustieren	
	vor 1 Mill. Jahren	*Pleistozän* (Diluvium) vor 0,75 bis 1 Mill. Jahren	*Vereisungen* *Norddeutschland:* Weichsel Saale Elster Elbe (?) *Alpen* Würm Riß Mindel Günz	Vereisungen mit Zwischenwarmzeiten; Mittelgebirgsbildung ist abgeschlossen. Urstromtäler und Moränenlandschaften. Örtliche Ausbrüche von Vulkanen	Nordische Geschiebe. In Norddeutschland, im Alpenvorland: Schmelzwassersande und -kiese, Bändertone, Geschiebelehm und -mergel, Löß	*Muscheln* und *Schnecken* haben Leitwert; Fische, Amphibien und Reptilien schließen sich eng an das Gegenwartsbild an. Während der Eiszeiten: *Mammut*, wollhaariges Nashorn, Ren (Rentier), Schneehase, Eisfuchs. Während der Warmzeiten: Nashorn mit Doppelhorn, Auerochse, Wisent, Wildschwein, Edel-, Dam- und Riesenhirsche. Wälder während der Warmzeit. Erstes Auftreten des Menschen	Kiese Sande Tone Lehm (Geschiebelehm) Kieselgur Löß Torf
	Tertiär (lat., drittes Erdzeitalter [alter Zählung]) „Braunkohlenzeit" oder Braunkohlenformation vor 60 Mill. Jahren; Dauer: 60 Mill. Jahre	*Jungtertiär* (Neogen) *Alttertiär* (Paläogen)	Pliozän Miozän Oligozän Eozän Paleozän	zeitweise stärkere Überschwemmungen des Festlandes; Deutschland seit dem Jungtertiär Festland, sumpfige Niederungen mit Braunkohlenwäldern; Abklingen der alpidischen Gebirgsbildung, intensiver Vulkanismus, Bildung der Mittelgebirge	Sande, Kiese, Tone, Mergel, Zementquarzite in den Becken Nord- und Nordwestdeutschlands; Konglomerate, Nagelfluh, Schotter in Süddeutschland; Basalt, Phonolith, Trachyt, Andesit: mit Tuffen in der Rhön, Eifel, im Hegau	zweiter Höhepunkt der *Einzeller*, Armfüßer nur noch mit Reliktformen. Rückgang der Kopffüßer. Insekten (Bernsteininklusen, Geiseltal). Seeigel, Knochenfische, Vögel reicher entwickelt; plötzliche Entwicklung der *Säugetiere*; viele Laubhölzer; Blütenpflanzen. Ende des Tertiärs bestehen 88% der heutigen Tier- und Pflanzenwelt	Braunkohlen, Erdgas, Erdöl, Asphalt, Stein- und Kalisalze, Bernstein, Tone (feuerfeste T., Schamottetone), Kaolin, Braunkohlenquarzite (Zementquarzite), Sande (Glas- und Formsande)

[1] Auftretende Unterschiede gegenüber anderen Tabellen zur Erdgeschichte hinsichtlich der Angaben über die Dauer der jeweiligen Formation sind in den angewendeten verschiedenartigen Methoden der Altersbestimmung begründet.

Erdmittelalter (Mesozoikum)

Kreide (nach der Schreibkreide, die auf die obere Kreide beschränkt ist, benannt) vor 130 Mill. Jahren Dauer: 70 Mill. Jahre	*obere Kreide*	Dan (Dänische Stufe) Maastricht Campan Santon Coniac Turon Cenoman	in Nordwestdeutschland saxonische[1] Faltungen, zeitweilige Überflutungen des Festlandes erinnern an den Jura, obere Kreide starke Differenzierung in Tröge und Schwellen. Letzte jungkimmerische Faltungen, verstärkte alpidische Faltung. Kein Vulkanismus in Europa; reger Vulkanismus in Indien und Nordamerika	Quadersandsteine, Mergel, Tone, z. T. Konglomerate in Sachsen, im Harzvorland, Münsterschen Kreidebecken, in Śląsk, in den Alpen Schreibkreide, Kalkmergel, Kalke in Norddeutschland, auf Rügen und in Dänemark	*Kreidekegelten, Muscheln, Seeigel.* Aussterben der Saurier, Ammoniten u. a.; Weichtiere; Armfüßer: Individuenreichtum, Formfülle hat abgenommen (wie im Jura). Schnecken weniger wichtig, Knochenfische nehmen zu, Reptilien enorme Mannigfaltigkeit und Spezialisierung; Säuger weiterhin unbedeutend; Auftreten bedecktsamiger, höherer Blütenpflanzen; Laubbäume (Pappel, Eiche, Ahorn, Lorbeer, Weide, Buche) erscheinen	Steinkohlen Kreide Zementkalke Braun- und Roteisenerze Erdgas Erdöl Phosphorite Bauxite Salze
	untere Kreide	Gault Neokom				
Jura (kelt. Wald; nach dem Juragebirge) vor 150 Mill. Jahren Dauer: 25 Mill. Jahre	*Malm* (oberer oder weißer Jura)	$\alpha - \zeta$	kein Vulkanismus in Europa; übrige Welt basische, submarine Ergüsse. Jungkimmerische Bewegungen (bedeutend in Amerika!). Bodenerhebungen und -senkungen, zeitweise starke Überflutungen des Festlandes, in Deutschland mehrfaches Auftreten von Schwellen und Becken	Malm: hellfarbene Mergelkalke und Kalke, Dolomite; sämtliche Gesteine treten in Nordwestdeutschland, Schwaben und Franken auf. Dogger: braune Sandsteine, Tone und Kalke. Lias: dunkle Tone und Mergel, wenig Sandstein und Kalk	*Jungammoniten, Muscheln* (lokal leitend). Schwämme, Korallen, Seeigel, Schnecken, Krebse (niedere: Ostrakoden; höhere: reich entfaltet); Insekten; Zeit der Saurier auf dem Lande, im Meer und in der Luft. Erste Knochenfische und Vögel (Archäopteryx); nacktsamige Blütenpflanzen (Taxodien, Ginkgogewächse, höhere Nadelbäume [?]). Vorläufer der bedecktsamigen Blütenpflanzen erscheinen	Brauneisenerze (Minette) Ölschiefer Erdgas Erdöl Asphalt lithographische Plattenkalke Steinkohlen
	Dogger (mittlerer oder brauner Jura)	$\alpha - \zeta$				
	Lias (unterer oder schwarzer Jura)	$\alpha - \zeta$ (*Alpha* bis *Zeta*)				
Trias (griech. Dreiheit, dreigliedrig) nach der Dreiheit der petrographischen Einheiten im außeralpinen Raum vor 150 Mill. Jahren Dauer: 30 Mill. Jahre	*Keuper*	Rät Gipskeuper Lettenkohlenkeuper	noch Zeit der Landvorherrschaft. Anhaltende Unruhe des deutschen Bodens. Weiträumige Hebungen und Senkungen, äquatoriales Meer (Tethys) mit vorgelagerten Binnenbecken. Keine bedeutenden Faltungen, bedeutender Vulkanismus (in Südamerika und Südafrika)	Sandsteine, Konglomerate, Letten, Bröckelschiefer, Kalke, Dolomit, Mergel, Steinsalz, Anhydrit in Mittel- und Süddeutschland	es fehlen Trilobiten, Tetra- und Bodenkorallen. *Mesoammoniten.* Heute lebende Hexakorallen beginnen. Seelilien; Muscheln sehr zahlreich; Schnecken (noch ältere Typen), Knorpelfische (Rückgang der Schmelzschupper); Reptilien in reicher Entfaltung; erstes Auftreten der Säugetiere	Sand- und Kalksteine Dolomite Gips Anhydrit Salze Zink- und Bleierze
	Muschelkalk	Hauptmuschelkalk Anhydritgruppe Wellenkalk				
	Buntsandstein	ob. Buntsandstein od. Röt mittlerer od. Hauptbuntsandstein unterer Buntsandstein				

[1] Saxonia = Sachsen (hier Niedersachsen).

Zeitalter	Formation	Schichtenfolge: Abteilung	Schichtenfolge: Stufe	Vorgänge in und auf der Erdrinde	Gesteinsbildungen innerhalb Deutschlands bzw. Europas	Lebewesen (*Leitfossilien*)	heute aktivierte Wirtschaftswert
Erdaltertum (Paläozoikum)	*Perm* (Perm, sowjetische Stadt und Gebiet westlich des Urals) auch „Dyas" (griech. Zweiheit) genannt, vor 210 Mill. Jahren Dauer: 25 Mill. Jahre	*oberes Perm* (Zechstein) (Herkunft des Namens wie bei „Rotliegendes") *unteres Perm* (Rotliegendes) (Name aus der Überlieferung der Bergmannssprache im Kupferschieferbergbau)	oberer Zechstein, mittlerer Zechstein, unterer Zechstein (Basleo, Chideru) oberes Rotliegendes, unteres Rotliegendes (Sakmara, Artinsk, Sosio)	starker Vulkanismus, Abklingen der varistischen[3] Gebirgsbildung im Zechstein, geringe Überflutung des Festlandes und Eindampfung des deutschen Zechsteinmeeres, außerordentlich trockenes Klima, stellenweise aber Vereisungsspuren; vier Salzbildungszyklen	Sandsteine, Konglomerate, Schiefertone, Porphyre, Melaphyre, im Saargebiet, im Schwarzwald, in den Vogesen, im Thüringer Wald, in Mitteldeutschland (Halle, Erzgebirge); Dolomit, Gips, Kalkstein, Salzgesteine, Stinkschiefer, Anhydrit am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges, in Thüringen, Werragebiet, Nordhannover	*Mesoammoniten*, Moostierchen, *Armfüßer* (reiche Entfaltung und Spezialisierung, aber kurz vor dem Aussterben). Schnecken, Muscheln, Amphibien noch reich entwikkelt, Reptilien; Aussterben der Trilobiten und vieler Seelilien; Aufstieg der *nacktsamigen Pflanzen*, Zunahme der Nadelhölzer	Steinkohlen Erze (Kupferschiefer, Kobalt Nickel, Blei, Zink, Quecksilber, Eisen) Erdgas Kali- und Steinsalze Gips Anhydrit Dolomit
	Karbon (lat. *carbo*, Kohle) die Steinkohlenformation vor 265 Mill. Jahren Dauer: 55 Mill. Jahre	*oberes Karbon* *unteres Karbon* (Kulm)	Stefan Westfal A—D Namur A—C Dinant I—III: Visé Tournai	Eindringen mächtiger Schmelzflüsse in die Erdkruste, Bildung mächtiger Kohlenlager, varistische Gebirgsbildung in West- und Mitteleuropa (bretonische, sudetische, asturische „Phase")	Sandsteine, Konglomerate, Schiefertone, Tonschiefer, Kieselschiefer im Ruhrgebiet, in Sachsen, im Saargebiet, in Westfalen, im Harz, in Thüringen. Granit (Großteil deutscher Granitmassive), Granit- und Quarzporphyre im Erzgebirge	*Altammoniten*, *Korallen*; erster Höhepunkt der Einzeller (*Foraminiferen*), Höhepunkt der Seelilien; Armfüßer im Rückgang; Spinnen, Krebse, Tausendfüßer; erste geflügelte Insekten (Urflügler, Libellen, Eintagsfliegen); Amphibien und erste Reptilien; üppige Entfaltung der *Schachtelhalme*, *Bärlappgewächse* (Schuppen- und Siegelbäume); *Farne*, primitive Nadelhölzer; Flora ebenfalls leitend	Steinkohlen (über 50% aller Vorkommen der Erde) Ölschiefer Kohlenquarzite Braunkohlen Erdgas (Moskauer Becken) Erze und Minerale der Mittelgebirge
	Devon (nach der englischen Grafschaft Devonshire) vor 320 Mill. Jahren Dauer: 55 Mill. Jahre	*oberes Devon* *mittleres Devon* *unteres Devon*	Dasbergstufe Hembergstufe Nehdenstufe Adorfstufe Givet (Stringocephalusstufe) Couvin (Eifel-, Calceolastufe) Ems (Koblenz) Siegen Gedinne	starke Überflutungen des Festlandes, Ausklänge der kaledonischen[4] Faltung, Anfänge der varistischen Faltung. Untermeerischer Vulkanismus und ausgedehnte Diabasergüsse (Rheinisches Schiefergebirge, Harz, Thüringen)	Kalke, Grauwacken, Tonschiefer, Quarzite, Sandsteine im Rheinischen Schiefergebirge, Harz, Thüringer Schiefergebirge. Diabase, Schalsteine, Keratophyre im Rheinischen Schiefergebirge und Harz	*Altammoniten* (Goniatiten und Clymenien), *Armfüßer*, Korallen, *Panzerfische*, Seelilien und Seesterne, Muschelkrebse (Ostrakoden), erste Lungen- und Knochenfische, primitive Amphibien; baumförmige Bärlappgewächse, riesige Meeresalgen	Rot- und Spateisensteine Dachschiefer Grauwackensandsteine Massenkalke (z. T. Marmore) Blei Zink Kupfer

[3] Varisker: Volksstamm im Vogtland und im Fichtelgebirge.
[4] lat. *Caledonia*, Schottland.

Erdurzeit							
	Silur (Silurer, ein [vor]keltischer Volksstamm in Wales) vor 440 Mill. Jahren Dauer: etwa 120 Mill. Jahre	*Gotlandium* (Obersilur) (nach der Ostseeinsel Gotland) *Ordovizium*[5] (Untersilur) (Ordovizer, früher Volk in Wales)	Ludlow Wenlock Llandovery Ashgill Caradoc Llandeilo Arenig Tremadoc	starke Überflutungen des Festlandes, im gesamten Silur intensive Faltungen der kaledonischen Gebirgsbildung. Diabasvulkanismus	Ton- und Kieselschiefer, Quarzite, Kalke im Rheinischen und im Thüringer Schiefergebirge	*Graptolithen* (Stillwasser), *Trilobiten* (Flachwasser), (höchste Entwicklung); Armfüßer (gewaltiger Aufschwung), Korallen, erstes Auftreten der Seeigel, erste primitive Panzerfische, skorpionartige Gliederfüßer und Tausendfüßer; erste primitive Landpflanzen, Algen	Eisenerze, Alaun- (Graptolithen-) Schiefer, Dach- und Griffelschiefer Quarzite Kalke Brandschiefer (Kukkersit)
	Kambrium (kelt. *Cambria*, Nordwales) vor etwa 520 Mill. Jahren Dauer: etwa 80 Mill. Jahre	*oberes Kambrium* *mittleres Kambrium* *unteres Kambrium*	Olenusstufe (nach drei Trilobiten) Paradoxidesstufe Olenellusstufe	Hebungen und Senkungen, Überflutungen des Festlandes und dazwischenliegende rückläufige Bewegungen, Flachmeerbildungen, Vulkanismus im Oberkambrium, Porphyre, Porphyrite	Kalke, Tonschiefer, Grauwacken in der Lausitz (Doberlug), Quarzite in England	*Trilobiten* (Urkrebse, urtümliche, asselähnliche Gliederfüßer), erste Kopffüßer, Armfüßer, Grabwürmer, Leibeshöhlentiere (Zölenteraten), Algen	Silbererze Alaunschiefer
	Präkambrium (vor dem Kambrium) Dauer: etwa 2100 Mill. Jahre	*Algonkium* (vor etwa 1 Md. Jahren) (Erdfrühzeit = Proterozoikum)	Jungalgonkium Altalgonkium	bedeutende Gebirgsbildungen: laurentischer und algonkischer Umbruch, Sonderung in Kontinentalkerne und Geosynklinalen	Sedimentgesteine und metamorphe Gesteine in Sachsen, Thüringen, im Schwarzwald, in den Vogesen	spärliche Lebensspuren (Algen, Radiolarien, Schwämme, Armfüßer, primitive Schnecken). Bereits 7 Tierstämme vorhanden	Erze (Gold, Silber, Platin, Kupfer, Nickel, Blei, Zink, Zinn) Edelsteine Graphit Marmor Algenkohle (Schungit)
		Archaikum (vor etwa 3 Md. Jahren) (Erdurzeit i.e.S. = Archäozoikum)		Erdkrustenbildung und erste Gebirgsbildung (Svekofennidenfaltung) Vulkanismus	kristalline Schiefer im Baltischen und im Kanadischen Schild	organische Reste selten und selten eindeutig (Algen?, Schwämme?)	

[5] Nach anderen Auffassungen bildet das Ordovizium eine eigene Formation (mit den Abteilungen: unteres, mittleres, oberes Ordovizium) vor dem Silur (mit den Abteilungen: unteres, oberes Silur)

Denkt man sich zur Veranschaulichung die etwa 3 Milliarden Jahre der Erdentwicklung auf einen Tag verkürzt, dann erscheinen die ersten Lebensspuren um 16^h. Die Erdurzeit ginge um $16^h\ 48^m$, das Erdaltertum (Paläozoikum) um $22^h\ 19^m\ 12^s$, das Erdmittelalter (Mesozoikum) um $22^h\ 58^m\ 12^s$ zu Ende. Bis $23^h\ 31^m\ 12^s$ dauerte das Tertiär. Der Mensch der Jetztzeit erschiene erst 4 Sekunden vor Mitternacht, seine uns bekannte „Geschichte" (die letzten 6000 bis 7000 Jahre) würde nur den fünften Teil einer Sekunde umfassen.
Zeitzahlen: veröffentlicht durch den Vorsitzenden des „Committee on Measurement of Geologic Time", Washington (USA), 1952.

Pleistozäne Eiszeiten (Alpen)

Würmeiszeit	Paläolithikum (Altsteinzeit)	Jungpaläolithikum	Magdalénien, Solutréen, Aurignacien
Riß-Würm-Interglazial		Mittelpaläolithikum	Moustérien Acheuléen
Rißeiszeit		Altpaläolithikum	Chelléen
Mindel-Riß-Interglazial (Große Zwischeneiszeit)			
Mindeleiszeit			Préchelléen [Homo (Protanthropus) heidelbergensis]
Günz-Mindel-Interglazial			
Günzeiszeit			

Oxydation, Hydrolyse. Entsprechend den unterschiedlichen Klimazonen auf der Erde ist die Art und das Ergebnis der Verwitterung verschieden. Die Verwitterungsprodukte können an der Stelle ihrer Entstehung liegenbleiben oder durch Flüsse und Bäche (fluviatiler Transport), durch den Wind (äolischer Transport) oder durch langsam die Gebirge hinabfließende Gletscher (glazialer Transport) von ihrem Bildungsort weg verfrachtet werden. Die Verwitterung greift nicht alle Gesteine gleichmäßig an, die weicheren verwittern leichter. Durch diesen unterschiedlichen Widerstand der Gesteine gegen die Verwitterung und die Vielfalt der Lagerungsformen der Gesteinsschichten an der Erdoberfläche (horizontal, gekippt, gefaltet u. a.) erhält diese ein Relief, das die landschaftlichen Eigenarten hervorruft.
Für die verschiedenen Klimabereiche der Erde gibt es charakteristische Reliefformen (morphologische Klimazonen der Erde).
Die Transportkraft von Wasser, Wind und Gletschereis ist nicht unbegrenzt; dort, wo sie erlahmt, setzen sich die mitgeführten Stoffe wieder ab und bilden *Absatzgesteine* (*Sedimente*). Der fluviatile Transport endet in der Regel im Meer oder in einem Binnensee (marine bzw. limnische Sedimente), der Wind verliert seine Transportkraft vor größeren Hindernissen (Gebirge) und lagert den mitgeführten Staub ab (Löß). Wo das Gletschereis schmilzt, bleibt der vom Eis transportierte Schutt liegen, es bilden sich glaziale Sedimente (z. B. Grundmoräne, Endmoräne). Glaziale Sedimente zeichnen sich durch sehr uneinheitliche Korngröße aus. In einer tonig-kalkigen Grundmasse liegen kleine bis sehr große gerundete Gesteinsblöcke (*Geschiebe*). Ein solcher *Geschiebemergel* ist das typische glaziale Sediment in Norddeutschland.

Sedimentgesteine. Analog der physikalischen und der chemischen Verwitterung unterscheidet man auch bei der Bildung von Sedimenten einen rein mechanischen Sedimentationsvorgang der mitgeführten Gerölle, Kiese, Sande und Tone und einen chemischen, in dessen Verlauf die chemisch gelösten Stoffe ausfallen.
Es entstehen somit *Trümmergesteine* (klastische Sedimente) und *Ausfällungsgesteine* (chemische Sedimente).

Klastische Sedimente werden nach ihrer Korngröße weiter unterteilt. Liegt die Korngröße über 2 mm, bezeichnet man sie als Psephite (griech. psephis = Kiesel), Sedimente mit einer Korngröße zwischen 2 und 0,1 mm (Sand) nennt man Psammite (griech. psammos = Sand), liegt die Korngröße unter 0,1 mm (z. B. Tone), so spricht man von Peliten (griech. pelos = Schlamm).

Chemische Sedimente entstehen durch Ausfällen der gelösten Bestandteile aus Meerwasser, Süßwasser oder vulkanischen Wässern. Durch Verdunstung von Meerwasser sind die großen Salzlagerstätten auf der Erde entstanden; auch die Gipsgesteine und ein Teil der Kalksteine sind Ausfällungssedimente; Kieselsinter haben sich aus vulkanischen Wässern abgeschieden; Kalksinter bildeten sich aus kalkhaltigen Quellwässern (z. B. Travertin).

Biogene Sedimente. Organismen können in so starkem Maße an der Bildung von Sedimenten beteiligt sein, daß sie ausschließlich oder überwiegend die Gesteine zusammensetzen. Pflanzliche Reste bilden Torf und Kohle, tierische und pflanzliche Hartteile (Schalen, Skelette, Knochen u. a.) bilden einen Großteil der natürlichen Kalksteine und Kieselgesteine (Kieselgur besteht aus den Kieselskeletten von Diatomeen, der Rote Tiefseeton und Radiolarite aus denen von Radiolarien). Auch Erdöl ist ein biogenes Sediment, an dessen Entstehung pflanzliche und tierische Fette beteiligt sind.
Die Sedimente sind unmittelbar nach ihrer Ablagerung vollkommen locker und sehr wasserhaltig. Erst im Laufe der geologischen Geschichte verlieren sie weitgehend dieses Wasser, die Einzelkörner lagern sich dichter aneinander und werden durch ein Bindemittel miteinander verkittet. So werden aus Lockersedimenten feste Gesteine. Alle Vorgänge, die mit der Verfestigung von Sedimenten zusammenhängen, faßt man unter dem Begriff *Diagenese* zusammen.

Die Umbildung von Gesteinen (*Metamorphose*). Gelangen Sedimentgesteine oder Erstarrungsgesteine in größere Tiefen mit höherer Temperatur und erhöhtem Druck, verändert sich ihr Mineralbestand, sie erfahren eine Metamorphose.
Die Metamorphose besteht in einer Um- und Neukristallisation; die neu entstehenden Minerale sind charakteristisch für die jeweiligen Druck- und Temperaturverhältnisse, bei denen die Gesteine der Metamorphose unterliegen.
So spricht man von einer *epizonalen Metamorphose* (z. B. Phyllit), einer *mesozonalen* (z. B. Glimmerschiefer) und einer *katazonalen Metamorphose* (Gneis). In dieser Reihe nehmen Druck und Temperatur zu. Schließlich kann es zu einer völligen Aufschmelzung kommen, es bildet sich wieder ein granitähnliches Magma.
Es ergibt sich hieraus ein großer *Stoffkreislauf*: Aus einem flüssigen Magma bilden sich die Erstarrungsgesteine, diese gelangen durch tektonische (endogene) Vorgänge an die Erdoberfläche und in den Bereich der Verwitterung (exogene Vorgänge). Die Verwitterungsprodukte werden fortransportiert und in Sammelbecken als Sedimente abgesetzt. Durch tektonische Vorgänge wiederum können die Sedimente zusammen mit Erstarrungsgesteinen in solche Tiefen gelangen, daß sie völlig aufgeschmolzen und erneut in den Kreislauf einbezogen werden.
Dieser Stoffkreislauf ist nach Auffassung verschiedener Forscher Ausdruck für ein großes Konvektionsstromsystem in der Erde, das die Antriebskraft für die tektonischen Vorgänge in der Erdkruste bilden soll.

V. Mineralogie, Lagerstättenkunde und geophysikalische Lagerstättenerkundung

BEDEUTUNG UND GRUNDLAGEN DER MINERALOGIE

Mineralogie bedeutet die Lehre von den Mineralen. Der Name ist abgeleitet von *minera* (lat. zum Bergwerk gehörend, Schacht, Erzstück). Das Studium der Mineralogie ist unentbehrlich für Geologen, Geophysiker, Lagerstätten- und Bodenkundler. Für Berg- und Hüttenleute, für Chemiker, Geochemiker und Biologen ist die Mineralogie eine nützliche Hilfswissenschaft. Viele Probleme der Landwirtschaft, der Glas-, Keramik- und Porzellanindustrie wären ohne die Forschungsarbeit der Mineralogie teilweise noch ungeklärt.

Um einen Körper als Mineral zu bezeichnen, müssen drei Bedingungen erfüllt sein: a) der Körper muß Bestandteil der festen Erdkruste sein, b) er muß auf natürliche Weise gebildet sein, und c) er muß stofflich einheitlich (homogen) sein.

Synthetische Edelsteine und Glas werden nicht zu den Mineralen gerechnet, da sie erst durch die Kunst des Menschen entstehen. Kohle und Bernstein erfüllen nicht die Bedingungen der Homogenität und zählen deshalb nicht zu den Mineralen. Gesteine sind Mineralaggregate, d. h. sie sind aus verschiedenen Mineralen zusammengesetzt, z. B. Granit aus Feldspat, Quarz und Glimmer. Aber es gibt auch *monomineralische Gesteine*; dies sind Gesteine, die nur aus einer Mineralart bestehen, z. B. Gips, Kalk und Dolomit.

DIE LEHRE VON DEN MINERALEN

Die Mineralogie gliedert sich in allgemeine Mineralogie und spezielle Mineralogie.

Allgemeine Mineralogie. Zur allgemeinen Mineralogie gehören: die Formenlehre der Kristalle, der Feinbau der Kristalle und die Methoden seiner Bestimmung, die Kristallphysik und die Kristallchemie.

Die Formenlehre der Minerale. Wer sich mit dem Sammeln von Mineralen beschäftigt hat, wird die Verschiedenartigkeit der äußeren Form festgestellt haben. Man findet auf Bergwerkshalden im Gebirge schöne Kristalle, z. B. Quarz, SiO_2; es wird aber nicht gelingen, einen Feuerstein in Kristallform zu finden, obwohl er chemisch dieselbe Zusammensetzung hat. Eine Anzahl der Minerale ist als ***Kristalle*** (griech., Eis) ausgebildet. Als die ersten glasklaren Bergkristalle, SiO_2, gefunden wurden, glaubte man, es sei Eis, das durch lang anhaltende Kälteeinwirkung so hart gefroren sei, daß es nicht mehr auftauen kann. Die Bezeichnung Kristall bezog man forthin auf alle Minerale, die von ebenen Flächen und Kanten begrenzte Körper darstellen.

Die nicht in Kristallform vorkommenden Minerale werden als *amorph*, d. h. gestaltlos, bezeichnet. Dazu gehören z. B. der bläulich-grünlich schimmernde Edelopal, $SiO_2 + aq$, der wasserklare Hyalit, $SiO_2 + aq$. Auch die Absätze aus heißen Quellen, den Geysirit und einige Eisenhydroxyde rechnet man hierzu.

Die *Mineral-* und ***Kristallbildung*** vollzieht sich in der Hauptsache durch Abkühlung von Lösungen in verschiedenen Temperaturbereichen. Sie kann sich aber auch beim Sedimentationsprozeß und durch Metamorphose vollziehen. In der Natur sehen wir das Kristallwachstum in schwebender Ausbildung bei den Schneeflocken, die sich durch Unterkühlung von Wasser bilden und als sechseckige Sternchen kristallisieren. Das Wachstum der Kristalle erfolgt durch Anlagerung von Substanz an den Flächen eines Kristallkeimes. Für das Weiterwachsen der Flächen ist die Wachstumsrichtung und die Wachstumsgeschwindigkeit maßgebend. Bei gleichen Druck- und Temperaturbedingungen sowie bei gleichen Lösungsgenossen ist die Wachstumsgeschwindigkeit für kristallographisch gleichwertige Richtungen gleich, für kristallographisch ungleichwertige Richtungen dagegen verschieden. Unter ***Lösungsgenossen*** werden alle Stoffe verstanden, welche sich gleichzeitig mit in der Schmelze oder Lösung befinden. In bestimmter Konzentration kann dadurch das Wachstum der Kristalle beeinflußt werden. Steinsalz, NaCl, kristallisiert grundsätzlich in schön ausgebildeten ***Würfeln***; bei Anwesenheit von Harnstoff in der Lösung bilden sich ***Oktaeder***. Sehr deutlich ist das Wachstum der Kristalle durch Anlagerung zu sehen, wenn sich während des Kristallisationsprozesses die Zusammensetzung der Lösung geändert hat; es entstehen dann sogenannte, oft mehrfarbige ***Zonarstrukturen***, z. B. beim Turmalin. Gruppen von Mineralen einer Art oder verschiedener Arten werden als ***Drusen*** bezeichnet; sie bilden sich in Hohlräumen von Gesteinen, in denen eine stete Zufuhr der Mineralsubstanz vorhanden war.

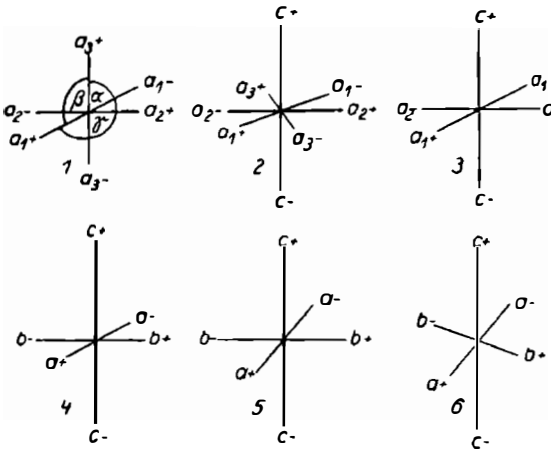
Die Größe der Kristalle ist sehr unterschiedlich. Es gibt wohlausgebildete Kristalle, die nur unter dem Mikroskop zu erkennen sind, aber auch mannsgroße Quarzkristalle, z. B. in den Kristallkellern der Schweizer Alpen. Auch der Beryll, $Be_3Al_2Si_6O_{18}$, bildet gelegentlich so große Kristalle; bekannt sind die von Süddakota mit einer Länge von etwa 9 m und einer Masse von 60 t.

Bei der Farbe der Minerale unterscheidet man: *idiochromatische*, d. h. eigengefärbte, und *allochromatische*, d. h. fremdgefärbte Minerale. Die Eigenfarbe des Quarzes ist wasserhell; bei Fremdfärbung gibt man derselben chemischen Substanz, SiO_2, andere Namen, z. B. bei Gelb *Zitrin*, bei Violett *Amethyst*, bei Lichtrosa *Rosenquarz*. Flußspat, CaF_2, kann in vielen Farbtönen auftreten,

von wasserhell über gelb, grün, blau bis zum dunkelsten Violett. Eigengefärbte Minerale sind z. B. Magnetit, Fe_3O_4, Rotgültigerz: Arsensilberblende Ag_3AsS_3, Bleiglanz, PbS. Außer diesen für viele Minerale charakteristischen Farben gibt es noch die *Anlauffarben.* Es sind oft Oxydationsprodukte des eigenen Minerals oder auch fremder Minerale. Besonders gute Anlauffarben zeigen: Buntkupferkies, Cu_5FeS_4, Antimonit, Sb_2S_3, Kupferglanz, Cu_2S u. a.

Um in die Vielzahl der vorhandenen Kristallformen eine Ordnung zu bringen, war es nötig, die Kristalle auf Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede in der Ausbildung hin zu untersuchen. Ein wichtiges Mittel dazu boten die Winkel der Kristalle. *Carangeot* erfand 1783 das *Anlegegoniometer*, ein einfaches Instrument, das an die Außenkanten eines Kristalls angelegt wird und mit dem die Flächenwinkel gemessen werden können. Mit dem von *Wollaston* 1809 erfundenen einkreisigen Reflexionsgoniometer kann man auf optischem Weg den Normalwinkel zwischen zwei Flächen messen. In der Mineralogie werden in der Hauptsache zweikreisige *Theodolitgoniometer* verwendet.

Eine weitere Möglichkeit, zu einer Systematik der Kristalle zu gelangen, bieten die Symmetrieeigenschaften der Kristalle. Nach dieser Methode wird ein Kristall in spiegelbildlich gleiche Hälften zerlegt. Man denke sich dabei durch einen Kristall eine Achse gelegt, die einer Anzahl von Kanten parallel läuft. Dreht man den Kristall dann um diese Achse und beobachtet, um wieviel Grad der Kristall gedreht werden muß, um die gleiche Ansicht zu bieten, so findet man im Ergebnis entweder 360, 180, 120, 90 oder 60°. Man unterscheidet daher 1-, 2-, 3-, 4- und 6zählige *Drehungsachsen.* Nach einer anderen Methode verwendet man ein *Koordinatensystem* mit drei bzw. mit vier Achsen, die sich in einem Punkt unter bestimmten Winkeln schneiden. Es entstehen sechs Achsenkreuze und damit die *sechs Kristallsysteme.* Die Achsen werden mit a_1, a_2, a_3 bezeichnet, wenn es sich um gleich lange Achsen handelt, mit a, b, c, wenn die Achsen ungleich lang sind. Die Winkel zwischen den Achsen bezeichnet man mit α, β, γ, und zwar den Winkel zwischen der a- und b-Achse mit γ, zwischen a- und c-Achse mit β, zwischen b- und c-Achse mit α. Die c-Achse denkt man sich immer senkrecht auf der Tischplatte stehend.



Die sechs Kristallsysteme

Nach diesem Verfahren war es möglich, alle Kristalle auf sechs Kristallsysteme zu beziehen. Es ergeben sich daraus das

kubische oder reguläre System	$a_1 = a_2 = a_3$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
tetragonale oder quadratische System	$a_1 = a_2 \neq a_3$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
hexagonale und trigonale System	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	$\gamma = 60$ oder $120°$, $\beta = 90°$
rhombische System	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
monokline System	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90°$, $\beta = > 90°$
trikline System	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Nur ein kleiner Teil der Minerale ist als Kristalle ausgebildet, der größere Teil bildet dichte kristalline Massen, z. B. Kalkspat, $CaCO_3$, mit schönen Kristallen in dichtem Kalk.

Der Feinbau der Kristalle und die Methoden seiner Bestimmung. Neben der Frage nach der Entstehung der Minerale und Gesteine standen auch die Fragen nach der Art und der Anordnung der kleinsten Teilchen eines Minerals. Beobachtungen in dieser Richtung finden wir bereits bei *Gugliemini* 1688. *René Just Hauy* legte 1780 der Pariser Akademie eine Arbeit vor, in welcher er die Vermutung aussprach, daß alle Kristalle aus überaus kleinen Stoffteilchen von unveränderlicher Gestalt und unveränderlichem Volumen bestehen. Diese Theorie der starren Teilchen wurde 1824 durch den Physiker *A. Seeber* durch die Annahme frei schwebender Moleküle ersetzt. Diese sollen sich nach seiner Meinung durch zwischen ihnen wirkende anziehende und abstoßende Kräfte im Gleichgewicht befinden. Aus diesen Überlegungen entstand die eindimensionale *Punktreihe*, die zweidimensionale *Netzebene* und das dreidimensionale *Raumgitter.* Als kleinste Einheit gilt die *Elementarzelle*, die alle Symmetrieeigenschaften des Raumgitters hat.

Die Richtigkeit dieser Hypothese konnte *Max von Laue* 1912 bestätigen, indem er Kristallplatten als Beugungsgitter für Röntgenstrahlen benutzte. Er konnte damit beweisen, daß die Atome selbst bzw. Ionen die Gitterbausteine sind.

Bei der röntgenographischen Untersuchung mineralischer Substanzen werden verschiedene Methoden benutzt. Die erste Methode war die von *Laue* benutzte. Er ließ kristallographisch genau orientierte Kristallplatten von polychromatischem Röntgenlicht durchstrahlen und bekam auf einer Photoplatte ein Diagramm, das *Laue-Diagramm.* Es gestattet, Schlüsse auf die Symmetrie des betreffenden Minerals zu ziehen.
Nach diesem Verfahren lassen sich aber nur 11 Symmetrieklassen unterscheiden. Zur Bestimmung der Größe der Elementarzelle wird die *Drehkristallmethode* angewendet. Ein gut justierter Einkristall wird auf eine drehbare Achse aufgekittet, die rechtwinklig zum Primärstrahl steht. Auf einem in bestimmtem Abstand zur Kristallachse stehenden Film werden die Interferenzen der vom Röntgenstrahl getroffenen Netzebenen abgebildet. Es entsteht ein *Schichtliniendiagramm.* Diese Aufnahmetechnik setzt gute Kristalle voraus.
In der Mineralogie ist die *Debye-Scherrer-Methode* gebräuchlich. Bei ihr wird das zu untersuchende Mineral fein gepulvert, in Glaskapillaren eingefüllt oder mit einem Bindemittel zu feinsten Stäbchen gepreßt. Diese werden drehbar in den Primärstrahl gebracht. Auch hier entstehen auf dem Filmstreifen Interferenzbilder, die dann nach bestimmten Systemen ausgewertet werden. Alle Röntgenuntersuchungen, von denen hier nur einige genannt wurden, haben den Zweck, die kristalline Natur der Substanzen nachzuweisen und bestimmte Werte daraus zu errechnen. Amorphe Substanzen geben keine Interferenzen und sind auf diese Art zu bestimmen.
Durch diese Methoden war es möglich, die Strukturen sehr vieler Elemente und Verbindungen zu errechnen und diese wiederum in bestimmte Gittertypen einzuteilen.

Die Kristallphysik. Die physikalischen Eigenschaften der Minerale werden in richtungsabhängige und richtungsunabhängige eingeteilt. Von der Richtung abhängig sind: Härte, Spaltbarkeit, Wachstumsgeschwindigkeit, Pyroelektrizität und Piezoelektrizität.
Unabhängig von der Richtung im Kristall sind z. B. die Dichte, die spezifische Wärme und der Gefrierpunkt.

Härte der Minerale. Die Härte ist ein wichtiges Mittel zur Unterscheidung der Minerale. Geprüft wird hauptsächlich die ***Ritzhärte***, entweder durch Ritzen mit bekannten Mineralen (Härteskale nach *Mohs*) oder durch Berechnen der Kraft, die nötig ist, in ein Mineral einzudringen oder auf ihm einen Ritz zu erzeugen. Bei einigen Mineralen ist die Härte in einzelnen Richtungen sehr verschieden, bei Mineralaggregaten oft sehr schwer feststellbar. Die *Mohssche Härteskale* hat zehn verschiedene Minerale nach steigender Härte in eine Reihe gebracht und mit den Zahlen 1 bis 10 bezeichnet. Dies besagt aber nicht, daß der Diamant mit Härte 10 nur zehnmal so hart ist wie Talk mit der Härte 1. Nach einem anderen Härteprüfverfahren setzt man Talk mit der Härte 0.04 und Diamant mit der Härte 140000 ein. Das Prüfen mit der Härteskale ist sehr bequem und ohne Apparate möglich. Die Prüfung erfolgt durch Ritzen eines zu bestimmenden Minerals mit einem der Härteskale. Die Probe wird so lange fortgesetzt, bis das zu untersuchende Mineral vom Skalenmineral nicht mehr geritzt wird. Wenn das Testmineral das Skalenmineral auch nicht ritzt, haben beide die gleiche Härte.

Härteskale nach Mohs

Talk	Härte 1	Apatit	Härte 5	Korund	Härte 9
Gipskristall	Härte 2	Feldspat	Härte 6	Siliziumkarbid	Härte 9,5
Kalkspat	Härte 3	Quarz	Härte 7	Diamant	Härte 10
Flußspat	Härte 4	Topas	Härte 8		

Schmucksteine und andere Minerale
(nach der *Mohsschen Härteskale* geordnet)

Graphit	1,0	Opal	5,5···6,0
Speckstein	1,0	Türkis	5,0···6,0
Gips	1,5···2,0	Mondstein (Orthoklas)	6,0
Kalisalze	2,0	Sonnenstein	6,5
Zinnober	2,0···2,5	Labradorit	6,5
Meerschaum	2,0···2,5	Schwefelkies	6,0···6,5
Bernstein	2,0···2,5	Vesuvian	6,0···6,5
Kalkspat	3,0	Zinnstein	6,0···7,0
Serpentin	3,0···3,5	Quarz	7,0
Alaunstein	3,5···4,0	Onyx	7,0
Sphalerit, Zinkblende	3,5···4,0	Turmalin	7,0
Azurit	3,5···4,0	Staurolith	7,0···7,5
Dolomit	3,5···4,0	Beryll, Aquamarin und Smaragd	7,5···8,0
Flußspat	4,0	Spinell	8,0
Malachit	4,0	Topas	8,0
Apatit	5,0	Korund, Rubin und Saphir	9,0
Dioptas	5,0	Diamant	10,0
Lapislazuli	5,0···6,0		

Einfache Mittel zur Härteprüfung: Minerale der Härte 1 bis 2 werden vom Fingernagel geritzt, eine Kupfermünze hat etwa die Härte 3, Fensterglas Härte 5, mit einer guten Stahlklinge können Minerale mit der Härte 6 bis 7 noch geritzt werden.
Eine weitere wichtige Eigenschaft der Minerale ist ihre *Spaltbarkeit*; sie kann entweder sehr gut, gut, deutlich, undeutlich oder kaum vorhanden sein. *Spaltflächen* erkennt man an ihrem Glas- oder Perlmutterglanz. Die beste Spaltbarkeit haben Glimmer und Gips. Gut spaltbar sind Kalkspat, Feldspat, Flußspat, Bleiglanz u. a. Bei durchsichtigen Mineralen ist die Spaltbarkeit oft durch feine Risse (Spaltrisse) im Kristall angedeutet. Quarz hat eine undeutliche Spaltbarkeit, der Bruch ist muschelig und ohne Spur einer Fläche.
Das Wärmeleitvermögen und die thermische Ausdehnung sind in der Hauptsache durch den Feinbau der Kristalle bestimmt. Durch Erwärmung tritt an einigen Mineralen, z. B. beim Turmalin, *Pyroelektrizität* (elektrische Ladungen an der Oberfläche) auf. Wird auf besonders orientierte Quarzplatten in bestimmten Richtungen ein Druck ausgeübt, so entsteht die *Piezoelektrizität*. Durch diese Eigenschaft ist der Quarz als Schwing- und Steuerquarz in der Technik nicht mehr zu entbehren.
Ein weiteres Merkmal der Minerale ist die Dichte; sie ist ein wichtiges Mittel zur Mineralbestimmung. Man bedient sich dabei z. B. der hydrostatischen Waage, des Pyknometers und der Schwebemethode, bei der schwere Lösungen mit bekannter Dichte benutzt werden. Diese Methode wird in der Mineralogie auch zum Trennen verschiedener Minerale mit unterschiedlicher Dichte verwendet.

Schmucksteine und andere Minerale

nach aufsteigender Dichte in g/cm³ geordnet

Glaubersalz	1,5	Flußspat	3,10···3,20
Sylvin	1,99	Dioptas	3,30
Kalisalpeter	1,9 ···2,1	Topas	3,50···3,60
Meerschaum	2,0	Spinell	3,50
Opal	2,1 ···2,2	Diamant	3,52
Graphit	2,1 ···2,3	Azurit	3,70···3,90
Gips	2,3 ···2,4	Malachit	4,00
Lapislazuli	2,3 ···2,42	Korund, Rubin, Saphir	3,90···4,10
Serpentin	2,5 ···2,6	Sphalerit (Zinkblende)	3,90···4,20
Mondstein (Orthoklas)	2,53···2,56	Almandin	4,00
Onyx	2,59···2,61	Schwefelkies	5,00···5,20
Kalkspat	2,60···2,80	Hämatit	5,20···5,30
Türkis	2,60···2,80	Kassiterit, Zinnstein	6,80···7,10
Sonnenstein (Oligoklas)	2,62	Bleiglanz	7,20···7,60
Beryll, Aquamarin, Smaragd	2,63···2,80	Zinnober	8,10
Quarz	2,70	Silber	9,60···12,0
Speckstein	2,70···2,80	Quecksilber	13,60
Dolomit	2,85···2,95	Platin	14,00···19,00
Turmalin	3,0 ···3,25	Gold	15,50···19,30

Spezielle Mineralogie. Zur speziellen Mineralogie gehören: die Entstehung und Bildung der Minerale, das Zusammenvorkommen der Minerale (Paragenese), die Beschreibung der Minerale, die Lagerstättenkunde, die Verwendung der Minerale.
Die Entstehung der Minerale wurde bei der Formenlehre beschrieben. Die uns bekannte äußere Erdkruste besteht zu etwa 98% aus den Elementen Sauerstoff, Silizium, Aluminium, Eisen, Kalzium, Natrium, Kalium und Magnesium. Auf alle übrigen Elemente entfallen insgesamt nur etwa 2%. Der größte Teil der Minerale entstand zusammen mit der Bildung der Gesteine, die man in drei Gruppen einteilt: *Erstarrungsgesteine*, *Schichtgesteine* und *umgewandelte Gesteine*. Bei den Erstarrungsgesteinen vollzog sich die Mineralbildung durch Abkühlung der glutflüssigen Schmelze, des Magmas. In der Hauptsache ist das Auskristallisieren bestimmter Minerale an bestimmte Temperaturbereiche gebunden, die als *liquidmagmatische* (Temperatur 1000 bis 700 °C), *pegmatitische* (700 bis 550 °C), *pneumatolytische* (550 bis 380 °C) und *hydrothermale Phase* (380 bis 90 °C) bezeichnet werden. In der liquidmagmatischen Phase bildeten sich nur einige selbständige Minerale als sogenannte Frühausscheidungen aus, z. B. Olivin, $(FeMg_2)SiO_4$, Platin, Pt, und Chromeisen, $FeO \cdot Cr_2O_3$. In der pegmatitisch-pneumatolytischen Phase wurden verschiedene Minerale umgebildet, andere wieder aufgelöst. Hauptsächliche Minerale dieser Phase sind: Zinnstein, SnO_2, Wolframit, $(FeMn)WO_4$, Topas, $Al_2F_2SiO_4$, Flußspat, CaF_2 u. a. Die Hauptmasse der Minerale entstand in der hydrothermalen Phase. Hier bildeten sich die Elemente Gold, Au, Silber, Ag, Kupfer, Cu; die Verbindungen von Elementen mit Schwefel: Kupferkies, $CuFeS_2$, Eisenkies oder Pyrit, FeS_2, Bleiglanz, PbS, Zinkblende, ZnS; die Verbindungen mit Sauerstoff: Rotkupfererz, Cu_2S, Magneteisen, Fe_3O_4, weiterhin Karbonate, Sulfate u. a.
Einige Minerale bleiben von einer Phase zur anderen beständig und werden deshalb auch als *Durchläuferminerale* bezeichnet, z. B. Pyrit.
Minerale der Schicht- und Sedimentgesteine sind die verschiedenen Salze: Steinsalz, NaCl, Kalisalz, KCl, Salpeter, KNO_3, außerdem Kalk, $CaCO_3$, Gips, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ u. a. Auch die sogenannten

Seifenminerale gehören hierher. Es sind Minerale, die entweder chemisch schwer angreifbar sind, z. B. Gold (Härte 2,5 bis 3, Dichte 15,5 bis 19,3), Platin (Härte 4 bis 4,5, Dichte 14,0 bis 19,0) oder solche, die der mechanischen Zerstörung einen Widerstand entgegensetzen, z. B. Zinnstein (Härte 6,0 bis 7,0, Dichte 6,8 bis 7,1), Magnetit (Härte 5,5, Dichte 5,2), Granat (Härte 6,5 bis 7,5, Dichte 3,4 bis 4,6). Ein weiteres Merkmal der Seifenminerale ist die hohe Dichte. Bei der Zerstörung der Gesteine, in denen die genannten Minerale enthalten waren, gelangten diese mit dem Verwitterungsschutt in die Flußläufe und lagerten sich infolge ihrer hohen Dichte an Stellen mit geringer Strömungsgeschwindigkeit ab und bildeten die *Seifenlagerstätten. Goldseifen* gab es z. B. im Rhein (Rheingold), in der Donau, auch in der Schwarza.

Das Zusammenvorkommen der Minerale (Paragenese). Die Bildung der Minerale in den einzelnen Temperaturbereichen ist nicht zufällig oder beliebig, sondern in vielen Fällen gesetzmäßig bedingt. Verschiedene Minerale kommen sehr oft zusammen vor; sie bilden eine *Paragenese.*
Bekannte Paragenesen z. B. der hydrothermalen Folge sind: Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit mit Quarz oder Chalzedon. In der pegmatitisch-pneumatolytischen Phase sind es besonders Zinnstein, Wolframit mit Flußspat und Quarz. Auch Wismut und Uranpecherz kommen in dieser Temperaturstufe vor.
Jedes Gestein bildet eine Paragenese: Granit z. B. mit Feldspat, Quarz und Glimmer.

Die Beschreibung der Minerale. Die Mineralbeschreibung enthält alle physikalischen, chemischen und strukturellen Eigenschaften eines Minerals; im besonderen gehören dazu: Name, chemische Formel, Kristallsystem, Raumgruppe, röntgenographische Daten, Achsenverhältnis, Kristallhabitus, Spaltbarkeit, Bruch, Härte, Dichte, Farbe, Angabe, ob durchsichtig, durchscheinend oder opak, optische Daten, Verhalten vor dem Lötrohr, Angaben über den Temperaturbereich der Entstehung, über Vorkommen, Paragenese, Verwendung.

Die Lagerstättenkunde. Es ist bekannt, daß die meisten der Elemente in der gesamten Erdrinde vorhanden sind, einige jedoch in Anteilen von nur einigen tausendstel bis millionstel Prozenten. Durch bestimmte geochemische Prozesse kommt es bei der Mineralbildung zur Anreicherung bedeutender Mengen eines Minerals oder mehrerer Minerale, es entsteht eine Lagerstätte. Je nach dem Wert und dem wirtschaftlichen Nutzen eines angereicherten Minerals ist dann eine solche Lagerstätte abbauwürdig oder nicht. Neben der Anreicherung spielen auch verschiedene technische und verkehrstechnische Faktoren eine Rolle. Es gibt abbauwürdige Lagerstätten, die wegen Nichterfüllung der zuletzt genannten Bedingungen nicht abgebaut werden können oder deren Abbau auf eine spätere Zeit verlegt werden muß.
Die Entstehung der Lagerstätten kann man sich wie folgt vorstellen: Über geologische Zeiten hinweg hat sich eine verhältnismäßig feste Schicht von Gneisen, Kalkgesteinen u. a. gebildet. Durch Vorgänge im Erdinnern ausgelöst, dringt dann ein Magmenkörper, ein *Batholith*, auf. Das darüberlagernde Gestein wird emporgehoben, dabei reißen Gänge und Klüfte auf. Der Batholith oder Pluton, z. B. ein Granitstock, bleibt tief in der Erde stecken, das glutflüssige Magma kühlt sehr langsam ab. Minerale, wie Magnetit, Platin, Chromit und Olivin scheiden sich aus der Schmelze, sinken infolge ihrer Dichte ab und können sich unter bestimmten Bedingungen zu abbauwürdigen Lagerstätten anreichern. In der zweiten Phase kristallisieren die Gesteine aus, und es findet eine Anreicherung der flüchtigen Bestandteile statt. Die Magmen enthalten neben diesen auch Wasser im überkritischen Zustand. Diese unter hohem Druck stehenden Dämpfe dringen nun durch die Gänge und Spalten nach oben, kühlen sich dabei ab, und die mitgeführten Minerale kristallisieren aus und bilden die *pneumatolytischen Lagerstätten.* Bei weiterer Abkühlung kondensieren die entweichenden Dämpfe und bilden heiße, z. T. metallhaltige und mineralische Lösungen. Es entstehen die *hydrothermalen Lagerstätten.* Die Geysire und die heißen Quellen enthalten mehr oder weniger gelöste Stoffe, die oft den Wert einer solchen Therme bestimmen. Der Vorgang der Kristallisation in den einzelnen Temperaturbereichen ist natürlich viel komplizierter und von vielen anderen, hier nicht genannten Faktoren abhängig.

Verwendung der Minerale. Die Verwendung von Mineralen in der Technik wie Aluminium, Antimon, Blei, Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zinn, Zink, Gold, Silber und Platin ist allgemein bekannt. Mangan, Wolfram, Molybdän und Vanadin sind Stahlveredler. Diamant als Bort (Industriediamant) wird in die Bohrkronen von Tiefbohrern eingesetzt bzw. in Glasschneider; Ziehsteine aus Diamant werden zum Herstellen von feinen Drähten verwendet. Schwefel und Pyrit dienen zur Darstellung der Schwefelsäure. Selen bietet die Möglichkeit zur Herstellung von Photozellen. Asbest wird zu feuerfesten Geweben verarbeitet, Uran für den Betrieb von Kernkraftwerken benötigt. Edelsalze, Phosphorit, Apatit sind wichtige Düngemittel. Feldspat, Kaolin und Quarz spielen eine Rolle in der keramischen Industrie und in der Glasindustrie. Glimmer dient als Isoliermaterial, Graphit wird für Schmelztiegel und als Schmiermittel benötigt. Quarz ist in der Funkindustrie als Steuerquarz verwendbar. Als Schmuck- und Edelsteine sind Aquamarin, Diamant, Edelopal, Granat, Rubin, Smaragd, Spinell, Topas, Türkis bekannt und als Halbedelsteine verschiedene Quarzvarietäten. In der Medizin spielen eine Rolle z. B. Alaun, Arsen, Bittersalz, Gold, Jod, Quecksilber, Silber, Thallium, Wismut. Für Schädlingsbekämpfungsmittel dienen Kupfer, Arsen, Zink, Schwefel, Thallium in verschiedenen Verbindungen.

LAGERSTÄTTENKUNDE UND GEOPHYSIKALISCHE LAGERSTÄTTENERKUNDUNG

Geophysikalische Lagerstättenerkundung. Die Geophysik erforscht mit physikalischen Methoden den Aufbau, die Zusammensetzung und den physikalischen Zustand der Erde. Während die *reine Geophysik* sich mit dem Erdkörper als Ganzes einschließlich der Luft- und Wasserhülle beschäftigt, liegt das Arbeitsgebiet der *angewandten Geophysik* lediglich in den obersten Schichten der Erdkruste, soweit sie geologisch und bergmännisch von Bedeutung sind. Die angewandte Geophysik erkundet mit exakten physikalischen Hilfsmitteln die geologischen Verhältnisse im Untergrund für die Erschließung wirtschaftlich nutzbarer Lagerstätten.

Bei dieser Erkundungsmethode nutzt der Geophysiker die ständig in und auf der Erde vorhandenen *Kraftfelder* (Erdschwere, Erdmagnetismus) aus, indem er die von Gesteinen und Minerallagerstätten herrührenden Störungen dieser Felder an der Erdoberfläche untersucht. Hierauf beruhen die *gravimetrischen* und *magnetischen* Meßverfahren. Ebenso werden natürliche Vorgänge, die sich in der Erdkruste abspielen und lokale Energiefelder erzeugen, zur Bestimmung der Beschaffenheit des Untergrundes herangezogen. Die Wirkung radioaktiver, elektrolytischer und chemischer Prozesse kommt in *radiometrischen, elektrischen* und *thermischen Messungen* zum Ausdruck. Bei einigen elektrischen Verfahren wird dem Erdboden direkt elektrische Energie zugeführt und die Ausbreitung der Ströme verfolgt. Auch die *seismische Methode* arbeitet mit künstlichen Energiequellen. Die Laufzeitmessung der durch Sprengung erzeugten Erschütterungswellen gibt Auskunft über den Aufbau des Untergrundes. So werden alle bekannten physikalischen Fernwirkungen zur Durchforschung der Erdkruste angewendet: Magnetismus, Gravitation, Elektrizität, Körperschall, Radioaktivität und Wärme.

Die geophysikalische Lagerstättenerkundung beruht auf der Unterschiedlichkeit der physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteinsarten und Bodenschätze. So ermöglichen Unterschiede der Gesteinsmagnetisierung die Anwendung magnetischer Verfahren, und Unterschiede der Gesteinsdichte sind für die gravimetrischen Verfahren maßgebend. Die Unterschiede müssen jedoch hinreichend groß sein, damit die Wirkung eines Gesteinswechsels in bestimmter Tiefe an der Erdoberfläche noch gemessen werden kann. Da die physikalischen Eigenschaften der einzelnen Gesteinsarten von deren jeweiliger Zusammensetzung und Beschaffenheit abhängen und innerhalb eines großen Bereiches schwanken, hat der Geophysiker bei jeder Aufgabe zu prüfen, welches Meßverfahren in dem betreffenden Fall anzuwenden ist. Die Meßergebnisse geben ein Abbild der Lagerungsverhältnisse im Untergrund, der Ausdehnung, Form und Tiefe einer Lagerstätte, lassen aber nur in wenigen Fällen Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung eines Vorkommens zu. *Geochemische Untersuchungen* bilden oftmals eine wertvolle Ergänzung zu den geophysikalischen Erkundungsmethoden.

Viele Lagerstätten sind geophysikalisch nicht direkt nachweisbar. Entweder sind die wirksamen Massen zu gering, oder die Vorkommen liegen zu tief. Das trifft vor allem für Erdöl-, Kohlen- und solche Erzlagerstätten zu, bei denen die Minerale in zu winziger Verteilung im Gestein vorliegen. Die angewandte Geophysik kann aber Angaben machen über die begleitenden geologischen Verhältnisse, an welche das Vorkommen gebunden ist, z. B. über die Lage und Begrenzung einzelner Schichten, über Verwerfungen, Aufwölbungen u. a. Hierin liegt die wesentlichste Bedeutung der geophysikalischen Erkundungsarbeit. Die Zahl der geologischen Suchbohrungen kann erheblich eingeschränkt werden. Geophysikalisch direkt nachweisbar sind an Bodenschätzen Salzvorkommen, soweit sie kompakte Salzstöcke darstellen, magnetische Erze, basische Eruptivgesteine mit relativ hohem Magnetitgehalt sowie einige Sulfiderze und Grundwasser. Vielfach werden mehrere Verfahren komplex auf eine Aufgabe angesetzt. So können Erze als gute elektrische Leiter, als magnetische Störkörper, als Schwereanomalien oder mitunter auch seismisch als schallharte Einlagerung nachgewiesen werden.

An die *Instrumententechnik* werden außerordentlich hohe Anforderungen gestellt. Die für die geophysikalischen Prospektion verwendeten Meßgeräte verbinden ein Höchstmaß an Genauigkeit mit leichter Handhabung und Unempfindlichkeit gegen die beim Feldeinsatz unvermeidlichen Beanspruchungen und Witterungseinflüsse. In den letzten Jahrzehnten sind Instrumente gebaut worden, die Änderungen der physikalischen Kräfte um ein Hundertmillionstel ihres Wertes meßbar machen. Die angewandte Geophysik hat erst in unserem Jahrhundert eine stürmische Aufwärtsentwicklung erlebt. Die auf wissenschaftlich exakter Grundlage beruhenden Verfahren bilden heute ein unentbehrliches Hilfsmittel bei der Lagerstättenerkundung. Ständig wird an der Verfeinerung der Methoden und Instrumente gearbeitet, um immer größere Tiefen des Untergrundes erforschen und genauere Informationen über den Aufbau der Erdkruste erhalten zu können.

Magnetisches Verfahren. Die älteste geophysikalische Erkundungsmethode ist das magnetische Verfahren. Schon im 17. Jahrhundert wurde in Schweden ein einfacher *Grubenkompaß* zur Aufsuchung stark magnetischer Eisenerzlager verwendet. Die heute eingesetzten *Magnetometer* arbeiten auf magnetostatischer oder elektronischer Basis und erreichen eine Meßgenauigkeit von 1 bis $5 \cdot 10^{-9} \frac{\mathrm{Wb}}{\mathrm{m}^2}$. Bei dem ersteren wird die Drehung eines Permanentmagneten ausgenutzt, der auf Schneiden gelagert ist oder durch einen horizontal gespannten Torsionsfaden gehalten wird (*Feldwaage*). Bei dem zweiten Instrumententyp gewinnt gegenwärtig die Messung der Kernresonanzen —

der vom erdmagnetischen Feld abhängigen Kreiselbewegung der magnetischen Momente der Atomkerne einer Wasserprobe — immer mehr an Bedeutung. Mit Hilfe dieser Apparatur kann die magnetische Vermessung auch aus der Luft erfolgen. Hierbei befindet sich die Meßsonde im Schlepp eines Flugzeugs.

Übersicht über die wichtigsten geophysikalischen und geochemischen Erkundungsmethoden

Verfahren	*Energiequelle*	*Gesteinseigenschaft*	*Meßgerät*	*Anwendung*
Magnetik	Erdmagnetismus	induzierte und remanente Magnetisierung	Kompaß, Feldwaage, Magnetometer	Eisenerzlagerstätten, magnetithaltige Werksteinvorkommen, vergrabene oder verschüttete Eisenmassen
Gravimetrie	Erdschwere, Massenanziehung	Massendichte	Pendelapparat, Drehwaage, Gravimeter	Lagerungsverhältnisse des tieferen Untergrundes, spez. für Salz- und Erdöllagerstätten; Erzlagerstätten
Elektrik	natürliche und künstlich erzeugte elektrische Ströme und elektromagnetische Felder	elektrische Leitfähigkeit, natürliche elektrische Aktivität	Erdungsmesser, Gleich- und Wechselstromkompensator	Lagerstätten von sulfidischen Erzen, Graphit, Kaolin; Grundwasser
Seismik	durch Sprengung u. dgl. künstlich erzeugte Erdbeben	Schallgeschwindigkeit	Seismograph,	Verlauf und Tiefenlage von Schichtgrenzen, spez. für Erdöl- und Salzlagerstätten; Baugrundfragen
Radiometrie	radioaktive Minerale	radioaktive Strahlung	Emanometer, Zählrohr, Szintillationszähler	Uranerze, radioaktive Quellen und Erzlager, Spalten und Felsklüfte
Thermik	radioaktive und chemische Wärmeproduktion	Wärmeleitfähigkeit, Oxydationswärme	Widerstandsthermometer	Salzstöcke, sulfidische Erzlager, thermalwasserführende Spalten
Chemie	Stoffwanderung durch zirkulierende Wässer bzw. Gasdiffusion	Mineralbestand, Porosität, Durchlässigkeit	Spektrograph, Gasanalysator	Lagerstätten von verschiedensten Schwermetallmineralen und seltenen Elementen; Erdgas, Erdöl

Das an der Erdoberfläche gemessene magnetische Störfeld wird von Gesteinen und Erzen mit ferromagnetischen Mineralen (vor allem Magnetit und Magnetkies) erzeugt. Die größten Störungen (*Anomalien*) beobachtet man über Magnetitlagerstätten. Bei Kursk in der Sowjetunion betragen die Störwerte $2 \cdot 10^{-4} \frac{Wb}{m^2}$, das ist das Vierfache des normalen Erdfeldes. Leicht lokalisierbar sind auch basische Gesteine wie Gabbro, Diabas und Basalt. Gute Dienste leistet das magnetische Verfahren bei der Bestimmung der Tektonik des Untergrundes. In Sedimentgebieten können Aufwölbungen des kristallinen Untergrundes gefunden werden, da kristalline Gesteine meist stärker magnetisch sind als Sedimentgesteine. Ein berühmtes Beispiel für die indirekte magnetische Erkundung stellen die Goldvorkommen am Witwatersrand in Transvaal dar. Die goldführende Schicht wird hier von magnetitreichen Quarzitschiefern unterlagert, deren Feststellung die Erschließung eines großen Goldfeldes ermöglichte.

Gravimetrisches Verfahren (*Schweremessung*). Dieses Verfahren beruht darauf, daß Gesteine und Minerallagerstätten eine unterschiedliche Massendichte besitzen und infolge ihrer verschieden starken Massenanziehung die normale Schwerkraft (oder Schwere und im Gefolge davon die Fallbeschleunigung) an der Erdoberfläche beeinflussen. In der angewandten Geophysik begnügt man sich mit der Messung der relativen Schwereänderung, die die unterschiedliche Massenverteilung im Untergrund widerspiegelt. An die Meßinstrumente werden außerordentlich hohe Anforderungen gestellt, da die zu messenden Effekte sehr klein sind. Beispielsweise erzeugt eine Gesteinsplatte mit 100 m Mächtigkeit und einem Dichteunterschied von 0,3 g/cm³ zum Nebengestein eine Schwerestörung von 1,26 Milligal (mGal). Zum Vergleich: Die Normalschwere beträgt rund 981 Gal ($1\ Gal = 1\ cm/s^2$). Die Messungen erfolgen heute vornehmlich mit dem *Gravimeter*, einer hoch-

empfindlichen Federwaage. Bei diesem Meßgerät beobachtet man die Längenänderung einer elastischen Feder unter dem Einfluß einer Schwereänderung. Moderne Gravimeter zeigen noch Schwerediffferenzen zwischen zwei Beobachtungsstationen von 0,01 mGal an.
Da die Schwerewirkung an der Erdoberfläche der Massenverteilung im Untergrund proportional ist, entsprechen positive Störwerte einem Massenüberschuß und negative einem Massendefizit. Die Schwere nimmt dort zu, wo Gesteine größerer Dichte näher an die Erdoberfläche heranreichen, und nimmt in jenen Gebieten ab, in denen sie absinken und Gesteine geringerer Dichte den Untergrund aufbauen. Schweremessungen werden mit Erfolg bei der Aufsuchung und Lokalisierung von *Salzhorsten* angewendet, die sich häufig als Massendefizit bemerkbar machen. Erfahrungsgemäß kommen an den Flanken von Salzhorsten oft *Erdöllager* vor. Auch für die Erdölerkundung interessieren deshalb Lage und Form von Salzhorsten. Erdöllager setzen bestimmte geologische Strukturen voraus, wie etwa Aufwölbung der Gesteinsschichten und tektonische Störungen, zu derem Nachweis die Gravimetrie wertvolle Hilfe leistet. In der *Erzlagerstättenerkundung* findet das gravimetrische Verfahren wegen der meist zu kleinen Ausdehnung der Lagerstätten seltener Anwendung.

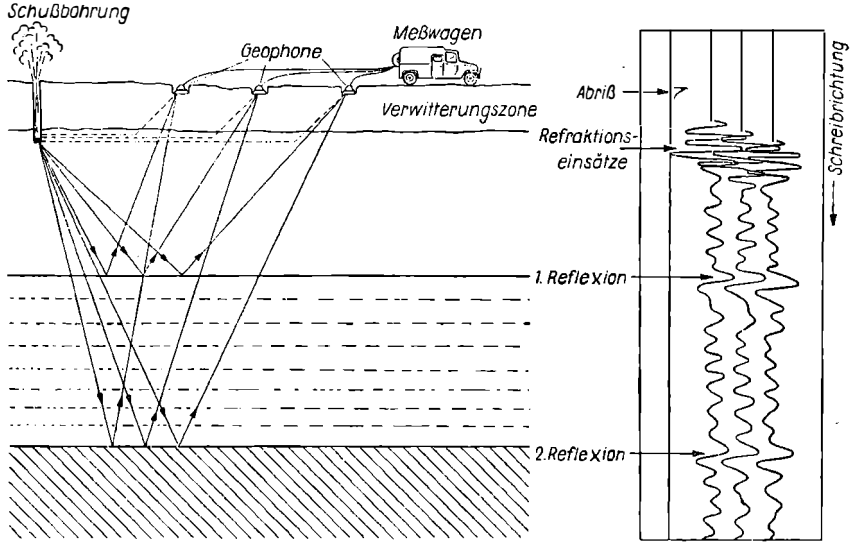
Elektrisches Verfahren. Die elektrischen Verfahren verwenden entweder die natürlichen im Boden auftretenden elektrischen Erdströme oder künstlich erzeugte Ströme und Felder. Der Vorteil dieser Verfahren besteht in den hierfür benötigten relativ einfachen Meßgeräten.
Die *Eigenpotentialmethode* (*Erdstromverfahren*) beruht auf der Messung natürlicher Ströme, die im Erdboden an bestimmten Lagerstätten durch elektrochemische Prozesse (Bildung eines galvanischen Elements) entstehen. Sie eignet sich zur Auffindung von sulfidischen Erzlagern (Pyrit, Magnetkies, Bleiglanz u. a.), die mit ihrem oberen Teil bis in den Grundwasserhorizont hineinreichen. Auch Vorkommen von Manganoxyden, Graphit und Anthrazit lassen sich nachweisen. Die Messungen erfolgen mit zwei Elektroden, die den Kontakt mit dem Erdboden herstellen und über ein Galvanometer verbunden sind. Über den genannten Lagerstätten werden Spannungswerte von einigen zehntel Volt gemessen.
Die *Fremdstrommethoden* bestehen darin, daß man dem Boden Gleich- oder Wechselstrom über zwei Elektroden zuführt und mit zwei anderen Elektroden die Stromverteilung feststellt oder aus gleichzeitiger Stromstärke- und Spannungsmessung direkt den Bodenwiderstand ermittelt. Die Eindringtiefe der Stromlinien läßt sich durch Veränderung des Elektrodenabstandes regeln. So kann auf Einlagerungen im Untergrund mit abweichender elektrischer Leitfähigkeit geschlossen werden. Der elektrische Widerstand der Gesteine und Böden wird sehr wesentlich durch den Wassergehalt bestimmt. Da grundwasserführende Sande und Schotter meist besser elektrisch leitend sind als die nach unten abdichtenden Schichten, wendet man Widerstandsmessungen häufig zur Bestimmung der Mächtigkeit von Schuttüberdeckungen und der Grundwasserverhältnisse an.

Elektromagnetisches Verfahren. Bei den elektromagnetischen Verfahren werden dem Boden durch geerdete Kabel oder rein induktiv durch Drahtspulen (*Senderrahmen*) Wechselströme mit Frequenzen von mindestens einigen 100 Hz zugeführt und die mit diesen Strömen verknüpften elektromagnetischen Felder mittels Induktionsspulen (*Empfängerrahmen*) ausgemessen. Die durch Einlagerungen unterschiedlicher Leitfähigkeit bedingte Verzerrung der primären Felder ermöglicht Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Untergrundes. Diese Methode wird vor allem dann benutzt, wenn sehr schlecht leitender oder sehr harter Boden (Eis, Wüstensand, Fels) die direkte Stromzuführung mit Elektroden unmöglich macht. Sie hat sich besonders in Nordschweden und Kanada bei der Suche nach gut leitenden *Erzlinsen* bewährt. *Wasserführende* Spalten im Gebirge sind ebenfalls nachweisbar. Neuerdings erfolgt die elektromagnetische Erkundung auch von Flugzeugen aus, die Sender- und Empfängerrahmen tragen und die Feldstörungen kontinuierlich aufzeichnen.

Seismische Lagerstättenforschung. Die seismische Lagerstättenforschung hat sich in den letzten Jahrzehnten zu dem wichtigsten geophysikalischen Verfahren speziell zur Erkundung von *Erdölvorkommen* entwickelt. Erdölvorkommen direkt nachzuweisen, vermag man mit dieser Methode allerdings auch nicht. Jedoch erhält man in Gebieten großer Sedimentmächtigkeit, in denen Mutter- und Speichergesteine für Erdöl auftreten, Angaben über den Verlauf von Aufwölbungen, Aufschleppungen, Verbiegungen und Verwerfungen, an die Erdölvorkommen gebunden sein können. Von allen geophysikalischen Verfahren liefert die Seismik die genauesten Informationen über die Lagerungsformen geologischer Horizonte und die Mächtigkeit von Sedimentgesteinen.
Das seismische Erkundungsverfahren besteht in der Beobachtung der Ausbreitungsvorgänge künstlich — meist durch Sprengungen — erzeugter Erdbebenwellen (*seismischer Wellen*). Bei der Untersuchung relativ geringer Tiefen werden zur Anregung seismischer Wellen auch Hammerschläge, Fallgewichte oder Maschinen mit rotierenden exzentrischen Massen verwendet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der schnellaufenden Longitudinalwelle läßt sich verhältnismäßig leicht mit Hilfe kleiner elektrischer Seismographen (*Geophone*) messen, die den Zeitmoment der Sprengung und den Ablauf der Bodenerschütterung registrieren. Infolge der unterschiedlichen Dichte und elastischen Eigenschaften der Gesteine pflanzen sich die Wellen verschieden schnell fort. Für ihre Ausbreitung gelten ähnliche Gesetze wie in der Optik. Da an Schichtgrenzen Brechungen (*Refraktionen*) und Spiegelungen (*Reflexionen*) auftreten, gelangt ein Teil der ausgestrahlten seismischen Energie wieder an die Erdoberfläche. Aus der Laufzeit, die die Wellen zu ihrem Weg durch den Untergrund benötigen, lassen sich Lage und Tiefe von Schichtgrenzen errechnen. Für die Beobachtung der Refraktion und Reflexion sind spezielle Methoden entwickelt worden.

Refraktionsmethode: Die Geophone werden in Entfernungen bis zu einigen Kilometern vom Sprengpunkt aufgestellt. In der Nähe des Sprengpunktes kommen die längs der Erdoberfläche gelaufenen Wellen zuerst an. In den Seismogrammen der weiter entfernt liegenden Geophone erscheinen als erste Einsätze dagegen die refraktierten Wellen, weil diese infolge der Brechung eine gewisse Strecke in den tiefer liegenden Schichten mit größerer Schallgeschwindigkeit gelaufen sind. Aus der Laufzeitänderung erhält man einen Überblick über die Geschwindigkeitsverteilung im Untersuchungsbereich.

Reflexionsmethode (Echolot-Verfahren): Die Geophone werden in der Nähe des Sprengpunktes aufgestellt. Durch geeignete Maßnahmen der Registriertechnik unterdrückt man die direkten Oberflächenwellen, so daß nur die von tiefliegenden Schichtgrenzen zurückgeworfenen Wellen in den Seismogrammen erscheinen. Voraussetzung für das Auftreten einer Reflexion an einer Grenzfläche ist, daß sich die Schallgeschwindigkeit hier sprunghaft ändert.



Prinzip der Reflexionsseismik; links: Verlauf der Stoßstrahlen, rechts: Zuordnung der Seismogrammeinsätze zu den reflektierenden Grenzflächen (nach Prakla, Hannover)

Radiometrische Erkundung. Die radiometrische Erkundung von radioaktiven Erzen und Gesteinen nutzt deren Eigenschaft, bestimmte Strahlungen auszusenden. Die γ-Strahlung ist wegen ihres größeren Durchdringungsvermögens am wichtigsten. Sie wird heute vorzugsweise mit empfindlichen *Szintillationszählern* gemessen, die eine Erkundung auch vom Flugzeug aus ermöglichen. Obwohl eine etwa 50 cm mächtige Gesteinsschicht die γ-Strahlung weitgehend abschirmt, verraten sich tiefer liegende Vorkommen radioaktiver Elemente dadurch, daß durch Grund- und Kluftwässer Spuren dieser Elemente an die Oberfläche transportiert und dort angereichert werden. Deshalb beobachtet man über Spalten und steil stehenden Schichtgrenzen eine höhere Radioaktivität als in der Umgebung. Auch *Erdöl* enthält radioaktive Elemente, im Mittel 100 g Uran/t. Nach den bisher vorliegenden Meßergebnissen scheint die Radiometrie eine gewisse Bedeutung für die Erdölerkundung zu haben. Auf Grund des natürlichen radioaktiven Kaliumisotops K 40 findet die Radiometrie ein Anwendungsgebiet im Kalibergbau: In Bohrungen wird aus der γ-Strahlung der Kaliumgehalt einer bestimmten Stelle ermittelt.

Thermisches Verfahren. Das thermische Verfahren nutzt den ständig aus dem Erdinnern an die Oberfläche fließenden Wärmestrom aus und untersucht die Temperaturverteilung in den oberen Bodenschichten. Höhere Temperaturen werden z. B. über *Salzhorsten* und *Granitaufwölbungen* wegen der guten Wärmeleitfähigkeit dieser Materialien gemessen. Höhere Temperaturen treten auch dort auf, wo sich im Untergrund zusätzlich Wärme entwickelt, etwa durch vulkanische Vorgänge, chemische Umsetzungen (*Oxydationswärme*) bei Erzmineralen und radioaktive Prozesse. Zirkulierende Wässer haben einen großen Einfluß auf den Temperaturverlauf. Deshalb setzt man diese Methode gelegentlich zum Nachweis von *Thermalwässern* ein. Die Temperaturmessungen werden gewöhnlich in 1 bis 2 m tiefen Bohrlöchern mit elektrischen *Widerstandsthermometern* (0,02 °C Genauigkeit) durchgeführt. Die Aussagekraft dieses Erkundungsverfahrens wird leider oftmals dadurch verringert, daß zu viele Fehlerquellen in die Meßergebnisse eingehen.

Geochemisches Verfahren. Bei den geochemischen Verfahren werden Boden- und Pflanzenproben auf bestimmte chemische Elemente geprüft (*Metallometrie*) sowie Bodenluftproben auf Kohlenwasserstoffe analysiert (*Gasvermessung*). Diese Erkundungsverfahren beruhen darauf, daß durch Stoffwanderung von vielen Lagerstätten Spuren bis in die obersten Bodenschichten gelangen. Aus *Erzlagerstätten* herausgelöste Metallsalze werden vor allem durch aufsteigende Bodenwässer nach oben geführt, an der Erdoberfläche ausgefällt und auch von Pflanzen aufgenommen und gespeichert. Pflanzenaschen enthalten in beträchtlicher Konzentration die Metalle des Untergrundes; selbst Edelmetalle sind nachweisbar. So wurden Goldkonzentrationen bis zu 100 g/t in den Aschen von Pflanzen gefunden, die über Goldlagerstätten gewachsen waren. Der Nachweis erfolgt entweder im Gelände mittels geeigneter chemischer Indikatoren oder mit Hilfe der Spektralanalyse im Labor. Aus *Erdöl-* und *Erdgaslagerstätten* diffundieren und strömen leichte Kohlenwasserstoffe (*Methan, Äthan* u. a.) im Laufe geologischer Zeiten durch die Deckschichten bis an die Erdoberfläche. Der Gehalt der Bodenluft an diesen Kohlenwasserstoffen beträgt hier 10^{-4} bis 10^{-2}%. Zum Nachweis dieser geringen Konzentration wird die Bodenluft aus etwa 2 m tiefen Bohrungen abgesaugt und ihr Gasgehalt mit einer Genauigkeit von nahezu 10^{-5}% im Labor bestimmt.

VI. Vulkanismus und Erdbeben

VULKANISMUS

Unter *Vulkanismus* (lat. *Vulcanus*, Gott des Feuers) verstehen wir alle Vorgänge, die sich auf das Emportreten von glutflüssigem Magma bis an die Erdoberfläche und die durch das Ausfließen des Magmas hervorgerufenen Erscheinungen (Vulkane) beziehen. Erreicht das Magma nicht die Erdoberfläche und erstarrt in der Erdkruste, so spricht man von *Plutonismus* (lat. *Pluto*, in der Vorstellung der alten Griechen der Gott der Unterwelt). *Vulkane* sind Orte, an denen die Lava an die Erdoberfläche tritt. Jeder Vulkan ist das Signal eines unterirdischen Magmaherdes. Der Aufstieg des Magmas ist nur dann möglich, wenn tektonische Kräfte in der Erdkruste wirken und ihm den Weg zur Erdoberfläche bahnen. Es ist schwierig, die Fülle der vulkanischen Erscheinungen und Vulkantypen in eine Systematik einzuordnen; folgende Übersicht kann daher nur richtungweisend sein.

Vulkantypen und Ausbruchsformen. Form und Ausbruchstätigkeit von Vulkanen hängen in erster Linie von der Zähflüssigkeit des geförderten Magmas und von der Form des Ausflußkanals ab. Man unterscheidet *Zentral-* oder *Schlotvulkane* mit röhrenförmigem Schlot und *Linearvulkane* mit oftmals kilometerlangen Ausbruchspalten. Vulkane entstehen entweder durch einen einmaligen Ausbruch (*monogene V.*) oder durch viele aneinandergereihte Eruptionen (*polygene V.*).

I. Punkteruptionen (Zentralvulkane)

1. *Lavavulkane*, weitgehend aus Ergüssen dünnflüssiger Lava von 1300 bis 1400 °C aufgebaut, sind die ruhigsten und größten Vulkane und werden nach ihrer Form *Schildvulkane* genannt. Die Böschungswinkel sind gering, etwa 3 bis 6°, zum Gipfel etwas steiler werdend. Der sog. *Islandtypus* erreicht bis etwa 1000 m Höhe. Viel ausgedehntere Flächen bedeckt der *Hawaiitypus*, der zu den größten vulkanischen Gebilden gehört. Die Krater dieser Vulkane sind flache Kessel (Calderen) mit steilen Rändern und befinden sich auf einem Gipfelplateau. Bisweilen sind sie mit einem Lavasee erfüllt.
2. *Gemischte Vulkane* setzen sich sowohl aus Laven als auch aus Lockermaterial zusammen. Monogene gemischte Vulkane sind sehr selten. *Strato-* oder *Schichtvulkane* (lat. *stratum*, das Ausgebreitete, die Schicht) sind die häufigste Erscheinungsform der heutigen gemischten Vulkane. Sie sind abwechselnd aus Lavaströmen und Lockermassen aufgebaut. In der einfachsten Form tritt der Schichtvulkan als Kegelberg mit dem Krater an der Spitze und konkaven Außenhängen auf.
   Bei der Tätigkeit der gemischten Zentralvulkane unterscheidet man Dauertätigkeit und Ausbruchstätigkeit.
   a) Die *Dauertätigkeit* ist durch lang andauernde Förderung vulkanischen Materials aus dem offenen Vulkanschlot gekennzeichnet. Hierbei strömt Dampf entweder in ruhiger oder rhythmischer Weise aus (exhalative Tätigkeit), oder es werden Schlacken und Laven ausgeworfen. Auch die Vorgänge im Lavasee gehören hierzu (ejektive Tätigkeit), oder es finden sog. langsame Ausbrüche statt, bei denen dünnflüssige Lava aus dem Gipfelkrater bzw. aus einer Spalte in der Bergflanke ausfließt (effusive Tätigkeit). Zähflüssige Lava führt zur Bildung von Staukuppen über der Schlotmündung oder von Felsnadeln, die aus dem Schlot gepreßt werden.
   b) *Ausbrüche* von Zentralvulkanen sind verschieden, je nachdem der Vulkanschlot offen oder verstopft ist. Bei offenem Schlot findet eine Auswurfstätigkeit und Lavaförderung sowohl aus dem Krater als auch aus aufgerissenen Bergflanken statt. Bei verstopftem Schlot und dünnflüssiger Lava ist die Tätigkeit nach Sprengung des Schlotes ähnlich der bei offenem Schlot. Ändert sich das vulkanische Material in seiner stofflichen Zusammensetzung während des Ausbruchs, so spricht man von *Plinianischen Ausbrüchen.* Ist die

Lava zähflüssig, dann erfolgen hochexplosive Ausbrüche von Bimsstein und Gasen, Lavablockauswürfe oder Glutwolkenausbrüche (*Peléanische Tätigkeit*). Durch Erstausbrüche bei Entstehung eines Vulkans werden bei dünnflüssiger Lava Schlacken und vulkanische Aschen gefördert. Bei kräftiger einmaliger Explosion entsteht ein Sprengtrichter mit Ringwall, der sich mit Grundwasser füllt (*Maarbildung*). Bei zähflüssigem Magma werden Bimssteine ausgeworfen, wobei auch Lava gefördert werden kann. Kommt Wasser (Grund- oder Meerwasser) mit glühendem Magma zusammen, so werden Wasserdampfexplosionen verursacht (*Phreatische Ausbrüche.*)

II. Linearvulkane, Spalteneruptionen

1. *Dünnflüssige Laven.* Nach dem Aufreißen der Spalte kommt es zu Explosionen mit Aschenauswürfen und Bildung eines Schlackenwalls. Die anschließend ausfließende dünnflüssige Lava durchbricht den Wall und ergießt sich auf weite Flächen. Bei Verlängerung der Spalte treten dieselben Erscheinungen, wie Explosionen und Lavaausfluß, auf. Oftmals konzentriert sich die Auswurfstätigkeit an einzelnen Stellen der Eruptionsspalte, wo gewissermaßen kleine Vulkane entstehen. Häufig wird beobachtet, daß an beiden Spaltenenden Lockermassen, in der Mitte Lava und an den Übergangsstellen Schlacken gefördert werden. Die Spalte tritt morphologisch im Gelände in Erscheinung; Beispiel: Laki-Spalte (Island) 25 km lang; sie förderte etwa 12 km³ Lava und 3 km³ Lockermaterial. Während der $4^1/_2$ Monate dauernden Ausbruchsperiode wurden 565 km² Land von Lava bedeckt. Aus der Spalte von Dekkan Trapp (Indien) fließende Lava bildete eine Decke von 300000 km² Fläche.
2. *Zähflüssige Magmen.* Bei zähflüssigen Magmen entstehen Bimssteinausbrüche, oder es brechen Glutwolken aus, deren abgesetztes Material verschweißte Tuffe (*Ignimbrit*) bildet.

III. Nachvulkanische Erscheinungen sind gekennzeichnet durch diffuse (ungeordnete) Dauertätigkeit, Ausströmen von heißem Wasser oder Dämpfen und Gasen aus Klüften und engen Kanälen in vulkanischen Gebieten.

1. *Fumarolen* (lat. *fumus*, Rauch, Dampf, Dunst)
   bis 650 °C mit Schwefelsäure, bis 900 °C mit Salzsäure, Wasserdampf (90 %), H_2SO_3 (S-Verbindungen) und HCl, in der Nähe Mineralneubildungen (leuchtende Beschläge); Eisenglimmer und Steinsalz.
2. *Solfataren* und *Soffionen* (ital. *solfatara*, Schwefelgrube)
   90 bis 300 °C, Wasserdampf, Kohlendioxyd, Schwefelwasserstoff; Absätze von sublimiertem Schwefel, Salmiak und Borverbindungen; Umsetzungen von Kalk in Gips in der Nähe der Solfataren; hierzu gehören auch die Dampfquellen von Lardarello in der Toskana, die zu technischen Zwecken ausgenutzt werden. Aus mehr als 100 Bohrlöchern werden jährlich 26 Millionen Tonnen Dampf gewonnen und damit in mehreren Kraftwerken etwa 2 Milliarden Kilowattstunden jährlich erzeugt.
3. *Mofetten* (ital. *mofeta*, Ausdünstung)
   30 bis 100 °C, Wasserdampf mit Kohlendioxydgehalt.
4. *Geysire* und *Thermalquellen*
   Geysire sind *heiße* (thermale) Quellen mit *periodisch* eintretenden gewaltsamen Ausbrüchen von Wasser- und Dampfmassen. Das klassische Land der Thermen und Springquellen ist Island. 3500 Thermen weist der Yellowstone Park (USA) auf. Das dritte große Geysirland ist die Nordinsel von Neuseeland. Kleinere Geysire sind auf den Azoren, in Mexiko, Chile, Kalifornien, der Halbinsel Kamtschatka, Japan und am Tengri-nor in Tibet tätig.

   Großer Geysir (Island). Alle 80 bis 90 Minuten kleine Ausbrüche, alle 24 bis 30 Stunden große Ausbrüche bis 70 m Höhe. Seit 1916 nicht mehr tätig.
   Excelsior (Yellowstone Park, USA). Ausbrüche nur in der kalten Jahreszeit.
   Old Faithful (Yellowstone Park, USA). Alle 65 bis 70 Minuten Ausbrüche.
   Waimangu (Neuseeland). 1899 bis 1904 starke Ausbrüche bis zu 150 m Höhe; seitdem nur selten und unregelmäßig.

BERÜHMTE THERMEN EUROPAS

in °C

Ems	47,5	Burtscheid (bei Aachen)	78
Gastein	49	Pisciarelli (bei Neapel)	84
Teplice	49	Abano (bei Padua)	84,5
Leukerbad (Kanton Wallis)	51	Nerobäder (bei Neapel)	86
Aachen	55	Chaudesaigues (Auvergne)	88
Mehadia (Rumänien)	55	Gurgitella (auf Ischia, Golf von Neapel)	90
Ofen (Budapest)	61	Liparen-Bäder (Liparische Inseln)	97···100
Baden-Baden	67	Soffioni (Toskana), einzige Dampfquelle (Fumarole) Europas	100
Wiesbaden	69		
Karlovy Vary	74		

Erläuterung. Thermen sind heiße Quellen von mehr als 20 °C, die mit vulkanischen Herden in Zusammenhang stehen oder auch aus großen Erdtiefen emporsteigen (s. a. *geothermische Tiefenstufe*).

DIE WICHTIGSTEN TÄTIGEN VULKANE DER ERDE

Vulkan	Lage	Höhe in m	Bemerkungen
		Mittelmeergebiet	
Vesuv	Golf von Neapel	1270	seit 79 u. Z. explosiv; seit 17. Jh. häufig tätig
Stromboli	Liparische Inseln	926	explosiv; ständig tätig; geringe Dampfentwicklung
Vulcano	Liparische Inseln	500	erster geschichtlicher Ausbruch 330 v. u. Z.; von ihm der Name für die „Feuerberge" (Vulkane)
Ätna	Sizilien	3263	explosiv und effusiv; seit 17. Jh. häufig tätig
Santorin (Kaimeni)	Insel der Kykladen	128	wiederholte Staukuppen- und Inselbildungen, Vulkanruine
		Atlantischer Ozean	
Hekla	Island	1557	größeres Vulkangebiet mit mehreren Kratern unter dem Eis; Gletscherläufe durch Schmelzprozesse
Oraefa Jökull	Island	2119	
Askja	Island	698	leichte Ausbrüche von Lockermassen in kürzeren, starke in längeren Zwischenräumen
Pico de Teyde	Teneriffa	3718	Zentralkegel mit mehreren Ausbruchsöffnungen
Mont Pelé	Martinique	1350	mit Glutwolken (1902) und Felsnadel
Soufrière	St. Vincent	1484	1902 starke Ausbrüche fast gleichzeitig mit dem Mont Pelé; wiederholt zurückfallende Glutwolken
		Afrikanisches Festland	
Niragongo	am Zentralafrikanischen Graben	3454	1899 und 1900 bis 1920 tätig
Namlagira	Zentralafrikanischer Graben	3052	mit Seitenkratern; Nebenkrater im Kiwusee
Fako	Kamerunberg	4070	Lava dringt zeitweise bis zum Meer vor
		Indischer Ozean	
Piton de la Fournaise	Réunion (Maskarenen)	2515	in Abständen langdauernd tätig
		Stiller Ozean	
Mauna Loa	Hawaii	4168	starke Lavaergüsse
Kilauea	Hawaii	1235	mit Lavasee und Glutwolkenexplosionen
		Westliche Umrandung des Stillen Ozeans	
Kljutschewskaja-Sopka	Kamtschatka	4850	die Ausbrüche beider Vulkane wechseln miteinander ab
Schiwelutsch	Kamtschatka	3335	
Kurilen	—	—	zahlreiche Vulkane
Asama	Hondo (Japan)	2480	explosiv, häufige Ausbrüche
Aso	Kiuschu (Japan)	1690	explosiver Ringvulkan mit riesigem Kraterkessel (Caldera)
Kirishima	Kiuschu	1762	explosiver Vulkan
Sakurashima	Kiuschu	1120	explosiv mit Glutwolken, weist die Höchstzahl an Ausbrüchen 1. Größe auf (1779 und 1914)
Urakas	Marianen	317	seit langem dauernd tätig

Vulkan	Lage	Höhe in m	Bemerkungen
Gunung Awu	Sangiinseln (südlich der Philippinen)	1860	explosiv mit Gasausbrüchen
Merapi	Djawa	2875	häufig tätig; Lava, Steinlawinen, Schlammströme
Krakatau	zwischen Sumatera und Djawa	832	Inselvulkan, der 1883 in furchtbarer Explosion größtenteils zerstört wurde
Semeru	Djawa	3676	zeitweise lang anhaltend tätig
Bromo	Djawa	2397	häufig tätig; Asche, Steine und Gase
Lamongan	Djawa	1664	Vulkan mit 53 kleinen Kratern und Kegeln; explosiv und Lavaergüsse
	Südliche Umrandung des Stillen Ozeans		
Erebus	Süd-Viktoria-Land (Antarktika)	4070	vermutlich ständig tätig; Rauch, Asche, Bimsstein
	Nördliche Umrandung des Stillen Ozeans		
Alëuten	Alaska	—	zahlreiche Vulkane
Katmai	Alaska	2286	nach langen Ruhepausen Austritt großer Lockermassen; nach dem Ausbruch 1912 ein 52 km langes Tal mit 10000 Rauchstellen
	Östliche Umrandung des Stillen Ozeans		
Colima	Mexiko	3658	leichte Explosionen mit Glutwolken
Jorullo	Mexiko	1220	Glutwolken, Schlammströme
Popocatepetl	Mexiko	5452	explosiv in größeren Zwischenräumen
Cotopaxi	Ecuador	5896	Aschen- und Sandregen; Abschmelzen des Firnmantels, Hochwasser und Schlammströme
Sangay	Ecuador	5410	ständig tätig mit hohen Ausbruchswolken

Die ständig tätigen Vulkane

Stromboli (Liparische Inseln)	Tanna (Neue Hebriden)
Komba (Kleine Sundainseln)	Izalco (El Salvador)
Tinakula (Santa-Cruz-Inseln	Sangay (Ecuador)
Ambrym (Neue Hebriden)	Erebus (Antarktika)

Anmerkung. Als *tätig* bezeichnet man nach *Sapper* diejenigen Vulkane, die in geschichtlicher Zeit einen Ausbruch gehabt haben. Danach gibt es auf der Erde etwa 450 tätige Vulkane. Die Zahl der *ständig tätigen* Vulkane, deren Tätigkeit oft nur durch Pausen von einigen Stunden unterbrochen wird, ist gering. Die *Häufigkeit der Ausbrüche* ist am größten im mittelmeerischen, indonesischen und melanesischen Gebiet.

Stärkste Lavaförderung zeigten im 19. Jahrhundert: Ätna, Namlagira, Kartala (auf den Komoren, Indischer Ozean), Piton de la Fournaise, Mauna Loa und Kljutschewskaja-Sopka.

Bemerkenswerte Vulkankatastrophen

Vulkan	Jahr	Zahl der Todesopfer	Ursache
Kelut (Djawa)	1586	10000	Schlammströme des Kratersees
Unzen-dake (Kiuschu)	1792	10452	Schlammströme und Flutwelle
Tambora (Sundainseln)	1815	56000	Explosion großer Gesteinsmassen
Krakatau (Sundainseln)	1883	36417	Flutwelle
Mont Pelé (Martinique)	1902	29000	Glutwolke

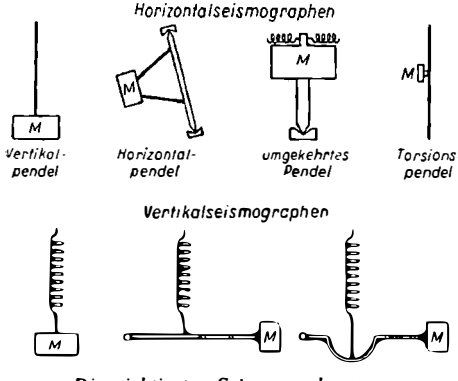
Bemerkenswerte Daten der Entwicklung des Vesuvs. (Lage 40° 49′ nördlicher Breite 14° 26′ östlicher Länge — Höhe 1270 m —Kraterdurchmesser 650 m)

In vorgeschichtlicher Zeit	stellt der Vulkan einen Kegelberg mit weitem Gipfelkrater dar. Im Krater entsteht durch Dauertätigkeit ein zentraler Kegel, der allmählich so anwächst, daß im 8. Jahrhundert v. u. Z. der Vulkan einen einheitlichen Kegelberg von etwa 3000 m Höhe bildet.
Gegen Ende des 8. Jahrhunderts v. u. Z.	wird die Dauertätigkeit mit einer gewaltigen Explosion abgeschlossen. Der hierdurch gebildete Krater wird im Laufe der Zeit durch abstürzendes Material ausgefüllt. Der Berg hat nun die Form eines abgestumpften Kegels.
79 u. Z.	überraschender Ausbruch. Unter Asche oder Lava werden Pompeji, Herkulan(e)um und Stabiä verschüttet. In Pompeji hat man bisher 2000 Tote ausgegraben.
Bis zum 12. Jh.	eruptiver Zustand des Vesuvs. Mindestens 11 beachtliche Ausbrüche finden in diesem Zeitraume statt.
12.—17. Jh.	lange Ruhepause. Im Krater befindet sich ein Wald mit alten Bäumen. Die Hänge des Berges sind mit Vegetation bedeckt.
1631	großer Ausbruch. 60 Ortschaften werden von Lava, 10 von Schlammströmen, 8 von Steinen und Aschen verschüttet. 4000 Menschen verlieren ihr Leben. Der Gipfel stürzt ein; der Berg wird um 170 m niedriger.
1712 bis zur Gegenwart	der Berg ist beständig mit einer tätigen Lavamasse geladen, was nach Ruhepausen von 2 bis 7 Jahren zu mehr oder weniger starken Ausbrüchen führt.
1779	nach starker Explosion Aufstieg einer Feuerfontäne, deren Stein- und Aschenregen auf Ottajano niedergeht.
1794	nach einem Erdbeben öffnet sich der Berg in seinem unteren Teil. Die Lava stößt mit starker Gewalt hervor und begräbt Torre del Greco unter sich. Auf andere Ortschaften wirken Schlammströme vernichtend.
1822	einer der staubreichsten Ausbrüche des Vesuvs. Verheerende Schlammströme senken sich herab. Der Berg wird um 200 m niedriger.
1906	letzter großer Ausbruch; 13 km hohe Dampfsäule; Verheerungen durch Lockermaterial und Schlammströme. Der Berg wird um 100 m niedriger; der Krater erweitert sich von 60 auf 650 m.

ERDBEBEN

Die *Seismologie* (Erdbebenforschung; griech. *seismos*, Erdbeben) ist eines der Arbeitsgebiete der Geophysik, die sich mit der wissenschaftlichen Erforschung der im Erdkörper, in der Wasserhülle und in der Atmosphäre sich abspielenden physikalischen Erscheinungen befaßt.

Erdbeben sind natürliche Erschütterungen des Erdbodens, die durch Freiwerden von Energie in der Erdkruste entstehen. Sie sind Begleiterscheinungen der heute noch wirkenden gebirgsbildenden Vorgänge. Bewegungsvorgänge in einem tiefgelegenen Herd oder *Hypozentrum* (griech. *hypo*, darunter, unterhalb; lat. *centrum*, Mittelpunkt) lösen Erschütterungswellen aus, die sich nach allen Seiten sowohl räumlich als auch auf der Erdoberfläche fortpflanzen. Am stärksten wird der senkrecht über dem Herd gelegene Punkt, das sog. *Epizentrum* (griech. *epi*, über) erschüttert. Verbindet man im Gebiet fühlbarer Erschütterungen, dem sog. *makroseismischen* Bereich, Orte gleicher Bebenintensität, so erhält man *Isoseisten*, d. h. Linien, die annähernd konzentrisch das Epizentrum umschließen.

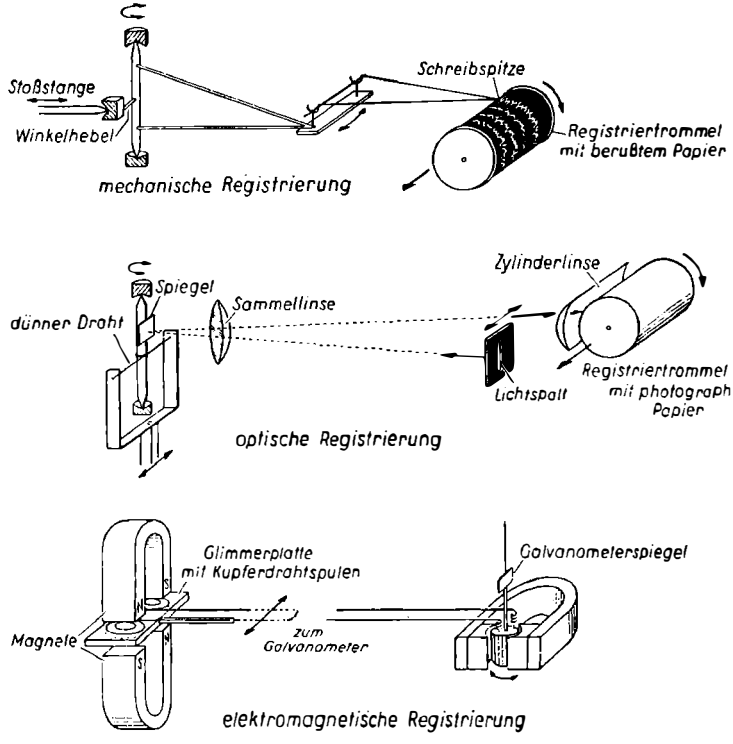


Die wichtigsten Seismographentypen

In noch größerer Entfernung bzw. außerhalb des makroseismischen Schüttergebietes werden die Wellen nur noch von *Seismographen* (griech. *graphein*, schreiben) registriert. Das Prinzip eines Seismographen besteht darin, daß die relativen Lageveränderungen zwischen einer schweren, z. B. pendelnd aufgehängten Masse (M) und dem Traggestell durch geeignete Übertragungseinrichtungen aufgezeichnet werden.

Zwei solcher Horizontalseismographen erfassen die N-S- bzw. O-W-Bewegungen, während ein Vertikalseismograph (von einer federnd aufgehängten Masse dargestellt) die senkrechten Bewegungen des Bodens aufzeichnet.

Je nach der Art der Registrierung unterscheidet man *mechanisch registrierende*, auf berußtem Papier schreibende Seismographen, *optisch registrierende*, bei denen das zur Übertragung der Bewegung dienende Hebelsystem durch einen Lichtzeiger ersetzt wird, und die sog. *elektrodynamischen Seismographen*, die zur Übertragung eine Spule im Magnetfeld benutzen. Die in der Spule induzierten Ströme bewegen den Spiegel eines Galvanometers und damit einen Lichtzeiger.



Arten der Registrierung

Erdbebenwarte. Die Erdbebenwarte soll möglichst auf kristallinem Fels gegründet sein, um die natürliche Unruhe des Bodens infolge Meeresbrandung und meteorologischer Einflüsse klein zu halten. Die Nähe von großen Städten und Industrieanlagen ist wegen der hierdurch hervorgerufenen störenden Erschütterungen zu vermeiden. Neben den Räumen für die Aufstellung der Instrumente werden Einrichtungen zur Vorbereitung und Entwicklung der Registrierstreifen benötigt. Um die Eintrittszeiten der einzelnen Wellengruppen zeitlich festlegen zu können, werden durch eine elektrische Kontaktuhr auf dem Registrierstreifen *Zeitmarken* aufgezeichnet. Die hierfür benötigte Uhr muß von großer Ganggenauigkeit sein und täglich kontrolliert werden. Zur Vermeidung von größeren Temperaturschwankungen werden die Apparateräume häufig unterirdisch angelegt. Bei erhöhten Ansprüchen sorgt eine Klimaanlage für gleichbleibende Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

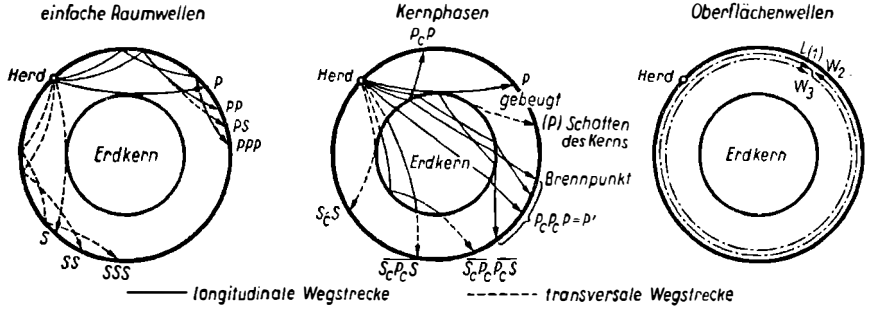
Der Seismograph registriert der Reihe nach:

1. *P*-Wellen (*undae primae*, erste Vorläufer), Longitudinal- oder Verdichtungswellen (Bodenteilchen schwingen in Fortpflanzungsrichtung), Geschwindigkeit 8 bis 13,5 km/s im Erdinnern.
2. *S*-Wellen (*undae secundae*, zweite Vorläufer), Transversal- oder Scherungswellen (Bodenteilchen schwingen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung), Geschwindigkeit 4,4 bis 7,5 km/s.
3. *L*-Wellen (*undae longae*), Hauptwellen, Oberflächenwellen verschiedenen Charakters, nämlich *Rayleigh-Wellen*, bei denen die Bodenteilchen sich auf elliptischen Bahnen bewegen oder Querschwingungen, die horizontal, und zwar senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingen. Die Geschwindigkeit der Rayleigh-Wellen beträgt etwa $^9/_{10}$ der Geschwindigkeit der Scherungswellen an der Oberfläche, die der Querschwingungen liegt zwischen der Oberflächengeschwindigkeit von Scherungswellen unter der Oberfläche und der in größerer Tiefe.

Diese Wellenregistration ermöglicht es u. a., mit Hilfe der „*Laska*schen Faustregel" die Entfernung des Bebenherdes überschlägig zu messen.

*Laska*sche Faustregel: $(S-P) - 1 = \Delta$
S Zeit des Einsatzes der S-Wellen
P Zeit des Einsatzes der P-Wellen
Δ Entfernung des Erdbebens in Megametern.

Infolge der Krümmung der Erdoberfläche müssen die vom Herd ausgehenden Wellen in mehr oder weniger großer Entfernung an die Erdoberfläche gelangen. Hier werden sie zurückgeworfen und wandern weiter. Einmal *reflektierte* Wellen werden durch Verdoppelung des Buchstabens gekennzeichnet, z. B. bedeuten *PP* eine einmal reflektierte Verdichtungswelle. Es kommt vor, daß bei Reflexion die Wellennatur geändert wird, z. B. kann sich die ankommende Verdichtungswelle in eine Verdichtungswelle und eine Scherungswelle aufspalten (*PS*), ebenso kann sich eine Scherungswelle in eine Scherungs- und eine Verdichtungswelle aufteilen. Man nennt derartige Wellen, die ihren Charakter bei der Reflexion ändern, *Wechselwellen*. Im Erdinnern laufen die Wellen auf gekrümmten Bahnen. An der Grenze des Erdkerns in 2900 km Tiefe können die Erdbebenwellen zurückgeworfen und gebrochen werden (*Kernphasen*). Solche Wellen werden mit dem Buchstaben *c* bezeichnet. Die Oberflächenwellen pflanzen sich längs der Erdoberfläche fort. Für jeden Beobachtungspunkt auf der Erdoberfläche gibt es einen nahen und einen weiten Wellenweg. Wellen, die auf dem weiten Weg zum Beobachtungspunkt gelaufen sind oder die Erde mehrfach umkreist haben, nennt man *Wiederkehrwellen* und bezeichnet sie mit dem Buchstaben *W*.



Die Wege der Erdbebenwellen

Ursachen der Erdbeben. Man unterscheidet:

1. *tektonische Beben* etwa 90% aller Beben; auf tektonische Spannungen in der Erdrinde zurückzuführen; an Gebirgsbildungsprozesse gebunden; sie entstehen, wenn Erdkrustenteile über ihre Festigkeitsgrenze mechanisch beansprucht werden. Durch das Aufreißen eines Bruches oder durch die Reibung an den Schollenrändern werden Erschütterungen ausgelöst; Groß- und Weltbeben sind ausschließlich tektonischen Ursprungs;
2. *vulkanische Beben* etwa 7% aller Beben; bei Vulkanausbrüchen auftretend; örtlich u. U. sehr heftig, haben im allgemeinen nur sehr geringe Reichweite; große Explosionskatastrophen verursachen ähnliche Erschütterungen;
3. *Einsturzbeben* etwa 3% aller Beben; auf Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume zurückzuführen; Einsturz von Auslaugungshöhlen; selten wird die Stärke eines Mittelbebens erreicht; verwandte Erscheinungen sind die in Bergwerken auftretenden Gebirgsschläge.

Häufigkeit der Erdbeben. Jährlich treten auf der Erde, abgesehen von zahlreichen schwachen Erdstößen, über 10000 Erdbeben aller Art auf, d. h. eins alle $^3/_4$ Stunden; davon sind

6000 makroseismische Beben	alle	$1^1/_4$	Stunden auftretend
4000 registrierte auswertbare Erdbeben	alle	$2^1/_4$	Stunden auftretend
145 zerstörende Beben	alle	$2^1/_2$	Tage auftretend
73 Festlandsbeben	alle	5	Tage auftretend
90 Seebeben	alle	4	Tage auftretend
21 Großbeben	alle	17	Tage auftretend
2 Weltbeben	alle	183	Tage auftretend

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen in Gesteinen

Gesteine	m/s
kristalline Gesteine	5000···5600
Kalkstein	4300
Salz	4200···5500
Gips und Tonschiefer	3500 (parallel zur Schieferung ist die Geschwindigkeit größer)
Sandstein	2500
Ton und Mergel	1800
Wasser	1460
Kies und Sand	600···800
Löß	330···370
Torf	200

Stärke der Erdbeben. Neben der Energie der Erdbeben und der Entfernung der Erdbebenherde hängt die örtliche Stärke der Erdbeben vor allem von der Beschaffenheit des Untergrundes ab. Lockerböden bewirken gegenüber festem Fels eine Steigerung der Erschütterungsstärke. Bei festem Gestein ist der Grad der Verwitterung von Einfluß auf die Bebenstärke. Mit Hilfe der zwölfteiligen Skale von *Mercalli-Cancani-Sieberg* (MCS) kann die Stärke eines Erdbebens auch ohne Seismographen gemessen werden. Nach den Stufen der hervorgerufenen Schäden und Zerstörungen unterscheidet man:

MCS-Grad	Beschleunigung der Bodenbewegung in mm/s²	Kennzeichen
1	kleiner als 2,5	*unmerklich*, nur instrumentell nachweisbar
2	2,5···5,0	*sehr leicht*, von einzelnen Personen in oberen Stockwerken (verspürt)
3	5···10	*leicht*, von wenigen in Häusern (verspürt)
4	10···25	*mäßig*, zahlreich in Häusern, vereinzelt im Freien (verspürt)
5	25···50	*ziemlich stark*, allgemeines Erwachen Schlafender, Pendeln frei hängender Gegenstände
6	50···100	*stark*, Anschlagen der Glocken in Kirchtürmen, Möbel geraten in Bewegung, Umfallen größerer Gegenstände, Risse im Verputz von Häusern
7	100···250	*sehr stark*, Abgleiten von Dachziegeln, Einsturz von Schornsteinen
8	250···500	*zerstörend*, Zerstörungen größerer Gebäudeteile an mehr als einem Viertel aller Steingebäude
9	500···1000	*verwüstend*, Zerstörungen größerer Gebäudeteile an mehr als der Hälfte aller Steingebäude
10	1000···2500	*vernichtend*, Zerstörungen an allen Steingebäuden, Verbiegen von Eisenbahnschienen, Risse im Pflaster und Asphalt, Bodenrisse und Rutschungen
11	2500···5000	*Katastrophe*, Einsturz sämtlicher Steingebäude; im Erdboden umfangreiche Veränderungen, Risse, Spalten, Erdrutsche, Felsstürze
12	über 5000	*große Katastrophe*, Einsturz sämtlicher Bauwerke jeglicher Bauart bis auf die Fundamente, Umgestaltung des Bodens in größtem Ausmaß. Wasserläufe werden abgelenkt, Seen werden aufgestaut oder laufen aus, Wasserfälle entstehen usw.

In neuerer Zeit wurde eine instrumentelle Klassifizierung der Erdbeben durch *Gutenberg* und *Richter* geschaffen, die sog. *Magnitudenskale*. Die Magnitude M wird nach der maximalen Geschwindigkeit der Bodenbewegung aus den Seismogrammen berechnet. Diese Skale besitzt 9 Stufen mit logarithmischem Charakter. Inhaltlich stimmt die Magnitude mit dem auf der Genfer Atomexpertenkonferenz für die Bemessung der Größe von Atomexplosionen geprägten Ausdruck „*Seismische Einheit*" überein

Einteilung der Erdbeben. Von den eigentlichen Erdbebenerschütterungen ist die seismische Bodenunruhe zu trennen, die entweder natürlicher oder künstlicher Art sein kann. Schon die Wucht der Meeresbrandung, eine Explosion oder — was selten vorkommt — der Aufprall eines großen niederstürzenden Meteors werden vom Seismographen bis auf weite Entfernungen registriert.

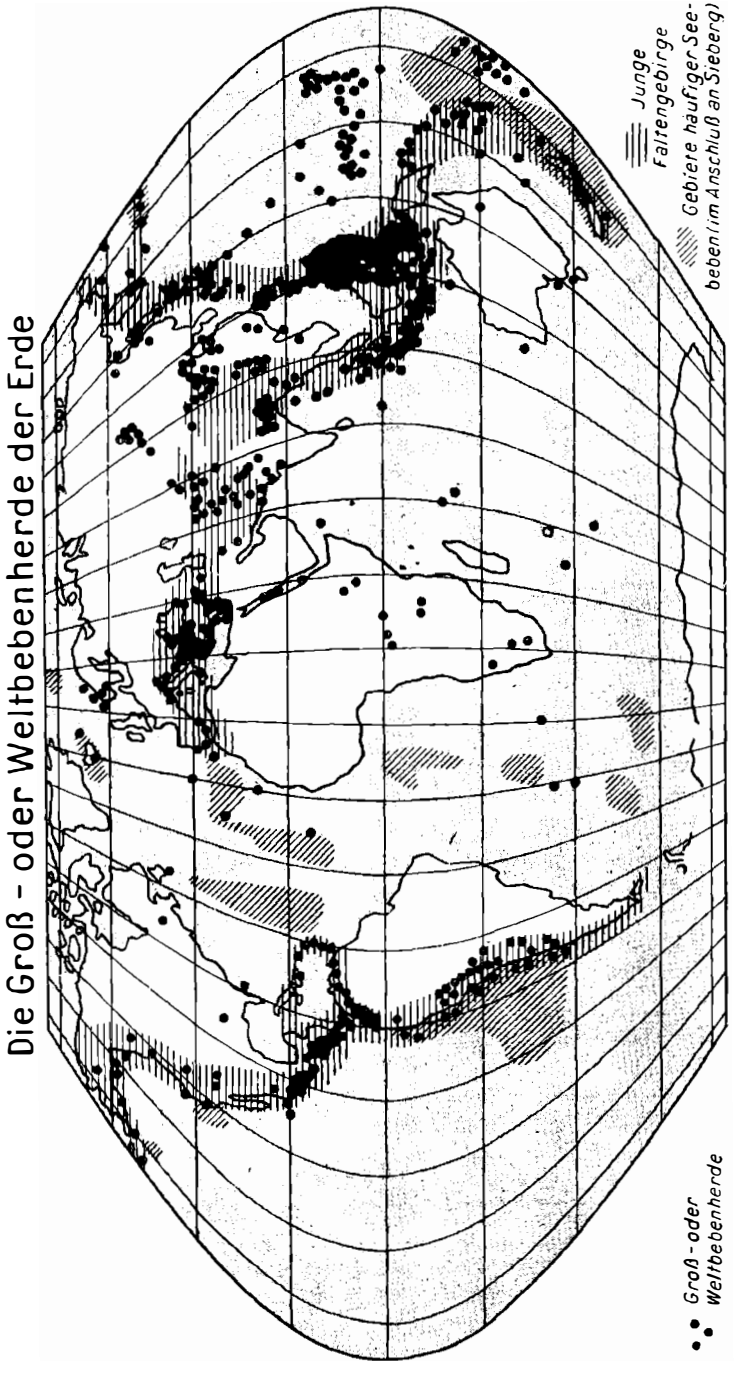
Im übrigen unterscheidet man:

1. nach der *Meßbarkeit* mit Instrumenten
   mikroseismische Bewegungen (nur mit Instrumenten meßbare Beben)
   makroseismische Bewegungen (mikroseismisch und mit den Sinnen wahrnehmbare Beben)
2. nach der *Stärke* und *Reichweite* der Erdbeben
   Weltbeben
   Großbeben
   Mittelbeben
   Lokal- oder Kleinbeben
3. nach der *Herdtiefe* (nach *Gutenberg* 3 Stufen)
   flache Beben (Herdtiefe 0 bis 60 km)
   mitteltiefe Beben (Herdtiefe 60 bis 300 km)
   Tiefbeben (Herdtiefe 300 bis 720 km, meist im zirkumpazifischen Raum)

Klasse	Reichweite in km		Seismogramme in äußerster mikroseismischer Reichweite	Bebenstärke am Epizentrum (*Merkalli-Sieberg*-Skale) Grad	Herd	
	mikroseismisch	makroseismisch			Tiefenlage	Energie, Magnitude M (nach *Gutenberg-Richter*-Skale)
1. Lokalbeben	unter 500	unter 200	Ortsbeben od. Nahbeben	unter VI	flach oder unmittelbar unter der Erdoberfläche	0···3
2. Kleinbeben	500 ··· 2000	unter 400	Nahbeben od. mittelweites Beben	VII···X	flach	3···5
3. Kleinbeben	2000 ··· 5000	unter 600	mittelweites Beben	VI···VIII	tief	5···7
4. Mittelbeben	5000 ··· 10000	300··· 1000	Fernbeben	VII···X	aus beträchtlicher Tiefe bis nahe an die Erdoberfläche reichend	5···7
5. Großbeben	10000 ··· 18000	über 500	weites Fernbeben	VIII···XII	sehr tief	7···9
6. Weltbeben	18000 ··· 20000	1000··· 2000	weites Fernbeben	X···XII	aus sehr großer Tiefe bis nahe an die Erdoberfläche reichend	7···9

Verteilung der Erdbeben auf die Kontinente und Weltmeere

Kontinent bzw. Ozean	Anzahl der Weltbeben M = 7,9 und größer 1904 bis 1946	Anzahl der Großbeben M = 7 und größer 1904 bis 1946	Anzahl der Großbeben M = 7 und größer je Jahr
Asien	15	78	1,86
Pazifischer Ozean	73	471	11,2
Südamerika	14	60	1,43
Indischer Ozean	5	51	1,21
Atlantischer Ozean	2	24	0,57
Nordamerika	2	20	0,48
Afrika	—	3	0,07
Mittelamerika und Westindien	13	34	0,81
Europa	2	10	0,24
Australien	—	—	—


Die Groß - oder Weltbebenherde der Erde
Junge Faltengebirge
Gebiete häufiger Seebeben (im Anschluß an Sieberg)
Groß - oder Weltbebenherde

Seismische Wogen. Ein großer Teil der Erdbebenherde liegt unter den Weltmeeren, daher werden auf offener See gelegentlich *Seebeben* als Vertikalstöße gegen den Schiffskörper verspürt. Weitaus schrecklicher sind die seismischen Wogen oder Tunami (japan. *Tu*, Hafen, *nami*, lange Welle), die als Begleiterscheinungen von Erdbeben unterseeischer Herde auftreten. Sie bilden eine Serie von 3 bis 7 Riesenwellen, die mit Geschwindigkeiten von rund 200 m/s (abhängig von der Wassertiefe) ganze Ozeane durcheilen. Ihre Höhe auf offener See beträgt nur wenige Meter, steigert sich aber durch Aufstau in geringer Wassertiefe an den Küsten beträchtlich. Die Steilheit der Welle nimmt infolge der Reibung am Boden immer mehr zu, sie verwandelt sich in eine Wasserwand, wobei Höhen bis zu 40 m beobachtet wurden. Eine solche Welle richtet infolge ihrer Geschwindigkeit gewaltige Verheerungen an.

Erdbebengebiete Europas

Zahl der jährlichen Beben	Länder
10···20	Schottland (Ochil Hills), Bristol- und Ärmelkanal, Provence
20···30	Deutsche Mittelgebirgsländer, Sächsisches Grenzgebiet, Rhône-Visp-Tal, Montblanc-Gebiet, Ortler, Oberrheintal (Basel, Straßburg, Schwarzwald), Rheinisches Schiefergebirge, Grabenbruch des Bodensees
30···40	Norwegische Fjordküste (Oslofjord), Pyrenäen (Pic du Midi)
40···50	Balkangebirge
50···60	Tejomündung (Lissabon), Barcelona, Valencia, Granada, Almeria
100	Südliche Kalkalpen, Kalabrien, Straße von Messina und Golf von Santa Eufemia (die beiden Weltbebenherde Europas, die 1905 und 1908 tätig waren)
150	Thrakien (Strumagraben, Ochridasee), Ionische Inseln
180	Golf von Genua
200	Dinarische Alpen (Shkodrasee)

Erdbebenfrei oder *arm an Erschütterungen* sind der Osten und z. T. der Nordosten sowie das west- und mitteleuropäische Schollenland. *Erdbebenreich* sind die Randgebiete und besonders die Halbinseln des Mittelmeeres als emporgepreßte oder stehengebliebene Horste.

Starke Erdbeben in den letzten 200 Jahren

1. 11. 1755	Lissabon	32000 Tote	25. 1. 1939	Chillan (Chile)	10000 Tote
5. 2. 1783	Kalabrien und NO-Sizilien	30000 Tote	26. 12. 1939	Ersingjan (Anatolien)	45000 Tote
26. 3. 1812	Caracas	12000 Tote	21. 12. 1946	Shikoku (Japan)	? Tote
28. 7. 1883	Ischia	2300 Tote	5. 8. 1949	Tunguragua (Ecuador)	10000 Tote
28. 10. 1891	Mino Owari (Japan)	25000 Tote	15. 8. 1950	Assam (Indien) und Tibet	? Tote
4. 4. 1905	Kangra (Indien)	20000 Tote	29. 2. 1960	Agadir (Marokko)	12000 Tote
18. 4. 1906	San Francisco	1500 Tote	21. 5. 1960	Concepcion (Chile)	7000 Tote
28. 12. 1908	Messina	83000 Tote	1. 9. 1962	Iran	10000 Tote
16. 12. 1920	Kansu (China)	20000 Tote			
1. 9. 1923	Yokohama/Tokio	200000 Tote			

VII. Die Lufthülle der Erde

SCHICHTEN DER ATMOSPHÄRE

Troposphäre (Zone der Wettererscheinungen)	0···12	km
Stratosphäre (wolkenfreie Zone ohne sichtbare Wettererscheinungen)	12···40	km
Mesosphäre	40···80	km
Ionosphäre oder *Thermosphäre*	80···400	km
Exosphäre ab	400	km
1. *van Allenscher Strahlungsgürtel*	900···5500	km
2. *Strahlungsgürtel* etwa	13000···19000	km

In der Ionosphäre unterscheidet man *D*-Schicht, *E*-Schicht (*Kennelly-Heaviside-Schicht*) und *F*-Schicht (*Appletonschicht*). Diese Schichten enthalten ionisierte Gasmoleküle und sind für den Kurzwellenfunkverkehr bedeutsam.
Die Grenze zwischen Troposphäre und Stratosphäre schwankt. Die Übergangszone heißt *Tropopause*. Sie liegt in unseren Breiten im März am tiefsten (9,7 km), im Juli am höchsten (11,1 km); an den Polen liegt sie bei 10 km und am Äquator bei 17 km.
Durch die in den letzten Jahren geförderten Raketen- und Satellitenforschungen (Internationales Geophysikalisches Jahr) sind wesentliche Erkenntnisse über die Hochatmosphäre gewonnen worden. Es war möglich, die genaue Dichte der Hochatmosphäre zu bestimmen, Aussagen über die Gaszusammensetzung, über Ladungen und Strahlungen zu machen. Dabei kam es zur Entdeckung der beiden kosmischen Strahlungsgürtel, die an das erdmagnetische Feld gebunden sind und vor allen Dingen von der Sonne stammende Protonen enthalten. Auch die von der Sonne gelieferte UV-Strahlung erwies sich als viel energiereicher als früher angenommen wurde.

Künftiger Wert der Sputniks und Satelliten. Neben der Überwachung der Strahlungen und elektrischen Erscheinungen der Hochatmosphäre ist beabsichtigt, regelmäßig Photographien der Verteilung der Wolkenfelder zum Zwecke der Langfristprognose zu gewinnen, Beobachtungen der Packeiszone und Eisbergdriften zu machen, fernerhin neue Möglichkeiten der Navigation zu erkunden, u. U. Fernsehrelaisstationen einzurichten. Ende September 1961 kreisten 45 künstliche Satelliten um die Erde, die von einem internationalen Beobachtungsdienst von 450 Stationen laufend registriert werden. In der DDR sind daran beteiligt Potsdam, Kühlungsborn, Sonneberg, Jena, Babelsberg.

Die Wolken der Troposphäre. Neben den drei Hauptgruppen der Wolken gibt es zahlreiche Zwischenstufen und Übergänge;

tiefe Wolken:		
Regenwolke (*Nimbus*)	0,05···2	km
niedere Schichtwolke (*Stratus*)	0,5···2	km
Haufenschichtwolke (*Stratokumulus*)	0,2···3	km
mittelhohe Wolken:		
mittlere Schichtwolke (*Altostratus*)	3···6	km
grobe Schäfchen (*Altokumulus*)	6···7	km
hohe Wolken:		
feine Schäfchen (*Zirrokumulus*)	6···7	km
Schleierwolke (*Zirrostratus*)	7···9	km
Federwolken (*Zirrus*)	9···11	km
Wolken mit vertikalem Aufbau in mehreren Höhenstufen zugleich:		
Haufenwolken (*Kumulus, Kumulonimbus*)	0,5···9	km
Bemerkenswerte Erscheinungen in Stratosphäre und Ionosphäre:		
„leuchtende Nachtwolken" (nicht durch Kondensation der Luftfeuchtigkeit entstandene Wolken, sondern feinverteilte vulkanische Aschen oder Materieteilchen aus dem *interstellaren Raum*)	70···85	km
Aufleuchten der „Sternschnuppen"	70···150	km
letzte reflektierende Luftschicht (*Appletonschicht*)	250···400	km
Höhen des *Nordlichtes*	70···1000	km

DÄMMERUNG

Unter Dämmerung versteht man das Licht, das an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche vorhanden ist, wenn für diesen Ort der oberste Sonnenrand bereits unter dem Horizont verschwunden (bzw. über ihm noch nicht erschienen) ist. Dabei wird der Übergang vom Tageslicht zur Dämmerung meist gar nicht bemerkt. Das Licht der Dämmerung rührt her von den (hoch und zunehmend höher gelegenen) Staub-, Wasser- und Luftteilchen der Atmosphäre, die von direkten Strahlen der bereits „untergegangenen" bzw. noch nicht „aufgegangenen" Sonne noch (bzw. schon) getroffen werden und das empfangene Licht zerstreut nach allen Richtungen auf die Erdoberfläche reflektieren (zurückwerfen).

Vorgänge bei der Abenddämmerung. Bei der Abenddämmerung treten am Himmel von der Sonnenhöhe abhängige Erscheinungen auf.
Man unterscheidet *astronomische* Dämmerung, die beendet ist, wenn die Sonne 18° unter den Horizont gesunken ist und Sterne 5. Größe sichtbar werden, und *bürgerliche* Dämmerung, die beendet ist, wenn die Sonne etwa 6°,5 unter dem Horizont erreicht hat und man beim Licht des klaren Abendhimmels nicht mehr lesen kann. Die Dämmerung ist am Äquator am kürzesten, weil die Sonne dort steil herabsinkt, und an den Polen am längsten, weil die Sonne dort den Horizont in sehr

flacher Bahn schneidet. Sie ist überall auf der Erde zur Zeit der Tagundnachtgleiche am kürzesten und beträgt dann am Äquator etwa 24 Minuten (bürgerliche Dämmerung) bzw. 72 Minuten (astronomische Dämmerung). Die Höchstdauer der bürgerlichen Dämmerung geht in unseren Breiten (51°) nicht über 1 Stunde hinaus.

Sonnenhöhe	am Westhimmel	am Osthimmel
+ 5°	gelber Abendschein	letzte direkte Bestrahlung
+ 2°	Abendröte: apfelsinenrot, gelb, grün, graublau, blau	Widerschein der Farben des Westhimmels
+ 1°	feuriges Rot über dem Horizont	Karminrot am Horizont
0°	1. Dämmerungssegment über der untergegangenen Sonne	1. Gegendämmerung, Auftauchen des Erdschattens
− 1°	—	Höhepunkt des Alpenglühens
− 2 bis − 3½°	Auftauchen des 1. Purpurlichtes über der Sonne	Abglanz des Purpurscheines
− 4 bis − 5°	—	stärkstes Nachglühen
− 5 bis − 6°	das 2. Dämmerungssegment erscheint	2. Gegendämmerung
− 6 bis − 7°	Verschwinden des 1. Purpurlichtes; Ende der bürgerlichen Dämmerung	—
− 7 bis − 8°	Auftauchen des 2. Purpurlichtes	schwächeres Nachglühen
− 12 bis − 14°	Verschwinden des 2. Purpurlichtes	Erlöschen des Nachglühens
− 16 bis − 18°	Verschwinden des 2. Dämmerungssegmentes, Ende der astronomischen Dämmerung	—

Sinkt die Sonne für einen bestimmten Ort im Verlauf von jeweils 24 Stunden niemals tiefer als 18° unter den Horizont, so spricht man von „*hellen Nächten*" (weil die astronomische Abenddämmerung in die astronomische Morgendämmerung übergeht); solche gibt es bereits bei Orten mit einer geographischen Breite von (90° − 23°,5 − 18° =) 48°,5. Auf 50° nördlicher Breite dauern sie vom 21. Juni bis zum 12. Juli, auf 70° nördlicher Breite vom 26. März bis 18. September und am Nordpol vom 28. Januar bis 13. November. Auf der nördlichen Halbkugel gibt es südlich des Breitenkreises von Nürnberg keine hellen Nächte mehr.

BAROMETRISCHE HÖHENSTUFE

Höhe in m	Luftdruck in Torr	Siedetemperatur des Wassers in °C	Höhenstufe in m
0	760	100	10,5
1000	671	96,6	11,9
2000	592	93,2	13,5
3000	522	89,8	15,3
4000	461	86,6	17,3
5000	407	83,4	19,7
6000	359	80,3	22,3
7000	317	77,2	25,3

Der *Luftdruck* beträgt am Meeresspiegel bei völlig trockener Luft und 0 °C 760 Torr (= 1013 mbar). Sobald man sich über Meereshöhe erhebt, sinkt der Luftdruck. Die Anzahl von Metern, um die man sich erheben muß, damit er um 1 Torr fällt, bezeichnet man als *barometrische Höhenstufe*. Es zeigt sich, daß der Luftdruck langsamer abnimmt als die Höhe zunimmt.

Die barometrische Höhenformel. Der Höhenunterschied $(h_1 - h)$ zwischen einem Punkt auf der Erdoberfläche (Höhe h in Meter über dem Meeresspiegel, Luftdruck p in Torr) und einem Punkt über der Erdoberfläche (Höhe h_1 in Meter über dem Meeresspiegel, Luftdruck p_1 in Torr) läßt sich annähernd nach folgender Formel berechnen:

$$h_1 - h = 18400\,(1 + \alpha t)\,\lg \frac{p}{p_1}\ [\mathrm{m}];$$

dabei ist t die mittlere Temperatur in Grad Celsius der zur gleichen Zeit durchgeführten Messungen.

DIE ALLGEMEINE LUFTZIRKULATION

Die Erscheinung der atmosphärischen Bewegungen (*Luftzirkulation* in den unteren Schichten der Lufthülle) beruht auf der Sonneneinstrahlung. Da die eingestrahlte Energie (Einstrahlung) vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlen abhängt, ist beispielsweise die Erwärmung der bodennahen Schicht in den tropischen Gebieten stärker als in den Bereichen polnaher Breiten. Eine ungleichmäßige Erwärmung besteht überdies auch zwischen Land und Meer.

Diese Umstände führen zur Bildung mehr oder minder ausgedehnter *Hoch-* und *Tiefdruckgebiete*. Das durch die Luftdruckunterschiede erzeugte Druckgefälle wird durch Luftströmungen ausgeglichen. So fließt beispielsweise im Bereich einer mitten im Meer gelegenen Insel bei steigender Sonneneinstrahlung kühlere Meeresluft zur Insel, da sich über ihr die vom Boden her stärker erwärmten Luftschichten nach oben ausdehnen und infolge des allseitigen Abfließens der Luft in größere Höhen der Luftdruck an der Oberfläche der Insel allmählich absinkt.

Hinsichtlich der Verbreitung der Luftmassen und ihrer Bewegungen können wir gewisse Gesetzmäßigkeiten beobachten, die durch eine Reihe von Faktoren ursächlich bedingt sind. Die Gesamtheit der auf Sonneneinstrahlung beruhenden Bewegungen in der Lufthülle der Erde wird als *planetarisches Zirkulationssystem* bezeichnet. In ihm spielen die regelmäßigen Winde, zu denen die Monsune und Passate zählen, eine wichtige Rolle. Daneben haben aber auch die lokalen Winde eine besondere Bedeutung. Die entweder regelmäßig oder periodisch auftretenden Winde sowie eine Reihe der lokalen Winde tragen bestimmte Namen. Einige der plötzlich hereinbrechenden heißen oder kalten Winde, die für bestimmte Landschaften oder weiträumige Gebiete der Erde typisch sind, richten des öfteren schwere Schäden an, indes andererseits beispielsweise der Monsun für Indien der ersehnte Regenbringer ist.

REGELMÄßIGE, PERIODISCHE UND LOKALE WINDE

Name	Verbreitungsgebiet	jahreszeitliches Auftreten	Merkmale
		Europa	
Bora (oder Boraccio)	dalmatinische Küste	Winter	kalter Fallwind
Föhn	Alpen und Vorland in N und S	Frühjahr	warmer Fallwind
Mistral	Südfrankreich (Rhônetal)	vorwiegend Winter und Frühjahr	kalter, trockener Fallwind
Schirokko (oder Scirocco)	Mittelmeergebiet (Italien, Griechenland)	Frühjahr	warmer afrikanischer Wüstenwind, trocken und staubig
		Afrika	
Chamsin	Nordafrika (Niltal)	Frühling und Sommer	heißer, trockener Staubsturm
Gibli (Südwind)	Tripolis, nördliche Sahara	Frühsommer	heißer, trockener Staubwind
Harmattan	Oberguinea	Wintermonate	trockener, staubreicher NO-Wind
Samum	Nordafrika und arabische Halbinsel	Sommer	trockener, sehr heißer Wüstensturm
Tornado	Sudan und Westafrika	Juni und Oktober (Anfang und Ende der Regenzeit)	mit Wärmegewittern verbundene Winde
		Asien	
Afghane	Mittelasien	Sommer	heißer, trockener Staubsturm
Bora von Noworossisk	Schwarzmeerküste	Herbst und Winter	heftiger kalter Wind
Monsun	Vorderindien und Südostasien	Mai bis September	regenbringender Südwestwind
Sarma	Sibirien	Spätherbst und Winter	kalter Westwind
Suchowei	südliche und südwestliche Sowjetunion	Winter	trockener und staubreicher Ostwind
Taifun	China, Korea, Philippinen, Japan	Juli bis November	verheerender tropischer Wirbelsturm

Name	Verbreitungsgebiet	jahreszeitliches Auftreten	Merkmale
		Amerika	
Blizzard	Kanada, USA	Wintermonate	heftiger, sehr kalter, mit Schneefällen verbundener NW-Sturm
Chinook	USA	Frühjahr	trockener, warmer föhnartiger Fallwind an der Ostseite der Rocky Mountains
Cold Waves (auch Nortes oder Northers)	USA, Mexiko, Mittelamerika	Wintermonate	polarer Kaltlufteinbruch
Hurrikan	Nordatlantik und Westindien	August bis Oktober	verheerendster der tropischen Wirbelstürme
Pampero	Argentinien, La-Plata-Gebiet	Südsommer (November bis Februar)	von Gewittern begleiteter kalter SW-Sturm
Tornado	USA	März bis Oktober	verheerender Wirbelsturm
		Australien	
Southerly Busters	Viktoria	Südwinter	kalte Südwinde
Willy-Willies	NW-Australien	Südsommer (Dezember bis Februar)	tornadoähnlicher Wirbelsturm
		Ozeane	
Monsune	Indischer Ozean	während des ganzen Jahres	etwa halbjährlich die Richtung wechselnd
Passate	tropische und subtropische Ozeangebiete	während des ganzen Jahres	fast beständiger NO- bzw. SO-Wind
Zyklone	tropische Ozeangebiete	vorwiegend Sommer	spiralförmige Wirbelstürme von großer Gewalt

SKALE DER WINDSTÄRKEN

(nach *Beaufort* und *Köppen*)

Windstärke	Bezeichnung der Windstärke	Äußerung der Windstärke	Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s	km/h	Knoten
0	Windstille	Rauch steigt senkrecht empor	0…0,5	0…1	1
1	leiser Zug	Rauch steigt fast senkrecht empor	0,6…1,7	2…6	1…3
2	leichter Wind	für das Gefühl eben bemerkbar	1,8…3,5	7…12	4…6
3	schwacher Wind	bewegt Baumblätter, Wimpel	3,6…5,2	13…18	7…10
4	mäßiger Wind	bewegt kleine Zweige, streckt Wimpel	5,3…7,4	19…26	11…16
5	frischer Wind	bewegt größere Zweige; unangenehm fühlbar	7,5…9,8	27…35	17…21
6	starker Wind	als Sausen hörbar	9,9…12,4	36…44	22…27
7	steifer Wind	bewegt schwache Stämme; Schaumkronen auf Wellen	12,5…15,2	45…54	28…33
8	stürmischer Wind	bewegt Bäume; behindert Fußgänger	15,3…18,2	55…65	34…40
9	Sturm	verrückt leichte Gegenstände (Dachziegel)	18,3…21,5	66…77	41…47
10	voller Sturm	wirft Bäume um	21,6…25,1	78…90	48…55
11	schwerer Sturm	zerstörende Wirkungen schwerer Art	25,2…29,0	91…104	56…63
12	Orkan	verwüstende Wirkungen	über 29,0	über 104	64…71

Häufigkeit der Windstärken. In Prozenten ausgedrückt ergeben sich für die Gebiete der beiden deutschen Staaten und für zwei Beobachtungspunkte hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten folgende Mittelwerte:

Windgeschwindigkeit	Mittelwerte				ganzes Jahr	
	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Borkum (windreich)	Leipzig (windarm)
unter 5 m/s	60,8	62,3	69,4	69,5	61,9	88,8
5 ··· 10 m/s	35,2	32,7	30,1	28,1	26,8	10,4
10 ··· 15 m/s	3,7	4,5	0,5	1,8	8,9	0,8
über 15 m/s	0,3	0,5	—	0,6	2,4	—

JAHRESZEITLICHE VERTEILUNG DER JÄHRLICHEN REGENMENGEN IN EINIGEN GEBIETEN

in %

Gebiet	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Irland	21	24	27	28
Westengland	19	24	29	28
Ostengland	19	28	30	23
nördliches Westdeutschland	22	31	24	23
mittlere DDR	23	34	23	20
Polen	22	37	22	19
westliche UdSSR	21	39	24	16
mittlere UdSSR	22	37	25	16
Westsibirien	13	42	32	13
Ostsibirien	12	58	21	9

NIEDERSCHLAGSREICHE UND NIEDERSCHLAGSARME GEBIETE DER ERDE

(durchschnittliche Jahresmenge in mm)

Europa:	Domsten (Hardangerfjord)	1954
	Glencoe (Schottland)	3242
	Sty Head Paß (Nordengland)	3720
	Mönch (Berner Alpen)	4000
	Crkvice (Dalmatien)	4642
Nordamerika:	Clearwater (Washington)	3260
Mittelamerika:	Moore-Town (Jamaica)	5640
Südamerika:	Buena Vista (Kolumbien)	8400
Afrika:	Conakry (Guinea)	4800
Asien:	Jasaredja (Djawa)	6870
Australien:	Geraldton (Queensland)	3700

Größte Tagesmengen, die bisher festgestellt wurden:

Baguio (Philippinen)	14./15. 7. 1911	1168 mm
Tscherrapundschi (Indien)	14. 6. 1876	1036 mm
Silver Hill (Jamaica)	6. 11. 1909	775 mm
Tanaba (Japan)	19./20. 8. 1889	902 mm
Kamerun (Victoria)	17. 6. 1902	456 mm
Neuwiese (Riesengebirge/Karkonosze)	29. 7. 1897	345 mm

Absolut niederschlagsfreie Gebiete gibt es auf der Erde nicht. Auf Grund ihrer Lage im Kontinent oder zu Gebirgen und Meeresströmungen gibt es Orte mit sehr geringen Niederschlägen. So liegt der Jahresniederschlag in

Arica (Nordchile)	unter 10 mm
Swakopmund (Südwestafrika)	unter 20 mm
Aden (Südarabien)	unter 60 mm

Der niederschlagsärmste Ort in Europa ist Salamanca mit weniger als 250 mm jährlich. Innerhalb der DDR und Westdeutschlands haben folgende Gebiete weniger als 500 mm Niederschlag im Jahr: die Gebiete östlich der Gebirge Haardt, Hunsrück, Taunus (Rheingau), Harz (Saalegebiet zwischen Halle und Magdeburg) und das Gebiet zwischen Frankfurt/Oder und Prenzlau.

KLIMATISCHE VERHÄLTNISSE EUROPÄISCHER GROßSTÄDTE

(nach mittlerer Jahrestemperatur in °C geordnet)

Städte	nördliche Breite	Höhe in m	mittlere Lufttemperatur in °C im kältesten Monat	wärmsten Monat	Jahr	jährlicher Niederschlag in mm
Leningrad	59° 56′	10	— 9,3 (I)	17,7 (VII)	3,7	475
Moskau	55° 46′	145	— 11,0 (I)	18,9 (VII)	3,9	533
Helsinki	60° 10′	10	— 6,3 (II)	16,5 (VII)	4,4	703
Oslo	59° 55′	22	— 4,2 (II)	17,3 (VII)	5,8	645
Riga	56° 57′	15	— 5,1 (I)	17,9 (VII)	6,0	540
Warschau	52° 13′	90	— 3,6 (I)	18,9 (VII)	7,6	540
München	47° 30′	525	— 2,1 (I)	17,7 (VII)	7,9	930
Kopenhagen	55° 41′	5	— 0,1 (II)	16,7 (VII)	7,9	533
Hamburg	53° 33′	26	— 0,3 (I)	16,9 (VII)	8,3	700
Zürich	47° 23′	493	— 1,4 (I)	18,4 (VII)	8,5	1019
Prag	50° 5′	200	— 1,5 (I)	19,0 (VII)	8,8	490
Berlin	52° 31′	49	— 0,3 (I)	18,8 (VII)	9,1	570
Brüssel	50° 46′	60	1,3 (I)	17,2 (VII)	9,1	700
Sofia	42° 42′	550	— 3,0 (I)	20,7 (VII)	9,1	650
Wien	48° 15′	194	— 1,4 (I)	20,2 (VII)	9,6	680
London	51° 30′	40	3,4 (I)	17,3 (VII)	9,8	620
Paris	48° 49′	50	2,5 (I)	18,6 (VII)	10,3	560
Bukarest	44° 25′	85	— 4,3 (I)	27,2 (VII)	10,5	583
Budapest	47° 30′	130	— 2,1 (I)	21,3 (VII)	10,6	638
Belgrad	44° 48′	140	— 1,6 (I)	22,0 (VII)	11,1	619
Madrid	40° 24′	655	4,3 (I)	24,3 (VII)	13,3	419
Istanbul	41° 2′	2	5,2 (I/II)	23,6 (VII)	14,3	733
Lissabon	38° 42′	95	9,6 (I)	21,2 (VIII)	15,3	726
Rom	41° 54′	54	6,7 (I)	24,8 (VII)	15,4	803
Athen	37° 58′	107	9,3 (I)	27,0 (VII)	17,7	343

PFLANZEN UND JAHRESZEITEN

Klimatisch bedingte Entwicklungsvorgänge der Pflanzen in verschiedenen deutschen Landschaften

(mittlere Werte 1936 bis 1939)

Landschaft	Schneeglöckchenblüte	Laubentfaltung der Kastanie	Apfelblüte	Winterroggen Blüte	Winterroggen Ernte	Winterroggen Saat	Laubverfärbung
Kölner Bucht	14. 2.	13. 4.	29. 4.	30. 5.	18. 7.	8. 10.	8. 10.
Oberrheinebene	18. 2.	10. 4.	23. 4.	28. 5.	18. 7.	4. 10.	4. 10.
Brandenburg	21. 2.	21. 4.	6. 5.	28. 5.	12. 7.	23. 9.	5. 10.
Harzer Vorland bis Hannover-Braunschweig	21. 2.	19. 4.	5. 5.	1. 6.	22. 7.	39. 9.	3. 10.
Halle—Leipziger Bucht	22. 2.	17. 4.	11. 5.	30. 5.	18. 7.	26. 9.	30. 9.
Schleswig-Holstein	23. 2.	28. 4.	14. 5.	7. 6.	30. 7.	8. 10.	8. 10.
Oberhessen unter 250 m	25. 2.	21. 4.	5. 5.	31. 5.	22. 7.	1. 10.	3. 10.
Mecklenburgischer Landrücken	26. 2.	25. 4.	12. 5.	4. 6.	17. 7.	26. 9.	5. 10.
Donautal bei Straubing	7. 3.	20. 4.	1. 5.	31. 5.	17. 7.	22. 9.	6. 10.
Frankenwald	9. 3.	3. 5.	11. 5.	12. 6.	6. 8.	26. 9.	3. 10.
Erzgebirge über 500 m	10. 3.	6. 5.	22. 5.	17. 6.	10. 8.	27. 9.	29. 9.

Die Landschaften sind hier nach dem *Eintritt der Schneeglöckchenblüte* geordnet. Da der zeitliche Ablauf der Wachstumsvorgänge nicht nur vom *Klima*, sondern auch von der jeweiligen *Witterung* abhängt, so verlaufen die übrigen Vorgänge durchaus nicht in entsprechender Reihenfolge, was schon bei der Kastanie deutlich wird. Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen können praktische Fragen der Land- und Forstwirtschaft sowie des Gartenbaus beantwortet werden.

Vorfrühling: Schneeglöckchen und Salweide blühen
Erstfrühling: Roßkastanie, Birke, Rotbuche, Esche, Eiche entfalten ihr Laub; Beginn der Feldarbeiten; Aussaat und Aufgang des Sommergetreides
Vollfrühling: Obstbäume und Flieder blühen
Frühsommer: Holunder und Robinie blühen; Getreide blüht und schiebt Ähren bzw. Rispen
Hochsommer: Linde, Weiße Lilie blühen; Getreideernte
Spätsommer: Heidekraut blüht
Frühherbst: Herbstzeitlose blüht
Vollherbst: Früchte der Roßkastanie sind reif, Laub verfärbt sich; Kartoffelernte, Obsternte
Spätherbst: Laub fällt ab; Rübenernte, Ende der Feldarbeiten

FESTLANDSFLÄCHEN (OHNE ANTARKTIS) UND BEVÖLKERUNGSVERTEILUNG 1960 NACH DEN GEOGRAPHISCHEN BREITEN

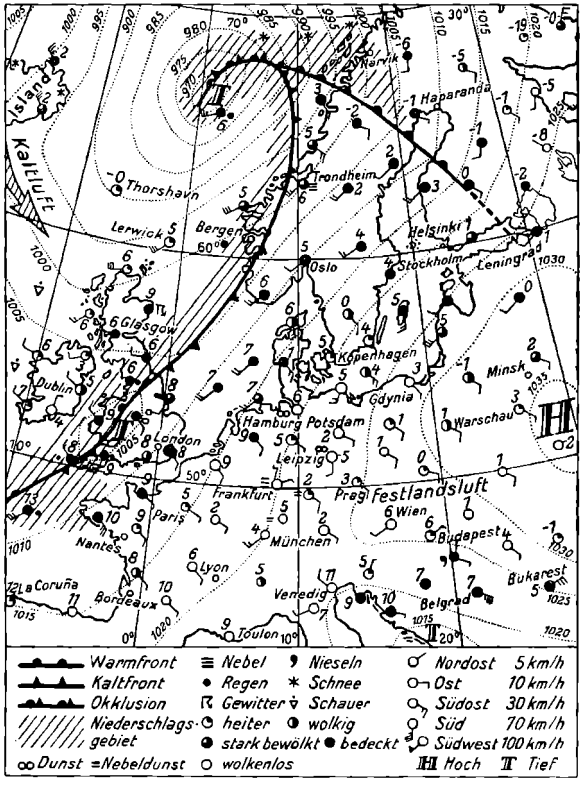
Breiten	Millionen km²	Millionen Einwohner		Einwohner je km²
		Kanada und dichtest bewohnte Teile der USA	115	
		Europa (ohne die südlichen Teile der Iberischen, Apennin- und Balkanhalbinsel)	410	
		Sowjetunion	215	
		Mongolische Volksrepublik, Nordosten von China	86	
Nördlich von 40° N	48,4		826	17
		Teile der USA und von Mexiko, Cuba	105	
		äußerster Süden Europas	15	
		Nordafrika	55	
		Vorder-, Süd- und Ostasien (ohne den Nordosten von China und die südlichen Staaten Indiens)	1265	
40° N bis 20° N	30,7		1440	47
		übriges Mittelamerika	40	
		Kolumbien, Venezuela, Guayana	22	
		tropisches Afrika	125	
		Süd- und Südostasien	246	
20° N bis 0°	21,4		433	21
		Teile von Südamerika	63	
		tropisches Afrika	47	
		Indonesien	93	
0° bis 20° S	19,8		203	10
		Teile von Südamerika	66	
		Südafrika	15	
		Australien/Ozeanien	17	
Südlich von 20° S	14,7		98	7
	135,0		3000	22

Der Gürtel zwischen 20° und 40° nördlicher Breite zählt fast ebensoviel Bewohner wie die übrigen Zonen zusammen.

WETTERKARTE

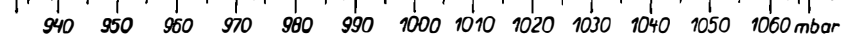
Die Wetterkarte läßt zunächst die *Verteilung des Luftdrucks* erkennen. Orte gleichen Luftdrucks sind durch Linien (*Isobaren*) verbunden, wodurch die Gebiete hohen und tiefen Luftdrucks herausgehoben werden. Die *Temperaturen* einzelner Orte sind angegeben. Diese Temperaturen charakterisieren die Luftmassen, die mit wetterwirksamen Fronten aneinandergrenzen. Außerdem sind Richtung und Stärke der *Winde*, *Windstillen* sowie die verschiedenen Formen des *Niederschlags* vermerkt. Mit den in der Lufthülle der Erde sich abspielenden physikalischen Vorgängen beschäftigt sich die *Meteorologie*. Sie sucht als Lehre von den Wettererscheinungen diese auf physikalische Gesetze zurückzuführen und daraus die Wettergestaltung vorherzusagen.

Die Wetterkarte zeigt eine gut entwickelte Zyklone vor der norwegischen Küste, an deren Kaltfront sich über England eine sog. Wellenstörung mit ausgedehntem Niederschlagsgebiet entwickelt hat. Das Wetter Mitteleuropas wird von den Störungen zunächst nicht beeinflußt, da ein umfangreiches Hochdruckgebiet über Osteuropa liegt, auf dessen Südflanke mit südöstlichem Wind trockene, festländische Luftmassen herangeführt werden, so daß meist heiteres, wolkenarmes Wetter herrscht.



Wetterkarte von Europa

Die Isobaren verbinden alle diejenigen Orte miteinander, an denen zu dem durch die Wetterkarte festgehaltenen Zeitpunkt gleicher *Luftdruck* herrscht. Dabei ist der Luftdruck stets so umgerechnet, als ob jene Orte in Höhe des Meeresspiegels lägen. Die Luftdruckangaben werden mit einem *Barometer* durch Messung einer Länge (der Quecksilbersäule) bestimmt. Die früher übliche Angabe des



Skale zur Umrechnung von Torr (mm Quecksilbersäule) in mbar bzw. von mbar in Torr (mm Quecksilbersäule)

Luftdrucks in mm Quecksilbersäule kann in die gesetzliche Druckeinheit *Millibar* (mbar) umgerechnet werden: 1 mbar = 10^2 N/m². Eine rasche Umrechnung des früher gebräuchlichen Maßes (mm Quecksilbersäule) in das neuere (mbar) ermöglicht die obige Skale.

Nach Mitteleuropa gelangende Luftmassen
(Bezeichnungen nach *Scherhag*)

wissenschaftliche Bezeichnung	Bezeichnung auf der Wetterkarte	Ursprungsgebiet	erreichen Mitteleuropa auf dem Weg über	Eigenschaften
kontinental-arktische Polarluft	nordsibirische Polarluft	Nordsibirien (Kältepol)	nördliche Sowjetunion	extrem kalt; geringer Wasserdampfgehalt, meist wolkenlos (klarblauer Himmel, Fernsicht); Nebel vereinzelt nur in abgeschlossenen Tallagen
maritim-arktische Polarluft	arktische Polarluft	Arktis	Nordmeer ostwärts Island	sehr kalt, feucht; vorwiegend an Küsten und Gebirgen Schnee- und Graupelschauer
kontinentale Polarluft	russische Polarluft	westl. Sowjetunion	Osteuropa	trocken; im Winter kalt (ähnlich wie cP_A); im Sommer nachts und morgens kalt, mittags warm
maritime Polarluft	grönländische Polarluft	Arktis	grönländischen Meeresraum westlich Island	kalt, feucht; labil geschichtete Luftmassen, die in unteren Lagen vom relativ warmen Meer aufgeheizt sind; Graupel- und Regenschauer am Meeresspiegel, Schnee oberhalb 1000 m
rückkehrende kontinentale Polarluft	rückkehrende Polarluft	Arktis, Fennoskandia	Südosteuropa	trocken; im Winter kalt, Bodennebel; im Sommer nur schwer von cT_P zu unterscheiden (erkennbar an kumulusförmiger Bewölkung und leichten Schauern bei zyklonalen Lagen)
rückkehrende maritime (gemäßigt-maritime) Polarluft	erwärmte Polarluft	Arktis, nördlichster Atlantik	Azorenraum	feucht; im Winter vom Meer her in unteren Lagen stark erwärmte, labil geschichtete Luftmassen, die als Warmluft (Weihnachtstauwetter) einströmen
gemäßigt-kontinentale Tropikluft	Festlandluft	Mitteleuropa, östliches Mitteleuropa	—	trocken; von Tropikluft nur durch tiefere Temperaturen unterschieden; meist nur im Sommer auftretend, mit geringer, rasch sich wieder auflösender Bewölkung (Schönwetterkumuli)
gemäßigt-maritime Tropikluft	Meeresluft	Nordost-Atlantik (50···55° nördlicher Breite)	englisch-atlantischen Meeresraum (50° nördlicher Breite)	feucht, mild; kühle Bodenschicht, jedoch wärmere Höhenschicht, mächtige mit Quellungen durchsetzte Bewölkung; von echter Tropikluft stets durch tiefere Temperaturen unterschieden
kontinentale Tropikluft	asiatische Tropikluft	naher Osten	Kleinasien, Südosteuropa	im Sommer trocken und heiß; wird auf ihrem Zugweg vom Boden her stark erwärmt und labilisiert; bei Hebung an Gebirgen örtliche Wärmegewitter; im Winter gelangen diese Luftmassen selten in unseren Raum

Symbol	wissenschaftliche Bezeichnung	Bezeichnung auf der Wetterkarte	Ursprungsgebiet	erreichen Mitteleuropa auf dem Weg über	Eigenschaften
mT	maritime Tropikluft	atlantische Tropikluft	Azorenraum	West- und Südwesteuropa	feucht, warm; mit Luftfeuchtigkeit angereichert, kühlen sich diese Luftmassen über kälteren Meeresgebieten ab, stabil geschichtet; Stratusbewölkung, die sich im Sommer über Land meist rasch auflöst, schwül; durch Erwärmung über Land bilden sich mächtige Gewitterwolken; im Winter Schichtbewölkung bis zum Boden, trüb, mild mit Sprühregen
cE	kontinentale afrikanische Tropikluft	afrikanische Tropikluft	Sahara	das Mittelmeer in der Höhe	trocken, heiß; erreicht nur selten, dann meist in der Höhe, unseren Raum, oft durch starken Staubgehalt erkennbar
mE	maritime afrikanische Tropikluft	Mittelmeerluft	Afrika	Mittelmeerraum	warm, sehr schwül; in unserer Breite vorwiegend eine Höhenerscheinung; bei erzwungenem Aufsteigen kommt es zu beträchtlichen Niederschlägen

BAROMETER — WETTERTABELLE

Steigendes Barometer

starkes, schnelles Steigen	stürmische Winde, Niederschläge in Böen; bei nordwestlichen und nördlichen Winden Nachtfrostgefahr; Besserung nur bei kräftigem Temperaturfall
langsames, stetiges Steigen	Aussicht auf gründliche und beständige Wetterbesserung, besonders bei hohen Wolken aus Osten
kleine regelmäßige Schwankungen von Tag zu Tag	günstigere Aussichten als bei gleichbleibendem Stand
kleine abwärts, dann steil aufwärts gerichtete Bewegung, auf der Wetterkarte als „Gewitternase" bemerkbar	Teiltief, möglicherweise Gewitter
sehr hoher Stand	im Winter sehr kalt, im Sommer mäßige Wärme

Fallendes Barometer

beginnendes Fallen	im allgemeinen Verschlechterung des Wetters; im Winter nach einer Periode hohen Luftdrucks mit nebligem, wolkigem Himmel und aufkommenden westlichen Winden in der Höhe meist vorübergehende Aufheiterung
schnelles Fallen	rasch fortschreitender Sturmwirbel
langsames Fallen	ergiebige Niederschläge
sehr tiefer Stand	im Winter mildes, im Sommer kühles Wetter

WETTERREGELN

Wetterzeichen	Voraussage
Himmelsfarben	
grauer Morgenhimmel	schönes Wetter
rosige Federwolken (*Zirren*) am Abendhimmel ohne andere Wolken	beständiges gutes Wetter
schönes Abendrot ohne grelle Farben und dunkle Wolken	gutes Wetter
Morgenrot auf niedrigen Wolken	schlechtes Wetter

Wetterzeichen	Voraussage
grelle Farbengegensätze am Morgen- und Abendhimmel	schlechtes Wetter
dunkles und violettes Rot am Morgen- und Abendhimmel	schlechtes Wetter
starke Lichtunterschiede verschieden gefärbter Wolken tagsüber	schlechtes Wetter
tiefblauer Himmel bei windigem Wetter	sehr unbeständig
graue Luft mit vielen großen Haufenwolken	kein Regen
graue Luft mit vielen Schichtwolken	Regen
überwiegend schmutziggrüne und rotgelbe Farben am Abendhimmel	Regen und Wind
vorwiegend hellgelbe Farben am Abendhimmel	Wind
Nebel	
fallender Nebel	heiter
steigender Nebel	Regen
Nebelregen	anhaltend schlechtes Wetter
dichter Morgennebel im Herbst	beständiges gutes Wetter
Morgennebel an heißen Tagen	Gewitterneigung
Wolken	
Wolken in verschiedenartiger Form und Höhe	ungünstige Wetteraussichten
Wolken sammeln sich nach stürmischem oder regnerischem Wetter am West- oder Nordwesthimmel zu Haufen	Aufklaren
schneller Zug der Zirren aus westlicher, besonders südwestlicher Richtung	schlechtes Wetter
langsamer Zug der Zirren aus östlicher Richtung	beständiges gutes Wetter
Ansammlung zahlreicher Zirren nach lange heiterem Wetter	nahende Depression, die aber auch ohne Einwirkung vorüberziehen kann
dasselbe am westlichen Abendhimmel	schlechtes Wetter wahrscheinlich
Federwolken (*Zirren*) in übereinanderliegenden Schichten	Regen innerhalb 24 Stunden
zarte Schäfchen, schnell aus Südwesten aufziehend	schlechtes Wetter
Morgenschäfchen	schlechtes Wetter
Abendschäfchen	gutes Wetter
Schäfchen tagsüber und ausgebreitete Haufenwolken am Abend	Nachtgewitter
Haufenwolken (*Kumuli*) mit scharfen Rändern	gutes Wetter
verwischen sich die Ränder dieser Wolken	Regenneigung
quellen sie in größere Höhen	Gewitterneigung
Haufenwolken früh bei Sonnenaufgang	schlechtes Wetter
viele dunkle Schichtwolken (*Strati*)	Regen
dunkelgraue Schichtwolken unter hellgrauer Decke	anhaltende Regenfälle
walzenartige Wolken von Horizont zu Horizont mit aufwärts wirbelnder Bewegung oder herunterhängenden Säcken	Böen oder Gewitter
wolkenloser früher Morgen während allgemein unbeständiger Witterungslage	Regen meist nach wenigen Stunden
Verschiedene Wetterzeichen	
Donner bei kaltem Regenwetter im Sommer	Schlechtwetterperiode
Glatteis	mildes schlechtes Wetter von meist längerer Dauer
Rauch aus Schornsteinen wird zur Erde gedrückt	unruhig, Regen
Regenbogen früh und vormittags	Regenböen
Regenbogen nachmittags oder abends	besseres Wetter
Reif	fast immer gutes Wetter
Reif nach Regen	unbeständig
rheumatische und neuralgische Schmerzen	Regen, im Sommer Gewitter
Schneefälle nachts in größeren Mengen, namentlich bei stark fallendem Barometer	Tauwetter oder Kältemilderung
Schneefälle bei steigendem Barometer	Tauwetter von kurzer Dauer
Sonne „zieht Wasser" nach Regen	Wiederholung des Regens
Sonnenhalo (Sonnenhof)	Verschlechterung innerhalb 24 oder 28 Stunden
Sterne funkeln stark nach schönem Wetter	Unruhe in der Höhe, möglicherweise schlechtes Wetter
Tau	fast immer gutes Wetter
Telegraphendrähte summen	Kälte und Schnee

WETTERBEEINFLUSSUNG DURCH ATOMBOMBENEXPLOSIONEN?

Es liegt nahe, katastrophale Witterungserscheinungen wie Schadenhochwässer, Orkane, Dürreperioden u. ä. mit neuartigen Entwicklungen auf dem Gebiete der Technik z. B. den Atombombenexperimenten in Zusammenhang zu bringen, zumal jeder weiß, welche ungeheueren Energiemengen bei der Spaltung von Atomkernen freigesetzt werden und mit Spaltprodukten bis in große Höhen der Atmosphäre gelangen. In diesen Zusammenhängen ist beobachtet worden (z. B. bei der Versuchsexplosion im Bikini-Atoll 1952), daß ähnlich wie bei schweren Vulkanausbrüchen das Wetter der näheren und weiteren Umgebung des Versuchsortes beeinflußt wird und sich u. a. Wolkenbildungen und Niederschläge einstellen. Man muß indes bedenken, daß die bei meteorologischen Prozessen umgesetzten Energiemengen doch von anderer Größenordnung sind. Ein mäßiges sommerliches Wärmegewitter, das sich über einer Fläche von 25 km² entlädt und eine Niederschlagsmenge von 10 mm (= 10 l/m^2) liefert, benötigt zur Kondensation der entsprechenden Menge Niederschlagswasser eine Wärme von annähernd $14 \cdot 10^{13}$ cal, was der Energie von etwa 6 Hiroshima-Bomben gleichkommt! Im Vergleich zur Energie, die in jeder Minute der Erde von der Sonne zugestrahlt wird und $2{,}5 \cdot 10^{18}$ cal beträgt, entspricht diese hingegen 100000 Hiroshima-Bomben! Diese Gegenüberstellung zeigt zur Genüge, daß bereits beim normalen Wettergeschehen und im normalen natürlichen täglichen Gang ganz andere Energiebeträge umgesetzt werden, als die Atombombenexplosionen zu liefern imstande sind.

Ganz allgemein muß darauf hingewiesen werden, daß katastrophale Witterungserscheinungen und anormale Jahreszeiten in unserem Klima in Abständen immer wieder auftreten, wie sich aus Berichten und Chroniken vergangener Jahrhunderte ergibt. Es ist also abwegig, zur Erklärung eines strengen Winters oder eines verregneten Sommers atomare Versuche verantwortlich machen zu wollen, da Witterungsextreme mit in den normalen Bestand unseres Klima gehören. Die für die Menschheit gefährlichen Auswirkungen der Atomexplosionen liegen also nicht in der Beeinflussung des Wetters, sondern in der radioaktiven Verseuchung der Atmosphäre.

HEIZGRADTAGE ALS MAß FÜR DEN WÄRMEBEDARF

Um die für Heizzwecke benötigte Menge Brennmaterial und die Dauer der Heizperiode überschauen zu können, wurde der Begriff „Heizgradtag" (Gt) geschaffen, der maßgebend von der Differenz zwischen Raumtemperatur (t_i) und Außentemperatur (t_a) abhängt. Die Heizgradtage errechnen sich nach der Formel $G_t = z \cdot (t_i - t_a)$, wobei z die Anzahl der Tage ist, an denen geheizt werden muß. Man legt dabei gewisse Standardwerte zugrunde, die der Praxis entstammen und in der folgenden Tabelle für verschiedene Raumkategorien zusammengestellt sind. t_z ist die Grenztemperatur für den Beginn des Heizens.

Gebäudeart	t_i	t_z
Krankenhäuser, Sanatorien	20 ··· 21 °C	12 °C
Wohnungen, Schulen, Büros	18 °C	12 °C
Museen, warme Gewächshäuser	15 °C	9 °C
Werkhallen, Bibliotheksmagazine u. ä.	12 °C	8 °C
Garagen, kalte Gewächshäuser	8 °C	3 °C

Für die DDR errechnen sich daraus folgende Richtzahlen, die für die klimatisch günstigsten Gebiete (etwa Raum Halle—Leipzig—Magdeburg) und die rauhesten Lagen (Oberharz, Erzgebirge, Thüringer Wald) zusammengestellt sind:

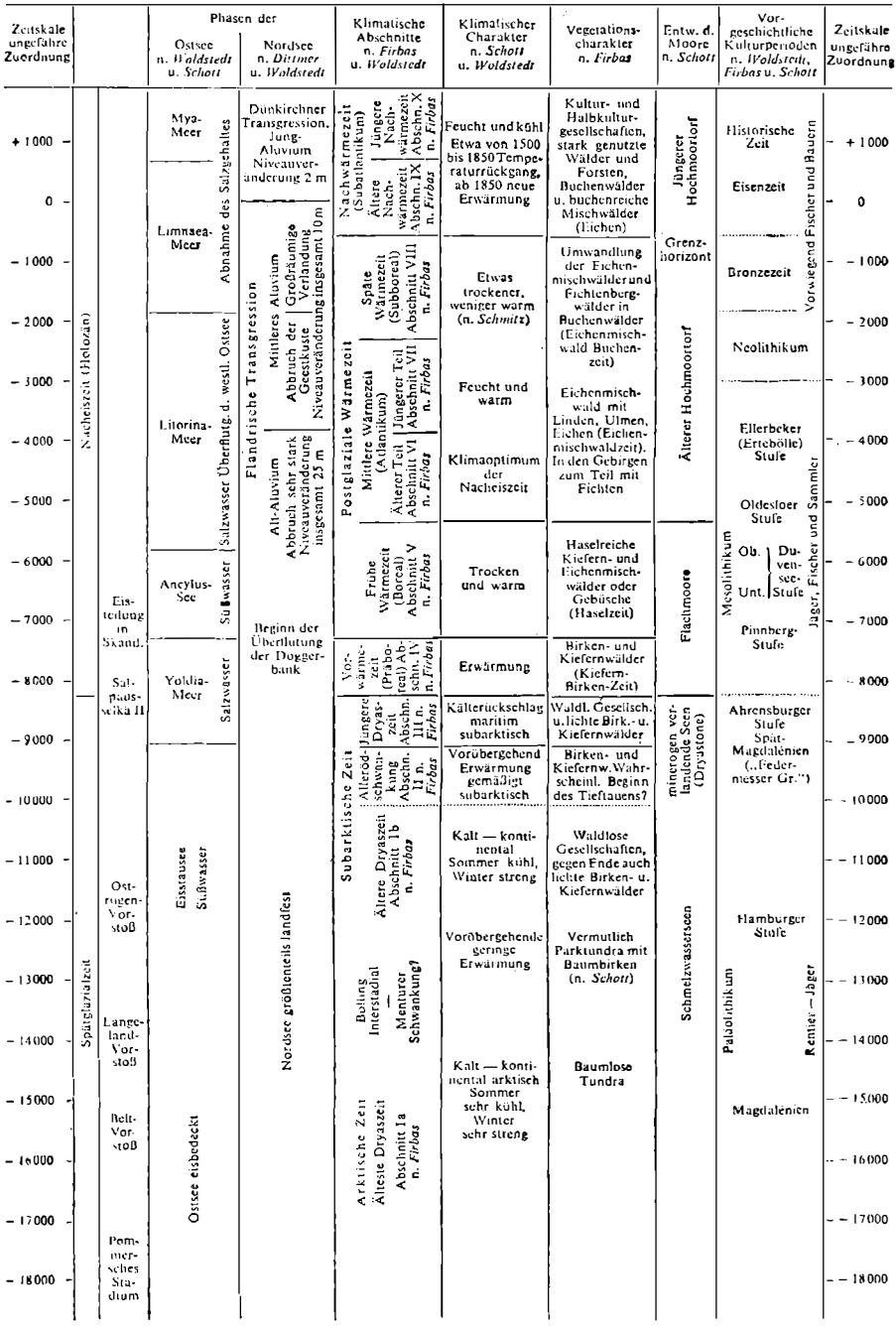
	milde Ortslagen	rauhe Ortslagen
mittl. Termin des Beginns der Heizperiode in der DDR	um 1. 10.	um 5. 9.
mittlere Zahl der Heiztage (z) für $t_z = 12$ °C	225	über 280
mittlere Zahl der Heizgradtage für $t_i = 19$ °C	unter 3300	über 4000
mittlerer Termin für das Ende der Heizperiode in der DDR	vor 20. 5.	nach 15. 6.

KLIMAÄNDERUNGEN, LANGFRISTIGE WETTERVORHERSAGE, WETTEREXTREME

Die wissenschaftliche langfristige Wettervorhersage stützt sich auf *rhythmische Vorgänge* namentlich im Verlauf der Luftdruckkurve und auf den Vergleich mit ähnlichen Wetterlagen in der Vergangenheit. Die Arbeit, die noch in den Anfängen steckt, wird erschwert durch mannigfaltige *Wetterextreme*, die gerade in den beiden letzten Jahrzehnten sehr auffällig in Erscheinung getreten sind. Doch wäre es voreilig, daraus bereits irgendwelche weiterreichenden Schlüsse auf eine etwaige Wandlung der klimatischen Verhältnisse auf der Erde überhaupt zu ziehen. Die folgende Übersicht enthält einige *Wetterextreme*.

Zu kalte Winter			*Zu milde Winter*		*Dürre Sommer*		
1928/29	1941/42	1955/56	1947/48	1949/50	1911	1934	1959
1939/40	1946/47	1962/63	1948/49	1958/59	1921	1947	

Gliederung der Spät- und Nacheiszeit in Norddeutschland



Das Jahr 1949 zeichnete sich aus durch das Auftreten zahlreicher Tiefdruckgebiete mit raschem Luftdruckwechsel, der von plötzlich aufkommenden und wieder abflauenden Stürmen begleitet war. In den westlichen Teilen der UdSSR gab es 1948/49 kaum Schnee, dagegen trat Frostwetter in der Wüste Sinai auf. An der Ostküste Nordindiens blieb der Monsunregen aus.

Die auffallendste Klimawandlung in der letzten Zeit, die von lang anhaltender Dauer ist und erhebliche wirtschaftliche Folgen hat, ist die Erwärmung der Arktis, die 1918/19 einsetzte, 1938/39 ihren Höhepunkt erreichte und nur durch den ungewöhnlich kalten Winter 1928/29 unterbrochen wurde. Die folgende Tabelle zeigt die Abweichungen der mittleren Wintertemperaturen vom 15jährigen Mittelwert der Wintertemperaturen von 1912 bis 1926.

Abweichungen der Wintertemperaturen auf Spitzbergen

Winter	Abweichung in °C	Winter	Abweichung in °C	Winter	Abweichung in °C
1911/12	− 3,8	1923/24	+ 4,1	1934/35	+ 6,5
1912/13	0,0	1924/25	+ 5,3	1935/36	+ 6,5
1913/14	− 1,4	1925/26	+ 0,6	1936/37	+ 7,5
1914/15	− 1,4	1926/27	+ 2,0	1937/38	+ 8,5
1915/16	− 5,2	1927/28	+ 2,6	1938/39	+ 9,0
1916/17	− 8,1	1928/29	− 0,2	1939/40	+ 5,0
1917/18	− 3,7	1929/30	+ 2,9	1940/41	+ 4,6
1918/19	+ 1,1	1930/31	+ 5,5	1941/46	?
1919/20	+ 2,2	1931/32	+ 5,6	1946/47	+ 7,9
1920/21	+ 1,9	1932/33	+ 5,8	1947/48	+ 4,8
1921/22	+ 4,3	1933/34	+ 6,5	1948/49	+ 4,7
1922/23	+ 3,7				

Man begründet diese Wärmezunahme mit einer *Änderung der allgemeinen Zirkulation* der Atmosphäre, wodurch die Wärme weiter nach Norden vordringe als bisher. Die Folge davon war, daß die Treibeisgrenze erheblich zurückwich und die Schiffahrt sehr begünstigt wurde. Im August 1937 war das Meer um Spitzbergen völlig eisfrei.

Die günstigen Folgen, insbesondere für die sowjetische Schiffahrt im Nördlichen Eismeer, gehen aus der nächsten Tabelle hervor.

Dauer der Schiffahrtssaison auf Spitzbergen

Jahr	Tage	Jahr	Tage	Jahr	Tage
1915	50	1924	176	1932	161
1916	105	1925	159	1933	179
1917	74	1926	177	1934	183
1918	123	1927	137	1935	170
1919	114	1928	141	1936	166
1920	141	1929	80	1937	188
1921	164	1930	155	1938	186
1922	134	1931	149	1939	203
1923	154				

Auch die *Barentssee* wurde durch Zunahme der Südwestwetterlagen erwärmt.

VIII. Festland

GLIEDERUNG DES FESTLANDES

Von der Erdoberfläche (510 Mill. km² im Niveau des Meeresspiegels) sind 148 Mill. km², das entspricht 29%, Festland, die restlichen 71% werden von dem in Ozeane, Rand-, Mittel- und Binnenmeere gegliederten Weltmeer eingenommen. Das Verhältnis von Land zu Meer ist demnach auf der Erde 1 : 2,45, d. h. das Weltmeer ist fast zweieinhalbmal so groß wie das Festland. (Zum Festland zählen dabei außer den Kontinenten und Inseln auch die Binnengewässer.)

Das Festland der Erdoberfläche läßt sich nach verschiedenen Gesichtspunkten untergliedern. Die gebräuchlichste Einteilung ist die in die sieben *Kontinente* oder *Erdteile* (Europa, Asien, Afrika,

Australien, Nordamerika, Südamerika und Antarktika). Außer Europa und Asien, die eine zusammenhängende Landmasse bilden und daher oft auch als Eurasien zusammengefaßt werden, sind die restlichen Kontinente allseitig oder fast vollständig von Meer umgeben. Die Kontinente gliedern ihrerseits das Weltmeer in drei Ozeane (Pazifik, Atlantik und Indischer Ozean).
Die Grenze zwischen Europa und Asien, die die Sowjetunion in einen europäischen und einen asiatischen Teil zerlegt, ist eine konventionelle, von Geographen festgelegte Linie. Lange Zeit galt die Wasserscheide von Ural und Kaukasus als Grenze. Neuerdings haben sowjetische Geographen aus praktischen Erwägungen die Grenze an den Ostfuß des Ural und an den Nordrand Kaukasiens verlegt, so daß nach dieser Gliederung der Ural ganz zu Europa und der Kaukasus zusammen mit Transkaukasien und der Kaspisee zu Asien gerechnet werden. Als Grenze zwischen Afrika und Asien wird der Sueskanal angenommen. Als Grenze zwischen Nord- und Südamerika gilt allgemein die Landenge von Tehuantepec in Südmexiko, so daß Mittelamerika einschließlich der Inseln (aber ohne Mexiko) zu Südamerika gehört. Zu Australien rechnet die weitverstreute Inselflur Ozeaniens einschließlich Irian (Neuguinea), während die Sundainseln geschlossen zu Asien gezählt werden. Die durchweg kleinen, weitab von einem Erdteil liegenden ozeanischen Inseln, deren Zuordnung zu einem bestimmten Erdteil willkürlich erfolgen muß, hat keinen Einfluß auf die Flächengrößen der Erdteile.
Eine weitere Untergliederung der Kontinente in *Subkontinente* hat sich nur bei dem größten Erdteil Asien durchgesetzt. Hier ist eine Gliederung in Nordasien, Zentralasien, Ostasien, Südasien und Vorderasien üblich geworden.
Die sich aus dieser Begrenzung ergebenden Flächengrößen und die Gliederung der Erdteile sowie die Verteilung von Land und Meer nach Breitenzonen zeigen die folgenden Tabellen.

Horizontale Gliederung der Erdoberfläche. Die folgenden Tabellen bieten eine Übersicht der horizontalen Gliederung der Erdoberfläche a) nach Erdteilen, b) nach Breitenzonen:

a) nach *Erdteilen* (in Mill. km²)

Erdteil	Fläche insgesamt	Halbinseln	Inseln	Glieder im Verhältnis zur Gesamtfläche in %	Seen[2]	Küstenlänge[3] in 1000 km
Eurasien	54,15	10,14	3,45	26	0,28	107,8
Europa	*9,97*	*2,70*	*0,75*	*35*	*0,07*	*37,2*
Asien	*44,18*[1]	*7,44*	*2,70*	*24*	*0,21*[1]	*70,6*
Afrika	29,88	0,01	0,62	2	0,22	30,5
Australien mit Ozeanien	8,95	0,42	1,30	19	0,03	19,5
Antarktika	13,18	0,21	0,08	2	—	24,7
mit Schelfeis	*14,11*	*0,30*	*0,08*	*3*	—	*24,3*
Amerika	41,88	2,09	4,25	15	0,47	104,2
Nordamerika	*23,45*	*2,04*	*4,10*	*26*	*0,41*	*75,5*
Südamerika	*18,43*	*0,05*	*0,15*	*1*	*0,06*	*28,7*
Erde	148,04	12,86	9,70	15	1,00	362,2

b) nach *Breitenzonen* in Mill. km²

Breitenzone	Nordhalbkugel		Südhalbkugel		Zone insgesamt
	Land	Meer	Land	Meer	
80···90°	0,40	3,50	3,53	0,37	3,90
70···80°	3,34	8,25	8,00	3,59	11,59
60···70°	13,49	5,41	1,65	17,26	18,91
50···60°	14,58	11,02	0,21	25,40	25,60
40···50°	16,49	15,01	1,00	30,50	31,50
30···40°	15,58	20,82	4,17	32,24	36,40
20···30°	15,12	25,08	9,31	30,89	40,20
10···20°	11,25	31,53	9,44	33,34	42,78
0···10°	10,05	34,04	10,43	33,65	44,09
0···90°	100,30	154,66	47,74	207,24	254,97

[1] ohne Kaspisee (0,37 Mill. km²) — [2] über 500 km² — [3] ohne Inseln

Die Landflächen sind demnach auf der Erdoberfläche sehr ungleichmäßig verteilt. Auf die *Nordhalbkugel* entfallen 100 Mill. km², auf die *Südhalbkugel* dagegen nur 48 Mill km². Selbst wenn man die Erde so halbiert, daß auf die eine Hälfte möglichst viel Land entfällt, so überwiegt bei dieser Gliederung in eine *Land- und Wasserhalbkugel* auf der Landhalbkugel (Pol nahe der Loiremündung in Frankreich) noch immer mit 51% die Wasserfläche, auf der Wasserhalbkugel macht das Land dann noch nicht einmal 9% aus.
Der Verlauf der Küstenlinie gestattet schließlich noch die Gliederung des Festlandes in die allseits von Meer umgebenen *Inseln*, die in sehr verschiedener Größe und Anzahl um die einzelnen Erdteile liegen und die Abgrenzung von *Halbinseln*, die durch Buchten und Rand- und Binnenmeere mehr oder weniger deutlich vom Festland abgegliedert sind, aber durch eine Landgrenze noch mit diesem zusammenhängen. Halbinseln und Inseln werden zusammen im Verhältnis zum Rumpf auch als Glieder der Erdteile bezeichnet.
Der Landzusammenhang ist das wesentlichste Merkmal der Erdteile. In sich zeigt jeder Kontinent und auch die großen Halbinseln und Inseln eine vielfaltige innere Differenzierung. Diese auf den ersten Blick unübersichtliche Mannigfaltigkeit im physischen Antlitz des Festlandes der Erde läßt sich auf verschiedenen Wegen in eine Ordnung bringen. Dabei darf aber die Erdoberfläche nicht mehr als zweidimensionale Fläche aufgefaßt werden, sondern als ein Raum, die ein Kontinuum bildende *geographische Sphäre*. Sie ist der Raum des Zusammenwirkens von Lithosphäre (Gesteinshülle), Hydrosphäre (Wasserhülle), Atmosphäre (Lufthülle) und Biosphäre (Bereich der Lebewesen). Im Bereich der geographischen Sphäre läßt sich ein vielfältig abgestuftes, aber überall gesetzmäßiges Zusammenwirken zwischen den Elementen der einzelnen „Naturreiche" beobachten.
Die das Ergebnis einer langen geologischen Entwicklung darstellende *Gesteinshülle* der Erde wird durch die Verwitterung (Wirkungen der Atmosphäre, des Wassers, der Pflanzen- und Tierwelt) angegriffen und in Lockermaterial verwandelt. Durch die Wirkungen von Klima, Wasser, Pflanzen- und Tierwelt wird aus dem unbelebten Verwitterungsmaterial der Boden, ein eigenen Entwicklungsgesetzen unterworfenes Substrat, das fähig ist, Pflanzen zu ernähren. Der Boden besteht nicht mehr nur aus Bestandteilen des Ausgangsgesteins, sondern in ihm zirkulieren Wasser und Luft, und in ihm befindet sich ein reicher biotischer Komplex (Gesamtheit der Kleinlebewesen). Das Wasser schließlich, das im Bereich der geographischen Sphäre in allen drei Zustandsformen vorkommt, findet sich nicht nur im Boden und in der Lithosphäre als Grund- und Bodenwasser und als offene Gewässer (Meere, Seen, Flüsse) auf der Erdoberfläche, sondern auch in der Atmosphäre. Die Vegetationsdecke, einerseits von Boden und Klima abhängig, beeinflußt andererseits durch ihr Vorhandensein (oder Fehlen) die im Boden, an der Erdoberfläche und in den unteren Schichten der Atmosphäre ablaufenden natürlichen Prozesse. So erzeugt sie ein bestimmtes Mikroklima, beeinflußt entscheidend den Wasserhaushalt und in bedeutendem Maß auch die morphologischen Prozesse, die Umbildung der Oberflächenformen.
Aus dem Zusammenwirken der einzelnen an der Zusammensetzung der geographischen Sphäre beteiligten Komponenten ergibt sich ein Wirkungsgefüge, dessen Ausdruck die *natürliche Landschaft* ist. Die Anordnung der natürlichen Landschaften auf dem Festland der Erdoberfläche ergibt sich im wesentlichen aus wenigen Grundtatsachen: der Kugelgestalt der Erde, der Verteilung von Land und Meer und der Anordnung der Großformen, der Verteilung von Hoch und Tief auf der Erdoberfläche.
Der Einfluß der *Kugelgestalt* auf die Differenzierung der geographischen Sphäre beruht in erster Linie darauf, daß die für den Ablauf aller physisch-geographischen Prozesse notwendige Energie letztlich fast ausschließlich auf der Sonnenstrahlung basiert. Die Strahlungsmenge wird aber durch die Kugelgestalt, die Stellung der Erdachse und die Eigenbewegung der Erde bestimmt; da die Strahlungsmenge vom Einfallswinkel abhängig ist, nimmt die Strahlung vom Äquator zum Pol hin ab.
Der Einfluß der *Verteilung von Land und Meer* beruht in erster Linie auf der Tatsache, daß Land und Wasser sich gegenüber der Strahlung verschieden verhalten. Während das Wasser sich nur langsam erwärmt und bedeutende Wärmemengen speichern kann, erhitzt sich das Land rasch, kühlt sich aber (auch bei fehlender oder geringer Strahlung) schnell und stärker ab. Dieses unterschiedliche Verhalten wird in der Geographie als ozeanisch und kontinental gekennzeichnet. Mit zunehmender Entfernung vom Meer nimmt der ozeanische Einfluß auf dem Festland ab und läßt so den kontinentalen Einfluß zur Geltung kommen.
Der Einfluß der großen Züge des *Reliefs* der Erde beruht hauptsächlich darauf, daß mit zunehmender Höhe die Temperaturen rasch abnehmen, daß die Verteilung der Massenerhebungen die Luftzirkulation merklich beeinflußt und als wichtigstes azonales Element die zonale Struktur der vom Klima abhängigen Elemente wesentlich abwandelt.

So läßt sich das Festland der Erdoberfläche nach folgenden vier Gesichtspunkten gliedern:

1. Die *horizontale Gliederung des Festlandes* umfaßt die Verteilung von Land und Meer, die Gliederung in Kontinente, Subkontinente, Halbinseln und Inseln.

2. Die Zonengliederung erfolgt auf Grund der aus der Kugelgestalt resultierenden zonalen Differenzierung der Einstrahlung und der daraus folgenden zonalen Anordnung der Klimate und aller davon abhängigen Erscheinungen (Böden, Wasserhaushalt, Vegetationsdecke, Tierwelt,

morphologische Prozesse) in die *geographischen Zonen* (natürliche Zonen, Landschaftszonen), aber auch in die Zonen der einzelnen Landschaftselemente (Klimazonen, Bodenzonen, Vegetationszonen).

3. Aus der Oberflächengestaltung, dem Relief der Erde, ergibt sich die Gliederung in *orographische* oder *morphologische Einheiten*, in denen die Gebirge die wesentlichsten Glieder sind.

4. Aus der Tatsache der gesetzmäßigen Abnahme der Temperatur mit der Höhe ergibt sich schließlich innerhalb der einzelnen Gebirge die Gliederung in *Höhenstufen* (Höhengürtel, fälschlich Höhenzonen).

Aus dem Zusammenwirken dieser vier in der geographischen Sphäre wirksamen „Abwandlungen" (ozeanisch-kontinental, zonal, orographisch und vertikal) ergibt sich das außerordentlich vielgestaltige, aber gesetzmäßig auf der Erdoberfläche angeordnete, aus dem Gegenspiel zonaler und azonaler Gestaltungskräfte erklärbare physisch-geographische Mosaik der Erdoberfläche.
In den folgenden Übersichten sind für diese vier Gliederungsprinzipien jeweils die wesentlichsten Tatsachen zusammengestellt.

DAS RELIEF DER ERDE

Die vertikale Gliederung der Erdoberfläche. Das Festland der Erde steigt im Himalaja bis 8848 m über den Meeresspiegel auf, und die tiefsten gemessenen Meerestiefen betragen 11034 m im Marianengraben und 10800 m im Philippinengraben. Zwischen diesen Extremwerten ordnen sich die Landhöhen und die Meerestiefen an. Veranschaulicht man die Höhendifferenzierung in einem Diagramm, der *hypsometrischen Kurve*, so wird deutlich, daß auf der Erdoberfläche zwei Niveaus klar hervortreten. Am ausgedehntesten ist die sogenannte Tiefseetafel, der Bereich zwischen − 3000 m und − 5500 m; auf sie entfallen mehr als die Hälfte der gesamten Erdoberfläche. Über ein Viertel umfaßt die Kontinentaltafel, der Bereich zwischen − 200 m und + 1000 m. Von ihr sind die randlichen Teile, der Schelf (− 200 m bis 0 m) gegenwärtig vom Weltmeer mit überspült. Der Übergang von der Kontinentaltafel zur Tiefseetafel, also der Bereich zwischen − 200 m und − 3000 m wird als Kontinentalabhang bezeichnet. Die Gebirge und Hochländer über + 1000 m nehmen nur 8,3% der gesamten Erdoberfläche ein. Auf die Tiefseegräben, den Bereich, der tiefer als − 5500 m ist, entfallen 4,1 %.

	Bereich m	Mill km²	%	davon	Mill. km²	%
Gipfelung (Gebirge und Hochland)	+ 1000 ··· + 8848	42,3	8,3	3000 ··· 8848	8,5	1,6
				1000 ··· 3000	33,8	6,7
Kontinentaltafel	− 200 ··· + 1000	134,1	26,3	500 ··· 1000	28,9	5,7
				200 ··· 500	39,9	7,8
				0 ··· 200[1]	37,0	7,3
				− 200 ··· 0[2]	28,3	5,5
Kontinentalabhang	− 200 ··· − 3000	40,3	7,9	− 200 ··· − 1000	15,3	3,0
				− 1000 ··· − 2000	14,8	2,9
				− 2000 ··· − 3000	10,2	2,0
Tiefseetafel	− 3000 ··· − 5500	271,8	53,4			
Tiefseegesenke (-rinnen, -graben)	− 5500 ··· − 11034	20,9	4,1			

[1] Tiefland — [2] Schelf

Die Höhengliederung der einzelnen Kontinente weicht, wie die folgende Zusammenstellung der mittleren Erhebungen und die Verteilung der Höhenstufen in den einzelnen Kontinenten zeigt, beträchtlich von der mittleren Höhengliederung der Erdoberfläche ab.

	mittlere Erhebung	Anteil der einzelnen Höhenstufen in Mill. km² und %									
		0···200		200···500		500···1000		1000···3000		über 3000 m	
Europa	340										
Asien	960										
Eurasien		16,8	*31*	11,4	*21*	12,0	*22*	10,8	*20*	3,2	*6*
Afrika	750	3,0	*10*	11,6	*39*	8,4	*28*	6,6	*22*	0,3	*1*
Australien	340	3,7	*41*	3,7	*41*	1,4	*16*	0,2	*2*	0,0	*0*
Nordamerika	720	7,2	*30*	7,5	*31*	2,9	*12*	6,0	*25*	0,5	*2*
Südamerika	590	6,8	*38*	5,2	*29*	3,5	*20*	1,4	*8*	0,9	*5*
Antarktika	2200 ?	0,8	6	0,4	*3*	0,7	*5*	7,8	*59*	3,4	*26*
Festland	875	38,3	*26*	39,8	*27*	28,9	*19*	32,8	*22*	8,3	*6*

Die Gebirge der Erde mit den bedeutendsten Bergen. Das Relief der Erde wird am markantesten durch seine großen Massenerhebungen, die *Gebirge*, geprägt. Die Gebirge der Erde sind nach Entstehung, geologischem Bau, Oberflächengestaltung und innerer Gliederung z. T. bemerkenswert verschieden, z. T. zeigen sie aber auch auffällige Gemeinsamkeiten. Diese resultieren jeweils aus einer ähnlichen geologischen Entwicklung, dem Auftreten gleicher oder ähnlicher Gesteine und in bezug auf die Formengestaltung aus der Lage im gleichen Klimabereich. Eine allgemeine Charakteristik der Gebirge nach einfachen, überall wiederkehrenden Merkmalen ist darüber hinaus kaum möglich.

Neben Längserstreckung und Flächenausdehnung (Breite) ist die *Gipfelhöhe* die am häufigsten genannte Maßangabe für ein Gebirge. Gewiß ist der höchste Gipfel oder sind die höchsten Berge ein wichtiges Merkmal für ein Gebirge. Der Aussagewert der Höhenangabe ist aber beschränkt, weil er nichts über die Art der Massenerhebung aussagen kann, ob es ein hoch über die Umgebung hinausragender Einzelberg ist oder nur ein wenig auffälliger Gipfel innerhalb einer hohen geschlossenen Kette. Ferner ist aus einer solchen Höhenangabe nicht ersichtlich, ob die jeweilige Höhe für ein Gebirge eine Einzelerscheinung ist oder ob ähnlich hohe Berge in größerer Zahl vorkommen. Weiterhin ist nichts ausgesagt über die Gestalt des Berges, ob es sich um einen bizarr geformten, scharf geschnittenen alpinen Gipfel, um eine sanft geformte runde Bergkuppe oder gar um einen Tafelberg mit einem ausgedehnten Gipfelplateau handelt. Ein Teil dieser für Gebirge und Einzelberge wichtigen Merkmale, insbesondere die auch für die Formengestaltung wichtige Anordnung und Ausprägung der auftretenden Höhenstufen, ergibt sich aus der Lage in den verschiedenen geographischen Zonen.

In der folgenden Tabelle sind für die einzelnen Gebirge und ihre wichtigsten Glieder jeweils der höchste Gipfel und z. T. einige weitere bedeutende Berge zusammengestellt.

Für viele Berge außerhalb Europas können die Höhenzahlen noch nicht als endgültig gelten bzw. muß bei genaueren Vermessungen mit Änderungen der Zehnerstellen und bei einer ganzen Reihe auch mit Änderungen in der Größenordnung von 100 m oder gar mehreren hundert Metern gerechnet werden. Gegenwärtig oder in jüngster Vergangenheit (historischer Zeit) noch tätige Vulkane sind durch ein * vor dem Bergnamen besonders gekennzeichnet.

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
	Europa		
Alpen			
Savoyer Alpen	Montblanc	4807	Frankreich/Italien
Monte-Rosa-Gruppe	Dufourspitze	4634	Schweiz/Italien
Walliser Alpen	Mischabel, Dom	4545	Schweiz
	Weißhorn	4506	Schweiz
	Matterhorn	4478	Schweiz/Italien
Berner Alpen	Finsteraarhorn	4275	Schweiz
	Aletschhorn	4195	Schweiz
	Jungfrau	4158	Schweiz
	Mönch	4099	Schweiz
	Eiger	3970	Schweiz
Mont-Pelvoux-Gruppe	Les Escerins	4103	Frankreich
Grajische Alpen	Gran Paradiso	4061	Italien
Rätische Alpen	Piz Bernina	4049	Schweiz/Italien
Ortlergruppe	Ortler	3899	Italien
Cottische Alpen	Monte Viso	3841	Italien/Frankreich
Hohe Tauern	Großglockner	3798	Österreich
	Großvenediger	3674	Österreich
Ötztaler Alpen	Wildspitze	3774	Österreich
Urner Alpen	Dammastock	3630	Schweiz
Glarner Alpen	Tödi	3623	Schweiz
Adamellogruppe	Presanella	3556	Italien
Zillertaler Alpen	Hochfeiler	3510	Österreich/Italien
Stubaier Alpen	Zuckerhütl	3507	Österreich
Silvrettagruppe	Piz Linard	3411	Schweiz
Adulagruppe	Rheinwaldhorn	3403	Schweiz
Seealpen	Rocca del' Argentera	3397	Italien
Dolomiten	Marmolada	3354	Italien
Unterwaldener Alpen	Titlis	3239	Schweiz
Lechtaler Alpen	Parseier Spitze	3038	Österreich
Salzburger Alpen	Dachstein	2996	Österreich
	Watzmann	2713	Österreich
Wettersteingebirge	Zugspitze	2963	Westdeutschland/Österr.

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Schwyzer Alpen	Glärnisch	2914	Schweiz
Julische Alpen	Triglav	2863	Italien
Niedere Tauern	Hochgolling	2863	Österreich
Karnische Alpen	Hohe Warte	2780	Italien/Österreich
Allgäuer Alpen	Mädelegabel	2649	Westdeutschland/Österr.
St. Gallener Alpen	Säntis	2501	Schweiz
Ennstaler Alpen	Hochtor	2372	Österreich
Karawanken	Hochstuhl	2238	Italien/Österreich
Sierra Nevada			
	Mulhacén	3478	Spanien
	Veleta	3470	Spanien
Pyrenäen			
Maládetta	Pico d'Aneto	3404	Spanien
Zentral-Pyrenäen	Monte Perdido	3355	Spanien/Frankreich
	Pic du Midi	2885	Frankreich
Ost-Pyrenäen	Puigmal	2913	Spanien/Frankreich
West-Pyrenäen	Pic d'Anié	2504	Frankreich/Spanien
Rila-Rhodopen			
Rilagebirge	Musalla	2925	Bulgarien
	Dimitrov (Dimitroff)	2902	Bulgarien
Piringebirge	Vichren (Jel Tepe)	2915	Bulgarien
Witoscha	Tscherny Vrh	2291	Bulgarien
Rhodopen	Goljam Perelik	2191	Bulgarien
Griechische Gebirge			
Olymp	Olymp	2911	Griechenland
Pindus	Smolika	2637	Griechenland
Giona	Giona	2510	Griechenland
Parnaß	Parnaß	2457	Griechenland
Taygetos	Hagios Elias	2409	Griechenland
Nordpeloponnes	Ziriaberg (Kyllini)	2376	Griechenland
Athos	Athosberg	2033	Griechenland
Apennin			
Abruzzen	Gran Sasso (Monte Corno)	2914	Italien
	Monte Amaro (La Majella)	2795	Italien
Toskanischer Apennin	Monte Cimone	2163	Italien
	*Vesuv	1270	Italien
Dinarische Gebirge			
Korabi	Korab	2751	Albanien/Jugoslawien
Schar Planina	Turtschin	2702	Jugoslawien
Nordalbanische Alpen	Jezerce	2693	Albanien
Montenegro	Durmitor	2522	Jugoslawien
Dinarische Alpen	Troglav	1913	Jugoslawien
Karpaten			
Vysoké Tatry	Gerlachovský štít	2655	ČSSR
Südkarpaten	Moldovean	2544	Rumänien
	Mîndra	2529	Rumänien
	Omul	2507	Rumänien
Ostkarpaten	Pietrosul	2304	Rumänien
	Hoverla	2058	UdSSR
	Harghita	1798	Rumänien
Nízké Tatry	Dumbir	2043	ČSSR
Rumänische Westkarpaten	Cucurbeţa	1848	Rumänien
Beskiden, Beskydy	Babia hora	1725	ČSSR/Polen
Slovenské rudohorie	Stolica	1477	ČSSR
	Fabova holá	1439	ČSSR
Bilé Karpaty	Javorniky	1071	ČSSR
Malé Karpaty	Visoká	754	ČSSR

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Skandinavisches Gebirge			
Jotunheimen	Galdhöpig	2469	Norwegen
	Glittertind	2481	Norwegen
Dovrefjell	Snöhetta	2286	Norwegen
	Kebnekajse	2135	Schweden
Balkan (Stara Planina)			
Hoher Balkan	Boteff (Botew; Jumruk-tschal)	2376	Bulgarien
	Triglav	2275	Bulgarien
West-Balkan	Midžor	2168	Bulgarien/Jugoslawien
Ural			
Nördlicher Ural	Narodnaja	1894	UdSSR
	Tel pos is	1617	UdSSR
Südlicher Ural	Jaman-tau	1638	UdSSR
Mittlerer Ural	Konshakowski Kamen	1569	UdSSR
Polarer Ural	Pai-jer	1499	UdSSR
Französisches Zentralmassiv			
Mont Doré-Massiv	Puy de Sancy	1886	Frankreich
Cantal-Gebirge	Plomb du Cantal	1858	Frankreich
Cevennen	Mont Mézenc	1754	Frankreich
Puy de Dôme-Massiv	Puy de Dôme	1463	Frankreich
Mitteleuropäische Mittelgeb.			
Schweizer Jura	Crêt de la Neige	1723	Frankreich
	Mont Tendre	1663	Schweiz
Krkonoše	Sněžka (Schneekoppe)	1602	ČSSR/Polen
Hruby Jesenik	Praděd (Altvater)	1492	ČSSR
Jizerské hory	Jizera	1122	ČSSR/Polen
Orlické hory	Vrchmezi	1084	ČSSR/Polen
Góry Sowie	Sowie (Hohe Eule)	1014	Polen
Schwarzwald	Feldberg	1493	Westdeutschland
	Belchen	1414	Westdeutschland
Böhmerwald	Großer Arber	1457	Westdeutschland
	Rachel	1452	Westdeutschland
	Kubany	1362	ČSSR
Vogesen	Sulzer Belchen	1423	Frankreich
Erzgebirge	Klinovec (Keilberg)	1244	ČSSR
	Fichtelberg	1204	DDR
Harz	Brocken	1142	DDR
Bayrischer Wald	Einödriegel	1126	Westdeutschland
Fichtelgebirge	Schneeberg	1051	Westdeutschland
Schwäbische Alb	Lemberg	1015	Westdeutschland
Matra	Kékes	1015	Ungarn
Lausitzer Gebirge	Ještěd (Jeschken)	1012	ČSSR
	Lausche	792	DDR/ČSSR
Thüringer Wald	Großer Beerberg	982	DDR
	Schneekopf	976	DDR
	Inselsberg	916	DDR
Bükkgebirge	Istállóskő	959	Ungarn
Rhön	Wasserkuppe	950	Westdeutschland
	Geba	751	DDR
Oberpfälzer Wald	Entenbühl	936	Westdeutschland
Taunus	Feldberg	880	Westdeutschland
Rothaargebirge	Kahler Asten	840	Westdeutschland
Brdý-Wald	Praha	863	ČSSR
Hunsrück	Erbeskopf	816	Westdeutschland
Frankenwald	Döbraberg	795	Westdeutschland
Vogelsberg	Taufstein	774	Westdeutschland
Českomoravska vrchovina	Křemešnik	765	ČSSR
Meißner	Hoher Meißner	750	Westdeutschland

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Eifel	Hohe Acht	746	Westdeutschland
Bakonywald	Köröshegy	713	Ungarn
Fränkische Alb	Hesselberg	689	Westdeutschland
Haardt	Kalmit	683	Westdeutschland
Ardennen	Botrange	669	Belgien
Łysogóry	Łysica	611	Polen
Spessart	Geyersberg	585	Westdeutschland
Elbsandsteingebirge	Großer Winterberg	551	DDR
Kyffhäuser	Kulpenberg	477	DDR
Krimgebirge			
Jailagebirge	Roman Kosch	1545	UdSSR
Inseln			
Sizilien	*Ätna	3263	Italien
Korsika	Monte Cinto	2710	Frankreich
Kreta	Ida	2498	Griechenland
Island	*Oraefa Jökull	2119	Island
	Snaefell	1833	Island
	*Hekla	1557	Island
Sardinien	La Marmora	1834	Italien
Euböa	Dirphis	1745	Griechenland
Spitzbergen	Newtonspitze	1717	Norwegen
Kefallinia	Enos	1628	Griechenland
Mallorca	Puid de Torellas	1445	Spanien
Grampians	Ben Nevis	1343	Großbritannien
Northern Highlands	Cross Eige	1182	Großbritannien
Kambrisches Gebirge	Snowdon	1085	Großbritannien
Nowaja Semlja	Pik Sedow	1070	UdSSR
Irland	Carrantuohill	1041	Irland
	Asien		
Himalaja			
Zentral-Himalaja	Tschomolungma (Mt. Everest)	8848	Nepal/China (Tibet)
West-Himalaja	Nanga Parbat	8125	Kaschmir
Zentral-Himalaja	Shisha Pangma[1] (Gosainthan)	8013[1]	Nepal/China
Ost-Himalaja	Namtscha-barwa	7756	China
Zentral-Himalaja	Gurla Mandatta	7728	Indien/Nepal/China
	Gaurisankar	7145	Nepal
Karakorum	K 2 (Chogori) (Mt. Godwin Austen)	8611	Kaschmir/China (Tibet)
	Rakaposchi	7789	Kaschmir
	Batura-Mustag	7785	Kaschmir
	Hispar (Dasto-Ghil)	7785	Kaschmir
Kunlun			
Prshewalski-Kette	Ulug mustag	7723	China
	Schapka-monomacha	7720	China
Kungur-Gebirge	Kungur-tag	7719	China
	Mustag-Ata	7546	China
Mustag-Kette	Mustag	7282	China
Hindukusch	Tiratsch Mir	7750	Pakistan
Kuh-i-Baba	Kuh-i-Baba	5143	Afghanistan
Sefid-Kuh	Sikkaram	4755	Pakistan/Afghanistan
Paropamis	Chodsha Kalsaf	3468	Afghanistan
Sino-Tibet-Gebirge	Tsiljutsin	7700	China
	Gungaschan (Minya Gongkar)	7587	China

[1] Alle weiteren Achttausender vgl. Tabelle: Erstbesteigungen

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Pamir	Pik Kommunismus	7495	UdSSR
	Pik Korshenewskoi	7105	UdSSR
	Pik Revoljuzia	6974	UdSSR
	Pik Karl Marx	6726	UdSSR
Tienschan			
Kokschaal-tau	Pik Pobeda	7439	UdSSR/China
Meridional-Kette	Chan Tengri	6995	UdSSR/China
Chalyn-tau	Pik Tamgatasch	6811	China
Kokschaal-tau	Pik Dankowa	5982	UdSSR
Bogdo-schan	Bogdo-ola	5445	China
Alai-Gebirge	Pik Igla	5301	UdSSR
Transili-Alatau	Pik Talgar	4951	UdSSR
Karlyk-tag	Karlyk-tag	4925	China
Kungei-Alatau	Tschoktal	4771	UdSSR
Transhimalaja	Aling-gangri	7315	China (Tibet)
	Nentscheng-tangla	7088	China (Tibet)
Transalai	Pik Lenin	7124	UdSSR
	Kurumdy	6610	UdSSR
Nanschan			
Suleischan		6346	China
Dasjueschan		6209	China
Altyn-tag		5400	China
Elbursgebirge	*Demawend	5604	Iran
	Sawelan	4821	Iran
Kaukasus	*Elbrus	5633	UdSSR
	Schchara	5201	UdSSR
	Dych-tau	5198	UdSSR
	Kasbek	5043	UdSSR
	Uschba	4710	UdSSR
Armenisches Hochland	*Großer Ararat	5156	Türkei
	*Aragaz	4095	UdSSR
Kamtschatka	*Kljutschewskaja Sopka	4850	UdSSR
	Tolbatschik	3682	UdSSR
Zagros-Ketten	Zardeh-Kuh	4547	Iran
	Kuh-i-Kelahr	4309	Iran
Kuh-Rud	Kuh-i-Hasar	4420	Iran
	Kuh-i-Lelesar	4374	Iran
	Schir-Kuh	4075	Iran
Altai			
Großer Altai	Belucha	4506	UdSSR
Südlicher Altai	Tabyn-bogdo-ola	4356	UdSSR/China/Mongolei
Mongolischer Altai	Munku-Chairchan-ula	4231	Mongolei
Gobi-Altai	Iche-Bogdo	4000	Mongolei
Tsinlingschan	Taibaischan	4107	China
Changai	Otchon-Tengri	4031	Mongolei
Pontisches Gebirge	Kačgar-dagh	3937	Türkei
	Karataş	3095	Türkei
Taurus			
Zentral-Taurus	Erdiyas (Argans)	3916	Türkei
	Kaldydak (Demirkasyk)	3910	Türkei
Innerer Taurus	Bingöl	3650	Türkei
Östlicher Taurus	Karadagh	3630	Türkei
Kleiner Kaukasus			
Sangesurgebirge	Kapydshik	3906	UdSSR
Murow-Dag	Gjamysch	3722	UdSSR
Gegamgebirge	Ashdaak	3598	UdSSR

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Patkaigebirge	Sarataschi	3826	Burma/Indien
Arabien			
Südwestarabien	Nubbi Schnaib	3760	Jemen
	Dschebel Rasih	3658	Jemen
Omangebirge	Dschebel Scham	3020	Saudi-Arabien
Südarabisches Gebirge	Dschebel Sabor	3006	Saudi-Arabien
Sinai-Gebirge	Dschebel Katherin	2637	Sinai
Sajan			
Ostsajan	Munku-sardyk	3492	UdSSR/Mongolei
Westsajan	Kysyl-Taiga	3121	UdSSR
Suleiman-Gebirge	Obaschta Zukai (Kaisargh)	3344	Pakistan
Pirghatgebirge	Pirghat	3339	Pakistan
Arakan-Joma	Victoria	3053	Burma
Tscherski-Gebirge	Pobeda	3147	UdSSR
Annamgebirge	Pan-si-Ban	3142	Nordvietnam
Kopet-Dagh	Chesarmedshed	3117	Iran
	Resa	2942	UdSSR/Iran
Libanon			
Libanon	Karnat-Es-Saida (Quarnt es Suda)	3089	Libanon
Hermon	Reseh Schech	2814	Libanon/Syrien
Antilibanon	Badi-Chadshar	2659	Syrien
Werchojansker Gebirge	Suntar Chajata	2959	UdSSR
Udokangebirge	Skalisty Golez	2800	UdSSR
Nord-Korea	Baitoschan (Pektusan)	2744	Nord-Korea
	Kwanmobon	2541	Nord-Korea
Tapaschan	Schanschupin	2708	China
West-Ghats			
Kardamomgebirge	Anaimudi	2695	Indien
Niligirigebirge	Doddabetta	2633	Indien
Dshugdyr		2520	UdSSR
Stanowoigebirge	Skalisty Golez	2482	UdSSR
Jablonowygebirge	Sochondo	2451	UdSSR
Talysch	Kysjurdu	2434	UdSSR
Dshugdshur	Moklichan	2350	UdSSR
Anadyrgebirge		2320	UdSSR
Chamar-Daban	Sochor	2323	UdSSR
Kusnezker Alatau	Werchny Sub	2178	UdSSR
Sichote-Alin	Tardoki-Jani	2078	UdSSR
	Oblatschnaja	1856	UdSSR
Putoranagebirge	Kamen	2037	UdSSR
Ost-Ghats	Dewadi	1640	Indien
Byrrangagebirge		1146	UdSSR
Inseln			
Kalimantan (Borneo)	Kinibalu	4101	Nordborneo
Taiwan	Juschan	3950	China
Sumatera	*Korintji (Indrapura)	3805	Indonesien
	Sinobang (Löser)	3381	Indonesien
Hondo	*Fudschijama (Fuji)	3778	Japan
	Shirane (Kitadake)	3192	Japan
Lombok	*Rindjani	3775	Indonesien
Djawa	*Semeru	3676	Indonesien
Sulawesi	Latimodjong	3495	Indonesien

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Seram	Pinaja	3055	Indonesien
Mindanao	*Apo	2953	Philippinen
Luzon	Pulog	2928	Philippinen
Mindoro	Halcon	2886	Philippinen
Ceylon	Petrotallagalla (Pidurutalagala)	2524	Ceylon
Kurilen	*Alaït	2339	UdSSR
Zypern	Troodos	1952	
Sachalin	Lopati	1609	UdSSR
	Nordamerika		
Alaskagebirge	Mt. MacKinley	6187	USA (Alaska)
	Mt. Foraker	5183	USA (Alaska)
St. Elias-Mts.	Mt. Logan	6054	Kanada
	Mt. St. Elias	5492	Kanada/Alaska
	Mt. Fairweather	4663	Kanada/Alaska
Hochland von Mexiko	Pik von Orizaba (Citlaltepetl)	5683	Mexiko
	*Popocatepetl	5452	Mexiko
	Iztaccihuatl	5286	Mexiko
	Nevado de Tolica	4580	Mexiko
	Nevado de Colima	4380	Mexiko
Wrangellgebirge	Peak Sanford	4940	USA (Alaska)
	Blackburn	4918	USA (Alaska)
	Mt. Wrangell	4270	USA (Alaska)
Sierra Nevada	Mt. Whitney	4418	USA (California)
	White Mt. Peak	4343	USA (California)
Rocky Mountains (Felsengebirge)	Mt. Elbert	4398	USA (Colorado)
	Mt. Massive	4394	USA (Colorado)
Sangre de Cristo	Blanca Peak	4373	USA (Colorado)
San Juan Mts.	Uncompahgre	4350	USA (Colorado)
	Sneffels-Peak	4310	USA (Colorado)
Wind-River-Range	Gannet Peak	4203	USA (Wyoming)
Uinta-Mountains	Kings Peak	4114	USA (Utah)
Grand Teton	Mt. Grand Teton	4190	USA (Wyoming)
Absaroka Range	Granite Peak	3850	USA (Montana)
Kanadisches Felsengebirge	Mt. Robson	3954	Kanada
	Mt. Columbia	3747	Kanada
Cascade Range (Kaskadengebirge)	Mt. Rainier	4391	USA (Washington)
	Mt. Shasta	4316	USA (California)
	Mt. Hood	3432	USA (Oregon)
	Lassen Peak	3182	USA
Coast Mountains (Kanadisches Küstengebirge)	Mt. Waddington	4042	Kanada
	Mt. Georg Dawson	4040	Kanada
Coast Ranges (Kalifornisches Küstengebirge)	San Gorgonia	3500	USA (California)
	La Encandata	3069	USA (California)
Alëutengebirge	Iliamna	3074	USA (Alaska)
	Katmai	2286	USA (Alaska)
Brooksgebirge	Mt. Michelson	2816	USA (Alaska)
Mackenziegebirge	Mt. Sir James MacBryan	2758	Kanada
Black Hills	Harney Peak	2207	USA (South Dakota)
Appalachen			
Blue Ridge	Mt. Mitchell (Black Dome)	2036	USA (North Carolina)
Alleghanies	Guyot	2025	USA
Smoky-Mts.	Clingmans Dome	2024	USA (Tennessee)
White Mts.	Mt. Washington	1916	USA (New Hamshire)

Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Inseln			
Grönland	Gunnbjörns Fjeld	3734	Grönland
	Watkins	3700	Grönland
	Mt. Forell	3483	Grönland
	Petermannspitze	2940	Grönland
Ellesmereland	United States Mts.	3050	Kanada
Alëuten			
Unimak	Schischaldinow	2850	UdSSR
Tanaga		2126	UdSSR
Umnok		2109	UdSSR
Baffinland	Penny-Plateau	2700	Kanada
	Südamerika, Mittelamerika		
Anden (Kordilleren)			
Chilen.-Argent. Anden	Aconcagua	6959	Argentinien
	Ojos del Salado	6880	Argentinien/Chile
Cordillera Real	Illampú	6450	Bolivien
	Illimani	6485	Bolivien
Chilen.-Argent. Anden	Dos Conos	6864	Argentinien
	Bonete	6842	Argentinien
	*Cerro Pissis	6782	Argentinien
Boliv. West-Kordilleren	Sajama	6780	Bolivien
Chilen.-Argent. Anden	Mercedario	6770	Argentinien
Cordillera Blanca	Huascaran	6763	Perú
Chilen.-Argent. Anden	*Llullaillaco	6723	Argentinien/Chile
	Cachi	6719	Argentinien
	Tres Cruces	6625	Chile
Bolivian. Ostkordillere	Ancohuma	6550	Bolivien
	Sorata	6550	Bolivien
Peruan. Ostkordillere	Cuzco (Ausangate)	6384	Perú
Cordillera de Oliva	Tortolas de Chile	6354	Chile/Argentinien
Ecuador. Westkordillere	*Chimborazo	6310	Ecuador
Peruan. Westkordillere	*Ampato	6300	Perú
Peruan. Ostkordillere	Salcantai	6264	Perú
Cordillera de Famatina	Mexicana	6250	Argentinien
	Juncal	6086	Chile/Argentinien
Westkordillere	Pili	6050	Perú/Chile
Chilen.-Argent. Anden	Colorados	6049	Argentinien/Chile
Ostkordillere	*Cotopaxi	6005	Ecuador
Peruan. Westkordillere	Tacora	5950	Perú/Chile
Peruan. Westkordillere	*Misti	5842	Perú
Ostkordillere	Cojambe	5796	Ecuador
Sierra Nevada de Santa Marta	Pico Colon	5774	Kolumbien
Zentralkordillere	Huila	5750	Kolumbien
Ostkordillere	*Antisana	5704	Ecuador
Cordillera Oriental	Sierra Nevada de Cocui	5600	Kolumbien
Ostkordillere	*Sangay	5410	Ecuador
Zentralkordillere	*Nevado de Ruiz	5400	Kolumbien
	Tolima	5215	Kolumbien
Kordillere von Merida	Pico Bolivar	5002	Venezuela
Westkordillere	Cumbal	4764	Kolumbien
	Tamana	4200	Kolumbien
Patagonische Anden	Cerro San Valentin	4058	Chile
	Muralon	3600	Chile/Argentinien
	Pyramide	3380	Chile
Kordillere von Mittelamerika			
Sierra Madre Occ.	*Tahiumulco,	4211	Guatemala
	*Tacana	4064	Guatemala/Mexiko
	*Fuego	3918	Guatemala
	*S. Maria	3768	Guatemala
	*Agua	3754	Guatemala

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Cordillera de Talamanca	*Chirripo Grande	3837	Costa Rica
	*Irazu	3452	Costa Rica
	*Pico Blanco	3565	Costa Rica
	*Chiriqui	3430	Panamá
	Pic Bonito	2451	Honduras
Kordillere von Cordoba	Champaqui	2880	Argentinien
	Cerro de los Gigantes	2350	Argentinien
Bergland von Brasilien			
Serra de Caparao	Pico da Bandeira	2884	Brasilien
Serra de Mantiqueira	Itatiaya (Aguljas Negros)	2821	Brasilien
Serra do Mar	Boapista	2070	Brasilien
Serra do Espinhaco	Itambe	2033	Brasilien
Hochland von Goias	Morru Altu	1678	Brasilien
Bergland von Guayana	Roroima	2771	Venezuela/Brit.-Guay.
	Ptari-tepui	2650	Venezuela
Karibisches Gebirge	Pico de Naiguate	2765	Venezuela
	Silla de Caracas	2665	Venezuela
Inseln			
Haiti			
Zentralkordillere	Pico Trujillo	3175	Dominikanische Republik
Südkordillere	La Selle	2680	Haiti
Feuerland	Monte Darwin	2469	Chile
Jamaica			
Blue Mountains	Blue Mountains Peak	2292	
Cuba			
Sierra Maestra	Pico de Turquino	2005	Cuba
Guadeloupe	*Soufrière	1484	
Galapagosinseln			
Insel Isabela	Pico de Villamil	1432	
Martinique	*Mont Pelée	1463	
	Antarktis		
Executive-Committee-Range	Mt. Vinson	6100?	Marie-Byrd-Land
	Mt. Siple	4570	Marie-Byrd-Land
	Mt. Sidley	4170	Marie-Byrd-Land
Königin-Alexander-Kette	Mt. Markham	4572	Süd-Victoria-Land
	Andrew Jackson	4500	Grahamland
Commonwealth-Range	Mt. Deakin	4054	
	*Erebus	4023	Süd-Victoria-Land
Royal Society Range	Mount Lister	3962	
Sentinel-Range	Mt. Ulmer	3810	Ellsworth-Hochland
Horlick-Gebirge	Mount Glossopteris	3049	
	Afrika		
Ostafrikanische Vulkanberge			
Kilimandscharo	*Kibo	5895	Tanganjika
	*Kenia (Kenya)	5199	Kenia
Ruwenzori	Pik Margherita	5120	Uganda/Kongo
	*Meru	4566	Tanganjika
Virungaberge	Karisimbi	4531	Ruanda-Urundi
	*Elgon	4321	Kenia/Uganda
Livingstonegebirge	Rungwe	3175	Tanganjika
Hochland von Äthiopien	Ras Daschan (Dedjen)	4580	Äthiopien
	Buahit	4510	Äthiopien
	Kalla (Kollo)	4300	Äthiopien
Atlas	Tubkal (Toubkal)	4165	Marokko
	Mgura	4071	Marokko
	Ayasch	3750	Marokko

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Antiatlas	Sirwa	3304	Marokko
Er Rif (Rifatlas)	Tidigin (Tiziren)	2451	Algerien
Saharaatlas	Scheliha (Schelija)	2328	Algerien
Kamerunberg	*Kamerunberg (Fako)	4070	Kamerun
Drakensberge	Cathkin-Peak	3657	Südafrikanische Union
	Giants-Castle	3352	Südafrikanische Union
Tibesti-Gebirge	Emi-Kussi	3415	Tschad
Darfur	Dschebel Marra	3088	Sudan
Hoggarmassiv (Ahaggar)	Tahat	3005	Algerien
Hochland von Adamaua	Ngoi Kedin	2000	Kamerun
Hochland von Mocambique	Mlandji	3000	Njassaland
	Namuli	2378	Moçambique
Hochland von Bihé	Moko	2610	Angola
	Loviti	2370	Angola
Südwestafrika	Brandberg	2610	Südwestafrika
	Erongo	2350	Südwestafrika
Kap-Berge	Kompaßberg	2500	Südafrikanische Union
	Mauchspitze	2332	Südafrikanische Union
	Tafelberg	1082	Südafrikanische Union
Bergland von Guinea			
Lomaberge	Loma	1946	Sierra Leone
Nimbaberge	Nimba	1752	Liberia
Inseln			
Kanaren			
Teneriffa	*Pico de Teyde	3711	spanisch
Réunion	Piton de Neiges	3069	französisch
Madagaskar			
Ankaratragebirge	Tsaratanana	2880	Malagasy
	Tsiafadjavona	2680	
Kapverden			
Insel Fogo	Fogo	2829	portugiesisch
	*Pico Volcano	2850	
Fernando Póo	Pik Santa Isabel	2850	Spanisch-Guinea
Komoren	Mont Comoro	2608	französisch
	*Kartala	2400	
Tristan da Cunha	Mount Olav	2329	britisch
Madeira	*Ruivo	1881	portugiesisch
	Australien, Ozeanien		
Australische Alpen	Mt. Kosciusko (Townsend)	2234	Neu-Süd-Wales
	Bogong	1983	Victoria
	Feathertop	1922	Victoria
	Bimberi	1915	Neu-Süd-Wales
Neu-England-Gebirge	Round Mount	1615	Neu-Süd-Wales
	Ben Lomond	1524	Neu-Süd-Wales
Atherton-Plateau	Mt. Bartle Frère	1611	Queensland
Liverpoolgebirge	Barrinaton	1562	Neu-Süd-Wales
Musgravegebirge	Mt. Woodroffe	1515	Südaustralien/Nordterrit.
Mac-Donnell-Gebirge	Mt. Zeil	1510	Nordterritorium
Hamersleygebirge	Mt. Bruce	1262	Westaustralien
Flindersgebirge	Saint Marys Peak	1190	Südaustralien
Stirlinggebirge	Bluff Knoll	1109	Südwestaustralien

Gebirge, Gebirgsteil	Berg	Höhe in m	Land
Inseln			
Irian			
Schneeberge	Carstensz-Spitze	5030	Westirian
Oranjegebirge	Wilhelmina-Top	4790	Westirian
Hawaii-Inseln			
Hawaii	*Mauna Kea	4208	USA
	*Mauna Loa	4168	USA
Maui	*Kolokole	3058	USA
Neuseeland			
Südliche Alpen	Mt. Cook	3764	Südinsel
	Tasman	3500	Südinsel
	Aspiring	3036	Südinsel
	Odin	2960	Südinsel
	*Ruapehu	2797	Nordinsel
Bougainville	*Balbi	3100	
Tahiti	Orohena	2237	
Samoa	*Herthaberg	1858	
Neukaledonien	Humboldtspitze	1675	
Tasmanien	Ossa	1585	
Fidschiinseln	*Thurston	1210	

Bergbesteigungen. Es ist eine fast weltweit verbreitete Tatsache, daß die einheimische Bevölkerung der Hochgebirge nur wenig Interesse an der Besteigung der Berggipfel zeigt. Sie begeht die Berge im allgemeinen nicht höher, als die Lage der Wirtschaftsflächen (Hochweiden) oder der Verkehr und Handel (Saumpfade über Pässe) sie zwingt. Erst unter dem von Europa und hier von den Alpen ausgehenden *Alpinismus* ist aus sportlichem Ehrgeiz, zum Teil verbunden mit wissenschaftlicher Forschungsarbeit, seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein großer Teil der hohen Berggipfel der Erde bezwungen worden. Um die höchsten Gipfel zu bezwingen, war es erforderlich, zum Teil recht umfangreiche Expeditionen zu entsenden.
Die folgende Zusammenstellung enthält die *Erstbesteigungen* der *Achttausender* vollständig und die der *Siebentausender* in Auswahl. Am Schluß sind ferner einige der berühmten Erstbesteigungen von bedeutenden *Alpengipfeln* angeführt.

Erstbesteigungen

Berg	Land	Höhe in m	Besteigung	
			Datum	Name oder Expedition
Tschomolungma (Mount Everest)	Nepal/China (Tibet)	8848	29. 5. 1953	E. Hillary und Tensing Norkey
K 2 (Mount Godwin Austen, Chogori)	Kaschmir	8611	31. 7. 1954	A. Compagnoni und L. Lacedelli
Kangtschendsönga (Kinchinjunga)	Indien/Nepal	8579	25. 5. 1955 26. 5. 1955	G. Band und J. Brown N. Hardie und T. Streather
Lhotse	Nepal/China (Tibet)	8545	18. 5. 1956	F. Luchsinger und E. Reiß
Makalu	Nepal	8470	15., 16. und 17. 5. 1955	acht Teilnehmer einer französischen Expedition unter J. Franco
Cho Oyu	Nepal/China (Tibet)	8189	19. 10. 1954	H. Tichy, J. Jöchler, Pasang Dawa Lama
Dhaulagiri	Nepal	8172	13. 5. 1960	Schweizer Expedition unter Leitung von M. Eiselin
Manaslu (Kutang I)	Nepal	8128	9. 5. 1956	Imanishi und Gjalzen Norbu

Berg	Land	Höhe in m	Datum	Besteigung Name oder Expedition
Nanga Parbat	Kaschmir	8125	3. 7. 1953	H. Buhl
Annapurna I	Nepal	8078	3. 6. 1950	M. Herzog und L. Lachenal
Hidden Peak (Gasherbrum I)	Kaschmir	8068	4. 7. 1958	A. Kauffmann und P. Schoeningh
Broad Peak	China (Tibet)	8047	9. 6. 1957	H. Buhl, M. Schmuck, F. Wintersteller und K. Diemberger
Gasherbrum II	Kaschmir	8035	7. 7. 1956	F. Moravec, J. Larch und H. Willenpart
Nanda Devi	Indien (Garhwal)	7816	29. 8. 1936	N. E. Odell und H. W. Tilman
Kamet	Indien (Garhwal)	7755	21. 6. 1931	F.S. Smythe, R.L. Holdsworth, E. E. Shipton und Lewa
Tiratsch Mir	Pakistan	7750	21. 7. 1950	P. Kvernberg
Minya Gongkar	China	7187	28. 10. 1932	T. Moore und R. L. Burdsall
Mustag-Ata	China	7546	31. 7. 1956	zwölf chinesische und neunzehn sowjetische Bergsteiger unter J. Belezki
Pik Kommunismus	UdSSR	7495	9. 3. 1933	J. M. Abalakow
Pik Pobeda	UdSSR	7439	30. 8. 1956	elf sowjetische Bergsteiger unter W. Abalakow
Pik Lenin	UdSSR	7124	25. 9. 1928	E. Allwein, E. Schneider und K. Wien
Rakhiot Peak	Kaschmir	7070	16. 7. 1932	P. Aschenbrenner und H. Kunigk
Aconcagua	Argentinien	7035	14. 1. 1897	M. Zurbriggen

Erstbesteigungen in den Alpen

Name	Land	Höhe in m	bestiegen
Scesaplana	Österreich/Schweiz	2969	1740 N. Sererhard
Ankogel	Österreich	3262	1762 unbekannter Einwohner aus Turwiesen
Montblanc	Frankreich/Italien	4807	8. 8. 1786 J. Balmat und M. Paccard. Wissenschaftliche Erstbesteigung 3. 8. 1787 von H. B. de Saussure
Großglockner	Österreich	3798	29. 7. 1800 Brüder Klotz und Pfarrer Horasch
Jungfrau	Schweiz	4158	1811 R. und H. Meyer
Finsteraarhorn	Schweiz	4275	16. 8. 1812 Brüder Meyer begleitende Bergführer
Monte Rosa (Dufourspitze)	Schweiz/Italien	4635	31. 7. 1855 Brüder Smith
Matterhorn	Schweiz/Italien	4478	14. 7. 1865 E. Whymper, Douglas, C. Hudson und Hadow

Die wichtigsten Pässe der Erde. Die großen, langgestreckten und hohen Gebirge bilden für den Landverkehr bedeutende Hindernisse. Unwegsame Gebirgsteile werden im allgemeinen von den Verkehrswegen umgangen, so daß sich der Verkehr innerhalb eines Gebirges oft auf einige wenige Übergänge konzentriert.

Neben den höchsten Erhebungen sind somit die *Paßhöhen* ein wichtiges Charakteristikum der Gebirge. *Pässe*, d. h. begehbare Einsattelungen zwischen höheren Berggipfeln gibt es in allen Gebirgen in großer Zahl. Von jenen haben aber meist nur wenige für den Verkehr eine größere Bedeutung erlangt. Ihre Auswahl richtet sich nach der Höhe, wobei naturgemäß die niedrigeren bevorzugt werden, und nach der Wegbarkeit des Anstieges und Abstieges. Bei breiteren Gebirgen

werden Pässe bevorzugt, die möglichst bei einem einmaligen Anstieg den Übergang gestatten (z. B. in den Alpen der St. Gotthard). In einigen Fällen werden auch junge Durchbruchstäler durch hohe Gebirgsketten als Pässe bezeichnet (Finstermünzpaß, Roter-Turm-Paß).

Nach der Begeh- und Befahrbarkeit werden in der Tabelle unterschieden:

Saumweg, Karawanenweg (nicht befahrbar) ..... W
Karrenweg, Fahrweg (meist steil) ..... F
ältere Paßstraßen (auch für Kraftwagen geeignet) ..... S
Autostraße oder Autobahn (meist mit relativ geringen Steigungen und zahlreichen Kehren) A
Eisenbahnlinie ..... B
durchtunnelte Paßhöhen sind gekennzeichnet durch ein ..... (T)

Die Höhenangaben beziehen sich auf die natürliche Paßhöhe, nicht auf die Scheitelhöhe des Tunnels.

Die Pässe sind nach Gebirgen (in der Reihenfolge Europa, Asien, Amerika, Afrika) geordnet und innerhalb der Gebirge nach der Höhe, jeweils mit den niedrigsten beginnend.

Gebirge, Gebirgsteil	Paß	Höhe in m	Verbindung	Wegbarkeit	Land
Schweiz. Jura	Hauenstein	690	Basel–Olten	A, B (T)	Schweiz
Alpen					
Bayrische A.	Kesselberg	861	Kochel-Walchensee	A	Westdtld.
Fischbacher A.	Semmering	980	Wien–Mürztal	A, B (T)	Österreich
	Brünigpaß	1011	Luzern–Aaretal	A	Schweiz
Ötztaler A.	Finstermünzpaß	1137	Oberinntal–Unterengadin	S	Österreich
Karwendel	Seefelder Sattel	1176	Isartal–Inntal	A	Österreich
Westalpen	Fernpaß	1208	Oberinntal–Lechtal	A	Österreich
Dolomiten	Passo della Mauria	1298	Piavetal–Tagliomento	S	Italien
	Passo della Mendola	1363	Etschtal–Nocetal	S	Italien
Karawanken	Loiblpaß	1368	Klagenfurt–Ljubljana	S	Österr./Jugosl.
Stubaier A.	Brennerpaß	1370	Innsbruck–Bolzano	A, B	Österreich
Montblanc	Col des Montez	1445	Rhônetal–Arvetal	S	Frankreich
Berner A.	Col des Mosses	1448	Rhônetal–Saanetal	S	Schweiz
Ötztaler A.	Reschenpaß	1508	Etschtal–Inntal	S	It./Österr./Schw.
Freiburger A.	Jaunpaß	1511	Saanetal–Simmental	S	Schweiz
Dolomiten	Passo di Monte Croce	1656	Ob. Piavetal–Sextental	S	Italien
Bregenzer Wald	Hochtannbergpaß	1703	Bregenzer Wald–Oberes Lechtal	S	Österreich
Lechtaler A.	Flexenpaß	1784	Ob. Lechtal–Vorarlberg	S	Österreich
	Arlbergpaß	1802	Inntal–Klostertal	S	Österreich
Rätische A.	Malojapaß	1817	Oberengadin–Comer See	S	Schweiz
Meeralpen	Col di Tenda	1870	Turin–Nizza	A (T), B (T)	Italien
	Lukmanier	1917	Vorderrheintal–Brennotal	S	Schweiz
	Klausenpaß	1952	Reußtal–Linthtal	S	Schweiz
Walliser A.	Simplonpaß	2009	Rhônetal–Domodossola	S, B (T)	Schweiz
Urner A.	Oberalppaß	2048	Vorderrhein–Reußtal	S	Schweiz
Adula-Gruppe	Passo di St. Bernardino	2063	Hinterrheintal–Moesatal (Mesocco)	S	Italien
Grajische A.	Col du Mont Cenis	2083	Arctal–Dora Ripariatal	A (T)	Frankr./Italien
Lepontische A.	St. Gotthardpaß	2112	Reußtal–Tessin	A, B (T)	Schweiz
Adula-Gruppe	Splügenpaß	2117	Hinterrhein–Comer See	S	Schweiz/Italien
	Ofenpaß	2152	Engadin–Vintschgau	S	Schweiz/Italien
Berner A.	Grimselpaß	2167	Aaretal–Rhônetal	S	Schweiz
Grajische A.	Kleiner St. Bernhard	2188	Isèretal–Aostatal	S	Frankreich
Mont Blanc	Col de Palme	2204	Arvetal–Rhônetal	S	Frankr./Schw.
Dolomiten	Pordoijoch	2239	Fassatal–Cortina d'Ampezzo	S	Italien
Urner A.	Sustenpaß	2262	Aaretal–Reußtal	A (T)	Schweiz
Rätische A.	Julierpaß	2287	Tiefenkastel–Engadin	A	Schweiz
Albula-A.	Septimer	2311	Bergell–Oberhalbstein	W	Schweiz
Rätische A.	Albulapaß	2315	Graubünden–Oberengadin	S	Schweiz
Berner A.	Gemmipaß	2316	Kandertal–Wallis	F	Schweiz
Rätische A.	Berninapaß	2325	Addatal–Oberengadin	S	Schweiz/Italien
Albula-A.	Flüelapaß	2385	Unterengadin–Davos	S	Schweiz
Urner A.	Furkapaß	2436	Rhône- (Gletsch-) Urserental (Reußtal)	S, B	Schweiz
Walliser A.	Großer St. Bernhard	2473	Rhônetal–Aostatal	A (T)	It./Schweiz
Hohe Tauern	Hochtor	2576	Glocknerstraße	A (T)	Österreich
Berner A.	Lötschenpaß	2695	Kandertal–Wallis	F, B (T)	Schweiz
Rätische A.	Stilfser Joch	2758	Addatal–Etschtal	S	Schw./Italien
	Col de l'Iséran	2769	Isèretal–Arctal	S	Frankreich
Montblanc	Col de Gigante	3322	Arvetal–Val Ferret	W	Frankreich

Gebirge, Gebirgsteil	Paß	Höhe in m	Verbindung	Wegbarkeit	Land
Karpaten	Roter-Turm-Paß	380	Alttal (Sibiu–Walachei)	S, B	Rumänien
	Duklapaß	502	Duklatal–Ondavatal	S	Polen/ČSSR
	Jablunkovpaß	551	Ostrava–Žilina	W, B	ČSSR
	Jablonicapaß	931	Theißtal-Pruthtal	B	UdSSR
	Predealpaß	1051	Braşov–Bukarest	B	Rumänien
		916		A	
	Vulkanpaß (Surduk)	1624	Shiutal–Stroital	S, B	Rumänien
Balkan	Eisernes-Tor-Paß	1097	Sliven-Jelena	F	Bulgarien
	Schipkapaß	1185	Gabrovo-Kasanlik	A	Bulgarien
	Sveti-Nikola-Paß	1444	Lomtal-Timoktal	F	Bulg./Jugosl.
	Trojanpaß	1523	Trojan–Wasowgrad	F	Bulgarien
Apennin	Giovipaß	472	Genua–Alessandria	A, S, B(T)	Italien
	Futapaß	903	Bologna–Firenze	S, B (T)	Italien
	Cisapaß	1039	Parma–La Spezia	S, B (T)	Italien
	Forka Caruso	1120	Pescara–Rom	A, B (T)	Italien
Pyrenäen	Col du Perthus	290	Perpignan–Barcelona	A	Frankr./Span.
	Paß von Roncesvalles	1057	Bayonne–Pamplona	A	Frankr./Span.
	Somportpaß	1631	Pau–Jaca–Huesca	A, B (T)	Frankr./Span.
	Col de Puymorens	1915	Toulouse–Barcelona	A, B (T)	Frankreich
	Port d'Envalira	2407	Andorra–Frankreich	S	Frankreich
Kaukasus	Surampaß	949	Riontal–Kuratal	S, B	UdSSR
	Semjonowpaß	2114	Sewansee–Akstafa	F	UdSSR
	Kodorpaß	2357	Alasantal–Koissutal	W	UdSSR
	Krestowypaß (Kreuzpaß)	2388	Grusinische Heerstraße	A	UdSSR
	Kluchorpaß	2816	Suchumische Heerstraße	S	UdSSR
	Mamissonpaß	2862	Ossetische Heerstraße	S	UdSSR
Taurus	Kilikische Pforte	1160	Konya–Adana	A, B (T)	Türkei
Tienschan	Chaby-Rabot	3270	Wachschtal-Pjandschtal	S	UdSSR
Alai	Tomurunpaß	3536	Alaital–Kaschgar	S	UdSSR
	Tengisbai	3627	Fergana–Alaital	W	UdSSR
	Taldykpaß	3650	Osch–Alaital	S	UdSSR
Turkestangebirge	Schachristanpaß	3391	Leninabad–Serawschantal	S	UdSSR
Hissargebirge	Ansobpaß	3379	Serawschantal–Duschambe	S	UdSSR
Transalai	Tersagarpaß	3613	Alaital–Muksutal	W	UdSSR
Kokschaal	Torugartpaß	3752	Kaschgar–Naryn	S	UdSSR/China
Ostpamir	Wachdshirpaß	4923	Wachantal–Taschkurgan	W	Afghan./China
	Sarytaschpaß	4536	Murgab–Taschkurgan	W	UdSSR/China
Altai	Derbet-daba	2482	Bisk–Kobdo	S	UdSSR/Mong.
Sajan	Mustag-daban	2255	Ob. Jenisseital–Udatal	W	UdSSR
Elbursgebirge	Kendewanpaß	3000	Teheran–Chalus	S	Iran
Himalaja	Banihalpaß	2832	Djammu–Srinagar	S (T)	Kaschmir
	Bursilpaß	4200	Srinagar–Gilgit (Indus)	W	Kaschmir
	Tanglapaß	4633	Sikkim–Tibet (Schigadse)	W (F)	Ostpak./Tibet
	Tonglapaß	5481	Katmandu–Tschangpotal	W	Nepal/Tibet
	Manapaß	5611	Oberes Satledshtal–Oberes Gangestal	W	Indien/Tibet
Karakorum	Kilikpaß	4755	Hunzatal–Taschkurgan	W	Kaschmir/Westchina
	Shisparpaß	5353	Zentralkarakorum	W	Kaschmir/China
	Lananpaß	5486	Ostkaschmir–Westtibet	W	Kaschmir/Tibet
	Karakorumpaß	5575	Ladak (Industal)–Raskemdarja (Jarkend)	W	Kaschmir/Westchina
	Mustagpaß	5860	Industal–Kurtschinbulaktal	(W)	Kaschmir/Westchina
Kuenlun	Karlykpaß	5334	Jarkend–Industal	W	Westchina
	Karamuranpaß	5578	Tarimbecken–Zentraltibet	W	Westchina
Transhimalaja	Majumpaß	5150	Tschangpo–Oberes Satledshtal	W	Tibet
	Kongbo-La	5150	Lhasa–Tschamdo	S	SW-China
	Samepaß	5526	Tschangpo–Hochland von Tibet	S	Tibet (China)

Gebirge, Gebirgsteil	Paß	Höhe in m	Verbindung	Wegbarkeit	Land
Sino-Tibet-Gebirge	Inuganpaß	2500	Kunmin–Burma (Burmastraße)	F	SW-China
	Podo-Lazeka-Paß	4267	Batan–Tschamdo	S	SW-China
	Kamzupaß	4633	Tschamdo–Lhasa	W	SW-China
	Bedapaß	4636	Batan–Industal	W	SW-China
	Tanglapaß	4993	Lhasa–Lantschou	S	China/Tibet
Hindukusch	Kaiberpaß	1030	Peschawar–Kabul	S	Pak./Afghan.
	Schibarpaß	2987	Kabul–Surchabtal	F	Afghanistan
	Khawakpaß	4022	Amu-Darja–Indus	S	Pakistan
	Andshumanpaß	4225	Kabul–Faisabad	W	Afghanistan
Anden	Rosalespaß	1010	Nahuel Huapi–Puerto Montly	F	Arg./Chile
	Kopahuepaß	2150	Los Angeles–Norquin	W	Arg./Chile
	Planchonpaß	2850	Curico–Atueltal	S	Arg./Chile
	Cumbrepaß (Uspallata)	3760	Valparaiso–Buenos Aires	S (T) B (T)	Chile/Arg.
	Ascotanpaß	3960	Antofagasta–Ovuro	B	Chile/Bolivien
	Sokompapaß	3858	Antofagasta–Salto	B	Chile/Arg.
	Tacarapaß	4180	Arica–La Paz	B	Chile/Bolivien
	La Rayapaß	4314	Cuzco–Puno	S, B	Perú
	San-Francisco-Paß	4726	Copiapo–Tinogasta	A	Arg./Chile
	Crucero Alto	4780	Arequipa–Puno	S, B (T)	Perú
	Anticonapaß	4843	Rimac–Mantaro	S	Perú
	Piedra-Parada-Paß	5010	Lima–Oroya	S, B (T)	Perú
Rocky Mountains	Yellow-Head-Paß	1131	Edmonton–Prince George	B	Kanada
	Railroadpaß	1340	Coloradoplateau	B	USA
	Crowsnestpaß	1355	Lethbridge–Vancouver	A, B	Kanada
	Mariaspaß	1590	Shelby–Spokane	B	USA
	Kicking-Horse-Paß	1627	Calgarly–Vancouver	A, B	Kanada
	Mullanpaß	1820	Spokane–Missula	S, B (T)	USA
	Evanspaß	2568	Ogden–Granger	S, B (T)	USA
	Marschallpaß	3309	Glenwoodsprings–Pueblo	A	USA
Sierra Nevada	Tehachapipaß	1155	Bakersfield–Mojave	B	USA
	Donnerpaß	2191	Sacramento–Reno	A, B (T)	USA
Kaskadengebirge	Stevenspaß	1240	Seattle–Spokane	B (T)	USA
Atlas	Batnasattel	1041	Constantine–Biskra	F, B	Algerien
	Tisin-Test	2225	Marrakesch–Tarydant	W	Marokko
	Tisin-Tischka	2580	Marrakesch–Sahara	W	Marokko

Die bedeutendsten Tunnel der Erde. Um den oft mühsamen Anstieg und Abstieg über einen Gebirgspaß zu vermeiden, sind insbesondere in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zahlreiche, zum Teil großartige *Tunnel* fast ausschließlich für den Eisenbahnverkehr angelegt worden. Erst in jüngster Zeit kommen zu den *Eisenbahntunneln* auch im Gebirge größere und längere *Straßentunnel*. Eine Ausnahme sind dagegen die größeren *Gebirgstunnel* für die Schiffahrt geblieben. In den letzten Jahrzehnten sind auch die *Unterwassertunnel* für Bahn und Straße zahlreicher geworden.
Zu den Tunnelbauten müssen auch die im Tunnelbauverfahren, d. h. im Stollenvortrieb gebauten Tunnel einiger *Untergrundbahnen* gerechnet werden, so etwa große Teile der Moskauer Metro, der New Yorker und auch der Pariser und Londoner Untergrundbahnen, während die Berliner U-Bahn-Anlage — von den Havel-Unterführungen abgesehen — großenteils nur Unterpflasterbahnen sind.
Zu den Tunnelbauten können aber auch die *Wasserstollen* für den Bergbau und für einige Wasserkraftwerke gerechnet werden, die zumindest im Hinblick auf Länge und Bauleistung den größten Tunneln für Verkehrswege nicht nachstehen.
Außer den in der Zusammenstellung aufgeführten längeren Tunneln, bei denen bis in die Größenordnung von 8 km Vollständigkeit angestrebt wurde, gibt es in großer Zahl kürzere Tunnelanlagen, hauptsächlich Eisenbahntunnel, von denen ein großer Teil schon im 19. Jahrhundert angelegt worden ist. So betrug die Tunnellänge bereits 1874 im damaligen Preußen 46 km und im ehemaligen Österreich-Ungarn 43 km. Für Frankreich wird die Tunnelstrecke für 1868 mit 193 km angegeben. Das Schweizer Eisenbahnnetz besaß 1932 677 Tunnel mit zusammen 293 km Länge, das sind 5,4 % des gesamten Bahnnetzes. Im genannten Jahr gab es in den Alpen insgesamt 1630 Tunnel mit zusammen 720 km Länge. Damit sind die Alpen das bei weitem tunnelreichste Gebirge der Erde. Allein auf der Strecke Basel–Bern–Lötschberg–Simplon–Turin–Tenda–Nizza verlaufen 130 km in 170 Tunneln. Zahlreiche Tunnel gibt es ferner in Italien, in Jugoslawien (1937 400 Tunnel mit 104 km Länge) und in einigen überseeischen Ländern.
In der Zusammenstellung ist für die einzelnen Tunnel außer dem Namen, dem Land und der Länge noch zur Charakteristik der Lage und Bedeutung die Verbindung, meist durch zwei Ortsnamen, ferner nach Möglichkeit die Bauzeit und die Art des Tunnels angegeben. Dabei bedeuten E Eisenbahn-, S Straßen- und Sch Schiffahrtstunnel, G Gebirgs- und U Unterwassertunnel.

Tunnel moderner Verkehrswege

Name	Verbindungsweg	Staat	Länge in km	Zweck	Art	Baujahr
Simplon	Bern–Milano	Schweiz/Italien	19,8	E	G	1896···1906
Apennin (Varnio)	Bologna–Firenze	Italien	18,5	E	G	1923···1930
St. Gotthard	Zürich–Milano	Schweiz	15,0	E	G	1872···1881
Lötschberg	Bern–Milano	Schweiz	14,6	E	G	1906···1912
Mont Cenis	Lyon–Turin	Frankr./Italien	12,8	E	G	1860···1872
Cascade-Basis	Seattle–Spokane	USA (Wash.)	12,5	E	G	1926···1929
Montblanc	Genf–Aosta	Frankr./Italien	11,6	S	G	1958···1961
Arlberg	Bludenz–Innsbruck	Österreich	10,3	E	G	1880···1884
Moffat		USA	9,8	E	G	1923···1930
Simizu	Tokio–Kotu–Nagoya	Japan	9,6	E	G	1922···1930
Grenchenberg	Basel–Biel	Schweiz	8,6	E	G	1910···1915
Ricken	St. Gallen–Rapperswil	Schweiz	8,6	E	G	1904···1910
Otira	Christchurch–Grey-mouth	Neuseeland	8,5	E	G	1908···1924
Tauern	Salzburg–Villach	Österreich	8,5	E	G	1901···1909
Giovi-Galerie	Novi–Genua	Italien	8,3	E	G	
Ronco	Tortona–Genua	Italien	8,3	E	G	
Col di Tenda	Nizza–Turin	Italien	8,1	E	G	
Hauenstein-Basis	Basel–Olten	Schweiz	8,1	E	G	
Karawanken	Villach–Triest	Österr./Jugosl.	8,0	E	G	1901···1906
Lincoln (Pensylvania Rail-road)	Queens–Manhattan–Union City	USA (New York)	8,0	E	U	
Kiuschu	Hondo–Kiuschu	Japan	8,0	S, E	U	···1941
Somport	Pau–Saragossa	Frankr./Spanien	7,8	E	G	···1928
Rove	Marseille–Rhonekanal	Frankreich	7,3	Sch	G	1911···1927
Severn	Bristol–Cardiff	Großbritannien	7,3	E	U	1873···1886
Jungfrau	Jungfraubahn	Schweiz	7,1	E	G	1898···1912
Bernhardin	Chur–Bellinzona	Schweiz/Italien	6,5	S	G	im Bau
Albula	Davos–St. Moritz	Schweiz	5,9	E	G	1903
Gr. St. Bernhard	Montreaux–Aosta	Schweiz/Italien	5,9	S	G	1958···1963
Gravehals	Oslo–Bergen	Norwegen	5,3	E	G	
Cochem	Koblenz–Trier	Westdeutschland	4,2	E	G	1874···1877
Distelrasen	Fulda–Frankfurt	Westdeutschland	3,6	E	G	1908···1914
Mersey-Road	Liverpool–Birkenhead	Großbritannien	3,2	S	U	1925···1930
Col di Tenda	Nizza–Genua	Italien	3,2	S	G	1782···1884
Fahrnau	Säckingen	Westdeutschland	3,2	E	G	1887···1890
Krähberg	Odenwaldbahn	Westdeutschland	3,1	E	G	1879···1882
Brandleite	Erfurt–Suhl	DDR	3,0	E	G	1881···1884
Brooklyn-Battery	Manhattan–Brooklyn	USA (NewYork)	2,8	S	U	
Holland	Manhattan–Jersey-City	USA (NewYork)	2,6	S	U	1919···1927
Lincoln	Manhattan–Union-City	USA (NewYork)	2,3	S	U	
Semmering	Wien–Bruck	Österreich	1,4	E	G	1856
Mersey	Liverpool–Birkenhead	Großbritannien	1,1	E	U	1880···1886
Elbtunnel	Hamburg	Westdeutschland	0,45	S	U	1911
Themse	London	Großbritannien	0,4		U	1825···1843

Stollen für Wasser

Name	Gebiet	Staat	Länge in km
Schlüsselstollen	Mansfelder Revier	DDR	31
Ernst-August-Stollen	Oberharzrevier	Westdeutschland	26
Nechakostollen	Kemanokraftwerk	Kanada	16
Rothschönberger Stollen	Freiberger Revier	DDR	14
Möllüberleitungs-Stollen	Tauernkraftwerk	Österreich	11,6
Druckstollen	Tauernkraftwerk	Österreich	9,5
Wasserleitung	Jailagebirge (Krim)	UdSSR	7

Historische Tunnel und Stollen

	Staat	Länge in km	Zeitabschnitt
Römerstollen			
Abflußstollen des Lacus Fucinus	Rom	3,7	Claudius
Abflußstollen des Albaner Sees	Rom	1,9	396 v. u. Z.
Alte Straßentunnel			
Col di Tenda Straße Nizza–Genua	Italien	3,2	1782···1820
Urner Loch Gotthardsaumweg	Schweiz	0,2	1707

Untergrundbahnen

Stadt	Staat	Gesamtlänge in km
New York (mit 5 Hudson-Subways und 6 East-River-Subways)	USA	235
Paris	Frankreich	174
London (mit 13 Themsetunneln)	Großbritannien	115
Berlin	DDR und Westberlin	85
Moskau	UdSSR	81 (1961)

DIE GEOGRAPHISCHEN ZONEN

Das *geographische Milieu*, d. h. die Gesamtheit der natürlichen Bedingungen, ist in den einzelnen Gebieten der Erdoberfläche unterschiedlich. Es wird jeweils aus der durch das Zusammenwirken von Klima, Boden, Vegetation und Tierwelt hervorgehenden Einheit bestimmt. Da die Vegetationsdecke und die Bodentypen zu einem wesentlichen Teil vom Klima abhängen, das seinerseits wieder in seiner planetarischen Großgliederung durch die Kugelgestalt der Erde bestimmt wird, ist die Anordnung der wichtigsten regionalen Unterschiede auf der Erde *breitenparallel* oder *zonal*. Die sich aus dem Zusammenwirken der Landschaftselemente ergebende spezielle Ausprägung des geographischen Milieus wird in seiner breitenparallelen Anordnung als *geographische Zonen* oder auch als *Landschaftszonen* oder *natürliche Zonen* bezeichnet.

Die Lehre von den geographischen Zonen ist durch *W. W. Dokutschajew* um 1900 begründet worden. Sie wurde durch *Herbertson* in England, *S. Passarge* in Deutschland und ganz besonders durch *L. S. Berg* und andere Geographen in der Sowjetunion weiterentwickelt.

Die geographischen Zonen unterscheiden sich *physiognomisch* am deutlichsten und auffälligsten durch ihre *natürliche Vegetation*. Die einzelnen Zonen lassen sich aber auch hinsichtlich *Klima*, *Böden*, *hydrographische Verhältnisse* und *Tierwelt* charakterisieren. Selbst die Gebirge, der wesentlichste azonale Faktor des geographischen Milieus, zeigen zumindest im Hinblick auf die jeweils auftretenden Höhenstufen eine enge Bindung an die jeweilige geographische Zone.

Die streng gürtelförmige Anordnung der geographischen Zonen auf dem Festland der Erdkugel wird außer durch die Wirkungen des Reliefs noch durch die ungleiche Verteilung von Land und Meer und durch die ozeanisch-kontinentale Abwandlung des Klimas in den einzelnen Erdteilen in unterschiedlichem Ausmaß abgewandelt. Nicht alle Zonen durchziehen die Kontinente in ihrer gesamten Breite. Am klarsten und am regelmäßigsten ist die streifenförmige Anordnung der geographischen Zonen in der Sowjetunion (Osteuropa–Westsibirien), in Afrika und in großen Teilen Südamerikas ausgebildet, während sie in Zentral- und Ostasien und im südlichen Südamerika stark abgewandelt ist und in Nordamerika die geographischen Zonen in weiten Räumen sogar in Nord-Süd-Richtung verlaufen. Trotz dieser zum Teil beträchtlichen Abweichungen von der streng planetarischen Anordnung bleibt die gesetzmäßige Aufeinanderfolge und die gesetzmäßige innere Differenzierung der einzelnen Zonen erhalten.

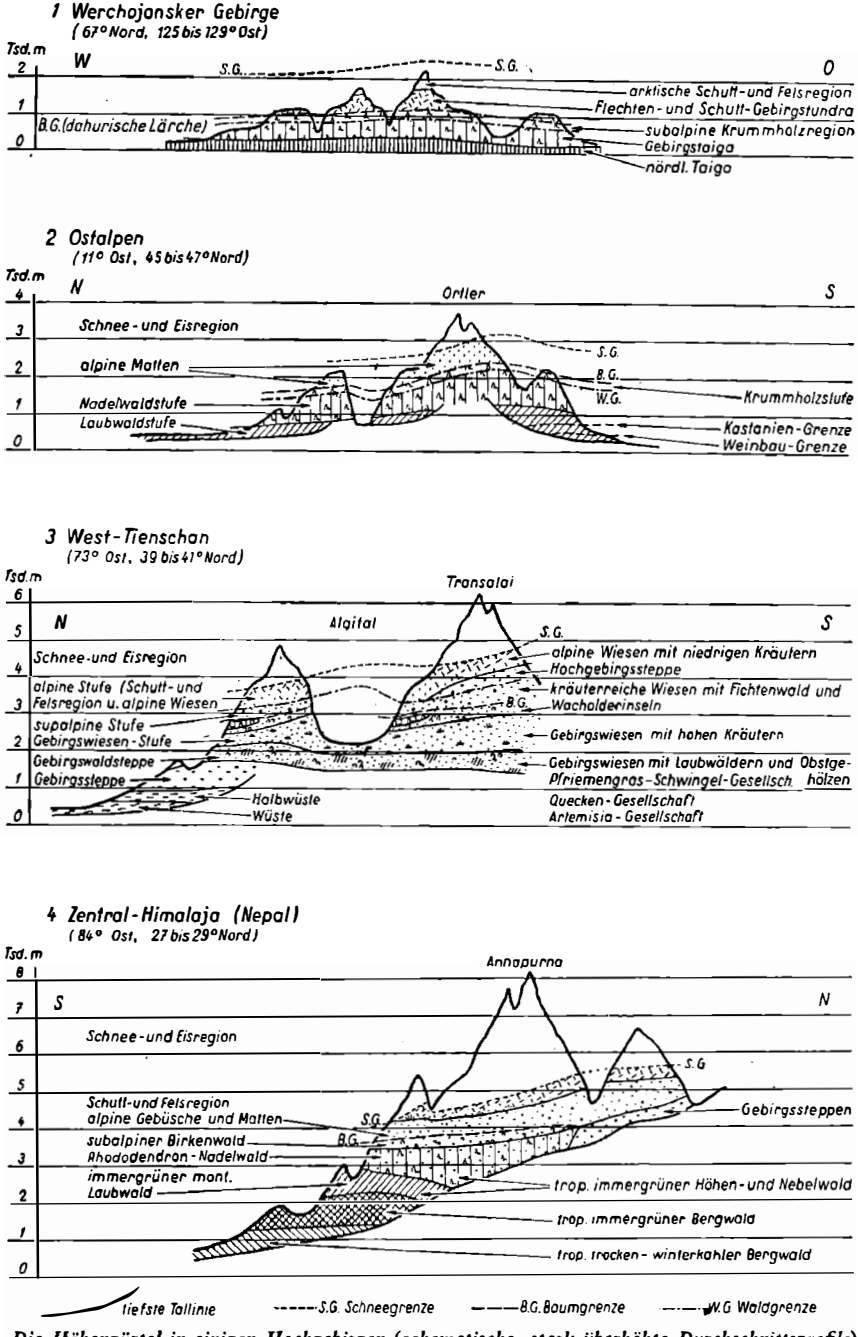
Innerhalb der einzelnen geographischen Zonen treten, bedingt durch das gesetzmäßige Zusammenwirken der jeweils spezifischen Ausprägung der einzelnen Elemente des geographischen Milieus, bestimmte, meist nur für eine Zone typische *natürliche Komplexe* auf. Die kleinsten, in sich homogenen natürlichen Einheiten werden als *Ökotope* bezeichnet, wodurch ihr ganzheitliches Wesen betont und auf eine ökologische Betrachtungsweise (Landschaftshaushalt) hingewiesen wird. Jeweils charakteristische Kombinationen im Zusammentreten mehrerer verschiedener Ökotope ergeben in der Vergesellschaftung *naturräumliche Einheiten* verschiedener Ordnung. Solche *zonalen Naturkomplexe* sind beispielsweise in der Nadelwaldzone des gemäßigten Klimas: die dem regional verschiedenen Boden- und Wasserhaushalt angepaßten *Nadelwaldtypen* wie Fichtentaiga, Lärchentaiga, Zirbelkieferntaiga und Bore (Kiefernheiden), die sich nach dem verschiedenen Unterwuchs

(Bodenflora) jeweils noch in zahlreiche Subtypen untergliedern lassen, ferner *Auwiesen* und *Auwälder* längs der Flüsse, sowie *Nieder-* und *Hochmoore*.
Das geographische Milieu in seiner Gesamtheit, beziehungsweise seine einzelnen Glieder, die naturräumlichen Einheiten verschiedener Ordnung, von den Ökotopen, den kleinsten Bausteinen, über die verschiedenen Stufen der natürlichen Landschaften (Landschaftszelle, Klein-, Einzel-, Großlandschaft, Landschaftsgruppe, -region) bis zu den größten Einheiten, den geographischen Zonen, ist der zentrale Forschungsgegenstand der *physischen Geographie*.
Die Zusammenstellung auf S. 502 bis 507 bietet einen Überblick über die einzelnen geographischen Zonen der Erde mit den wichtigsten Merkmalen und Grundzügen für die einzelnen Elemente (Klima, Hydrographie, Oberflächengestaltung, Böden, Pflanzenwelt, Tierwelt; Höhenstufen). Die gleichen, vom Nordpol bis zum Äquator auftretenden Zonen wiederholen sich auf der Südhalbkugel mit der Einschränkung, daß durch das starke Zurücktreten von Festland in den mittleren Breiten (vgl. Tabelle S. 479) einige Zonen ausfallen bzw. nur in extrem ozeanischer Ausprägung kleinräumig auf Inseln auftreten. Die Abwandlung der einzelnen Elemente vom Pol zum Äquator wird in der Tabelle beim Lesen der einzelnen Spalten von oben nach unten deutlich.

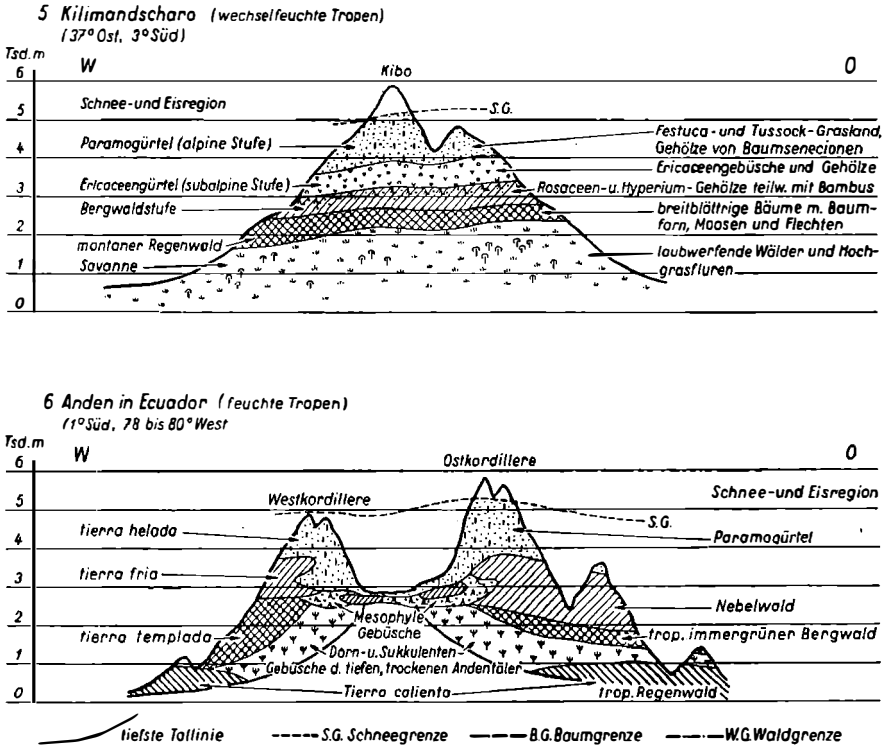
HÖHENGRENZEN — HÖHENSTUFEN

Neben der horizontalen Zonalität läßt sich in allen Gebirgen der Erde auch eine vertikale Abfolge der natürlichen Erscheinungen beobachten. Sie beruht neben bestimmten Eigentümlichkeiten des Klimas hauptsächlich auf der gesetzmäßigen Abnahme der Temperatur mit zunehmender Meereshöhe, die im Durchschnitt 0,5 °C auf 100 m Höhenanstieg beträgt. Bedingt durch diese gesetzmäßige Temperaturabnahme treten in bestimmten Höhenlagen Grenzen auf, an denen einzelne geographische Erscheinungen ihr Ende finden; so etwa die *Anbaugrenze*, die *Waldgrenze*, die *Baumgrenze*, die *Schneegrenze* sowie die Grenzen der einzelnen Pflanzenarten, die somit alle *Kältegrenzen* sind. Die zwischen zwei solcher Höhengrenzen liegenden Bereiche werden als *Höhenstufen* oder *Höhengürtel*, zum Teil unrichtig auch als Höhenzonen bezeichnet. In den einzelnen Höhenstufen bildet der gesamte Komplex der natürlichen Erscheinungen, vergleichbar mit den geographischen Zonen, eine Einheit, in der die klimatischen Bedingungen, die Böden, die Vegetation, aber auch die morphologischen und die hydrographischen Verhältnisse sich einander entsprechen. Physiognomisch treten die einzelnen Höhenstufen in erster Linie durch ihre unterschiedliche Vegetation in Erscheinung.
Auf die *Lage* der Höhengrenzen haben außer der Temperaturabnahme noch Einfluß: a) die Exposition (die Lage zur Einstrahlung); an den der Sonne zugekehrten Hängen liegen die gleichen Höhengrenzen im allgemeinen mehrere hundert Meter höher als an den Schatthängen; besonders ausgeprägt ist dies in den subtropischen Gebirgen; b) die Massenerhebung der jeweiligen Gebirge; verursacht ein Ansteigen der Höhengrenzen nach dem Inneren der Gebirge gegenüber den Rändern; c) die Zunahme der Niederschläge mit zunehmender Höhe, die zwar nicht gesetzmäßig und im einzelnen sehr unterschiedlich, aber in fast allen Gebirgen zu beobachten ist; d) anthropogene Einflüsse; verändern die Lage der Höhengrenzen, (beispielsweise ist durch Beweidung die alpine Region an vielen Stellen auf Kosten des Waldes künstlich ausgedehnt worden). In den Gebirgen, deren Fußstufe in einer Trockenzone liegt, treten außer der oberen Wald- und Baumgrenze als Kältegrenzen noch eine untere Wald- und Baumgrenze als Trockengrenzen auf.
Die in den einzelnen Gebirgen vorkommenden Höhenstufen sind in erster Linie von der *Breitenlage* bzw. exakter von der Zugehörigkeit des jeweiligen Gebirges zu einer bestimmten geographischen Zone abhängig. In den tropischen Gebirgen sind die Höhengürtel am deutlichsten und am reichsten ausgebildet. Hier sind die einzelnen Höhenstufen (tierra caliente = heißes Land, 0 bis 1000 m, tierra templada = gemäßigtes Land, 800 bis 2500 m, tierra fria = kaltes Land, 2300 bis 4200 m und tierra helada = Frost- und Eisregion, über 4000 m) ausgeprägte, sich scharf voneinander unterscheidende Lebens- und Wirtschaftsräume. In Gebirgen höherer Breiten treten dagegen immer weniger Höhenstufen auf, weil als Höhengürtel gewissermaßen stets nur noch die polwärts folgenden geographischen Zonen in spezifischer Abwandlung als Höhenstufen vorkommen können. Die Ähnlichkeit der jeweiligen Höhengürtel mit den entsprechenden geographischen Zonen beruht hauptsächlich auf den gleichen mittleren Temperaturverhältnissen. Andererseits weisen aber die Gebirgsklimate hauptsächlich in den niederen Breiten und ganz besonders in den Tropen eine Reihe spezifischer Klimaerscheinungen auf (beispielsweise Tageszeitenklimate an Stelle von Jahreszeitenklimaten), die der entsprechenden Tieflandzone höherer Breite fremd ist.
Nach dem *Vorkommen* bestimmter Höhenstufen in jeweils charakteristischer Ausbildung lassen sich unterscheiden:

1. *subpolare Gebirge* in den subpolaren Zonen (Tundra und Taiga), vgl. Profil 1
2. *alpine Gebirge* in den gemäßigten Zonen (Mischwald, Laubwald und Steppenzone), vgl. Profil 2
3. *subtropische Gebirge* in den subtropischen und den gemäßigten Wüsten- und Halbwüstenzonen, vgl. Profil 3
4. *tropische Gebirge* in den trockenen (tropische Wüstenzone), wechselfeuchten (Savannenzone) und immerfeuchten (tropische Regenwaldzone) Tropen, vgl. Profile 4, 5 und 6.



Die Höhengürtel in einigen Hochgebirgen (schematische, stark überhöhte Durchschnittsprofile)



Die Höhengürtel in einigen Hochgebirgen (schematische, stark überhöhte Durchschnittsprofile)

Höhenlage der Schneegrenze. Von allen Höhengrenzen tritt in den Gebirgen die Schneegrenze am deutlichsten in Erscheinung. Wir müssen bei der Schneegrenze unterscheiden zwischen der jahreszeitlich veränderlichen *temporären Schneegrenze* und der *absoluten Schneegrenze*, oberhalb der der Schnee auch im Sommer (bzw. in der trockenen Jahreszeit) liegenbleibt und die als Untergrenze der nivalen Zone auch als *Firngrenze* bezeichnet wird.
Die größte Amplitude zwischen Firngrenze und temporärer Schneegrenze im Winter wird in den Gebirgen der mittleren Breiten erreicht. In den nördlichen Breiten liegt die Schneegrenze auch im Sommer tief; in den tropischen Gebirgen verändert sich die Lage im Jahresgang nur wenig. In den Gebirgen der mittleren oder gemäßigten Zone nimmt dagegen die Dauer der Schneedecke mit zunehmender Höhe rasch zu, wie die Zusammenstellung für den Schwarzwald und den Säntis (Schweiz) zeigt.

Dauer der Schneedecke

im Schwarzwald			am Säntis	
	am SO-Hang	am NW-Hang		
in 400 m	28 Tage	42 Tage	in 750 m	3 Monate
in 500 m	40 Tage	58 Tage	in 1000 m	5 Monate
in 600 m	54 Tage	75 Tage	in 1250 m	6 Monate
in 700 m	68 Tage	91 Tage	in 1500 m	7 Monate
in 800 m	82 Tage	106 Tage	in 1750 m	$7^1/_2 \cdots 8$ Monate
in 900 m	98 Tage	120 Tage	in 2000 m	$8^1/_2$ Monate
in 1000 m	120 Tage	134 Tage	in 2250 m	9 Monate
in 1100 m	139 Tage	148 Tage	in 2500 m	$10 \cdots 10^1/_2$ Monate
in 1200 m	158 Tage	162 Tage	in 2750 m	11 Monate
in 1300 m	175 Tage	175 Tage	in 3000 m	12 Monate

Die Besonderheiten der geographischen Zonen nach Landschaftselementen

Gürtel	Zone / Subzone	Klima	Gewässer	Oberflächengestaltung	Böden
arktische Breiten	**ARKTIS** (Kältewüstenzone, Schnee- und Eiszone, Polarzone) a) Eiszone b) Frostschutzzone	Wechsel zwischen Polarnacht und Polartag, Tm der Sommermonate unter 0 °C; zeitweilig heftige Winde; relativ geringe Niederschläge als Schnee; im Sommer ununterbrochene Einstrahlung bei flachem Sonnenstand aus allen Richtungen; im Winter strenge und sehr strenge Fröste	großflächige Eisbedeckung[1] (Inlandeis), im Sommer mit unbeständigen Schmelzwasserrinnen; auf eisfreien Flächen im Sommer breite Schmelzwasserströme; starke Ablation	im Vorland der Eisbedeckung glazialer Formenschatz: ausgedehnte Sandr; Frostschutt mit Kryoturbation, Steinringe	im Vorland der Eisbedeckung „ewige" Gefrornis (Dauerfrostboden), keine Bodenbildung; geringmächtiger sommerlicher Auftauhorizont mit Kryoturbation
subarktische Breiten	**TUNDRA** (Tundrenzone, Subarktis) a) arkt. Tundra b) typische Tundra c) südl. Tundra [d) Waldtundra]	lange, sehr kalte Winter ohne Sonne; dünne bis mäßig starke Schneedecke; häufige Schneestürme; sehr kurze (2 bis 3 Monate), kühle Sommer (Tm Juli + 5 bis + 10 °C) mit langen, kaum von Dämmerung unterbrochenen Tagen; heftige Winde; in allen Monaten Fröste bei häufigem Frostwechsel; ganzjährig hoher Bewölkungsgrad und hohe Luftfeuchte; zahlreiche, aber wenig ergiebige Niederschläge (200 bis 350 mm im Jahr), im Sommer häufige Nebel; geringe Verdunstung	zahlreiche Gewässer: dichtes, unübersichtliches Gewässernetz; viele, meist kleine Seen frieren oft bis zum Grund zu; extrem lange Eisbedeckung (10 ··· 11 Monate), Speisung durch Schneeschmelze (Sommerhochwasser im Juni/Juli); kein frei bewegliches Grundwasser	über Bodengefrornis im Sommer stark durchfeuchteter Auftauboden; durch Bodenfließen starke Abtragung, flache Hänge, zusammen mit Flußarbeit asymmetrische Täler; Frostströkturböden (Steinringe, Polygonböden, aufgepreßte Erdhügel und Torfhügel)	durch Vernässung Gleiböden (Tundrengley); im Norden nur inselhaft, im Süden auch großflächiger schwach podsolierte Böden hauptsächlich auf Sand; geringmächtige Torfböden
subarktische Breiten	*Waldtundra* (Subarktis)	lange, kalte Winter mit häufigem Schneefall (Schneedecke 30 bis 60 cm), kurze Sommer (3 bis 4 Monate); Tm Juli + 10 bis + 14 °C; Fröste und Schneefall noch in allen Monaten; Niederschläge (250 bis 400 mm) zu allen Jahreszeiten; sonst wie Tundra	hohe Bodenfeuchte, ausgedehnte Versumpfung, Moore; Bodengefrornis weit verbreitet	im kontinentalen Bereich vielfach noch Bodengefrornis; sonst wie Tundra	neben Gleiböden auf Lehm häufiger podsolige Böden, vorwiegend auf Sand; Moorböden
gemäßigte Breiten kühlgemäßigte Breiten	**TAIGA** (Nadelwaldzone, boreale Waldzone) a) nördl. Taiga b) mittlere Taiga c) südl. Taiga	ausgeprägte thermische Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst, Winter); Sommer mäßig warm (Tm Juli < + 12 °C), Winter kalt (Tm Januar > — 10 °C); anhaltende Frostperiode; Schneedecke zum Teil mächtig; Niederschlag (450 bis 600 mm) zu allen Jahreszeiten, Maximum im Sommer, ganzjährig humid; starke N-S-Abwandlung (Zunahme der Sommertemperaturen und der Länge des Sommers); überlagert durch starke Abwandlung vom ozeanischen zum kontinentalen Typ	dichtes Gewässernetz mit ausgeglichener Wasserführung; Hochwasser zur Frühjahrsschneeschmelze, zum Teil unperiodische Sommerhochwasser; winterliche Eisbedeckung nach Norden und Osten zunehmend; Grundwasser überall vorhanden; zahlreiche Moore	im ganzjährig humiden Klima hauptsächlich Flußerosion, ausgeprägte Talentwicklung; in Verwitterungsdecke Rutschungen und Abspülung; weitverbreitet pleistozänes Glazialrelief; teilweise Bodenfrosterscheinungen	stark differenzierte Podsolböden (Bleicherden), inselhaft Rasenpodsole, Gleiböden, Auenböden und Verwitterungsböden, weitverbreitet Moorböden; Rohhumusbildung; kein echter Löß; im kontinentalen Bereich Dauerfrostboden weit verbreitet
gemäßigte Breiten kühlgemäßigte Breiten	**WALDZONE MISCHWALDZONE** (Laubwaldzone) a) Mischwaldzone b) Laubwaldzone	regelmäßige thermische Jahreszeiten; milder als in der Taiga, im Winter regelmäßig Frostperiode mit Schneedecke; Sommer warm (Tm Juli + 15 bis + 19 °C) und feucht, lange Vegetationszeit; Niederschlag zu allen Jahreszeiten (450 bis 800 mm) mit Maximum im Sommer; im Sommer hohe Verdunstung; ausgeprägter Wechsel zwischen Schön- (mit starker Einstrahlung) und Schlechtwetterperioden (mit starker Bewölkung und Niederschlägen)	dichtes Flußnetz mit meist gleichmäßiger Wasserführung; im ozeanischen Bereich Frühjahrshochwasser durch Schneeschmelze und Regen, unperiodische Sommerhochwasser, unregelmäßige kurze Eisbedeckung; im kontinentalen Bereich Sommerhochwasser, im Winter längere Eisbedeckung; reichliches Grundwasser in hoher Lage	ähnliche Vorgänge wie in der Taiga; in den ausgedehnten Rodungsgebieten verstärkte Abtragung und teilweise Zerstörung der Bodendecke	a) engräumiger Wechsel zwischen podsolierten, podsoligen und braunen und grauen Waldböden; Moore treten zurück; b) hauptsächlich braune Waldböden, keine Hochmoore, Niedermoore in versumpften Flußtälern

Tm = Temperaturmittel — Veg. = Vegetation — Ersch. = Erscheinung — therm. = thermisch — oz. = ozeanisch

(vgl. hierzu Text auf S. 498 und 506 und 507 unten)

Pflanzenwelt		Tierwelt		natürliche Komplexe	Ergänzungen und Bemerkungen
natürliche Vegetation	Kulturpflanzen	Wildtiere	Haustiere		
fast keine; an den Küsten Moose und Flechten; im Meer reichlich Plankton	kein Anbau möglich	zeitweiliger Aufenthalt von Meeresbewohnern (Eisbär, Robben), stellenweise Vogelkolonien; Antarktis: Pinguine, im Meer Wale	keine, da außer Forschungsstationen keine Siedlungen	Inlandeis und Gletscher, arktische Felswüste, Sandflächen; in der Antarktis auch Schelfeisflächen	[1] in der Arktis liegt die Schneegrenze in 200 bis 300 m Höhe, deshalb ist fast überall ein eisfreier Küstenstreifen vorhanden; in der Antarktis liegt sie dagegen fast überall unter 0 m
Tundrenvegetation aus mehrjährigen Gräsern, Zwergsträuchern sowie Flechten und Moosen a) fleckenhaft Polsterwuchs (Steinbrech, Polarweide, Fingerkraut), sog. Fleckentundra b) großflächig Flechten (Cladonia-Rentiermoos) und Moose, kein Torfmoos, wenig Gräser c) Zwergstrauchgesellschaften (Zwergbirke, Weiden, Trunkel-, Rausch- und Preiselbeere)[2]	um Dauersiedlungen beschränkter Gemüsebau unter Glas	Polarfuchs, Schneehase, Lemming, Schnee-Eule. Im Sommer Zugvögel; Wasservögel, Gänse, Enten, Schnepfen; große Gewässer fischreich: Lachse; zahlreiche blutsaugende Insekten (Stechmücken, Dasselmücken)	Rentier, Eskimohunde (Laika) als Zug- (Schlitten-) und Hirtenhunde	Tundrentypen: Fleckentundra, Steinschuttundra, Felstundra, Moos-Flechtentundra, Strauchtundra außerdem, vor allem im S: Auwälder, Moore, Auwiesen, Strauchdickichte	[2] Südhalbkugel: ganzjährig nasses, nebliges Klima mit viel Regen und Schnee, keine anhaltende Frostperiode; Flüsse gefrieren kaum zu; keine Gefrornis; an den Hängen Wiesen (Tussockgras), in den Senken Moore, Strauchdickichte
lichte Gehölzformation (Vortundren-Lichtwald), aus Zirbe, Lärche; dazwischen Strauch- und Tundrengesellschaften, Moore (Abstand zwischen Wald- und Baumgrenze im Mittel 100 km)	stellenweise Kartoffeln und Gemüse, auf Kola auch Gerste	außer allen Tundrenbewohnern einige Vertreter der nördl. Waldzone; typisch Schneehase	wenig Schafe	Verteilung von Tundra und Lichtwald nach örtl. Bedingungen; an ozeanischen Küsten blumenreiche Wiesen und Gebüsche	
überwiegend Nadelwaldgesellschaften aus Fichte, Kiefer, Lärche, Zirbe, Tanne, dazu Birke, Espe, Pappel, Weide meist im Unterholz ($^2/_3$ der Gesamtwaldfläche der Erde); ferner Hoch- und Niedermoore, Auwiesen, Waldsümpfe[3]	Anteil des Ackerlandes von Nord nach Süd zunehmend; Anbau von Hafer, Gerste, Kartoffeln, Gemüse, in Auen Grünlandnutzung, bedeutende Holzgewinnung	reiche Waldfauna: Maral, Bär, Wolf, Fuchs, Vielfraß; Pelztiere: Marder, Nerz, Zobel, Hermelin, Eichhörnchen; Luchs, Dachs, Biber; z. T. Mücken- und Fliegenplage; zahlreiche Waldvögel, Süßwasserfische	nur örtlich im S Rinder- und Schweinezucht, Geflügel, Bienen, Pelztierfarmen, Maralzucht; im N Winteraufenthalt der Rentiere	Nadelwaldtypen nach vorherrschender Holzart; Bor (Kiefernheide), Urman (Fichtentaiga) Lärchentaiga; weitere Untergliederung nach der Bodenflora; ferner: Auwiesen, Moore, Sumpfwälder	[3] oz. Typ: oz. Regenwald als schmaler Streifen an Westküsten von subpolaren bis in subtropische Breiten ausgebildet; wenig Sonnenschein, selten Frost, immergrüne Nadelwälder, Bäume von zahlr. Flechten behangen, dazu Moore; stellenweise Strauchheiden
a) sommergrüne Laub-Nadel-Mischwälder aus Fichte, Kiefer, Eiche, Buche, Ahorn, Linde, Ulme; Auwiesen und Moore häufig; b) sommergrüne Laubwälder mit reichem Strauchunterwuchs	a) zum großen Teil in Kulturland verwandelt; Anbau von Roggen, Kartoffeln, Flachs, Hafer, Futterpflanzen; b) überwiegend Kulturland, gleiche Früchte sowie Feldgemüse, Obst	a) wie südliche Taiga, dazu Hirsch, Reh, Wildschwein, Hase; ursprünglich Bär, Elch b) besonders reiche Waldvogelfauna	bedeutende Rinder- und Schweinezucht, ferner Pferde und Schafe, Geflügel, Bienen	Nadelwaldgesellschaften, Laub-Nadel-Mischwälder, Laubwaldgesellschaften, ferner Auwiesen, Auwälder, Hoch- und Niedermoore, Strauchheiden	

Fortsetzung

Gürtel	Zone / Subzone	Klima	Gewässer	Oberflächengestaltung	Böden
noch gemäßigte Breiten	WALD-STEPPEN-ZONE (Waldsteppe)	warmgemäßigt mit kalten Wintern und heißen Sommern (Tm Juli +19 bis +21 °C); 650 bis 350 mm Niederschlag, im Sommer oft heftige Starkregen, aber auch längere Trockenperioden, hohe Verdunstung; im Winter bedeutende Schneedecke	Frühjahrshochwasser, Niedrigwasser im Sommer mit unperiodischen Abflußschwankungen; viele Bäche fallen zeitweilig trocken	unter Waldinseln morphologische Prozesse wie in der Waldzone, in Steppenbereichen gleiche Vorgänge wie in der Steppenzone	unter Wald graue (braune) Waldböden oder degradierte Schwarzerde; unter Steppenvegetation Schwarzerde
warmgemäßigte Breiten	STEPPENZONE (Steppenzone[5] des gemäßigten Klimas) a) kräuterreiche Grassteppe (nördl. Steppe, Langgrassteppe) b) Trockensteppe (südl. Steppe, Kurzgrassteppe)	kontinental: Winter kalt, Sommer heiß (Tm Juli <+22 °C); Niederschlag (zu allen Jahreszeiten) von W nach O und von N nach S abnehmend (650 bis 300 mm); im Frühsommer noch kürzere Regenperioden, im Hoch- und Spätsommer nur einzelne kräftige Regengüsse, dazwischen kürzere oder längere Trockenperioden (Dürreperioden); Verdunstung im Sommer größer als Niederschlag; Staubstürme; im Sommer geringe Bewölkung, Dunst	starke Schwankungen in der Wasserführung: nach Frühjahrshochwasser (durch Schneeschmelze und Regen) langer Niedrigwasserstand im Sommer, kleinere Flüsse fallen dabei trocken; kurze winterliche Eisbedeckung; tiefe Lage des Grundwassers; Verdunstung im Sommer größer als Niederschlag (semiarid)	mäßige Verwitterungsintensität wegen Bremsung in der kalten (Frost) und heißen (Trockenheit) Jahreszeit; starke Wirkung der Sommerregen, verheerend auf Ackerland (Bildung von Steppenschluchten); Solifluktion bei Auftauen der Böden	a) humusreiche Schwarzerden meist auf Löß, Mächtigkeit von N nach S abnehmend; b) dunkelkastanienfarbene Böden, in Senken Soloneze (Salzböden); für Bodenbildung Tätigkeit der Bodenwühler wichtig
	HALBWÜSTE (Wüstensteppe)[6]	trocken, kontinental: lange heiße Sommer (Tm Juli +22 bis +27 °C, T Max. <+40 °C), kurze kalte Winter mit Frösten von −10 bis −20 °C; geringe Niederschläge (150 bis 250 mm), unregelmäßig, mit starken Schwankungen von Jahr zu Jahr; lange Dürreperioden, hohe Verdunstung, geringe Luftfeuchte; dünne Schneedecke	Verdunstung überwiegt in mehr als 6 Monaten den Niederschlägen (semiarid); weitmaschiges Flußnetz mit durchweg period. Flüssen; Seen zum großen Teil salzig; geringer Abfluß	wegen geringer Niederschläge Hemmung aller morphologischen Prozesse (Formenerhaltungszone); fast keine Abspülung; geringe Windwirkung; keine Solifluktion	hellkastanienfarbene Böden; großflächig Soloneze und Solontschake, besonders in Senken; meist aufwärts gerichtete Bodenwasserzirkulation; geringe Bodenfeuchte
subtropische Breiten	winterkalte Wüstenzone (außertropische Wüstenzone, Wüstenzone des gemäßigten Klimas)	sehr trocken, kontinental; lange, sehr heiße Sommer (Tm Juli bis +32 °C) mit Mittagstemperaturen bis +50 °C; geringe Bewölkung, staubhaltige Luft; im Winter regelmäßig Frostperiode (Tm Januar 0 bis +10 °C), dünne Schneedecke (1 bis 2 Monate); geringe Niederschläge (50 bis 200 mm), Maximum im Frühjahr; häufig starke Winde; sehr hohe Verdunstung, geringe Luftfeuchte	Verdunstung überwiegt in mindestens 10 Monaten den Niederschlägen (arid); außer Fremdlingsflüssen nur episodische Flüsse; z. T. Binnenentwässerung in Endseen; Salzsümpfe, im Frühjahr überschwemmte Takyre	starke Insolation; Windwirkung schon bei schütterer Vegetation stark gebremst; starke physikalische Verwitterung, geringe chemische Verwitterung	schwache Bodenbildung; Grauerden; Salzböden, Solontschake, Takyre; nicht festliegende Sandfelder ohne Bodendecke
SUBTROPEN	SUBTROPEN-ZONE a) sommertrockene Subtropen (Mediterranzone) b) feuchte Subtropen	a) Winter kühl, Sommer heiß oder sehr heiß; anhaltende regelmäßige Winterregen, Schnee selten; Sommer trocken, mit einzelnen Starkregen, geringe Bewölkung b) schwach ausgeprägte Jahreszeiten: milde Winter, selten Frost; feuchtwarme Sommer, ganzjährig hohe Niederschläge (<1000 mm), hohe Luftfeuchte, im Sommer häufig Starkregen	starke Wasserstandsschwankungen: a) Frühjahrshochwasser durch Regen im Winter und Frühjahr; im Sommer trocknen viele Flüsse aus (Torrente); Sommermonate arid b) hohe Flußdichte, hoher Abfluß, ganzjährig humid	bei Zerstörung der Vegetationsdecke periodisch stärkere Abspülung; starke Bodenerosion; lebhafte chemische und physikalische Verwitterung	a) zimtfarbene Böden und Roterden (Terra rossa) b) Rot- und Gelberden

Tm = Temperaturmittel — Veg. = Vegetation — Ersch. = Erscheinung — therm. = thermisch — oz. = ozeanisch

Pflanzenwelt		Tierwelt		natürliche Komplexe	Ergänzungen und Bemerkungen
natürliche Vegetation	Kulturpflanzen	Wildtiere	Haustiere		
zwischen kräuterreichen Wiesensteppen Laubwälder (Eiche, Esche, Ulme; in Sibirien Birke, Lärche), Auwälder [4]	großenteils umgebrochen; Getreide-, Hackfrucht-, Feldfutter- und Obstbau	entsprechend der Verzahnung von Wald und Steppe Nebeneinander von Wald- und Steppenfauna	Rinder, Pferde, Schweine, Schafe, Geflügel, Bienen	Wälder (Eichen, Birken); Steppen; Auwiesen, Auwälder (Weiden, Pappeln); Strauchgesellschaften, Trockenrasen	[4] gemäßigter Monsunwald an den Ostküsten, bes. in Ostasien: schneereiche Winter, regenreiche Sommer, im N Laubwald (Weiden, Birken, Espen, Pappeln) mit hohen Stauden und Kräutern, durchsetzt von Moor- und Heideflächen; im S Nadelwälder und üppige Wiesen
den Boden nicht völlig bedeckende Gesellschaften aus Gräsern und Kräutern; im Frühjahr frisch u. grün, im Sommer verdorrt, gelb a) Federgras, Schwingel, Pfriemengras, dazu Ephemeren u. Zwiebelgewächse, Steppensträucher b) Artemisien, Federgras, Schwingel, Steppensträucher	a) weitgehend umgebrochen (in SU ca. 50%); Weizen, Mais, Zuckerrüben, Sonnenblumen, Luzerne, Baumwolle; b) Trockenfeldbau möglich, oft Dürren; Verbesserung durch Waldstreifen und Bewässerung	zahlreiche Bodenwühler (Nagetiere): Hase, Ziesel, Bobak, Spring-, Mullmaus; Rotfuchs, Iltis, Wiesel; Bodenbrüter (Trappe und Gans), ferner Weihe, Adler, Falke; Huftiere selten geworden: Saiga, Tarpan, Büffel, Bison, Auerochse; Heuschreckenplage	meist ganzjähriger Weidegang oft in großen Herden; hauptsächlich Rinder und Pferde, teilweise auch Schafe	neben verschiedenen Steppentypen (Gras-Kräutergesellschaften) Auwiesen, Auwälder, Soloneze	[5] die nordamerikanische Steppenzone heißt Prärie, die südamerikanische Pampa
schüttere, lückige Vegetation aus Arten der Trockensteppe und der Wüste, dazu Ephemeren (Tulpen) und Salzpflanzen	nur stellenweise Trockenfeldbau möglich (Weizen); häufig Bewässerungskulturen (Obst- und Feldfrüchte der Subtropen und der gemäßigten Zone)	Vertreter der Steppen und Wüsten; zahlreich Suslik, Ziesel, Steppenfuchs, Saiga, Kriechtiere	Weidevieh zucht: hauptsächlich Schafe, seltener Rinder	im N Artemisia-Grassteppen, im S Gras-Artemisia-Steppen, befestigte und bewegliche Sandfelder, Soloneze, Solontschake	[6] am Nordrand der außertropischen und der tropischen Wüsten ausgebildet
unbedeckter Boden überwiegt, stellenweise im Frühjahr dichter Ephemerenteppich; sonst Artemisia, Salzsträucher, Saxaul, Tamarisken. Xerophyten	Feldbau nur bei Bewässerung möglich; vielseitige Oasenkulturen (Getreide, Gemüse, Obst, Baumwolle)	Großwild selten geworden (Wildpferd, Saiga, Dsheiran, Muffion), Springmäuse, Kriechtiere, Spinnentiere; Waran; wenig Vögel; Wanderheuschrecken	Kamele (Trampeltier und Dromedar) als Lasttiere, Esel; Ziegen, Karakulschaf, Pferd als Reittier	Salzpflanzengesellschaften, befestigte Sandfelder, Dünenfelder, Lößwüste (Lehmwüste), Takyre (Salztonebenen), Felswüste, Saxaulgehölze	
immergrüne Vegetation a) Hartlaubgehölze (Myrthe, Pinie, Zypresse, Oleander, Lorbeer, Korkeichen) b) dichte Laubmischwälder mit immergrünem Strauchunterwuchs, zahlr. Schlingpflanzen	a) Olive (Ölbaum), Wein, Agrumen, Walnuß, Maulbeere, Edelkastanie, Korkeiche; Weizen, Gerste b) Reis, Tee, Zuckerrohr, Palmen, Bambus	a) Wildschwein, Stachelschwein, Leopard, Sumpffuchs, Edelfasan b) Halbaffen (Makak) Bären, Leopard, Wasserreh, reiche Vogelfauna	Ziegen, Schafe, Esel, Büffel, Zebu; Geflügel; stellenweise Schweinehaltung; Seidenraupenzucht		

Fortsetzung

Gürtel	Zone / Subzone	Klima	Gewässer	Oberflächengestaltung	Böden
subtropische Breiten SUBTROPEN	TROPISCHE WÜSTENZONE a) ndl. Halbwüste b) Vollwüste c) sdl. Halbwüste	mäßiger Jahresgang der Temperatur, starke Tagesamplitude, gelegentlich Nachtfröste; sehr geringe Niederschläge (0 bis 100 mm), oft nach mehreren regenlosen Jahren als kurze heftige Güsse; heftige Winde, Staubstürme; ganzjährig geringe Luftfeuchte (15 bis 25%) a) regelmäßig geringe Winterregen c) regelmäßig geringer Niederschlag im Sommer	außer Trockenbetten (Wadis, Creeks) nur wenig Fremdlingsflüsse; salzige Endseen, oft sehr flach und nur zeitweilig wasserführend (Schotts); Grundwasseroasen	in der Vollwüste fast nur physikalische Verwitterung (Insolation, Salzsprengung); Anhäufung des Lockermaterials durch episodische fluviatile Umlagerungen in Senken; stärkste Windwirkung: Deflation, Dünenbildung; lange Erhaltung der Kleinformen und fluviatilen Formen	Grauerden, Salzböden; vielfach auch keine Bodenbildung
	HALBWÜSTENZONE	wie Wüste, jedoch kurze Regenzeit, 1 Monat humid (100 bis 200 mm), 11 Monate arid	einzelne größere Flüsse führen regelmäßig kürzere Zeit Wasser	wie Wüste	Grauerden
tropische Breiten TROPEN	SAVANNENZONE (wechselfeuchte Tropenzone) a) Dornsavanne b) Trockensavanne c) Feuchtsavanne	gering ausgeprägte thermische Jahreszeiten (Tm des kältesten Monats $<+15$ °C, wärmster $+25$ bis $+28$ °C); kein Frost, ganzjährig heiße bis sehr heiße Tage, kühle Nächte; Tag und Nacht fast gleich lang, kurze Dämmerung, immer hoher Sonnenstand; in Richtung zum Äquator Zunahme der Niederschläge (von 200 auf 2000 mm) und Dauer der Regenzeit; Regen und Trockenzeit scharf ausgeprägt: a) 2 bis 3 humide Monate, 9 bis 10 aride Monate b) 4 bis 6 humide Monate, 6 bis 8 aride Monate c) 7 bis 9 humide Monate, 3 bis 5 aride Monate	während der Regenzeit (bei Zenitstand der Sonne) anhaltende Hochwasser, in der Trockenzeit starker Rückgang des Abflusses a) und b) viele Flüsse führen nur periodisch Wasser, z. T. noch Endseen und Salzpfannen, Salzseen c) überwiegend Dauerflüsse, Süßwasserseen	intensive Flächenspülung (Schichtfluten), intensive chemische Verwitterung in der Regenzeit und starke physikalische Verwitterung in der Trockenzeit, Bildung von Rumpfflächen, Inselbergen, Krustenbildung	a) rotbraune Böden b) tiefrote Lateritböden (Krustenbildung) c) Roterden (meist fruchtbar und nährstoffreich) unter Wald, Gelberden unter Savanne (verarmt durch Entbasung und Lateritisierung, durch Savannenbrände gefördert)
	REGENWALDZONE (Äquatorialzone)	feuchtwarmes Treibhausklima: keine thermischen Jahreszeiten, gleichmäßig hohe Temperatur (Tm der Monate $+24$ bis $+29$ °C); hohe und sehr hohe Niederschläge (<11800 mm), in Äquatornähe während des ganzen Jahres, mit zunehmender Entfernung deutliche Trockenzeiten; hohe Luftfeuchte, starke Bewölkung, zahlreiche Gewitter; geringe Windstärken; mäßige Tagesamplituden	dichtes Gewässernetz, hohe Abflußspende: wasserreiche Flüsse, allgemein lange Hochwasserperiode, ausgedehnte Überschwemmungen, wasserdurchtränkte Böden	tiefgreifende chemische Verwitterung, Tonerdeanreicherung (Denudation durch ausspülende Wirkung der Sickerwässer; sog. chemische Abtragung), an der Oberfläche im allg. keine Steine; Abspülung durch Vegetation gehemmt, dafür extreme Rutschungen, selbst unter Vegetationsdecke	Buntlehme, Rotlehme, Graulehme mit dichter Struktur, sandige Böden selten; an der Oberfläche geringer Humusgehalt, dafür in Boden infiltriert, wird gelöst den Flüssen zugeführt (Schwarzwasserflüsse)

Tm = Temperaturmittel — Veg. = Vegetation — Ersch. = Erscheinung — therm. = thermisch — oz. = ozeanisch

Die naturräumliche Gliederung in Mitteleuropa. In der sich über gewaltige Räume erstreckenden Sowjetunion ist die Gliederung in geographische Zonen so deutlich ausgeprägt, daß sie bei keiner physisch-geographischen oder naturräumlichen Gliederung vernachlässigt werden kann. Demgegenüber müssen bei der natürlichen Gliederung in dem kleinräumigen Mitteleuropa, das der Zonengliederung nach fast ausschließlich der Mischwaldzone der gemäßigten Breiten zugehört, noch andere Gliederungsgesichtspunkte zur Anwendung kommen. Außerdem erfordert die weitgehende Umgestaltung der ursprünglichen Naturlandschaft durch den wirtschaftenden Menschen in eine Kulturlandschaft eine klare Unterscheidung zwischen einer naturräumlichen Gliederung unter Ausschaltung dieser sozialökonomischen Faktoren und einer Landschaftsgliederung, die der natürlichen und die gesellschaftlich-ökonomischen Faktoren gleichermaßen berücksichtigt.
Die Gliederung eines Gebietes in naturräumliche Einheiten baut auf einer möglichst umfassenden Erfassung der Landesnatur auf. Die Reliefgestaltung, die Böden, die hydrographischen Verhältnisse, jeweils in ihrer engen Abhängigkeit vom geologischen Aufbau, ebenso das Klima und die natürliche Vegetationsdecke gestatten eine Gliederung in Naturräume oder wie sie oft genannt

Pflanzenwelt		Tierwelt		natürliche Komplexe	Ergänzungen und Bemerkungen
natürliche Vegetation	Kulturpflanzen	Wildtiere	Haustiere		
Kernwüste oft ohne jeden Pflanzenwuchs; extrem xerophile Pflanzen mit tiefreichenden Wurzeln: Dornsträucher, Kakteen, Borstgräser, Agave, Akazie; Ephemeren	nur in Oasen: Dattelpalme sowie alle wärmeliebenden Früchte bei Bewässerung	in der Kernwüste keine Großtierwelt; Käfer, Spinnen, Heuschrecken c) Gazelle, Antilope, kleinere Raub- und Nagetiere	Kamel, Schaf, stellenweise Pferd	Wüstentypen: Kieswüste (Serir), Steinwüste (Hamada), Sandwüste, Staubwüste, Tonwüste, Felswüste, Grundwasser- und Flußoasen	
Halbstrauch- und Sukkulentengesellschaften, weitständige Grasbüschel, Xerophyten	ohne Bewässerung kein Anbau möglich	Gazelle, Antilope, kleinere Raubtiere, Nagetiere	dürftiges Weideland, hauptsächlich Schafe		
Wechsel zwischen Gehölz- und Grasfluren; Anpassung an Trockenheit: a) Dornwald mit Dorngestrüpp und Sukkulenten oder kniehohes Büschelgras b) regengrüner Trockenwald (fiederlaubige Bäume: Akazien, Mimosen; Miombowald) oder brusthohes Gras mit Palmen und Bäumen (Affenbrotbaum) c) laubwerfender tropischer Feuchtwald[8] (Monsunwald) oder übermannshohes Gras mit breitlaubigen Bäumen und Galeriewald	a) nicht anbaufähig b) Hirse, Mais, Weizen, Baumwolle c) Reis, Palmen (Ölpalme), Zuckerrohr; Plantagen: Kaffee, Kautschuk	Großwild, hauptsächlich Herdentiere: Antilopen, Giraffen, Gazellen, Zebras; Dickhäuter: Elefant, Nashorn; Raubtiere: Löwe, Puma, Jaguar, Hyäne; Laufvögel: Strauß; Krokodil, Känguruh, Termiten	a, b) teilweise Weideviehzucht: Büffel, Rinder; in Australien bes. Schafe c) Wasserbüffel, Arbeitselefant	Savannentypen[7] (Wechsel zwischen Gehölz- und Grasfluren) in Abhängigkeit von lokalen, edaphischen Bedingungen, bei Vernichtung der Urwälder fast ausschließlich als Sekundärformationen, Busch- und Grasformationen	[7] in dieser Begriffsfassung ist Savanne nicht nur ein Grasland mit einzelnen Bäumen, sondern auch Waldland (laubwerfender Wald und Dornwald) [8] die Grenze gegenüber dem feuchten Monsunwald ist nicht überall hinreichend bekannt
immergrüner, artenreicher ombrophyler Regenwald[9], deutlicher Stockwerkbau, mehrere Baumschichten; raschwüchsig, üppig, zahlreiche Epiphyten und Lianen; versumpfte Auen (Sumpfwald, Waldmoor), Mangroveküsten	Brandrodung (Hackbau): Knollenfrüchte: Manlok, Yams, Mais, Melone; Ölpalme; Banane, Kakao, Ananas Gewürze: Vanille, Zimt; Edelhölzer	zahlreiche Arten fast aller Familien, bes. hervortretend Affen, Vögel; wenig Raubtiere; zahlreiche Insekten; in besonders großen Formen; viele Fischarten	keine oder nur geringe Viehhaltung	Regenwaldtypen: Etéwald (überschwemmungsfrei) Varzeawald (period. überschwemmt) Igapówald (fast ständig überschwemmt) Mangroveküsten, Waldmoore, Sümpfe Hochgrassavannen Sekundärwälder	[9] der natürliche, echte Regenwald ist bes. in Afrika und Hinterindien durch Sekundärwälder und Grasformationen verdrängt worden

werden, naturräumliche Einheiten. Diese wurden in ihrem Wesen bereits zu Anfang des 19. Jh. erkannt. Sie lassen sich definieren als hinsichtlich der Naturausstattung in sich relativ einheitliche Gebiete, die sich darin mehr oder weniger deutlich von benachbarten Gebieten mit einer andersgearteten Naturausstattung abheben und sich durch natürliche Grenzen in ihrem Umfang bestimmen lassen. Weiterhin hat sich gezeigt, daß diese natürlichen Einheiten einen hierarchischen Aufbau zeigen; jeweils mehrere schließen sich zu größeren Einheiten zusammen, denen jeweils bestimmte Merkmale eigen sind. Die Naturräume höherer Ordnung lassen sich in erster Linie auf Grund unterschiedlicher Reliefgestaltung gegenseitig abgrenzen.

In Deutschland wurde kurz vor dem zweiten Weltkrieg mit einer umfassenden Bearbeitung seiner Naturräume begonnen. Aus der nach 1945 fortgeführten Arbeit ist das „Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands" hervorgegangen. Solche Arbeiten, die in ähnlicher Form auch in anderen Ländern, beispielsweise in der Sowjetunion und in der ČSSR durchgeführt werden, haben außer ihrem wissenschaftlichen Wert für viele praktische Fragen, vor allem der Land- und Forstwirtschaft, eine nicht zu unterschätzende Bedeutung.

Höhenlage der Schneegrenze (Firngrenzen)

Amerika			Europa/Afrika			Asien/Australien		
Breite N bzw.S	Gebiet	Höhe in m	Breite N bzw.S	Gebiet	Höhe in m	Breite N bzw.S	Gebiet	Höhe in m
81°	Nordwestgrönland	100	82°	Franz-Josef-Land	50	80°	Sewernaja Semlja	250
73	Nordbaffinland	700	78	Südspitzbergen	300···500	75	Byrrangagebirge	< 1200
60	Südalaska (Mt. Elias)	600	76	Nowaja Semlja	N 350	69	Putoranagebirge	< 2100
51	Küstenkette (Selkirk-Mts.)	2200···2300	73	Nowaja Semlja	S 600	65	Nordural	1400
50	Vancouverinsel	1700	70	Nordskandinavien (Jökelfjell)	800	62	Ostsibirien (Suntargebirge)	2400
47	Kaskadengebirge	2000	67	Skandinavien (Sulitelma)	1200···1500	55	Kamtschatka	1600
	(Mt. Rainier)		66	Nordisland	900···1100	53	Ostsajan	2300···2600
41	Kaskadengebirge	3000	64	Südisland	600	49	Zentralaltai	N 2600
	(Mt. Shasta)		62	Südnorwegen (Jotunheimen)	1900			S 2950
40	Sierra Nevada	3800	49	Hohe Tatra	2500	45	Dsungarischer Alatau	3200
19	Mittelamerika	4950	47	Alpen; Hohe Tauern	N 2650	42	Nord-Tienschan	3400···3600
	(Pik von Orizaba)			Hohe Tauern	S 2800	41	Zentral-Tienschan	4200···4600
11	Sierra Nevada	5400	46	Montblanc	2900	40	Alai	< 4800
	de Santa Marta		44	Westkaukasus	N 2900	39	Westpamir	3800···4000
0	Cotopaxi	4600···4750			S 2700	38	Ostpamir	5000···5200
2	Chimborazo	4850	43	Kaukasus (Elbrus)	3200···3550	36	Kuenlun	5000···6000
16	Illimani	5500	42	Ostpyrenäen	2900	35	Karakorum	4800···4900
23	Nordchile	6200	40	Ararat	4100	34	Zentraltibet	5500···6000
33	Aconcagua	4050	37	Sierra Nevada	3200	33	Westhimalaja	5000
38	Mittelchile	1700		Sizilien (Ätna)	3300	30	Himalaja (Kumaon)	4600
40	Mittelchile	1550	31	Hoher Atlas	4500	28	Himalaja (Nepal)	3600
50	Patagonien	1100	13	Äthiopien (Ras Dedjen)	< 4800	4	Neuguinea	4600
53	Südfeuerland	800	0	Ruwenzori	5000	44	Neuseeländische Alpen	W 1900
54	Südgeorgien	400···700	3	Kilimandscharo	5150			O 2200···2400
64	Antarktis	0	50	Kerguelen	400			

Die Höhenlage der Schneegrenze ist abhängig von der Einstrahlung, den Temperaturbedingungen und der Niederschlagshöhe. Die Firngrenze steigt infolgedessen, global gesehen, von den Polen zum Äquator hin an. In der gleichen Breite steigt sie im allgemeinen von den ozeanischen Küsten zum kontinentalen und meist auch trockeneren Inneren der Kontinente an. Im gleichen Gebirge liegt sie fast immer an den der Sonneneinstrahlung zugekehrten Hängen (auf der Nordhalbkugel die Südhänge) höher als auf den Schatthängen und außerdem oft in den zentralen Gebieten eines Gebirges höher als in den meist stärker beregneten Randzonen. In der Tabelle sind die mittleren Höhenlagen der Firngrenzen in den wichtigsten Hochgebirgen der Erde in drei Nord-Süd-Profilen (Nordamerika—Südamerika, Europa—Afrika, Asien—Australien) zusammengestellt.

DIE GLETSCHER DER ERDE

Die Vergletscherung der Erde. Von der Festlandsfläche der Erde sind gegenwärtig 15,8 Mill. km², etwas mehr als 10%, von Eis bedeckt. Die Vergletscherung verteilt sich dabei, in Abhängigkeit vom Klima, sehr ungleich auf die geographischen Zonen. Während die Tropen nur etwa 100 km² Vergletscherung aufweisen, entfallen auf die gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel 130000 km². und auf die gemäßigten Breiten der Südhalbkugel 21000 km²; auf die Nordpolarländer 2,25 Millt km² und auf das Südpolargebiet 13,5 Mill. km². Aber auch die Verteilung der Eisbedeckung auf die Erdteile ist recht unterschiedlich, wie die folgende Zusammenstellung zeigt (Prozentanteil des vergletscherten Areals an der Gesamtfläche).

Die Vergletscherung der Erde nach Erdteilen, Großräumen und Gebirgen

Erdteile	Fläche in km²	%	*Großräume*	Fläche in km²	%	*Gebirge*	Fläche in km²
Antarktika	13500000	96	Grönland	1833900	84	Karakorum	13700
Nordamerika	2100000	9,5	Kanadische Polar-	105000	7	Anden	12000
Europa	136000	1,3	inseln			Himalaja	10000
Asien	54000	0,1	Sowjetunion	70800	0,3	Pamir	8100
Südamerika	12000	0,02	(insges.)			Tienschan	5500
Australien/	1000	0,00	Spitzbergen	58000	84	Rocky Mountains	4000
Ozeanien			Alaska	55000	4	Alpen	3600
Afrika	240	0,00	Nowaja Semlja	22600	27	Kaukasus	2000
Erde (insges.)	15800000	10,6	Sewernaja Semlja	15600	42	Neuseeländische	1000
davon:			Franz-Joseph-	15300	80	Alpen	
Südpolargebiet	13500000		Land			Altai	650
Nordpolar-	2200000		Island	13400	13	Pyrenäen	30
gebiet			Patagonien	11500	1		
			Skandinavien	5000	0,7		

Die Zahlenangaben für die einzelnen Gebiete sind hinsichtlich der Genauigkeit sehr ungleichwertig. Ein großer Teil der vergletscherten Gebiete der Erde ist noch nicht genau vermessen. So werden für Antarktika in sowjetischen Werken 14,1 Mill. km² angegeben und für Grönland häufig 1,65 Mill. km², aber auch 2,09 Mill. km² (entsprechend variieren die Prozentwerte zwischen 96% und 75%). Für manche Vereisungsgebiete liegen auch nur ältere Angaben vor. Die Gletscher selbst verändern ihre Länge und ihr Areal im Laufe der Zeit recht beträchtlich. Neben den jährlichen Bewegungen der Gletscherstirn, die meist nur wenige Meter betragen, gibt es langfristige Schwankungen in Abhängigkeit vom Klima. Für die Alpen ist für das Mittelalter eine etwas geringere Vergletscherung nachgewiesen. Im 16. Jahrhundert erfolgte dann ein beträchtlicher Gletschervorstoß mit einem Höchststand um 1600, in den folgenden Jahrhunderten ein wiederholt unterbrochener allmählicher Rückzug mit einem neuen Maximum um 1820 und 1855; seitdem befinden sich fast alle Alpengletscher wieder in einer verstärkten Abschmelzphase, die nur um 1890 und 1920 zeitweilige Unterbrechungen erfuhr.

Bedeutende Gletscher der Erde. Die Gletscherkunde unterscheidet verschiedene *Arten der Vergletscherung* und verschiedene *Gletschertypen*:

1. *Inlandeis* (J): vom Untergrund fast unabhängige, ausgedehnte Eisflächen mit flach schildförmiger Wölbung der Eisoberfläche.
   1. *Antarktischer Typ:* bei ihm fehlt wegen der Lage der Schneegrenze im Niveau des Meeres ein eigentliches Zehrgebiet (Kalben an der Eisbarriere, Abschmelzen im Ozean).
   2. *Arktischer Typ:* von einer ausgedehnten Eisfläche fließen randlich einzelne mächtige und sich relativ rasch bewegende Gletscherströme (Durchflußgletscher) ab.

II. Gebirgsgletscher: ihre Gestalt wird diesen Gletschern durch das Relief aufgeprägt; sie passen sich dem Relief an.

1. *Alpiner Typ* (T): Mehrere flache, muldenförmige Firnfelder ernähren eine gut ausgebildete, flächenmäßig aber relativ kleine Zunge. Kar- und Hängegletscher sind unausgebildete Typen, der alpine Talgletscher der vollausgebildete Typ.
2. *Turkestanischer Typ* (F, mittelasiatischer Typ): in tiefen Gebirgstälern liegende schmale, aber oft sehr lange Gletscher, die hauptsächlich durch Schnee- und Eislawinen von den Talflanken aus ernährt werden; sie werden deshalb fälschlich auch als firnfeldlose Gletscher bezeichnet.
3. *Alaska-Typ* (V): Bei tiefliegender Schneegrenze vereinigen sich mehrere Gletscherzungen im Gebirgsvorland und bilden hier eine zusammenhängende Eisfläche.
4. *Spitzbergen-Typ* (P, oder Plateaugletscher): Die Eismassen erfüllen die Täler ganz und überziehen zusammenhängend große Teile der Hochflächen, aus denen nur einzelne eisfreie Gipfel (Nunatak) herausragen. Am Plateaurand stoßen zahlreiche Zungen weit, oft bis ins Meer vor. Sonderformen sind hier die Firnplateauvergletscherung Norwegens und die Kappenvergletscherung auf einzelstehenden Riesenbergen (K).

In der folgenden Tabelle sind die größten und einige bekannte Gletscher der Erde zusammengestellt. In der Literatur finden sich für die einzelnen Gletscher recht unterschiedliche Größen- und Längenangaben, während das für den Wasserhaushalt noch wichtigere Gletschervolumen nur für wenige Gletscher zuverlässig berechnet worden ist. Die unterschiedlichen Längenangaben haben ihre Ursache einmal in unzureichender Vermessung vieler außereuropäischer Gletscher, zum anderen aber auch in der Schwierigkeit und Unsicherheit der Bestimmung des oberen Gletscheranfanges. Oft wird bei alpinen Talgletschern das Firnfeld bei der Längenangabe mit einbezogen (z. B.: Aletschgletscher mit Firn 27 km, Zunge allein 16 km). Bei den Flächenangaben wird durchweg die gesamte „von ewigem Schnee bedeckte Fläche", also außer der Fläche der eigentlichen Gletscherzunge auch die den Gletscher speisenden Firnfelder, angeführt. Die Bedeutung der in der Spalte „Typ" angeführten Buchstaben ergibt sich aus der vorstehenden Zusammenstellung der Gletschertypen.

	Fläche in km²	Länge in km	Höhe der Stirn in m	Typ
Europa				
Nordostlandeis (Spitzbergen)	10800	135	0	P/I
Vatna-Jökull (Island)	8800	142	60	P
Nordinseleis (Nowaja Semlja)	2800	415	0	P/I
Hof-Jökull (Island)	1350	36	700	P
Lang-Jökull (Island)	1300	57	435	P
Myrdal-Jökull (Island)	1000	31	280	P
Jostedalsbrae (Südnorwegen)	855	70	60	P
Svartissenfjeld (Nordnorwegen)	450	32	100	P
Folgefonnbrae (Norwegen)	264	34	310	P
Elbrus-Eiskalotte (Kaukasus)	200	16	2340	K
Hardangerbrae (Norwegen)	135	17	880	P
Alfotbrae (Norwegen)	125	10	1350	P
Aletschgletscher (Berner Oberland)	115	16	1450	T
Gornergletscher (Walliser Alpen)	67	13	2040	T
Mer de Glace (Montblanc)	55	15	1150	T
Dychsu-Gletscher (Kaukasus)	53	13	2050	K/T
Karagomgletscher (Kaukasus)	47	14	1800	T
Besingigletscher (Kaukasus)	45	13	2000	T
Fiescher gletscher (Berner Oberland)	41	12	1700	T
Zannergletscher (Kaukasus)	40	12	2100	T/K
Unteraargletscher (Berner Oberland)	39	16	1880	T
Untergrindelwaldgletscher (Berner Oberland)	30	10	1250	T
Otemmagletscher (Penninische Alpen)	26	7	2460	T
Pasterzenkees (Ostalpen)	25	10	2020	T
Gepatschferner (Ostalpen)	25	10	1950	T
Morteratschgletscher (Bernina)	21	9	2050	T
Corbassièregletscher (Penninische Alpen)	21	10	2050	T
Rhônegletscher (Dammastock, Alpen)	21	9	1830	T
Gurglergletscher (Ötztaler Alpen)	15	10	2190	T
Hofmanngletscher (Ural)	0,4	1	600	T

	Fläche in km²	Länge in km	Höhe der Stirn in m	Typ
Asien				
Nordinseleis (Sewernaja Semlja)	5000		0	I
Fedtschenkogletscher (Pamir)	1350	77	2904	F
Siachengletscher (Karakorum)	1150	72	3700	F
Serafschangletscher (Alai)	890	14	2840	F/T
Koikafgletscher (Tienschan)		62	3900	F
Baltorogletscher (Karakorum)	750	57	3500	F
Biafogletscher (Karakorum)	620	59	3160	F
Südl. Inyltschikgletscher (Tienschan)	540	60	2940	F
Panmahgletscher (Karakorum)	520	43	3470	F
Kangtschendsöngagletscher (Nepal)	460	20	4600	T
Hispargletscher (Karakorum)	325	62	3000	F
Tschochogletscher (Karakorum)	320	50	2875	F
Rongbukgletscher (Tschomolungmagletscher, Himalaja)	320	52	5047	T
Baturagletscher (Karakorum)	280	58	2460	F
Grum-Grshimailo-Gletscher (Pamir)		36		F
Semjonowgletscher (Tienschan)		32	3600	F
Petrowgletscher (Tienschan)	134	17	3786	T/F
Westlicher Garmogletscher (Pamir)		27	2950	F
Sauk-Dara-Gletscher (Transalai)		25		F
Zemugletscher (Sikkim, Himalaja)	50	25	4070	F
Afrika				
Ruwenzorifirn (Republik Kongo)	23		4200	K
Drygalskigletscher (Kilimandscharo)		2	4875	T
Nordamerika				
Malaspinagletscher (Südalaska)	3840	100	0	V
Nabesnagletscher (Alaska)	2000	70	970	T
Muldrowgletscher (Alaska)	1900	65	790	T
Muirgletscher (Alaska)	1200	40	0	T/V
Sushitnagletscher (Alaska)		40	920	T
Illecillewaet (Rocky Mountains)		20	1676	T
White-River-Gletscher (Rocky Mountains)		16	1050	T
Südamerika				
Patagonisches Eisfeld	4100	220	0	I
San-Quintin-Gletscher (Chil. Küstenkordillere)		56	0	V
Upsalagletscher (Arg./Patagonien)		50	190	
Viedmagletscher (Patagonien)		43	250	
Australien — Ozeanien				
Tasmangletscher (Neuseeland)	150	29	720	T
Muellergletscher (Neuseeland)	45	13	790	T
Godleygletscher (Neuseeland)	44	13	1100	T
Franz-Joseph-Gletscher (Neuseeland)		21	215	T
Noorwandfirn (Neuguinea)	4	10	4380	K
Richthofeneis (Kerguelen)	700	38	20	P

Flächen- und Substanzverlust einiger Alpengletscher 1856 bis 1956

	Fläche in km²			Masse in km³			Durchschnittl. Jahresverlust		
	1856	1956	%	1856	Verlust bis 1956	%	an Fläche ha	an Volumen Mill. m³	
Pasterze	31,4	22,6	28	8,55	3,69	42		6,8	1856···1902
Rhônegletscher	25,3	21,0	17	5,95	0,95	15	2,9	5,7	1859···1899
Hintereisferner	21,5	15,7	27	4,52	1,83	40			
Vernagtferner	18,5	13,2	29	3,52	1,61	46	6,0	6,2	1856···1895
Gepatschferner	16,6	15,0	10	2,89	0,46	16	2,2	3,7	1856···1896
Obersulzbachkees	15,4	14,0	9	2,56	0,21	8	1,4	2,3	1850···1892
Suldenferner	9,7	8,2	15	1,14	0,33	29	1,7	2,1	1856···1896

Der z. T. starke *Rückgang* der Vergletscherungsflächen und vor allem der Rückgang der in den Gletschern gebundenen Wassermassen beschränkt sich nicht auf die Alpen, sondern gilt fast ausnahmslos für alle vergletscherten Gebiete der Erde. Der *Substanzverlust* für die letzten 100 Jahre wurde für die Hochgebirge der gemäßigten Zone zu 25 bis 30% und für die Nordpolargebiete, einschließlich Grönland, zu 5 bis 8% errechnet. Das bedeutet einen jährlichen Masseverlust von 900 bis 1700 km³, die als Schmelzwasser Jahr für Jahr dem Weltmeer zusätzlich zugeführt werden. Das muß einen Spiegelanstieg des Weltmeeres von 0,5 mm je Jahr ergeben. Nach Pegelbeobachtungen scheint ein jährlicher Anstieg des Meeresspiegels von 1,1 mm vorzuliegen[1]. Noch keine endgültige Klarheit besteht über den Eishaushalt der Antarktis. Wenn man jedoch bedenkt, daß die Antarktis mit etwa 26 bis 28 Mill. km³ Eisvolumen 91% des gesamten Gletschervolumens der Erde trägt (Grönland 8%, alle anderen Gletschergebiete zusammen nur 1%!), so erhellt daraus die große Bedeutung der Antarktis für dieses Problem. Neuere Berechnungen des Eishaushaltes der Antarktis lassen die Annahme zu, daß hier in den letzten 100 Jahren keine Eismassenverluste eingetreten sind, sondern im Gegenteil gegenwärtig jährlich etwa 1000 km³ Wasser neu als Eis gebunden und so dem Wasserhaushalt des Weltmeeres entzogen werden. — Ein Abschmelzen der gesamten Eismassen der Erde würde eine Hebung des Spiegels der Weltmeere von etwa 60 m hervorrufen.

Gletscherkatastrophen. Der Abbruch von Eismassen, der Aufstau von Wasser durch den Gletscher oder Gletscherläufe haben immer wieder Gletscherkatastrophen hervorgerufen.

Gletscher	Zeitpunkt	Lage	Folgen
1. *Durch Abbruch großer Eismassen:*			
Altelsgletscher	11. 9. 1895	Berner Oberland	Ablagerung von 4 Mill. m³ Eis auf der Spitalmatte im Gemmital
Roßbodengletscher	1901	Fletschhorn (Wallis)	Abbruch von 2 Mill. m³ Fels- und Eismassen über dem Dorfe Splügen
Biesgletscher	1635, 1736, 1786, 1819, 1848, 1865	am Zermatter Weißhorn	Zerstörungen im Dorfe Randa durch Luftdruck
2. *Durch Aufstau von Wasser durch den Gletscher und darauffolgenden Bruch der Eisbarriere:*			
Vernagtferner	1599···1601, 1677···1682, 1771···1774, 1845···1848	Ötztaler Alpen	Stausee im Rofental von 90 bis 100 m Tiefe; verheerende Entleerungen
Giétroz-Gletscher	1595, 1640, 1818	Val de Bagnes (Wallis)	1818: See von 55 m Tiefe und 60 Mill. m³ Wasser; schwere Verwüstungen im Rhônetal
Aletschgletscher	1813···1900: 19mal	Berner Oberland	Stausee (Märjelensee) mit Abfluß ins Fiescher- oder Rhônetal; Wassermenge 1878: 7,8 Mill. m³
Dewdorakgletscher	1776, 1785, 1808, 1832, 1842, 1855, 1867	Kaukasus	Eisabbrüche und Wasserstau im Terektal mit verheerenden Durchbrüchen
3. *Durch Gletscherläufe:*			
Skeidarar-Jökull	1934	Island	Wassermassen bahnten sich unter dem Eise einen Weg; Abfluß von 64000 m³/s während 3 Tagen

DIE GEWÄSSER DES FESTLANDES

Die Gewässer sind neben dem Relief die markanteste natürliche Erscheinung des Festlandes der Erdoberfläche. Wir unterscheiden bei den *natürlichen Gewässern* die *fließenden Gewässer* (Bäche, Flüsse, Ströme) und die *stehenden Gewässer* (Seen); hinzu kommen die bereits behandelten *Gletscher*. Zu den *künstlichen Gewässern* rechnen durch den Menschen geschaffene Teiche, Stauseen und Kanäle (Bewässerungs-, Entwässerungs- und Schiffahrtskanäle).

[1] Geophysikalische Berechnungen haben ergeben, daß der Anstieg der Weltmeere möglicherweise zu einem wesentlichen Teil durch die Ausdehnung des Wassers bedingt wird, die durch das an mehreren Stellen des Weltmeeres beobachtete geringe Ansteigen der mittleren Wassertemperaturen hervorgerufen wird.

Die Flüsse. Flüsse sind die natürlichen Abflußrinnen des Festlandes, die das abfließende Niederschlagswasser sammeln und dem *Weltmeer* oder einem *Endsee* zuführen. Nach der Größe werden Bäche, Flüsse und Ströme unterschieden, ohne daß es strenge Größengrenzen gibt. Im allgemeinen bilden mehrere *Bäche* einen *Fluß* und große, wasserreiche Flüsse werden als *Ströme* bezeichnet.
Alle sich zu einem Strom vereinigenden Gewässer bilden zusammen ein *Stromsystem* oder *Flußsystem*. Das von diesem oberirdisch und unterirdisch entwässerte Gebiet wird als *Einzugsgebiet* oder *Flußgebiet* bezeichnet. Es wird von *Wasserscheiden* getrennt, wobei diese nur selten als scharfe, im Gelände sichtbare Linien erscheinen.
Vom *Hauptfluß* aus werden die Zuflüsse als *Nebenflüsse* bezeichnet. Die direkt in den Hauptfluß mündenden sind dabei Nebenflüsse erster Ordnung, deren Nebenflüsse — vom Hauptstrom aus gerechnet — zweiter Ordnung usw. Nach der *Form der Entwässerung* unterscheiden wir *Gebiete, die zum Meer entwässern* (Abflußgebiete), *Gebiete mit Binnenentwässerung* in Endseen und *abflußlose Gebiete*, in denen es neben Fremdlingsflüssen keine ständig fließenden Gewässer gibt.
In einem normalen Flußsystem nimmt die Wassermenge mit Annäherung an die Mündung zu. In Trockengebieten können Flüsse durch Versickerung und Verdunstung mehr Wasser verlieren, als ihnen aus dem Oberlauf zugeführt wird. Die wasserreichsten Flüsse queren als *Fremdlingsflüsse* die Trockengebiete, die kleineren enden in einem Binnendelta oder speisen einen Endsee (Salzsee oder Salzsumpf). In humiden Gebieten führen fast alle Flüsse ständig Wasser, wobei die Abflußmenge in Abhängigkeit vom Klima zum Teil recht beträchtlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist (*Dauerflüsse, permanente Flüsse*). In Gebieten mit scharf ausgeprägten Trockenzeiten führen viele, vor allem die kleineren Flüsse nur zur Regenzeit Wasser (*periodische Flüsse*); Flüsse, die nur in großen Zeitabständen für kurze Zeit einmal Wasser führen, heißen *episodische Flüsse*.
Außer Wasser transportieren die Flüsse noch in erheblichen Mengen Material in gelöster und fester Form.

Transport gelöster und fester Stoffe in einigen Strömen
(jährlich in t)

Themse	614000	Nil	16950000
Rhein	5817000	Hudson	438000
Rhône	8290000	Mississippi	112832000
Donau	22521000		

Das der Schwerkraft folgende fließende Wasser greift hauptsächlich in den Oberläufen durch Tiefen- und Seitenerosion den Untergrund an. Es führt das erodierte Material gelöst, schwebend (Schwebstoffe) und am Grunde (Schotter) mit sich, um es dort, wo seine Transportkraft nachläßt, d. h. dort, wo das Gefälle geringer wird, also meist im Unterlauf, abzulagern. Der Fluß schottert auf und bildet Schwemmlandebenen. Das mitgeführte feinere Material wird erst an der Mündung abgelagert, wo viele Ströme ein Delta ins Meer vorbauen. Die Flüsse tragen so im Verlauf geologischer Zeiträume ganze Gebirge ab und schütten im Niveau der Erosionsbasis ausgedehnte Ebenen auf.
In der folgenden Tabelle sind die *bedeutendsten deutschen Flüsse* und die *bedeutendsten Flüsse der einzelnen Erdteile* zusammengestellt. Innerhalb der Erdteile sind sie nach der Länge der Hauptströme geordnet. Größere Nebenflüsse sind unter dem Hauptstrom aufgeführt. Die Werte für die Flußlängen werden recht unterschiedlich angegeben. Das hat verschiedene Ursachen. Einmal sind die Flüsse selbst Änderungen ihrer Länge unterworfen; im Naturzustand durch Laufverlegungen (Schlingenbildung und Abschneiden von Flußschlingen) und Deltavorbau, weiterhin durch die vom Menschen verursachten Veränderungen am Fluß, durch Flußbegradigungen, Stromregulierungen und den Bau von Stauseen. Zum anderen ist die genaue Feststellung der Länge der Flüsse nicht einfach. Theoretisch wird die Länge des Stromstriches von der Quelle bis zur Mündung gemessen. Häufig gibt es keine eindeutige Quelle, entweder beziehen sich dann die Angaben auf den Hauptfluß von der Vereinigung der Quellflüsse an, oder aber auf den längsten Zufluß oder aber auch auf den wasserreichsten. Auch der Mündungspunkt ist nicht immer eindeutig bestimmbar. Außerdem gibt es für viele Gebiete außerhalb Europas noch keine hinreichend genauen Karten bzw. sind diese noch nicht entsprechend ausgewertet.
Das *Einzugsgebiet* ist nur in wenigen Fällen genau bestimmbar. In vielen Gebieten, vor allem in Trockengebieten ist die Wasserscheide keine eindeutige Linie, und oft ist sie auch noch nicht hinreichend bekannt; z.T. entwässern Gebiete auch nach verschiedenen Richtungen. Gewässerlose Wüstengebiete werden bald mit zum Einzugsgebiet eines Fremdlingsflusses gerechnet, bald ausgelassen.
Die *Wasserführung* kann als Mittelwasserführung in m^3/s im Mittel eines Jahres oder einer längeren Periode angegeben werden, oder aber als mittlere Jahresabflußmenge in km^3. Bei größeren Strömen ist eine einigermaßen sichere Bestimmung dieses Wertes sehr schwierig, außerdem schwankt die Abflußmenge auch von Jahr zu Jahr bei manchen Flüssen beträchtlich. Deshalb weichen Angaben der Abflußmengen oft stark voneinander ab. Aus dem Mittelwert des Abflusses geht nicht die oft sehr bedeutende Schwankungsbreite zwischen Niedrigwasserführung und Hochwasserführung hervor. So schwankt der Abfluß der Elbe bei Dresden zwischen 55 m^3/s als bisher absolut gemessener Tiefstwert und 4600 m^3/s als bisher absolut gemessener Höchstwert; die Mittelwasserführung beträgt aber 270 m^3/s.

Aus der *Abflußmenge* läßt sich mittels Division durch die Flächengröße des Einzugsgebietes leicht die *Abflußspende* in l/s/km² oder in mm Niederschlagshöhe je Jahr berechnen. Dieser Wert schwankt für die einzelnen geographischen Zonen der Erde in sehr weiten Grenzen. Für das Einzugsgebiet der Elbe beträgt die Abflußspende im Mittel 5,3 l/s/km². Das Verhältnis von Abfluß und Niederschlag, auf das Jahr bezogen, wird als *Abflußfaktor* bezeichnet. Der Abflußfaktor gibt an, welcher Teil vom Jahresniederschlag abfließt; der Rest verteilt sich auf Verdunstung und Versickerung. Der Jahresgesamtabfluß auf dem Festland der Erde ist mit etwa 37000 km³ berechnet worden. Davon entfallen allein über 10% auf den Amazonas.

Aus der folgenden Zusammenstellung ergeben sich

als die *10 wasserreichsten Flüsse* der Erde:
Amazonas, Kongo, Ganges–Brahmaputra, Jangtsekiang, Mississippi–Missouri, Jenissei, Sambesi, Lena, La Plata–Paraná, Orinoco;

als die *10 Flüsse mit dem größten Einzugsgebiet:*
Amazonas, La Plata–Paraná, Kongo, Mississippi–Missouri, Ob, Nil, Jenissei, Lena, Niger, Amur;

als die *10 längsten Stromsysteme* der Erde (in km):
Nil mit Kagera (6671), Mississippi–Missouri (6418), Ob–Irtysch (6370), Amazonas–Marañon (6280), Jangtsekiang (5800), Huangho (4845), Amur mit Schilka und Onon (4510), Mekong (4500), Mackenzie–Athabasca (4240), Jenissei–Selenga (4130).

Deutsche Flüsse

Name	Länge in km		davon schiffbar		Einzugsgebiet in 1000 km²	
	km	*	km	*		*
Deutsche Demokratische Republik						
Elbe	1165	761	947	761**	148,0	97,5
Saale		427		194		23,7
Weiße Elster		247				5,1
Unstrut		188		71		6,4
Bode		169				3,3
Havel		341		302		24,3
Spree		398		147		10,1
Mulde (mit Zwickauer Mulde)		252				7,2
Elde		220		184		3,1
Schwarze Elster		188				5,6
Ilmenau		107		29		3,0
Oder (Odra)	912	162	733	162	118,6	
Lausitzer Neiße	256	188	15	15	4,2	1,2
Peene		156		102		5,1
Warnow		128		66		3,2
Ücker		103		36		2,2
Westdeutschland						
Donau	2860	647	2578	386	817,0	55,9
Inn	510	218	48	48	25,7	8,1
Salzach	220	59			6,7	1,2
Isar	295	263			9,0	8,0
Amper		175				3,1
Lech	263	189			4,3	2,8
Wertach		145				1,3
Altmühl		220				3,3
Regen		184				2,7
Naab		165				5,4
Iller		147				2,1
Rhein	1360	696	886	696	224,4	109,2
Mosel	540	242	344	242	28,2	9,4
Saar	235	121	121	121	7,3	3,6
Main		524		400		27,3
Fränk. Saale		135		11		8,8
Tauber		120				1,8
Kinzig		131				1,1
Neckar		371		202		14,0

* deutscher Anteil (km)
** 566 in der DDR

Name	Länge in km		davon schiffbar		Einzugsgebiet in 1000 km²	
	km	*	km	*		*
Kocher		180				2,0
Jagst		196				1,9
Enz		112				2,2
Lahn		245		67		5,9
Lippe		237		182		4,9
Ruhr		235		76		4,5
Lenne		131				1,4
Sieg		130				2,9
Nahe		116				4,0
Erft		115				
Maas	925		574		48,6	4,1
Rur	120	108			2,2	2,1
Niers	106	101			1,7	1,6
Weser (mit Werra, Fulda)		440		440		45,3
Werra		293		89		5,5
Aller		260		117		15,6
Leine		281		95		6,5
Fulda		218		109		7,0
Eder		177				3,4
Hunte		186		26		2,6
Lesum mit Wümme		128		29		2,1
Ems (bis Emden)		371		212		12,5
Hase		130		58		3,1
Leda		75		27		2,2
Eider		188		144		1,9
Trave		118		53		2,7

* deutscher Anteil (km)

Bedeutende Flüsse der Erde

Fluß und Nebenflüsse	Länge in km	schiffbare Strecke in km	Einzugsgebiet in 1000 km²	Abflußmenge in km³/Jahr
Europa				
Wolga	3690	3500	1380	255
Kama	2030	1790	522	
Belaja	1420	760	142	
Wjatka	1370	750	129	
Oka	1480	1275	245	
Donau	2860	2578	817	210
Theiß (Tisza)	977	343	153,2	
Maros (Mureş)	797	262	29,8	
Drau (Drave)	749	228	40,4	
Save	712	590	94,7	
Pruth	926	503	26,8	
Alt (Oltul, Olt)	706			
Sereth (Siret)	700		47,6	
Morava (March)	568		38	
Inn	510	48	25,7	
Waag (Vah)	459		14,5	
Struma	392		8,6	
Dnepr	2285	1920	503	53
Desna	1187	860	89	
Pripjat	780	653	121,7	
Don	1970	1580	422	28
Donez	1016	222	100	
Chopjor	900	390	60	
Petschora	1790	1570	327	129
Nördliche Dwina mit Wytschegda	1842	1660	411	111
Wytschegda	1110	670	120	

Fluß und Nebenflüsse	Länge in km	schiffbare Strecke in km	Einzugsgebiet in 1000 km²	Abflußmenge in km³/Jahr
Europa				
Dnestr	1370	500	76,9	10
Rhein	1360	886	224,4	73
Mosel	540	344	28,2	
Main	524	400	27,3	
Aare	485		17,8	
Neckar	371	202	14	
Elbe (Labe)	1112	940	144,1	23
Vltava	435		28,1	
Saale	427	194	23,7	
Wisla	1070	~ 1000	198,5	32
Bug	730	690	73,3	
Loire	1020	825	120,5	125
Westliche Dwina (Düna)	1020	915	85	21
Ebro	927		83,5	20
Maas (mit Mündung)	925	574	48,6	
Oder (Odra)	912	733	118,6	17
Warta	823	405	53,7	
Tajo (Tejo)	910	212	80,9	
Kuban	910	335	51	11
Njemen, Neman	879	685	97,6	
Mesen	876	650	79	26
Südlicher Bug (mit Ingul)	857	155	64,5	
Seine	776	563	78	15
Duero (Douro)	776	130	98,4	
Weser mit Werra	756	568	46	
Götaälv/Klarälv	720		42,5	
Po	676		75	52
Garonne	650	460	84,8	
Terek	591	410	44	11
Maritza	514	150	35,2	
Schelde (Escaut)	430	404	20	
Etsch	415	300	14,5	
Tiber	393	30	17,2	7
Themse	346	311	15,9	3
Newa	74	74	282	82
Asien				
Jenissei-Selenga	4130	3200	2600	548
Jenissei (ohne Selenga)	3350	2860		
Angara (ohne Selenga und Baikalsee)	1830		502	134
Selenga	870		445	
Untere Tunguska	2700			
Steinige Tunguska	1550		400	
Ob-Irtysch	6370		2930*	394
Ob-Katun	3680	1500		
Irtysch	4422	2000	1070	
Yangdsidjang	5800	2700	1940	690
Huangho	4845		745	126
Amur (mit Schilka und Onon)	4510	2850	1843	346
Argun-Kerulen	1770			
Sungari	1800	950		
Mekong	4500	550	810	378
Lena	4270	4000	2425	488
Wiljui	2110			
Aldan	1870			
Witim	1760			
Indus	3190		960	175
Satledsch	1500			

* davon 444 km³ ohne Abfluß

Fluß und Nebenflüsse	Länge in km	schiffbare Strecke in km	Einzugsgebiet in 1000 km²	Abflußmenge in km³/Jahr
Asien				
Ganges-Brahmaputra	2950		1730 auch 2000	1060 auch 960 oder 1230
Ganges	2700	1450	1060	
Brahmaputra	2800	1300	670	
Euphrat (mit Schatt el Arab)	2760		765	56
Tigris	1950		375	
Kolyma	2600	1150	644	120
Ural	2530		220	11
Syr-Darja	2680	960	454	14
Saluën (Salwen)	2500		325	
Olenjok	2415		246	35
Amu-Darja	2350	600	465	45
Irawadi	2150	1450	430	428
Sikiang	1960		400	
Indigirka	1790		360	57
Kura	1280		188	18
Arax (Aras)	980			
Godawari	1445		290	
Kisil Irmak	1400		150	
Tarim	1200		446	
Afrika				
Nil-Kagera	6671	13400*	2900	95
Blauer Nil	3000		332	72
Atbara	1270			
Kongo-Luapula	~ 3000	11500*	3822	1260
Ubangi-Uelle	2350			
Kassai	1950			
Niger	4160		2100	380
Benue	1200			
Sambesi	2660		1330	500
Oranje-Vaal	1860		1020	91
Vaal	680			
Lubango	1800		785	
Jimpopo	1600		440	
Kuba (Djuba, Giuba)	1500		196	
Senegal	1430	350	441	
Rufidschi	1400		178	
Nordamerika				
Mississippi-Missouri	6418	3115	3250	600
Missouri	4720			
Arkansas	2330		470	
Mackenzie-Athabasca	4240	1800	1770	440
Mackenzie	3780			
Peace River	1700		303	
Athabasca	1240		152	
Yukon	3185	2800	855	185
St.-Lorenz-Strom	3140	690	1380	310
Colorado-River	2740	980	590	20
Rio Grande del Norte	2800	980	570	
Nelson-Saskatschewan	2575	65	960	
Columbia	2250	965	772	187
Colorado	1450	320		
Fraser	1370		233	84

* im gesamten Flußgebiet

Fluß und Nebenflüsse	Länge in km	schiffbare Strecke in km	Einzugsgebiet in 1000 km²	Abflußmenge in km³/Jahr
Südamerika				
Amazonenstrom	6280	9000*	7050	3780
Madeira-Beni	3240		1158	
Purus	3210	1670	652	
Japura-Caqueta	2400	840		
Xingu	1980	160		
Ucayali	1960			
Guapore	1710	1110		
Rio Negro	1550			
Paraná mit La Plata	4700	600	3900	470
Paraguay	2200		1150	
Rio Bermejo	1800			
Uruguay	1650		320	
Rio Grande	1350			
São Francisco	2900	700	700	
Orinoco	2740 auch 2400, 3000	1500	944 auch 1085	440
Apure	1580			
Tocantins	2640	1800	980	
Araguaya	2630			
Magdalenenstrom	1350	1000	266	237
Cauca	1100		35	
Australien				
Murray-Darling	3490		910	9
Darling	2450			
Murrumbidgee	2070		135	
Murray	1630		910	

* im gesamten Flußgebiet

Die höchsten und mächtigsten Wasserfälle der Erde. Die oft imposante Wirkung der Wasserfälle beruht auf zwei Faktoren: auf der *Fallhöhe* und auf der *Wassermenge*. Für die zeitlich meist stark schwankende Wasserführung liegen für die Mehrzahl der Fälle keine ausreichenden Angaben vor, so daß die bekanntesten Wasserfälle nur nach der Höhe geordnet aufgeführt werden können. Die wasserreichsten Fälle sind, in der Reihenfolge der mittleren Wasserführung, zusätzlich mit den Buchstaben A bis N versehen. Außer den aufgeführten Wasserfällen gibt es in den noch weniger bekannten überseeischen Gebirgen hohe und auch wasserreiche Wasserfälle in großer Zahl (Baikalgebiet, Ferner Osten, Korea, China, Indonesien, Irian).

Name	Land	Fallhöhe insg. in m	Name	Land	Fallhöhe insg. in m
Angelfall (Salto Angel, Churun-Meru)	Venezuela	980	Kalambofälle	Nordrhodesien	420
			Lofoifälle	Rep. Kongo	384
Tugelafall	Natal	933	Krimmler Fälle	Österreich	380
Belbe-Foss	Norwegen	866	Wollomombifälle	Australien	334
Yosemite-Fälle	USA (Kalif.)	740	Seriofall	Italien	315
Utigards-Foss	Norwegen	610	Gießbachfälle	Schweiz	300
Kukanaanfall	Venezuela	610	Staubbachfall	Schweiz	287
Sutherland-Fälle	Neuseeland	580	Rjunkan-Foss	Norwegen	271
Kile-Foss	Norwegen	561	Vettis-Foss	Norwegen	260
Takakkawfall	Kanada	503	Gersoppafälle	Indien	255 L
King-Georg-VI.-Fall	Brit.-Guayana	488	(Jogfalls)		
Roraimafall	Brit.-Guayana	457	Feigumfoss	Norwegen	200
Cleve-Garth-Fall	Neuseeland	450	Velino-(Terni-) Fälle	Italien	180
Gavarniefall	Frankreich	422	Tribergfälle	Westdtschld.	163

Name	Land	Fallhöhe insg. in m	Name	Land	Fallhöhe insg. in m
Vöring-Foss	Norwegen	162	Pissevache	Schweiz	65
Tosafall	Italien	160	Niagarafälle	USA	60
Gasteiner Fälle	Österreich	150	300 m breit		
Ilja-Muromez-Fälle	UdSSR	141	Niagarafälle	Kanada	48 A
Tequendamafall	Kolumbien	137	900 m breit		
Rjukan-Foss	Norwegen	125	Krkafälle	Jugoslawien	56
Viktoriafälle	Rhodesien	122 C	Iguassufälle	Brasilien	52 D
Huskvarnafälle	Schweden	111	Livingstonefälle	Rep. Kongo	40 E
Tivolifälle	Italien	108	Stora-Sjö-Fall	Schweden	40
Yellowstonefall	USA	94 M	Murchisonfall	Uganda	37
Großer Fall	Kanada (Labrador)	90 N	Trollhättafälle	Schweden	33 J
			Großer Missourifall	USA	26 H
Snoqualmiefall	USA	82	Tschapomafall	UdSSR	24
Montmorencyfälle	Kanada	82	Rheinfall	Schweiz	19 F
Paulo-Affonso-Fälle	Brasilien	81 B	Imatrafälle	Finnland	19 G
Gasteiner Fälle	Österreich	80	Zejafall	UdSSR	15
Kegonfall	Japan	75	Narwafall	UdSSR	7 K
Harsprångertfälle	Schweden	74			

Größe und Wachstum der Delten

Fluß	Wasserführung	transportiertes Material: Schwebstoffe	transportiertes Material: Geschiebe	Deltafläche	Größe: Länge	Größe: Breite (Küstenlänge)	Wachstum: Länge	Wachstum: Fläche
	km³/Jahr	Mill. m³	Mill. t	in 1000 km²	km	km	m/J.	km²/J.
Amazonas	3780		1000	100	350		0[1]	
Ganges-Brahmaputra	1060[2]	197	1800	80				
Mississippi	600	500	730	36	300		250	6
Mekong	378		1400	70	300		75	
Orinoco	440		45	40,2	190	280		
Niger	380		67	36,3	180	210		
Irawadi	428		350	30	200			
Lena	488			25	130	275		
Huangho	126		620	25	600		30	
Nil	85	62	88	24	160	270	4	
Amu-Darja	45		105	13	160	135		
Colorado	20		160[3]	8,5				
Indus	175		400	8				
Sambesi	500		100	8		150		
Indigirka	57			7	100	90		
Wolga	255		25	6,6	100	110	90	
Terek	11		26	6	90	110	bis 100	
Jana				5,3	65	100		
Donau	210	55	83	4,3	85	80	12	
Kuban	11		7	3,5	116	95		
Petschora	129			3,3	110	45		
Po	52	12	18	1,5			70	1,2
Nördliche Dwina	111			1,4	40	35		
Wisła	32		3	1,3	48	53		
Rhône	53		32	1,3			60	0,2
Euphrat-Tigris (Schatt el Arab)	210	725	800[4]		175		50	

[1] Die Anschwemmungen werden vom Gezeitenstrom weggetragen.
[2] Davon 100 km³ als Niederschlag im Deltabereich.
[3] Im Hoover-Speicherbecken wurden 1935 in 8 Monaten 100 Mill. t Material abgelagert.
[4] In 2300 Jahren wurden 470 km³ im Delta und 1300 km³ im Persischen Golf abgelagert.

Dauer der Eisbedeckung einiger Ströme (in Tagen)

Rhein bei Köln	21	Sapadnaja-Dwina (Düna) bei Riga	125
Donau bei Regensburg	27	Wolga bei Kasan	147
Elbe bei Magdeburg	47	Ob bei Tomsk	176
Wisła (Weichsel) bei Warschau	60	Lena bei Kirensk	203
Odra (Oder) bei Brzeg (Brieg)	63	Hudson bei Albany	92
Neman (Memel) bei Sowjetsk (Tilsit)	102	St.-Lorenz-Strom bei Quebec	141

Die Binnenseen der Erde. Wasseransammlungen in natürlichen, geschlossenen Hohlformen auf dem Festland ohne unmittelbaren Zusammenhang mit dem Weltmeer werden als *Seen* oder genauer als *Binnenseen* bezeichnet. Die Entstehung der *Seebecken* hat verschiedene Ursachen, z. B. tektonische Bewegungen der Erdkruste, Einsturz unterirdischer Hohlräume, Eisausschürfung, Abdämmung von talartigen Hohlformen durch Moränen, Bergsturzmassen und Schuttkegel, Bildung von Nehrungen (Strandseen).

Deutsche Binnenseen (über 10 km² vollzählig)

Name	Gebiet	Fläche in km²	Höhe über NN in m	größte Tiefe in m	mittlere Tiefe in m	Wasserinhalt in Mill. m³	Abfluß
			Deutsche Demokratische Republik				
Müritz	Bez. Neubrandenburg	116,8	62	33	6	700	Elde
Schweriner See	Bez. Schwerin	63,4	38	54	13	354	Wallgraben
Plauer See	Bez. Schwerin	38,7	62	27,5	8	304	Elde
Kummerower See	Bez. Neubrandenburg	32,6	0,3	30			Peene
Kölpinsee	Bez. Neubrandenburg	20,7	62	30,6	3,9	80	Elde
Tollensesee	Bez. Neubrandenburg	17,4	15	34	17,3	300	Tollense
Krakower See	Bez. Schwerin	15,9	48	27,5	8,5	136	Nebel
Dümmer (See)	Nordwestdeutsches Tiefland	15	37	3,4			Hunte
Malchiner See	Bez. Neubrandenburg	14,3	0,6	16	2,5		Peene
Scharmützelsee	Brandenburg	13,8	38	28	9,2	127	(Storkower Kanal)
Parsteiner See	Brandenburg	12					
Schwielochsee	Brandenburg	11,7	41	8	3,6	42	Spree
Ruppiner See	Brandenburg	8,5	40	24	12		Rhin
Schwielowsee	Brandenburg	8,5	30	9	4		Havel
Werbellinsee	Brandenburg	8,1	43	50	19	152	(Werbellin-Kanal)
Müggelsee	Brandenburg	7,5	32	8	6	46	Spree
Arendsee	Altmark	5,4	21	49,5	29,7	162	(ohne Abfluß)
			Westdeuschland				
Bodensee	Alpenvorland	538,5	395	252	90	48440	Rhein
Chiemsee	Alpenvorland	80,1	518	73,6	24,5	2204	Alz
Würmsee (Starnberger See)	Alpenvorland	57	585	123	54,5	3100	Würm
Ammersee	Alpenvorland	47,6	533	82,5	37,8	1740	Amper
Steinhuder Meer	Nordwestdeutsches Tiefland	32	37	3	1,5	48	Meerbach
Plöner See	Holstein	29	22	60	13,5	412	Schwentine
Schaalsee	Holstein	23	35	72			Schaale
Selenter See	Holstein	20	37	34	17	340	Mühlen-Au
Walchensee	Alpen	16,4	801	196	82	1360	Jachen
Ratzeburger See	Holstein	16,2	4,5	24	12	196	Wakenitz
Tegernsee	Alpen	8,5	725	71	40	362	Mangfall
Staffelsee	Alpenvorland	7,7	649	38	10	82	Ach
Kochelsee	Alpenvorland	6	599	66	28,5	195	Loisach
Königsee	Alpen	5,2	602	188	93	480	Ilm
Laacher See	Eifel	3,3	275	53	33	108	(ohne Abfluß)
Schliersee	Alpen	2,2	777	37	25	55	Schlierach
Eibsee	Alpen	1,8	973	34			(ohne Abfluß)

Die Seen sind nicht gleichmäßig über das Festland der Erde verteilt. Sie häufen sich in den *Trockengebieten* im Inneren der Kontinente (Salzseen), im Gebiet der *pleistozänen Vergletscherung* (glaziale Seebecken), in den *Schwemmlandbereichen* der großen Ströme, in *Gebirgen*, in *Karst-* und in *Vulkangebieten*. Die Mehrzahl der großen Seebecken der Erde ist in erster Linie tektonischer Natur.

Die Speisung der Seen erfolgt durch Niederschläge, Flüsse, Quellen und Grundwasser. Sie geben ihr Wasser durch *Verdunstung*, oberflächlichen und unterirdischen *Abfluß* (Versickerung) wieder ab. In humiden Gebieten haben die Seen außer Zuflüssen auch stets einen (fast ausschließlich oberirdischen) Abfluß (Flußseen); in ariden und semiariden Gebieten haben die Seen in der Regel nur Zuflüsse, aber keinen oberirdischen Abfluß (*Endsee*). Diese Seen unterliegen durch unterschiedlichen Zufluß und unterschiedliche Verdunstung ständigen Wasserstandsschwankungen im Verlauf eines Jahres und im Verlauf längerer Zeiträume und ändern dementsprechend auch ihre Flächengröße. Gleichzeitig führen sie fast ausschließlich mehr oder weniger salziges Wasser (*Salzseen*). In den Wüstengebieten bilden sich nur zeitweilige, flache Seen auf den ausgedehnten Salztonebenen (Schotts, Kewire). Diese temporären Seen, richtiger *Salzsümpfe*, werden ebenso wie abgeschnürte Meeresteile (Strandseen, Lagunen, Haffs) häufig nicht zu den Seen im engeren Sinne gerechnet.

Die *Gesamtfläche der Seen* wurde mit 2,5 Mill. km² berechnet (*Penck*). Das entspricht etwa 1,8% der Festlandfläche der Erde. In einzelnen Gebieten können die Seeflächen einen weit höheren Anteil ausmachen. So werden in Finnland 12% der Landesfläche (das sind etwa 40000 km²) von Seen eingenommen. Die Fläche der über 500 km² großen Seen beträgt allerdings nur rund 1 Mill. km², so daß der größere Teil der Seeflächen der Erde von den stellenweise sehr zahlreichen kleinen Seen gebildet wird.

Zu den natürlichen Seen treten in zunehmendem Maße künstliche, die Stauseen und Talsperren.

In den nebenstehenden Tabellen sind die größten deutschen Seen und die der einzelnen Erdteile zusammengestellt (bis 5000 km² wurde Vollständigkeit angestrebt; bei den kleineren Seen wurde im allgemeinen jeweils der größte eines Landes angeführt). Die Zahlenangaben in den einzelnen Spalten sind auch hier zu einem großen Teil noch nicht als endgültig zu betrachten, da noch längst nicht alle Seen exakt vermessen und ausgelotet sind. Bei vielen Seen ändern sich die Werte auch selbst durch natürliche Ursachen wie Verlandung, Spiegelschwankungen infolge von Klimaschwankungen und durch künstliche Eingriffe. So betrug die Fläche des Kaspisees 1930 noch 424300 km², seitdem ist sie kontinuierlich kleiner geworden und betrug 1958 nur noch 371800 km².

Aus der Zusammenstellung ergeben sich als die

10 größten Seen: Kaspisee, Oberer See, Viktoriasee, Aralsee, Huronsee, Michigansee, Tanganjikasee, Baikalsee, Großer Bärensee, Njassasee (alle über 30000 km²)

10 wasserreichsten Seen: Kaspisee, Baikalsee, Tanganjikasee, Oberer See, Njassasee, Michigansee, Huronsee, Viktoriasee, Issyk-kul, Ontariosee (über 1000 km³)

10 tiefsten Seen: Baikalsee, Tanganjikasee, Kaspisee, Njassasee, Issyk-kul, Mjösen, Comersee, Lago Maggiore, Totes Meer, Gardasee

10 höchstliegenden Seen: Titicacasee, Lago de Poopo, Kuku-nor, Sewansee, Wansee, Chubsugul, Issyk-kul, Kiwusee, Großer Salzsee.

Außerdeutsche Binnenseen

Name	Land	Fläche in km²	Höhe über NN in m	größte Tiefe in m	mittlere Tiefe in m	Wasserinhalt in km³	Abfluß bzw. Typ
			Europa				
Ladogasee	UdSSR	18400	5	233	52	920	Newa
Onegasee	UdSSR	9900	33	110	32	301	Swir
Wenersee (Vänern)	Schweden	5546	44	98	33	180	Götaälv
Peipussee (Tschudskoje Osero)	UdSSR	3550	31	15	8	21	Narwa
Wettersee (Vättern)	Schweden	1898	88	120	39	72	Motalaström
Saimaasee	Finnland	1760	76	58	28	25	Imatra
Inarisee	Finnland	1230	118	80			Paatsjoki
Segosero	UdSSR	1200	114	97			Segesha
Wygosero	UdSSR	1200	89	20			Wyg
Topsee	UdSSR	1180	110	56			Ponjgoma
Mälarsee	Schweden	1140	1	64	15	10	Mälar
Beloje Osero	UdSSR	1120	111	11			Schena
Poijänne	Finnland	1112	78	93	17	18	Kymannaelf

Name	Land	Fläche in km²	Höhe über NN in m	größte Tiefe in m	mittlere Tiefe in m	Wasserinhalt in km³	Abfluß bzw. Typ
Europa							
Ilmensee	UdSSR	610 bis 2100	18	2···10			Wolchow
Imandrasee	UdSSR	~900	128	67			Niwa
Plattensee	Ungarn	590	106	11	3	2	Endsee
Genfer See	Frankreich/ Schweiz	582	375	309	154	90	Rhône
Bodensee	Westdtschld., Schweiz, Österreich	539	395	252	90	48	Rhein
Lough Neagh	Irland	320	15	31	11	4	Bann
Gardasee	Italien	370	65	346	136	50	Mincio
Mjösen (Mjösa)	Norwegen	362	121	443	187	67	Glommen
Shkodrasee (Skutarisee)	Jugoslawien/ Albanien	356	6	44	5	2	Buna/Drin
Neusiedler See	Österreich/ Ungarn	250 bis 350	114	4	1		Endsee
Prespasee	Griechenland/ Jugoslawien	288	853	54	19	5	ohne Abfluß
Ochridasee	Jugoslawien/ Albanien	270	695	286	146	39	Schwarzer Drin
Neuenburger See	Schweiz	216	432	154	64	14	Aare
Lago Maggiore	Italien/Schweiz	212	196	372	175	37	Ticino
Comer See	Italien	146	199	410	185	27	Adda
Müritz	DDR	117	62	33	6	0,7	Elde
Vierwaldstätter See	Schweiz	114	437	214	104	12	Reuß
Asien							
Kaspisee	UdSSR/Iran	371800*	−28	980	206	88000	Endsee*
Aralsee	UdSSR	66460	50	68	16	970	Endsee
Baikalsee	UdSSR	31500	455	1741	700	23000	Angara
Balchaschsee	UdSSR	17300 bis 19000	339	26			Endsee
Issyk-kul	UdSSR	6200	1609	702	320	1980	Endsee
Pojang-See (Poyanghu)	China	2700 bis 5000	45	20			am Jangtsekiang
Kukunor (Tjinghai-See)	China	4220	3205	38			Endsee
Taimyrsee	UdSSR	4000 bis 7000		26			Taimyr
Tungtingsee (Dung ting hu)	China	3200 bis 12000	~85				am Jangtsekiang
Resaijeh (Urmia-See)	Iran	5000 bis 6000	1275	15	6	45	Endsee
Chankasee	UdSSR	4000 bis 4400	69	10			Sungatscha
Lop-nor	Tibet	3200 bis 8000	780				Endsee
Wansee (Van Gölü)	Türkei	3690	1720				Endsee
Ubsanor (Ubsunur)	Mongolei	3350	759				Endsee
Chubsugul	Mongolei	2620	1624	238			Endsee
Tüz Tschöllü (Tus Gölü)	Türkei	2500	899				Endsee
Sewansee (Goktschasee)	UdSSR	1416	1914	99		1,3	Rasdan
Tobasee	Indonesien	1250	911				Asahan
Totes Meer	Israel/ Jordanien	920	−394	399	146	143	Endsee

* Nach dem Stand von 1958.

Name	Land	Fläche in km²	Höhe über NN in m	größte Tiefe in m	mittlere Tiefe in m	Wasserinhalt in km³	Abfluß bzw. Typ
			Afrika				
Victoriasee	Tanganjika/ Kenia/Uganda	68800	1134	69	40	2700	Victoria-Nil
Tanganjikasee	Tanganjika/ Kongo/Nordrhodesien	31900	782	1470	500	~15000	Lukuga/ Kongo
Njassasee	Njassaland/ Moçambique/ Tanganjika	30800	472	706	273	8400	Schire
Tschadsee (Ngui-Bol)	Niger/Tschad/ Nigeria	11000 bis 22000	240	7	3	24	Endsee
Rudolfsee	Kenia/ Äthiopien	8000	375	73			Endsee
Albertsee	Uganda/ Kongo	5300	619	48			Bahr el Dschebel
Merusee (Mweru)	Kongo	4920	931	12			Luvua
Kioga-See	Uganda	~4500	1033				Victoria-Nil
Tanasee	Äthiopien	3100	1830	70			Blauer Nil
Kiwusee	Kongo	2650	1460				Russisi
Bangweolosee	Nordrhodesien	2500 bis 4550	1145	5	flach		Luapula
Edwardsee	Uganda/ Kongo	2150	912	117			Semliki
Makarikari-Salzpfanne	Südafrikanische Union	0···9500	920		flach		Salzsumpf
			Australien/Ozeanien				
Eyresee	Südaustralien	9000 bis 10000	−12	20	flach		Salzsumpf
Torrenssee	Südaustralien	6170	30		flach		Salzsumpf
Amadeussee	Nordterritorium	5000 bis 8000	204		flach		Salzsumpf
			Nordamerika				
Oberer See	Kanada/USA	81000	184	308	145	11750	St. Lorenz
Huronsee	Kanada/USA	59500	177	223	76	4700	St. Lorenz
Michigansee	USA	58100	177	260	100	5760	St. Lorenz
Großer Bärensee	Kanada	31080	119	137			Gr. Bärenfl.
Großer Sklavensee	Kanada	28930	150	140			Mackenzie
Eriesee	Kanada/USA	26000	174	64	21	546	St. Lorenz
Winnipegsee	Kanada/USA	24530	17	21			Nelson
Ontariosee	Kanada/USA	17000	75	225	91	1550	St. Lorenz
Athabaskasee	Kanada/USA	7400	212	60			Sklavenfluß
Rentiersee (Reindeer)	Kanada	6400	350				Churchill
Winnipegosissee	Kanada	5400	217				Saskatschewan
Großer Salzsee	USA	bis 4700	1282	16	4	19	Endsee
Chapalasee	Mexiko	1685			1	1,2	Rio Grande del Santiago
			Südamerika und Mittelamerika				
Maracaibosee	Venezuela	13600	0	250			Strandsee
Nicaraguasee	Nicaragua/ Costa Rica	8430	32	80	14	108	San Juan
Lago dos Patos	Brasilien	8000	0		flach		Strandsee
Titicacasee	Bolivien/Perú	6900	3812	272	103	710	Desaquadero
Lago de Poopó	Bolivien	2530	3694	3	1	2	Endsee
Mirimsee	Brasilien/ Uruguay	2500	2		flach		Strandsee
Lago Buenos Aires	Chile/ Argentinien	2100	217				Rio des Seato

Die bedeutendsten Stauanlagen der Erde. Die Zahl der künstlich angelegten Stauseen der Erde ist im schnellen Anstieg begriffen. Verglichen mit den bekannten deutschen Talsperren, die seit den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts gebaut worden sind, nehmen die Stauanlagen[1] in jüngerer Zeit immer gewaltigere Ausmaße an. Während die größten deutschen Sperren nur wenig mehr als 200 Mill. m³ aufstauen, gab es 1958 bereits mehr als 100 Stauanlagen mit mehr als 1 Milliarde m³ (= 1 km³) Stauraum. Die Fläche bei einer ganzen Reihe dieser riesigen Stauanlagen übertrifft die des größten deutschen Sees, des Bodensees, bereits beträchtlich und im Wasserinhalt kommen sie ihm nahe. Die Überflutung solcher riesigen Flächen ist in dicht besiedelten Kulturländern undenkbar; die größten Stauanlagen finden sich deshalb in weniger dicht oder unbesiedelten Gebieten, meist an großen Strömen.

Die Stauanlagen dienen verschiedenen *Zwecken.* In Deutschland standen der Hochwasserschutz und die Wasserversorgung (Trink- und Brauchwasser) sowie die Verbesserung der Schiffahrtsbedingungen im Vordergrund, während die Kraftgewinnung (Wasserkraftwerke) und die Erholung (Wassersport) von sekundärer Bedeutung sind. In vielen Staaten steht aber die Krafterzeugung im Vordergrund, so etwa in der Schweiz, in Norwegen, Österreich, in der Sowjetunion, in den USA, während der Hochwasserschutz und z. T. auch die Verbesserung der Schiffbarkeit günstige Begleitumstände sind. In den Trockengebieten der Erde wiederum ist der Hauptzweck der Stauanlagen seit alters die Bewässerung. Ausgedehnte Netze von Bewässerungskanälen führen das gespeicherte und aufgestaute Wasser den Bewässerungsflächen zu und ermöglichen dadurch oft erst den Anbau. Fast immer sind auch hier die Stauanlagen mit Kraftwerken verbunden.

Eine Zusammenstellung der Stauanlagen der Erde stößt auf große Schwierigkeiten. Von vielen Stauanlagen sind nicht alle zur Charakteristik notwendigen Angaben bekannt. Die folgende Zusammenstellung kann deshalb nicht vollständig sein. Es wurde versucht, die deutschen Stauanlagen über 20 Mill. m³, die der übrigen europäischen Staaten über 200 Mill. m³ und die überseeischen über 500 Mill. m³ vollständig aufzuführen. Lediglich bei den USA sind nur die 14 Stauanlagen über 5 Milliarden Stauinhalt angeführt, während es noch mindestens 20 weitere über 2 Milliarden, weitere 35 über 1 Milliarde und weitere 50 über 500 Mill. m³ gibt.

Name	Fluß	Gebiet	Stauraum in Mill. m³	Stauhöhe in m	Länge der Staumauer in m	Oberfläche in km²	Zweck*	Eröffnung
Deutsche Demokratische Republik (über 20 Mill. m³)								
Bleiloch	Saale	Thüringen	215	60	215	9,2	HSKE	1932
Hohenwarte	Saale	Thüringen	198	67	412	7,0	HSKW	1935
Rappbode	Bode	Harz	110	93	450	4,1	WHK	1959
Pöhl	Elster	Vogtland	81	57	312		WH	1962
Spremberg	Spree	Niederlausitz	41			10,0	HWE	im Bau
Kelbra	Helme	Thüringen	32				H	im Bau
Straußfurt	Unstrut	Thüringen	24				H	1960
Saidenbach	Saidenbach	Erzgebirge	22	27	334	1,5	W	1934
Lehnmühle	Wilde Weißeritz	Erzgebirge	22	40	420	1,4	HWK	1932
Westdeutschland (über 20 Mill. m³)								
Schwammenauel	Rur	Eifel	205				WHK	1959
Eder	Eder	Waldeck	202	42	370	12	HKS	1914
Roßhaupten (Forggensee)	Lech	Oberbayern	168	37	390	16	HK	1961
Bigge	Bigge	Sauerland	140	48	400	7	HKE	im Bau
Möhne	Möhne	Westfalen	135	34	650	10,4	HWK	1912

* B = Bewässerung, E = Erholung, H = Hochwasserschutz, K = Energiegewinnung, S = Schiffahrt, W = Trink- und Brauchwasser.

[1] Stauanlage oder hydrotechnische Anlage ist die umfassende Bezeichnung für Stausee und Sperre. Bei den Sperren muß zwischen Talsperren, meist im Gebirge oder Bergland an den Oberläufen der Flüsse, und Flußsperren oder auch Staustufen, vorwiegend im Tiefland an großen Flüssen oder Strömen, unterschieden werden. Die Sperre kann ein Damm aus Erdreich (Erddamm) oder Steinblöcken (Steindamm) oder eine Mauer aus Beton oder seltener Bruchsteinen (Gewichtsmauer, Bogenmauer, Pfeilermauer) sein. Bei den aufgestauten Seen (Stausee, Reservoir) kann entsprechend zwischen Flußseen und Talseen unterschieden werden.

Für die Kraftgewinnung ist der Stausee ein Speicher. Der Stauraum wird in m³ Wasser oder in kWh angegeben (1 m³ Wasser ergibt bei 500 m Gefälle etwa 1 kWh). Außer der Stauhöhe wird oft auch die Höhe der Staumauer angegeben.

Name	Fluß	Gebiet	Stauraum in Mill. m³	Stauhöhe in m	Länge der Staumauer in m	Oberfläche in km²	Zweck*	Eröffnung
Westdeutschland (über 20 Mill. m³)								
Schluchsee	Schwarza	Schwarzwald	108	35	240	5,1	K	1932
Sorpe	Sorpe (Ruhr)	Sauerland	71	57	700	3,9	HKE	1935
Urft	Rur	Eifel	46	52	226	2,2	HK	1905
Oker	Oker	Harz	45	65	230	2,2	W	1938
Finsing	Isar	Oberbayern	35	6	7600		K	1954
Verse	Verse (Ruhr)	Sauerland	32	49	320	1,7	HK	1940
Oder	Oder	Harz	30	52	310	1,4	HSK	1934
Söse	Söse	Harz	25	56	485	1,2	KW	1930
Bever	Bever (Wupper)	Bergisches Land	24	34	500	1,3	HKE	1938
Lister	Lister (Ruhr)	Sauerland	22	33	264	1,7	HKE	1912
Agger	Agger (Sieg)	Siegerland	20	42	225	1,4	HK	1929
Diemel	Diemel	Sauerland	20	34	194	1,7	HSK	1924
Sowjetunion (über 1 Milliarde m³)								
Bratsk	Angara	Sowjetunion	180000	120	920	5300	K	1962
Krasnojarsk	Jenissei	Sowjetunion	107000	~100	1000		K	im Bau
Kuibyschew	Wolga	Sowjetunion	52000	27	1686	5500	SKB	1957
Irkutsk	Angara	Sowjetunion	46000	30	3000		K	1956
Rybinsk	Wolga	Sowjetunion	25000	18		4500	KS	1941
Kachowka	Dnepr	Sowjetunion	19000		2200	2200	KB	1955
Zimljanskaja	Don	Sowjetunion	12600	26		2700	BKS	1952
Gorodez (Gorki)	Wolga	Sowjetunion	8710	16···18		1570	KS	1957
Wolgograd	Wolga	Sowjetunion	8600	42	4900	3500**	BKS	1961
Iwankowo (Moskauer Meer)	Wolga	Sowjetunion	1200	18		327	KSE	1937
Saporoshje (Dneprstroj)	Dnepr	Sowjetunion	1080	37	760		KS	1948
Europa (über 400 Mill. m³)								
Buendia	Guaduela (Tajo)	Spanien	1518	57		71	BHKE	1954
Bicaz	Bicaz (Bistriţa)	Rumän. Volksrepublik	1200	120			K	im Bau
Ricobayo	Duero	Spanien	1180	92	241	51	K	1935
Alarcón	Júcar	Spanien	1112	54			BK	1952
Akkajaure (Suorva)	Luleälv	Schweden	990	18	240	210	K	1944
d'Entrepenas	Tajo	Spanien	755	70		30	BKHE	1954
Orlik	Moldau	ČSSR	720	70			KE	1961
Stalin	Iskar	VR Bulgarien	670	76		17	BKW	1958
Izmazer	Guadalquivir	Spanien	600					
Ebro	Ebro	Spanien	540	24			BKS	1930
Tranco de Beas	Guadalquivir	Spanien	500	84		18	BK	1935
Yesa	Ebro	Spanien	470	63		20	BK	1936
Cenajo	Segura	Spanien	450				BK	
Jándula (Andújar)	Jándula	Spanien	448	90			BK	
Grande Dixence	Dixence	Schweiz	~440	280***	700	4	K	1961
Cijara	Guadiana	Spanien	434	53			BK	1934
Santa Terera	Duero	Spanien	422					
Tirso	Tirso (Sardinien)	Italien	416	63	283	21	BHK	1923
Bembézar	Guadalquivir	Spanien	410				K	

* B = Bewässerung, E = Erholung, H = Hochwasserschutz, K = Energiegewinnung, S = Schiffahrt, W = Trink- und Brauchwasser.

** 670 km lang.

*** höchste Staumauer der Erde.

Name	Fluß	Gebiet	Stauraum in Mill. m^3	Stauhöhe in m	Länge der Staumauer in m	Oberfläche in km^2	Zweck*	Eröffnung
Asien (über 1 Milliarde m^3)								
Sanmönn	Huangho	China	36000	110		2350	HK	1962
Bhakra-Nangal	Satledsch	Nordindien	12000	200	500	180	BK	1959
Hirakud	Mahanadi	Indien	7500		5000	650	BHKS	
Soiho-do	Jalu	Nordkorea	7300	94		300	K	1942
Schasi	Jangtsekiang	China	6000	16		920	H	1952
Mettur	Cauvery	Südindien	2650	53	1600	129	BK	1934
Krishnarajah	Cauvery	Südindien	1356	45			B	1932
Afrika (über 1 Milliarde m^3)								
Owen Falls	Victoria-Nil	Uganda	246000	27			BKS	1958
Volta-Staudamm	Volta	Ghana	148000	113	640		BK	im Bau
Assuanhochdamm (Sadd al-Ali)	Nil	VAR Ägypten	130000	105	5000	3000	KB	im Bau
Assuandamm	Nil	VAR Ägypten	4585	34	1950		BK	1934
Dschebel Aulia	Weißer Nil	Sudan	2900	18			B	1933
Hartebeestpoort	Hartebeest-River	Südafrika	1552	59			BHK	
Vaalbank	Vaal	Südafrika	1077	41		155	B	1938
Nordamerika (über 1 Milliarde m^3; ohne USA)								
Nechako	Nechako	Kanada	24500	97	475	930	K	1952
Gouin	St. Maurice	Kanada	7930			1295	K	
St. John	Saguenay	Kanada	6230			907	K	
La Loutre	St. Maurice	Kanada	4530				K	
Lazaro Cardenas	Nazas	Mexiko	4055	90			BK	1948
Toronto	Rio Conchos	Mexiko	3750	73		175	B	1916
Alvaro Obregon	Yagui	Mexiko	3000	57			B	1952
Chelsea	Gattineau	Kanada	2400	31			K	1927
Azucar	San Juan	Mexiko	2100	42	6000		B	1943
Don Martin	Rio Salado	Mexiko	1380	32	1284		BK	1931
USA (über 5 Milliarden m^3)								
Lake Mead (Boulderdam, Hooverdam)	Colorado	Arizona/ Nevada	38398	176	380	638	BEH KSW	1936
Garrison	Missouri	Norddakota	28360	64		1580	BEH KW	
Oahe	Missouri	Süddakota	26880	69		1522	BEH KS	
Fort Peck	Missouri	Montana	23940	76	6400	993	EHKS	1940
Roosevelt Lake (Grand Coulee)	Columbia	Washington	11734	108	1272	332	BEH KS	1942
Fort Randall	Missouri	Süddakota	7768	49		480	BHE KS	
Wolf Creek	Cumberland	Kentucky	7508	73		257	EHK W	
Kentucky	Tennessee	Kentucky/ Tennessee	7400	46	2570	1056	EHKS	1944
Lake Texoma	Red River	Texas/Oklahoma	7180	50	4270	578	EHKS	1943
Bull Shoals	White	Arkansas	6667	87		184	EHK	
Hetch Hetchy	Toulumne River	California	5550	131	244		EW	1923

* B = Bewässerung, E = Erholung, H = Hochwasserschutz, K = Energiegewinnung, S = Schiffahrt, W = Trink- und Brauchwasser.

Name	Fluß	Gebiet	Stauraum in Mill. m³	Stauhöhe in m	Länge der Staumauer in m	Oberfläche in km²	Zweck*	Eröffnung
USA (über 5 Milliarden m³)								
Shasta	Sacramento	California	5540	148	1067	119	BEH KSW	1944
Falcon	Rio Grande	Texas/Mexiko	5037	46		378	BEH KW	1953
Süd- und Mittelamerika (über 500 Mill. m³)								
Gatun	Rio Chagres	Panamá	5420	26	2350	425	HS	1914
Rincón del Bonete	Rio Negro	Uruguay	1500	40	1200	1140	HKS	1945
Lages		Südbrasilien	1060	70			KW	1950
Madden	Rio Chagres	Panamá	770	68	1220		KHS	1935
Rincón del Baygorria	Rio Negro	Uruguay	500		700	96	KS	1960
Australien (über 500 Mill. m³)								
Adaminaby	Eucumbene River	New South Wales	4000	110			BK	1959
Big Eildon	Goulborn	Victoria	2958	79			BK	
Hume	Murray	New South Wales	2460	43	1580	155	BKS	1936
Burrinjuck	Murrumbidgee	New South Wales	960	74		52	BK	1914

* B = Bewässerung, E = Erholung, H = Hochwasserschutz, K = Energiegewinnung, S = Schiffahrt, W = Trink- und Brauchwasser.

INSELN, HALBINSELN, LANDENGEN

Die bedeutendsten Inseln der Erde. Rund zwei Drittel der Erdoberfläche sind von Meer bedeckt. Das sich über den Meeresspiegel erhebende Festland der Erde gliedert sich in Kontinente (Erdteile) und Inseln. Die Zahl der Inseln geht in die Zehntausende. Die *Gesamtfläche* der Inseln ist mit 9,7 Mill. km² berechnet worden. Die *Größe* der Inseln reicht dabei allerdings von kleinen unbewohnten Eilanden bis zu Inseln von fast 2 Mill. km² (Grönland). Nur 5 sind über 500000 km² und 18 sind über 100000 km² groß (d. h. — grob gesprochen — größer als die DDR). Weitere 50 Inseln liegen flächenmäßig zwischen 10000 und 100000 km². Die Zahl der über 1000 km² großen Inseln läßt sich nicht mit Sicherheit angeben, dürfte aber etwa 225 betragen, davon liegen 115 zwischen 1000 und 5000 km² und 40 zwischen 5000 und 10000 km². Insgesamt dürften etwa 250 Inseln größer als Rügen sein.

Nächst der Größe ist für eine Insel noch die Entfernung zum Festland bzw. zu einer benachbarten großen Insel sowie die größte Höhe bedeutsam. Fast alle großen Inseln liegen in Festlandsnähe. Die nicht auf dem Festlandsschelf aufsitzenden Inseln werden als *ozeanische Inseln* bezeichnet. Häufig schließen sich die Inseln zu Gruppen zusammen. In manchen Fällen ist der Eigenname für die Inselgruppe nur eine zusammenfassende Bezeichnung und die Einzelinseln sind unter ihrem Eigennamen bekannter. In anderen Fällen ist fast nur der Gruppenname geläufig (Spitzbergen, Philippinen, Kanaren).

Die Inseln werden nach Erdteilen geordnet und innerhalb der Erdteile nach der Größe. Bei einigen ozeanischen Inseln ist die Zuordnung zweifelhaft. Auch die Trennung zwischen Asien und Australien/Ozeanien ist willkürlich. Bei der Rangordnung der Größe sind die eng zusammenliegenden geschlossenen Inselgruppen als Einheit aufgefaßt und die Hauptinseln der Gruppe untergeordnet als Teile der Gruppe aufgeführt. Übergeordnete zusammenfassende Bezeichnungen, deren einzelne Glieder von Fall zu Fall nochmals getrennt aufgeführt sind, sind in der folgenden Tabelle in Kursivschrift gesetzt (*Sundainseln*, *Antillen*, aber Kleine Antillen, Kleine Sundainseln, Philippinen usw.).

Die im Schrifttum zu findenden Größenangaben für die einzelnen Inseln weichen z. T. erheblich voneinander ab. Einmal existieren ältere und jüngere Größenermittlungen nebeneinander; oft beziehen sich die Zahlen aber auch auf verschiedene „Einheiten". Häufig bezieht sich die Größenangabe auf eine Verwaltungseinheit, zu der außer der *Hauptinsel* im allgemeinen noch die oft zahlreichen und manchmal auch beträchtlich großen *Nebeninseln* zählen. Um fast alle großen Inseln liegen kleinere und kleinste. Größenangaben für die Hauptinseln allein sind viel seltener zu finden. In der Tabelle wurden deshalb für die Größe zwei Spalten eingeführt. In der ersten steht die Größe für die ganze Inselgruppe und in der zweiten die für die Einzelinsel bzw. für die Hauptinsel.

Die wichtigsten

Name	Verbindung		Länge in km
	Meere	Orte oder Gebiet	
Sueskanal	Mittelmeer–Rotes Meer	Port Said–Sues	160
Nordseekanal	Nordsee–IJsselmeer	IJmuiden–Amsterdam	25
Kanal von Korinth	Ionisches Meer–Ägäisches Meer	Landenge von Korinth	6
Manchesterkanal	Irische See	Liverpool–Manchester	60
Nordostseekanal	Nordsee–Ostsee	Brunsbüttel–Kiel	99
Brügger Seekanal	Nordsee	Brügge–Zeebrügge	10
Panamákanal	Atlantik (Karib. See)–Pazifik	Colon–Balboa	82
Wellandkanal	Eriesee–Ontariosee	Port Colborne–Port Dalhousie	45
Weißmeerkanal	Weißes Meer Onegasee (Ostsee)	Belomorsk–Powenez (Leningrad)	227
Houstenseekanal	Golf von Mexiko	Galveston–Houston	91
Wolga-Don-Kanal	Schwarzes Meer (Don)–Wolga (Kaspisee)	Zimljansker Stausee–Krasnoarmeisk	101
St.-Lorenz-Seeweg	Große Seen–Atlanikt	Ontariosee–Montreal	185[2]

[1] Felseneinschnitt bis 80 m tief
[2] überwinden fast 100 m, umgehen Niagarafälle

Die Höhenangaben erfolgten nach den bekannten modernen großen Handatlanten. Die Werte weichen z. T. erheblich von den in älterer Literatur zu findenden Höhenangaben ab. In der Spalte 7 (Entfernung) ist die kürzeste Luftlinienentfernung von der Insel (Inselgruppe) zum Festland bzw. zu einer benachbarten größeren Insel in Kilometern angegeben. Entfernungsangaben, die sich auf andere Inseln beziehen, sind in Klammern gesetzt. Entfernungen innerhalb einer Gruppe sind unterblieben. Der Zusatz D bedeutet, daß die Insel mit dem Festland durch einen Damm bzw. bei T mit einem Tunnel verbunden ist.
In der vorletzten Spalte ist die größte *Längserstreckung* der jeweiligen Insel in Kilometern (km) angegeben, unabhängig von der Gestalt der Insel. Für Inselgruppen ist die größte Luftlinienerstreckung (bei Inselbogen im Zug des Bogens gemessen) in Klammer gesetzt.

Die bedeutendsten Inseln der Erde

Name	Meer	Staat	Größe		Höhe	Entfernung	größte Länge
			insges. in km²	Hauptinsel in km²	in m	in km	in km
Europa							
Großbritannien	Atlantik	Großbritannien	244774	217770	1343	33	950
Island	Nordatlantik	Island	102820		2119	975	515
Irland	Atlantik	Irland/Großbrit.	84420	82064	1041	415	488
Nowaja Semlja	nördl. Eismeer	UdSSR	82600		1070	155	(900)
Nordinsel				48200			
Südinsel				33200			
Spitzbergen	nördl. Eismeer	Norwegen	61230		1717	660	(475)
Vestspitsbergen				39500			
Nordaustlandet				17000			
Sizilien (Sicilia)	Mittelmeer	Italien	25707	25462	3274	3	285
Sardinien	Mittelmeer	Italien	24089	23810	1834	190	270
Franz-Joseph-Land	nördl. Eismeer	UdSSR	16510		735	800	(380)
Zypern (Kypros)	Mittelmeer	Zypern	9285	9251	1952	72	220
Korsika	Mittelmeer	Frankreich	8722		2710	90	180
Kreta (Kriti)	Mittelmeer	Griechenland	8380	8222	2498	95	255
Hebriden	Atlantik	Großbritannien	7555		1009	3	(330)
Lofoten	Nordatlantik	Norwegen	5820	2200	< 1000	20	(150)
Balearen	Mittelmeer	Spanien	4286	3410	1445	90	(290)
Kolgujew	Barents-/Karasee	UdSSR	3728		166	72	85
Waigatsch	Barentssee	UdSSR	3383		162	3	98
Euböa (Evvia)	Mittelmeer	Griechenland	3775		1745	0	170
Fünen (Fyn)	Ostsee	Dänemark	3480	2976	119	1	72
Gotland	Ostsee	Schweden	3140	2960	83	82	140

Seeschiffahrtskanäle

Tiefe in m	Breite in m Sohle	Breite in m Oberfläche	Anzahl der Schleusen	Eröffnung	geeignet für Seeschiffe bis ... t
11	45···100	80···135		1869	60000
12		75	4	1876	40000
8	21	25	—[1]	1893	5000
8,5	36		5	1894	6000
13,5	46	102	2	1895	60000
8,5	22	70		1907	6000
12,5	91···200	91···305	6	1914	60000
9		77	8[2]	1829	20000
5			19	1933	3000
10		61		1940	40000
			13[3]	1952	10000
8,5			4	1962	20000

[1] Wasserscheide 88 m über Wolga und 44 m über Don
[2] einschließlich St. Lorenz-Strom und Große Seen, gesamter Seeweg 3400 km.

Fortsetzung

Name	Meer	Staat	Größe insg. in km²	Größe Hauptinsel in km²	Höhe in m	Entfernung in km	größte Länge in km
		Europa					
Dalmatinische Inseln	Adriatisches Meer	Jugoslawien	3000	428		1	(420)
Saaremaa (Ösel)	Ostsee	UdSSR	2710	2600	50	15	95
Zykladen (Kykladen)	Ägäis	Griechenland	2640		< 1000	15	(240)
Sporaden			2544			5	(550)
Ionische Inseln	Ionisches Meer	Griechenland	2240				
Korfu (Kerkyra)			(638)	593	914	3	62
Kefallinia			(872)	717	1628	10	52
Lesbos	Ägäis	Griechenland	2166	1700	968	8	70
Shetland-Inseln	Nordatlantik	Großbritannien	1426			(170)	(110)
Mainland				938	450		
Färöer	Nordatlantik	Dänemark	1400			585	(115)
Rhodos	Ägäis	Griechenland		1400	1215	15	75
Öland	Ostsee	Schweden	1345		55	6	135
Laaland (Lolland)	Ostsee	Dänemark	1281	1241	25	1	58
Orkney-Inseln	Nordsee	Großbritannien	975	536	477	10	(115)
Rügen	Ostsee	DDR	968	926	161	2 D	51
Chios	Ägäis	Griechenland	924	858	1260	7	50
Pityusen	Mittelmeer	Spanien	730				
Ibiza				572	475	88	40
Bornholm	Ostsee	Dänemark	588	585	162	35	40
Man	Irische See	Großbritannien	572	572	619	30	49
Falster	Ostsee	Dänemark	514	514	44	3	47
		Asien					
Malaischer Archipel	Ind. Ozean/Pazifik	Indonesien	2040000				
Kalimantan	Sundasee	Indonesien	743200	736580	4101	505	1350
Sumatera	Ind. Ozean/ Sundasee	Indonesien	473610	424980	3805	65	1750
Japanische Inseln	Pazifik	Japan	368840		3778	180	(2000)
Philippinen	Pazifik	Philippinen	299400			660	(1750)
Luzon	Südchinesisches Meer			104650	2928		810
Mindanao				94600	2953		525
Palawan				11730	2084		420
Samar				13080	896		250
Negros				12700	2465		210
Panay				11515	2050		180
Mindoro				9735	2586		170
Leyte				7210	1350		185
Cebu				4410	1013		225

Name	Meer	Staat	Größe insges. in km²	Größe Hauptinsel in km²	Höhe in m	Entfernung in km	größte Länge in km
		Asien					
Hondo	Pazifik	Japan	231320	229950	3778	175	1350
Sulawesi	Sundasee	Indonesien	189035	179416	3495	1250	1025
Djawa	Indisch. Ozean/ Sundasee	Indonesien	131610	126700	3676		1060
Madura	Sundasee	Indonesien		4470	470	3	160
Kleine Sunda-Inseln		Indonesien	~ 100000		2950		
Timor	Timorsee	Ind./port.	33615	30925	2245		510
Flores	Sundasee		15610	14300	2851		350
Sumbawa	Sundasee		13980	13280	1225		270
Sumba	Indisch. Ozean		11080	11080	3142		220
Bali	Sundasee			5616	3720		145
Lombok	Sundasee			5435	2290		110
Hokkaido	Pazifik	Japan	78200	75400	1609	20	535
Sachalin	Ochotskisches Meer	UdSSR	77000			8D	940
Ceylon	Indisch. Ozean	Ceylon	65610		2528	54	430
Maluku	Sundasee	Indonesien	55740		29		(850)
Halmahera				18000	1635		350
Ceram (Seram)			(18200)	17150	3055		340
Buru				9660	2429		140
Kiuschu (Kyushu)	Pazifik	Japan	42080	41960	1788	1	333
Sewernaja Semlja	Nördl. Eismeer	UdSSR	36700	14500	262	55	510
Taiwan	Chinesisches Meer	China	35960	35570	3950	120	385
Neusibirische Inseln	Nördl. Eismeer	UdSSR	35800	12000	374	55	(450)
Shikoku	Pazifik	Japan	18770		2242	5	250
Kurilen	Pazifik/Ochotskisches Meer	UdSSR	16100		2339	10	(11250)
Iturup				3220			
Paramuschir				2040			
Banka	Sundasee	Indonesien	11937		692		215
Wrangel-Insel	Ostsibirisches Meer	UdSSR	7540		1097	140	155
Billiton (Belitung)	Djawasee	Indonesien	4850	4594	610		90
Nias	Indisch. Ozean	Indonesien		4772	700	80	120
Rlukiu-Inseln	Pazifik	Japan	2196				(850)
		Australien/Ozeanien					
Melanesien	Pazifik		967000				
Irian	Melanesien	Indonesien/ Australien	818150	772000	5030	150	2430
Neuseeland (New Zealand)	Pazifik	Neuseeland	269180			1700	(1650)
Südinsel			154000	150460	3764		840
Nordinsel			115000	114290	2797		860
Tasmanien	Indisch. Ozean/ Tasmansee	Australischer Bund	67890		1573	190	375
Bismarckarchipel	Melanesien	britisch	46254				
Neubritannien (Neupommern)			37812	33750	2300		500
Neuirland (Neumecklenburg)			12950	7252	2150		360
Solomonen (Salomoninseln)	Melanesien	britisch/ australisch	10618		3100	620	(1200)
Bougainville		Australien		8800			
Polynesien			43098				
Neukaledonien	Melanesien	französisch	18653	16115	1650	1300	(600)
Fidschi-Inseln	Melanesien	britisch	18230				(600)
Viti Levu				10497	1322		150
Vanua Levu				5516	1030		175
Hawaii-Inseln (Sandwich-I.)	Polynesien	USA	16635		4208	3180	(2400)
Hawaii				10395	4208		150
Oahu				1548	1228		70
Neue Hebriden	Melanesien	britisch/ französisch	14760		1680	1800	(700)
Melville-Insel	Timorsee	Australien	4350		258	22	165
Mikronesien			3305				
Samoa-Inseln	Polynesien	Neuseeland	3130	1820	1858	3450	(400)
Stewart-Insel		neuseeländisch	1714		975	25	75
Gesellschafts-Inseln	Polynesien		1647		2237	5275	(700)
Tahiti				1042	2237		62
Osterinseln	Pazifik	Chile	118			3600	

Name	Meer	Staat	Größe insges. in km²	Größe Hauptinsel in km²	Höhe in m	Entfernung in km	größte Länge in km
		Afrika					
Madagaskar	Indisch. Ozean	Malagasy	589840	589200	2880	420	1615
Kanaren	Atlantik	Spanien	7272		3718	100	(490)
(Kanarische Inseln)							
Teneriffa			2350	1946			
Maskarenen	Indisch. Ozean		4485			650	(850)
Réunion		französisch		2511	3069		70
Mauritius		britisch		1865	826		65
Kapverden	Atlantik	portugiesisch	4033	966	2850	570	(320)
(Kapverdische Inseln)							
Sansibar	Indisch. Ozean	britisch	2642	1658	228	28	(180)
Sansibar							
Pemba				984			
Sokotra	Arabisches Meer	Sultanat	3600	2580	1502	240	125
Azoren	Atlantik	Portugal	2305		2320	1350	(610)
São Miguel				760	2284		
Komoren	Moçambique-Str.	französisch	2160		2608	300	(270)
Fernando Póo	Guineabucht	spanisch	2017		2850	35	80
Madeira	Atlantik	portugiesisch	797	728	1881	620	54
		Nord- und Mittelamerika					
Grönland	Nordatlantik	dänisch	2175600	2130800	3734	750	2650
Kanadischer Archipel	Nördl. Eismeer	Kanada	~1400000				
Baffinland		Kanada	512180	462830	< 2500	15	1580
Antillen	Karibisches Meer		220800				
Große Antillen				212500			
Kleine Antillen				8300			
Victoria-Insel	Nördl. Eismeer	Kanada	212200		< 500	30	720
Ellesmereland	Nördl. Eismeer	Kanada	200450		< 3000		860
Cuba	Karibisches Meer	Cuba	114524	108000	2560	215	1200
Isla de Pinos				3056	310	50	(65)
Neufundland	Atlantik	Kanada	110670		814	18	520
Haiti	Karibisches Meer	Haiti/ Dominikanische Republik	77390		3140		650
Banksland	Nördl. Eismeer	Kanada	59665		< 500		390
Devon-Insel	Nördl. Eismeer	Kanada	53800		1887		510
Southampton-Insel	Nördl. Eismeer/ Hudsonbai	Kanada	40663		533	24	350
Parry-Inseln	Nördl. Eismeer	Kanada	~75000				(950)
Melville-I.				42740			
Prince-Patrick-I.				18630			
Aleuten	Pazifik	Alaska	17840		2857	1	(1740)
Unimak					2857		105
Unalaska					2036		125
Umnak					2109		120
Jamaica	Karibisches Meer	britisch	11525		2292	150	230
Bahama-Inseln	Atlantik	britisch	11400	3525	flach	110	(1200)
(Bahamas)							
Puerto Rico	Karibisches Meer	USA	8896		1340	110	175
(Portoriko)							
Kleine Antillen	Karibisches Meer		8300	987	1484	25	~2000
Curaçao		niederländisch	947	550	372		56
Martinique		französisch	1102	987	1350		65
Guadeloupe		französisch	1780	934	1484		(66)
Dominica		britisch		790	1447		50
Trinidad	Atlantik	britisch	4828		940	14	(145)
Long Island	Atlantik	USA	3780		> 100	2	195
		Südamerika					
Feuerland	Atlantik/Pazifik	Chile/Argentinien	71500	48000	2469	4	525
Ilha de Marajo	Amazonasmündung	Brasilien	42000		4	5	280
Falkland-Inseln	Südatlantik	britisch	11960		698	520	(235)
(Malvinen)							
Chiloé	Pazifik	Chile	8395		< 500	2	175
Galapagos-Inseln	Pazifik	Ecuador	7844	4278	1432	900	(250)
Wellington-Insel	Pazifik	Chile	6750		830	1	(350)

Name	Meer	Staat	Größe insges. in km²	Größe Hauptinsel in km²	Höhe in m	Entfernung in km	größte Länge in km
		Antarktika					
Alexander I.-Insel			43200		3140	10	420
Roßinsel					4023	30	75
Südgeorgien		britisch	4144		2200		
Kerguelen		französisch	6232	5820		2000	
Süd-Shetland-Inseln			4660				

Die wichtigsten Halbinseln. Eine Halbinsel ist ein in das Meer oder einen See hineinragender Landvorsprung, dessen Verbindung mit dem Festland, der Hals, die Wurzel oder die Basis der Halbinsel in der Regel schmaler als ihre Längserstreckung ist.

Name	Meer	Land	Fläche in 1000 km²	Breite an der Basis in km	größte Länge in km
		Europa			
Skandinavien	Ostsee/Nordatlantik	Schweden/Norwegen	775,0	450	1870
Schonen (Skåne)	Ostsee	Schweden	8,8	105	100
Varangerhalvöen	Europ. Nordmeer	Norwegen	5,9	15	100
Fosenhalvöen	Europ. Nordmeer	Norwegen	5,4	22	105
Porsangerhalvöen	Europ. Nordmeer	Norwegen	1,5	18	75
Nordkyhalvöen	Europ. Nordmeer	Norwegen	1,1	3	38
Pyrenäen- (Iberische) Halbinsel	Atlantik/Mittelmeer	Spanien/Portugal	578,0	370	—
Balkanhalbinsel	Mittelmeer/Schwarzes Meer		500	1200	900
Peloponnes	Mittelmeer	Griechenland	21,5	6	230
Paschaeli	Marmara-/Schwarzes Meer	Türkei	3,3	55	85
Chalkedike	Ägäis	Griechenland	3,2	60	110
Gelibolu (Gallipoli)	Ägäis	Türkei	0,9	7	85
Apennin	Mittelmeer	Italien	149,0	170	~900
Calabrien	Mittelmeer	Italien	12,0	58	280
Apulien	Mittelmeer	Italien	6,2	40	150
Gargano	Adriatisches Meer	Italien	1,7	54	60
Kolahalbinsel	Weißes Meer/Barentssee	UdSSR	128,5	240	400
Jütland	Ostsee/Nordsee	Dänemark	29,6	50	330
Krim	Schwarzes Meer	UdSSR	25,3	8	—
Kertsch	Schwarzes Meer	UdSSR	3,0	15	90
Bretagne	Atlantik	Frankreich	23,7	150	240
Onegahalbinsel	Weißes Meer	UdSSR	8,1	100	130
Istrien	Adriatisches Meer	Jugoslawien	4,7	48	90
Cotentin	Kanal	Frankreich	2,7	32	62
Fischerhalbinsel	Barentssee	UdSSR	1,0	6	—
Darß/Zingst	Ostsee	DDR	0,15	1	46
Hela	Ostsee	Polen	0,05	1	34
		Asien			
Arabien	Arabisches Meer	Arabien	3000,0	1200	~2500
Katar (Qatar)	Persischer Golf	britisch	22.0	40	165
Hinterindien	Indisch. Ozean/Südchinesisches Meer		2088,0	1200	2000
Malakka (Malaiische Halbinsel)		Burma/Thailand	237,0	42	1150
Vorderindien	Indisch. Ozean	Indische Union	2000,0	1550	1620
Kleinasien (Anatolien)	Mittelmeer	Türkei	525,0	485	100
Taimyr-Halbinsel	Karasee/Laptewsee	UdSSR	500,0	650	—
Kamtschatka	Ochotskisches Meer/Beringmeer	UdSSR	270,5	85	1150
Korea	Japanisches Meer/Gelbes Meer	Korea	150,0	175	680
Jamal (Samojedenhalbinsel)	Karasee	UdSSR	132,8	145	700
Sinai-Halbinsel	Rotes Meer	Ägypten	59,0	220	300
Tschuktschenhalbinsel	Nördliches Eismeer/Beringmeer	UdSSR	49,0	160	340
Mangyschlak	Kaspisee	UdSSR	45,0	140	280

Name	Meer	Land	Fläche in 1000 km²	Breite an der Basis in km	größte Länge in km
		Asien			
Schantung	Gelbes Meer	China	29,4	180	330
Apscheron	Kaspisee	UdSSR	1,8	50	65
		Afrika			
Somalihalbinsel	Arabisches Meer/ Indisch. Ozean	Somali	740,0	900	—
Tunishalbinsel	Mittelmeer	Tunesien	2,4	38	75
		Australien			
Arnhemland	Arafurasee	Australischer Bund	224,0	600	—
Kap-York-Halbinsel	Carpentaria-Golf/ Korallenmeer	Australischer Bund	195,0	245	460
		Nordamerika			
Labrador	Hudsonbai/Nordatlantik	Kanada	1300,0	750	—
Yucatan	Golf von Mexiko	Mexiko u. a.	180,0	380	~620
Niederkalifornien	Pazifik	Mexiko	144,1	160	1180
Florida	Atlantik/Golf von Mexiko	USA	110,0	250	620
Melvillehalbinsel	Nördl. Eismeer	Kanada	62,6	52	~230
Sewardhalbinsel	Beringmeer	Alaska	50,0	115	300
Alaskahalbinsel	Beringmeer/Pazifik	Alaska	45,0	150	720
Neuschottland	Atlantik	Kanada	44,5	26	430
Boothia Felix	Nördl. Eismeer	Kanada	33,7	90	270
		Südamerika			
Taitao	Pazifik	Chile	10,8	3	110
Guahira (Goajira)	Karibisches Meer	Kolumbien	7,2	48	110
Valdezhalbinsel	Südatlantik	Argentinien	3,6	8	70
		Antarktis			
Grahamland	Südl. Eismeer			20	700

Die bekanntesten Landengen. Die schmalen Landbrücken, die die Verbindung zwischen dem Kontinent und manchen Halbinseln oder auch zwischen zwei Erdteilen herstellen, werden als *Landengen* bezeichnet. Sie trennen stets zwei gegenüberliegende Meere oder Meeresteile und sind deshalb für die Anlage von Seekanälen besonders geeignet.

Name und Land	geringste Breite in km	Name und Land	geringste Breite in km
Landenge von Ofgui (Chile)	1	Isthmus von Kra (Siam)	42
Isthmus von Korinth (Griechenland)	6	Isthmus von Panamá (Panamá)	55
		Niederkalifornien (Mexiko)	68
Landenge von Perekop (UdSSR)	8	Landenge von Sues; VAR (Ägypten)	120
Kertsch (UdSSR)	17	Korea (Wunsan)	162
Delaware (USA)	20	Landenge von Tehuantepec (Mexiko)	192
Chignecto (Kanada)	24		
Jütland (Dänemark)	35	Skandinavien	355
Kamtschatka (UdSSR)	36	Pyrenäenhalbinsel	370

DIE DEPRESSIONEN DER ERDE

Die tiefer als der Meeresspiegel liegenden Gebiete des Festlandes der Erde werden als *Depressionen* bezeichnet. Dabei ist zwischen echten Depressionen, Kryptodepressionen und Abdämmungsdepressionen zu unterscheiden. Die nur in Trockengebieten der Erde anzutreffenden echten Depressionen sind die von der Null-Meter-Isohypse umschlossenen Landflächen ohne Abfluß zum Meer. An ihrer tiefsten Stelle befindet sich entweder ein Salzsee oder ein Salzsumpf. In feuchteren (humiden) Gebieten der Erde sind alle geschlossenen Hohlformen von einem See erfüllt. Reicht der Seeboden unter den Meeresspiegel herab, spricht man von einer *Kryptodepression*. An flachen Meeresküsten und in einigen Flußmündungsgebieten wurde durch Eindeichung und ständige Entwässerung unter dem Meeresspiegel liegendes Land künstlich von der Meeresbedeckung freigehalten und als Kulturland genutzt (*Abdämmungsdepressionen*). So liegt etwa ein Viertel der Niederlande (8300 km²) tiefer als der Meeresspiegel bei Mittelwasser.

Depressionen in ariden Gebieten

Name	Land	Meereshöhe: See-höhe in m	Meereshöhe: tiefster Punkt in m	Bemerkungen
	Asien			
Jordangraben (Totes Meer)	Israel/Jordanien	− 394	− 793	Salzsee (Totes Meer)
Karagije-Depression	UdSSR	− 132		Salzsumpf
Turfansenke	China	− 154		Salzsee
Aktschakaja-Depression	UdSSR	− 92		Salzsumpf
Karynsharyk-Depression	UdSSR	− 70		Salzsumpf
Kaundy-Depression	UdSSR	− 55		Salzsumpf
Sarykamischsenke	UdSSR	− 45	− 52	Salzsee
Kaspisenke	UdSSR/Iran	− 28	− 1000	Kaspisee
Mynbulak-Depression	UdSSR	− 18		Salzsumpf
	Afrika			
Assalseesenke	Franz.-Somaliland	− 150		Salzsee
El Kattara	VAR (Ägypten)	− 134		Salzsumpf
Assalesenke	Eritrea/Äthiopien	− 116		Salzsumpf
Gabalesumpf	Eritrea	− 60		Salzsumpf
Wadi Rayan	VAR (Ägypten)	− 80		Salzsumpf
El Fayum	VAR (Ägypten)	− 45	− 50	Salzsee
Oase Siwa	VAR (Ägypten)	− 32		Kulturland
Wadi Natrun	VAR (Ägypten)	− 23	− 28	Salzsee
Schott Melrhir	Algerien	− 24	− 24	zeitweise Salzsee
Schott el Gharsa	Tunesien/Algerien	− 17	− 17	zeitweise Salzsee
	Nordamerika			
Death Valley	USA (Kalifornien)	− 85		
Saltonsee-Senke	USA (Kalifornien)	− 75	− 92	Salzsee
Enriquillosee	Haiti	− 40	− 50	Salzsee
	Australien			
Eyre-See-Senke	Südaustralien	− 12	− 32	Salzsee
	Abdämmungsdepressionen an Küsten			
Nildelta bei Port Said	VAR (Ägypten)	bis − 13		natürliche Abdämmung
Nildelta bei Alexandria	VAR (Ägypten)	bis − 7		natürliche Abdämmung
Zuiderseepolder	Niederlande	bis − 6,7		künstliche Abdämmung
Polder in Nordholland	Niederlande	bis − 3,5		Kulturland
Ij-Polder	Niederlande	bis − 2,9		Kulturland
Teile der Marsch	Nordwestdeutschland	bis − 1,1		Kulturland
Teil des Podeltas	Italien	bis − 0,2		Kulturland

Kryptodepressionen

See	Land	tiefster Punkt	See	Land	tiefster Punkt
Baikalsee	UdSSR	− 1286	Nicaraguasee	Mittelamerika	− 48
Tanganjikasee	Tanganjika	− 653	Huronsee	USA/Kanada	− 46
Mjösen	Norwegen	− 322	Plöner See	Westdeutschland	− 38
Gardasee	Italien	− 281	Shkodrasee	Jugoslawien/ Albanien	− 38
Njassasee	Njassaland	− 234			
Ladogasee	UdSSR	− 228	Schaalsee	Westdeutschland	− 37
Großer Sklavensee	Kanada	− 220	Wettersee	Schweden	− 32
Comer See	Italien	− 212	Kummerower See	DDR	− 30
Oberer See	USA/Kanada	− 209	Arendsee	DDR	− 29
Lago Maggiore	Schweiz	− 176	Tollensesee	DDR	− 19
Ontariosee	USA/Kanada	− 150	Gr. Bärensee	Kanada	− 18
Michigansee	USA	− 113	Aralsee	UdSSR	− 18
Onegasee	UdSSR	− 77	Lough Neagh	Irland	− 16
Mälarsee	Schweden	− 63	Schweriner See	DDR	− 16
Wenersee	Schweden	− 49	Werbellinsee	DDR	− 7

DIE WALDFLÄCHEN DER ERDE

Von der natürlichen Bodenbedeckung kommt den Wäldern wegen ihrer wichtigen Rolle im Naturhaushalt und in der Wirtschaft die größte Bedeutung zu. Die Hauptwaldgebiete der Erde konzentrieren sich auf einige wenige geographische Zonen. Der wirtschaftlich bedeutendste Waldgürtel ist der Nadelwaldgürtel der Nordhalbkugel, der fast ein Drittel der Gesamtwaldfläche der Erde ausmacht. An ihn schließen sich südlich die vielerorts gerodeten, sommergrünen Misch- und Laubwälder an. Der zweite große Waldgürtel der Erde ist der äquatoriale Regenwaldgürtel mit seinen Hauptverbreitungsgebieten in Südamerika (Amazonasbecken), Afrika (Kongobecken) und Südostasien (Insulinde und Hinterindien). An ihn schließen sich randlich die regengrünen Wälder der wechselfeuchten Tropen und Subtropen an (Monsunwälder in Südasien, Wälder der Feuchtsavannenzone).

Da sich nur in wenigen Ländern die Wälder gegenüber Ackerland, Grünland und Ödland so scharf abheben wie in Deutschland, kommt bei der weltweiten Zusammenstellung der Waldflächen der Definition des Begriffes Wald große Bedeutung zu. Unter Wald versteht man „Landflächen mit Pflanzengesellschaften, die vom Baumwuchs jeder Größe beherrscht werden, genutzt oder nicht genutzt, aber fähig, Holz zu erzeugen oder Einflüsse auf die Gestaltung des Lokalklimas und des Wasserhaushaltes auszuüben". Zu den Waldflächen zählen auch die zeitweiligen, durch Rodung oder Brand entstandenen Kahlflächen. Schwer ist es, eine Grenze gegenüber dem Buschland zu finden; unklar bleibt auch die Zuordnung der Tundren-Lichtwälder, der Saxaulgehölze, der Macchien und der Dornbuschwälder. Ein weiterer großer Unsicherheitsfaktor der internationalen Waldstatistik ist ferner die in vielen Gebieten noch völlig unzureichende kartographische Aufnahme der Waldbestände.

So ist der wirtschaftliche Wert wie auch der Aussagewert der Zahlen für die Waldflächen der einzelnen Regionen der Erde sehr unterschiedlich.

Waldverbreitung nach Großräumen

	Gesamte Landfläche in Mill. km²	Waldfläche in Mill. km²	Waldfläche in % Anteil	Waldfläche in % Bewaldung	davon zugänglich in Mill. km²	davon zugänglich in %	Waldfläche je Einwohner und ha Gesamtwaldfläche	Waldfläche je Einwohner und ha genutzte Waldfläche
Europa	4,8	1,36	3,5	28	1,33	98	0,3	0,3
Asien	26,6	5,25	13,8	20	3,11	59	0,4	0,2
Sowjetunion	21,9	9,81[1]	19,0	31	4,10	58	3,5	1,6
Nordamerika	20,3	6,56	17,2	32	3,12	48	4,1	1,4
Mittel- und Südamerika	20,2	8,90	23,2	44	3,29	37	5,2	0,5
Afrika	29,7	8,01	21,0	27	2,84	36	3,9	0,5
Australien/Ozeanien	8,6	0,86	2,2	10	0,20	23	6,7	1,3
Erde	132,1	37,75	100,0	29	18,00	47	1,6	0,5

	Anteil der Holzarten: Nadelholz in Mill. km²	Anteil der Holzarten: Laubholz in Mill. km²	LN in %		Vorrat der genutzten Waldfläche in Md. m³	Jährliche Gewinnung in Mill. m³
Europa	0,79	0,57	58	42	9,9	268
Asien	1,20	4,05	23	77	23,8	133
Sowjetunion	5,31	1,50	78	22	77,9[2]	330
Nordamerika	4,63	1,93	71	29	16,6	375
Mittel- und Südamerika	0,27	8,63	3	97	8,5	150
Afrika	0,03	7,98	0	100	8,0	112
Australien/Ozeanien	0,08	0,78	9	91	1,0	14
Erde	12,30	25,45	33	67	146,0	1382

[1] gesamte Holzbodenfläche 11,35 Mill. km² = 52% der Landesfläche
[2] Gesamtholzvorrat, auf der genutzten Waldfläche etwa 40 bis 50 Md. m³

HÖHLEN

Höhlendefinition. Höhlen nennt man leere oder teilweise mit Wasser angefüllte *unterirdische Hohlräume*, die meist durch die auflösende Tätigkeit des Wassers entstanden sind. Es gibt natürliche und künstliche (Bergwerke, unterirdische Steinbrüche) Höhlen. Die natürlichen Höhlen bilden oft größere Höhlenzüge und diese wieder Höhlensysteme, die sich durch enge Kanäle schlauch- oder spaltenartig fortsetzen oder sich in Kammern, Hallen und hochgewölbte Dome erweitern. Die Höhenlage der einzelnen Teile des Höhlensystems wechselt sehr oft (Stockwerkshöhlen). Die Hohl-

Höhlenfunde pleistozäner menschlicher Skelettreste (Hominiden)
(in Anlehnung an *E. Fischer* und *R. Grahmann*)

a) Anthropus- und Neandertalergruppe (Pithecanthropus und Homo neandertalensis)

Name der Höhle	Lage der Höhle	Entdeckungsjahr	Entdecker	Funde	Alter der Funde	Bemerkungen
Feldhofener Grotte	Neandertal (zwischen Düsseldorf und Elberfeld)	1856	*C. Fuhlrott*	Schädeldach (Kalotte)	Riß-Würm-Interglazial (Moustérien)	Höhle im Eifelkalk, Boden 2 m hoch mit Lehm bedeckt
Grotte von Spy	Spy unweit Namur	1886	belgische Geologen *Fraipont* und *Lohest*	Überreste zweier Individuen; Skelette mit zahlreichen Feuersteininstrumenten; Reste von Mammut, Rhinozeros, Höhlenbär, Höhlenhyäne	Moustérien	Bedeckung der Funde durch Kalktuff
Uferhöhle von Krapina	nördliches Kroatien im Tal des Krapinaflusses, nahe dem Ort Krapina	1899···1905 Resultate der Untersuchung 1906	*K. Gorjanovic-Kramberger*	Tausende von Tier- und Menschenknochen; Steinabfälle und Geräte; 300 menschliche Knochenstücke (10···12 Schädel, 14 Kiefernbruchstücke)	Moustérien	vom Fluß ausgewaschene Höhle; heute 25 m über dem Flußspiegel gelegen
Grotte von Moustier	Moustier (Departement Dordogne)	1908	*O. Hauser*	Skelett eines 16jährigen Jünglings	Älteste Moustierkultur	
Grotte von La Chapelle-aux-Saints	La Chapelle-aux-Saints östlich von Le Moustier (Departement Corrèze)	1908	Franzosen *J.* und *A. Bouyssonie*, *M. Boule*, *L. Bardon*	vorzüglicherhaltenes Skelett, Schädel, Wirbel, Rippen, Extremitäten	Moustérien	
Höhle La Ferrassie	La Ferrassie (Dordogne)	1909 (August)	*D. Peyronie*	Skelett (Neandertalspezies)	Moustérien	
Gibraltar Devil-Tover-Höhle	Felsen von Gibraltar	1848 1926	Leutnant *Flint* Miß *Garrod*	Schädel Schädel von 5···6jährigem Kind	Moustérien	heute im Museum des Royal College of Surgeons; Funde zugehörig zum Neandertaltyp
Uferhöhle von La Naulette	am Ufer der Lesse bei La Naulette (nahe Fu - fooz in Belgien)	1866	*Dupont*	Unterkiefer und Knochenstücke; daneben Mammut, Rhinozeros, Rentier	Moustérien	

Name der Höhle	Lage der Höhle	Entdeckungsjahr	Entdecker	Funde	Alter der Funde	Bemerkungen
Schipkahöhle	Schipka (Morava)	1882	*Mašek*	Unterkiefer mit Zähnen, Kinderkiefer	in Schichten, die älter sind als die bekannten „Mährischen Mammutschichten"	
Grotte Pech de l'Aze	Pech de l'Aze bei Sarlat (Dordogne)	1909	*Capitan* und *Peyrony*	Kinderschädel	Moustérien	
Grotte der Isle de Jersey	Insel Jersey (Kanalinsel)	1911	*Keith*	9 menschliche Zähne mit Feuersteingeräten; Knochen von Rhinozeros und Rentier		
Höhle von Tabgha	Tabgha (Galiläa) am NW-Ufer des Sees Genezareth	1924	*Türvill-Petre*	Schädel mit typischen Moustérienwerkzeugen		„Galiläaschädel", Funde aus *unberührter* Schicht, Neandertalmerkmale
Höhlen am See Genezareth	Galiläa (Palästina)	1932	*Garrod*	Menschliche Zähne, Schädelstücke, Kinderskelett	Moustérien	
b) Praesapiens- und Altmenschengruppe						
Höhle bei Ochos	Ochos (ČSSR)	1906	*Rzehak*	Vorderstück eines Unterkiefers	Aurignacien-Mesolithikum, einzelne sicher spätpleistozän	
Höhle von Cro-Magnon	Vézèretal (Périgord)	1868	*Lartet*	Skelett eines „alten Mannes" und einer Frau; Reste eines Kinderskeletts		beim Bahnbau gefunden
Grimaldigrotten (Rote Grotten)	bei Mentone	1872···1900	*Verneau*	Skelette vom Cro-Magnon-Typ, pleistozäne Tierreste		
Höhlen bei Furfooz	bei Furfooz, im Tal der Lesse	1867	*Dupont*	16 Skelette; Rentiergerätschaften, späte Pleistozänfauna		
Ofnet	Ofnet bei Nördlingen in Bayern	1908	*R. R. Schmidt*	Schädel, 2 Bestattungen mit je 6 und 27 Schädeln	jüngstpaläolithische Schichten	

räume laufen streckenweise horizontal, steigen in die Höhe, senken sich wieder, bilden zuweilen jähe Abstürze und dehnen sich auf diese Weise sehr verschiedenartig, oft viele Kilometer weit aus.

Höhlenvorkommen. Höhlen können grundsätzlich in allen Gesteinen auftreten. Unterschiede drücken sich nur in der Häufigkeit aus. Diese ist abhängig von der Löslichkeit der Gesteine in Wasser. Nach Zahl und Größe treten die bedeutendsten Höhlen in *Kalk*, *Dolomit* und *Gips* auf. In Eruptiven, kristallinen Schiefern (Glimmerschiefern und Gneisen), Quarziten und Sandsteinen können alle Klüfte zur Höhlenbildung führen. Blasenhöhlen und Lavahöhlen sind auf Eruptiva beschränkt.

Höhlenverbreitung. Entsprechend der Häufigkeit der Höhlenvorkommen deckt sich die Höhlenverbreitung mit der regionalen Verteilung der entsprechenden Sedimente in den klimatischen Zonen, die Verkarstung (Karst, slaw. *krs* = Fels, *krsti* = zerbrochen) zulassen. Die Verkarstung ist abhängig vom Gestein, vom Klima, von der Tektonik und vom Relief.

Haupthöhlengebiete

Deutsche Höhlengebiete: Elbsandsteingebirge, Thüringer Wald, Thüringer Becken, Kyffhäuser, Harz, Rheinisches Schiefergebirge (Sauerland, Eifel), Fränkisch-Schwäbischer Jura, Alpen

Übriges Europa: Alpen, Karpaten, Hohe und Niedere Tatra, Apenninen, Französischer Kettenjura, Cevennen, Vaucluse-Plateau, Ardennen, jugoslawischer Karst (Slovenien, Kroatien), schottische Hochlande

Außereuropa: Afrika — Algerien, Marokko, Kyrenaika, Ostafrika
Amerika — Unterkarbon-Kalke Nordamerikas; West-Kentucky (etwa 60000 Höhlen; „Land der 10000 Einfälle"), Indiana, Utah
Australien — Höhlengebiet der Jenolan Caves bei Sydney
Asien — China, Tibet, Vorder- und Hinterindien, Palästina

Höhlensystematik und Höhlenentstehung. Grundlage der Höhlensystematik ist die Genese (Entstehung und ihre Ursachen). Es werden *primäre* und *sekundäre* Höhlen unterschieden (nach *Kyrle*).
Primäre Höhlen sind mit dem Muttergestein gleichaltrig. Ihre Bildung hängt mindestens teilweise mit dessen Entstehungsursachen zusammen.
Sekundäre Höhlen sind in Alter und Entstehungsursachen vom Muttergestein unabhängig. Sie haben sich nach dessen Entstehung gebildet.

Primäre Höhlen

Blasenhöhlen: ehemalige Gaseinschlüsse im Magma (Kristallkeller der westalpinen Granite)
Lavahöhlen: Hohlräume unter erstarrter Lavadecke (Surtshellier auf Island)
Riffhöhlen: an Küsten mit intensiver Riffbildung (Australien)
Tuffhöhlen: Kalkinkrustationen an Quellen und Wasserläufen (Kakushöhle bei Eiserfey [Eifel]; Olgahöhle in Honau bei Reutlingen)
Klufthöhlen (primäre): in allen größeren Gesteinsmassiven

Sekundäre Höhlen (überwiegende Anzahl der Höhlen)

Klufthöhlen (sekundäre): alle Spalten, die auf tektonischen Bewegungen oder auf Auslaugungsvorgängen beruhen oder als Abrißklüfte gebildet sind (Kluftfugen- und Schichtfugenhöhlen)
Versturzhöhlen (Überdeckungshöhlen): in Trümmer- und Lockermassen
Windhöhlen: in Wüstengebieten
Wasserhöhlen: Korrosionshöhlen (häufigste Art der Höhlen)
a) Quellungshöhlen: in Gipsgebieten (Südharz, Niedersachswerfen)
b) Laughöhlen: durch Auslaugung leichtlöslicher Gesteine (Harz, Kyffhäuser)
c) Erosionshöhlen:
Strandhöhlen: Bildung von Uferhohlkehlen durch Abrasion an Steilküsten (Fingalshöhle auf Staffa, Blaue Grotte von Capri)
Gerinnehöhlen: entstehen durch erosive und korrosive Arbeit des Wassers in Karstgebieten

Eine besondere Art der Klufthöhle ist die *Schachthöhle.* Hier erfolgt die Auflösung des Gesteins in vertikaler Richtung.

Riesenschachthöhlen (mit vertikaler Tiefenangabe):

Berger-Höhle bei Grenoble	1128 m
Gouffre de la Pierre Saint Martin (Pyrenäen), Vermessung 1953 (dabei Tod des Höhlenforschers *Marcel Loubens*)	750 m
Réseau de la Dent de Crolles (Frankreich)	658 m
Spluga della Preta (Italien)	637 m
Antro di Corchia (Italien)	541 m
Anou Boussouil (Algerien)	539 m
Fledermausschacht (Österreich)	527 m
Pozzo di Verco (Jugoslawien)	518 m
Laichinger Tiefenhöhle (Süddeutschland, Schwäbische Alb)	100 m

Zwischen den einzelnen Gruppen der Höhlen bestehen mannigfaltige Übergänge (z. B. Klufthöhle → Laug- bzw. Gerinnehöhle oder primäre Klufthöhle → sekundäre Klufthöhle).
In Gletschern und Inlandeis bilden sich wenig beständige Hohlräume (Gletscherhöhlen in den Pyrenäenmassiven des Marboré und des Mont Perdu). Sie können als Kluft-, Versturz- oder Erosionshöhlen auftreten.

Höhleneinlagerungen. Die *häufigsten Höhlenbildungen* sind Tropfsteinbildungen und Sinterbildungen.

Tropfsteinbildungen Tropfstein, Höhlenstein; tritt als *Stalaktit* und *Stalagmit* auf und besteht aus Kalkstein oder Aragonit. Der Aufbau der Tropfsteine ist konzentrisch-schalig und radialfaserig

Sinterbildungen bestehen aus Kalk oder Aragonit, sind körnig bis grobkörnig oder faserig, weiß bis gelbbräunlich mit gestreifter und wellenförmiger Farbzeichnung, erscheinen in Form von Stalaktiten und Stalagmiten sowie in platten- und krustenförmigen oberflächlichen Massen. Man unterscheidet Decken-, Boden-, Wand-, Perl- und Warzensinter. Besonders reiner Wandsinter ist die teils nasse, teils trockene weiße kreidige Mont- oder Bergmilch.

Alle Tropfstein- und Sinterbildungen sind kristallin. Oft bildet ein großer Tropfstein einen Kristall.
Das in die Höhlen eintretende Wasser enthält Kalziumbikarbonatlösungen, $Ca(HCO_3)_2$. Infolge langsamer und geringfügiger Verdunstung des Lösungsmittels oder Verlust von CO_2 erfolgt Ausfällung von Kalk, $CaCO_3$. Diese Ausscheidung wiederholt sich jahraus, jahrein an denselben Stellen.

$$\underset{\text{Kalkgestein}}{CaCO_3} + \underset{\substack{\text{Niederschlags-}\\ \text{und Sickerwässer}}}{H_2CO_3} = Ca(HCO_3)_2 \quad \text{(Auflösung des Kalkgesteins)}$$

$$Ca(HCO_3)_2 = \underset{\text{Tropfstein}}{CaCO_3} + H_2O + CO_2\uparrow \quad \text{(Tropfsteinbildung)}$$

Es wachsen Zapfen vom Höhlendach herab: Stalaktit, Deckenzapfen (griech. *stalaktós*, tropfend). Am Höhlenboden zerspritzen die Tropfen und laufen auseinander. Es kann dem Stalaktiten ein breiteres formloses Sintergebilde entgegenwachsen: Stalagmit, Bodenzapfen (griech. *stalagmós*, Tropfen). Wachsen beide in der Mitte zusammen, so entstehen *Sintersäulen*. Durch Spritzwirkung und gelegentliche Änderung der Wasserzufuhr und andere Zufälle entstehen phantastische Formen (Kulissen, Säulen, Terrassen usw.).

Weitere wichtige Höhleneinlagerungen

Höhlenlehm toniger, eisenhaltiger Lösungsrückstand des die Höhle umgebenden Gesteins (autochthon), Einschwemmungsprodukt (allochthon); aus zugeführten Eisenlösungen wird Eisen als Brauneisen ausgefällt (Bohnerze); Knochenlehm (Bonebed), Zusammenhäufungen von Zähnen und Knochenresten, die wenig mächtige Lagen in den Lehmen bilden

Höhlenphosphate Höhlenablagerungen, die aus Fledermausguano und Knochenresten (vorwiegend Ursus spelaeus) aufgebaut sind (Österreichische Alpen)

Sande, Schotter fast restlos eingeschwemmtes Material, oft zu Konglomeraten und Brekzien verfestigt

Dolomitasche Verwitterungsrückstände in Dolomithöhlen, kein beständiges Sediment, werden leicht von den Höhlenwässern aufgelöst und abtransportiert

Höhleneis vor allem in alpinen Höhlen auftretende Eisbildungen; sogenanntes Tropfeis.

Höhlenwetter. In den Höhlen sind die Temperaturen zu allen Jahreszeiten annähernd gleich. Die Höhlentemperatur entspricht etwa der mittleren Jahrestemperatur des Gebietes über der Höhle. Es gibt Ausnahmen, die mit der Höhlenart und der -form zusammenhängen:

Backofentyp sackartig, schräg nach oben führend, ohne zweite Öffnung, Temperatur höher als errechnetes Jahresmittel der Außentemperatur

Eiskellertyp sackartig, schräg nach unten führend, ohne zweite Öffnung, Temperatur tiefer als errechnetes Jahresmittel der Außentemperatur.

In höheren Lagen (oberhalb 1300 m ü. NN) mit sehr niedrigen mittleren Jahrestemperaturen und entsprechender Höhlenbewetterung infolge der Höhlenform entstehen Eishöhlen:

Schellenberger Eishöhle bei Berchtesgaden
Gerstenberger Eishöhle im Südharz
Eisriesenwelt im Tennengebirge (Österreich)
Rieseneishöhle im Dachstein bei Obertraun (Österreich)
Castaret-Eishöhle, Bergmassiv Marboré–Pyrenäen (Spanien)
höchstgelegene Eishöhle Europas (2700 m)

Die Höhle als Lebensraum. Die sich den gegebenen Verhältnissen besser anpassende Höhlenfauna ist mannigfaltiger als die Höhlenflora.
Man unterscheidet bei den Höhlenbewohnern (griech. *Troglodyten*)

Troglоxene Höhlengäste (zufällig und unfreiwillig in die Höhle geraten), z. B. Würmer, Insekten (Spinnen, Käfer, Mücken), kleinere Wirbeltiere (Fledermäuse, Eulen, Tauben, Dachs, Fuchs, Marder, Iltis)

Troglophile höhlenliebende Tiere (zwecks Überwinterung oder vorübergehend in der Höhle lebend), z. B. Wirbeltiere (Bär, Hyäne, Wolf, Fledermäuse), Schmetterlinge (Zackeneule, Wegdornspanner)

Troglobien echte Höhlentiere (dauernd in Höhlen lebend; pigmentlos, blind), etwa 1 000 Arten, z. B. Weichtiere, Krebstiere, Insekten (Hauptanteil), Amphibien (Grottenolm), Fische.

Große Bedeutung besaßen in der Vorzeit, besonders in der Altsteinzeit, die Höhlen für den Menschen. Sie dienten ihm als Aufbewahrungs-, Wohn-, Rast- und Fluchtstätten, aber auch als Opfer- und Grabstätten. Die wirtschaftliche Bedeutung der Höhlen heute liegt in der Erschließung von Schauhöhlen (Fremdenverkehr), im Abbau von Phosphatlagern (Österreich, USA), die sich gelegentlich finden, und in der Möglichkeit, unterirdische Kraftwerke anzulegen.

Höhlen in der Deutschen Demokratischen Republik (Auswahl)

Harz

Baumannshöhle bei Rübeland; Klufthöhle im Iberger Kalk (Korallenkalk) des Oberdevons; älteste der Rübeländer Höhlen, Anfang 16. Jh. von einem Bergmann namens *Baumann* entdeckt; Tropfsteinbildungen; zahlreiche Knochenfunde

Hermannshöhle bei Rübeland; Klufthöhle im Iberger Kalk des Oberdevons; 1886 beim Straßenbau entdeckt, am weitesten erschlossene Höhle; 600 m lang, 6 Sohlen; Höhlenbach, Knochenfunde

Bielshöhle bei Rübeland; Klufthöhle im Iberger Kalk des Oberdevons; 240 m lang, zahlreiche Nebenhöhlen und Gänge; verschiedenste Höhleneinlagerungen; jüngste der Rübeländer Höhlen

Heimkehle bei Uftrungen; Laughöhle im jüngeren Gips des Zechsteins; größte deutsche Gipshöhle; 1 700 m lang; beträchtliche Lehmeinlagerungen

Diebeshöhle bei Uftrungen; Klufthöhle im jüngeren Gips des Zechsteins; Hockergrabfund

Iberger Höhlen bei Grund; Klufthöhlen im Iberger Kalk des Oberdevons; Funde alter Bergbaugeräte aus dem 16. Jh.

Kyffhäuser

Barbarossahöhle bei Rottleben; 1865 entdeckt, früher Falkenburger oder Rottleber Höhle genannt, 24 000 m², 1 500 m zugängig; Laughöhle im älteren Gips des Zechsteins; mehrere Höhlenteiche, Deckenstürze mit gewaltigen Schuttkegeln

Thüringer Wald und Thüringer Becken

Feengrotten bei Saalfeld; künstliche Schauhöhle, Alaunschieferstollen aus dem 14. Jh.; 35 m tief, drei übereinanderliegende Stollen (12 m, 24 m, 35 m unter der Erde); zur Erforschung des Ursprungs der Quellen wurden die Stollen 1911 neu erschlossen, 1914 die Feengrotten der Öffentlichkeit übergeben. *Butterkeller:* Grotte mit Ocker- und Tropfsteinbildungen

Goetzhöhle in Meiningen; Überdeckungshöhle (Versturzhöhle) und Klufthöhle; durch Auslaugung der Rötgipse entstandener und sich noch in Bewegung befindender Bergsturz im Werratal

Höhle von Walldorf 6 km nördl. Meiningen, im Mittleren Buntsandstein; bis 1900 unterirdische Steinbrüche, 65000 m², 2500 Säulen, Höhlensee

Altensteiner oder *Glückbrunner Höhle* bei Bad Liebenstein; 1799 entdeckt; 200 m lang; Höhlensee

Thaler Höhle zwischen Bad Thal und Kittelsthal; in Bryozoenriffen des Zechsteins; 1896 entdeckt; Tropfsteinbildungen, sekundärer Höhlenfluß

Elbsandsteingebirge. (Die Höhlen des Elbsandsteingebirges sind Schicht-, Kluft- und Einsturzhöhlen.)

Kuhstall mit Wochenbett Felsentor; Schichthöhle, Wochenbett (Grotte), Höhe 4 bis 11 m, Breite 10 bis 19 m, Tiefe 24 m; Zufluchtsstätte im Dreißigjährigen Krieg für die Bewohner von Lichtenhain

Vehmhöhle unter der Bastei, Klufthöhle, 33 m lang, Eingangshöhe 5 m, 80 m²; alte Fluchtstätte;

Teufelsküche im Uttenwalder Grund; Einsturzhöhle

Diebskeller oder *Gutbierhöhle* am Quirl bei Pfaffendorf; 35 m tief, 17 m breit, 30 bis 40 m lang, 230 m²; alte Zufluchtsstätte für die Bewohner gegen Raubüberfälle; Felsenhöhle,

von einzelnen Felsblöcken gebildet; größte Höhle des Elbsandsteingebirges, schon 1692 urkundlich erwähnt

Gautschgrotte im Polenztal; nach dem 1880 verstorbenen Heimatforscher *K. Gautsch* benannt; Schichthöhle mit Eisbildungen

Speckstеinhöhle am Gohrisch bei Pabstdorf; alte künstliche Höhle, Bergwerksstollen, in dem früher Speckstein abgebaut wurde

Sächsische Mittelgebirge

Syrauer Drachenhöhle im Vogtland; pleistozäne, durch Auslaugung im Kalk entstandene Tropfsteinhöhle; 1928 von Steinbrechern entdeckt; 35 m langer See

Miltitzer Kalkhöhlen bei Meißen; im Marmor des Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirges; Hallen-Weitungsbaue mit Grotten, Kellern, Gängen und Fensterdurchbrüchen und Tropfwasserbecken

Höhlen in Westdeutschland (Auswahl)

Norddeutschland

Höhle von Segeberg in Holstein; Segeberger „Kalkberg" (Gipsstock) mit Höhlensystem (900 m befahrbar, Laughöhle); Höhlenboden 534 m unter der Bergspitze, Höhle 30 m breit, 10 bis 15 m hoch

Westerwald

Höhlen des Lahntales Höhlen zwischen Weinbach und Cubach in den Massenkalken des Devons; Tropfsteinhöhlen bei Weinbach, Cubach und Weilburg; Spalten- und Klufthöhlen

Rheinland und Westfalen

Kluterthöhlen bei Milspe-Voerde; Auswaschungshöhlen; 5 km Ganglänge, längste Höhle Deutschlands, Heilstätte für asthmatische Krankheiten

Hönnetalhöhlen Sickerwasser-Auslaugungshöhlen; Deutschlands größte altsteinzeitliche Höhlenfundstelle

Fränkischer Jura und Fränkische Schweiz

1023 bekannte Höhlen (bis 1939), höhlenreichstes Gebiet Deutschlands mit 7000 km² Fläche; in den Malmkalken liegend

Fellnerdoline bei Gößweinstein; 119 m tief

Maximiliangrotte bei Neuhaus an der Pegnitz; größte Höhle des Fränkischen Juras; Schauhöhle 650 m befahrbar und 68 m Tiefe

Teufelshöhle bei Pottenstein; zweitgrößte Höhle des Fränkischen Juras; Eingangstor 16 m hoch, 30 m breit

Bismarckgrotte bei Rinnenbrunn; drittgrößte Höhle des Fränkischen Juras; 700 m Ganglänge, 45 m Tiefe

Schwäbische Alb

Haupthöhlenträger sind die δ-, ε- und ζ-Kalke des Weißjuras (Malm)

Charlottenhöhle bei Hürken; längste Höhle der Alb; trockene Flußhöhle; Hohlräume und Hallen auf Kreuzungen von Spaltensystemen

Linkenboldshöhle bei Onstmettingen; Spaltenhöhle; 220 m lang; prächtige Tropfsteingebilde führten zu der Benennung nach dem schwäbischen Zwerg Linkenbold

Höhle bei Ursprung an der Löhne (Kreis Ulm); Klufthöhle im Weißjura; Lehm- und Kalkschuttablagerungen; prähistorische Funde

Rheinpfalz und Saargebiet

Schlangenhöhle bei Schwarzenacker (Kreis Homburg); größte Sandsteinhöhle Deutschlands; 12 Stockwerke, Räume mehrere Kilometer lang; alte Zufluchtsstätte, Pulvermagazin bei französischen Besetzungen

Schwarzwald

Tschamberhöhle bei Rheinfelden am Hochrhein; Erosionsschlucht in Kalkstein; unterirdische Wasserläufe, einer davon in 700 m Länge erschlossen

Alpenvorland und Alpen (Bayrische Alpen)

zugängige Schauhöhlen sind: Sturmannshöhle bei Oberstdorf (Allgäu), Wendelsteinhöhle bei Brannenburg (Obb.), Schellenberger Eishöhle im Untersberg bei Berchtesgaden (Obb.); noch nicht öffentlich zugängige Höhlen sind: Angerloch bei Obernach (320 m vermessen; Winterschlafplatz für Fledermäuse), Schlüsselloch-Höhle (1240 m vermessen, 140 m tief unter Eingang), Große Spielberg-Höhle (derzeit bekannteste und größte Höhle der Bayrischen Alpen; tiefste deutsche Höhle; 800 m vermessen, 172 m tief unter Eingang, mehrere 25 m tiefe Schächte, große Hallen mit Eis-, Sinter- und Tropfsteinbildungen), Zugspitzplatt (bis 1939 28 untersuchte Höhlen; seit 1958/59 40 neu entdeckte Höhlen, davon bereits 11 vermessen; schwer zugängliche Schachthöhlen; bisher größte: „Finkenschacht", 131 m tief).

Kleinere Höhlengebiete innerhalb Deutschlands sind ferner: Teutoburger Wald, Weser-Wiehen-Gebirge, Eifel, Meißner und Knüllgebirge, Vogelsberg, Taunus, Hunsrück, Spessart und Odenwald.

Höhlen im übrigen Europa

Norwegen

Grönlihöhle, *Hamarneshöhle*, *Ravnåhöhle* } Karsthöhlen zwischen Ranafjord und Svartisengletscher (am Polarkreis) in den Kalksteinzügen der Glimmerschieferformation

Höhle auf Bö in Telemarken; alte Höhlenkirche

Volksrepublik Polen Kalkhöhlen von Graniczna bei Duszniki Zdrój (Streit bei Bad Reinerz); Höhlenlabyrinth von Płoczki (Gönsseiffen); einzige Zechsteinhöhle Westpolens

Sowjetunion

Höhle an der Weißmeerküste an der Onegamündung; 300 m lang; Massengrab vorzeitlicher Tiere (Mammute)

Höhlen im Gebiet von Priamurski Höhlenberg mit zwei Höhlen, keine Stalaktiten; auch in weiterer Umgebung noch zahlreiche Höhlen

Höhlen auf der Krim am Tschatyr-tagh und am Salgir

Riesenhöhle im Ural Rote Höhle, 7311 m lang, unterirdische Seen, Wasserfälle, gigantische Hallen, größte Höhle der SU im Jura

Kristallhöhlen im Ural

Tschechoslowakische Volksrepublik

Höhlen von Demänova (Niedere Tatra) bei Liptovský Mikuláš; 1921 entdeckt; Karsthöhlen; 3 Arten von Höhlen: Tropfsteinhöhlen, Hallen und Eishöhlen; *Grotte der Freiheit* (Tropfsteinhöhle), 1922 entdeckt; *Grotte des Friedens* (Halle von 20 bis 40 m Höhe), Eishöhlen, 2 Stockwerke, unteres vereist

Tropfsteinhöhle von Supicovice (Hrubý Jeseník, Altvatergebirge); Länge 232 m

Dobšina Eishöhle; 1870 entdeckt

Höhlensystem von Domica 7 km Länge, im slowakischen Karst (Teil der Baradla-Höhle), 1926 entdeckt

Höhlen von Koněprusy größte Tropfsteinhöhlen Böhmens unweit Prag

Höhlen nördl. Brno Höhlengebiet von etwa 100 km² in Devonkalken, mährischer Karst, Höhle von Macocha bei Blansko, 178 × 77 m, 139 m tief; 2 tiefe Seen; Höhlengebiet um Sloup (Bären-, Schoschmokahöhle) und von Ostron (Katharinenhöhle)

Österreich (*ostalpine Höhlen*)

Eisriesenwelt im Tennengebirge, 45 km lang, größte Höhle Europas

Sulzofen im Tennengebirge

Mammut- und Rieseneishöhle im Dachsteingebirge, Dachsteinhöhlen; 1961 50-Jahr-Feier

Ungarische Volksrepublik

Aggteleker Höhlenwelt Baradla- und Friedenshöhle; 1852 entdeckt; größte Tropfsteinhöhle der Welt, Gesamtlänge 40 km, mit Funden der bükkischen Kultur des Neolithikums, Fluchtstätte in der Zeit des Tatarensturmes und der Türkenherrschaft; seit 1959 Versuchssanatorium zur Heilung von Krankheiten der Atmungswege

Mezökövesd Wohnhöhlen (800)

Höhlensysteme in den Karstgebieten des Bükk-, Mecsek- und Bakony-Gebirges

Höhlen der Budaer Berge bei Budapest, Tropfsteinhöhle von Pálvölgy

Italien

Grotta della Fate in Ligurien; moustérienzeitliche Artefakten

Höhlen von Baoussó-Roussé oder *Grimaldihöhlen* Strandhöhlen mit Artefakten von Weltruf; *Kinderhöhle, Fürstenhöhle, Grotte du Cavilon*

Höhlen des Triester Karsts *Höhle von Opicina* bei Triest, größter Höhlenraum der Erde; 129 m hoch, 380 m lang, 90 m breit

Höhle von Addaura auf Sizilien (Malereien)

Jugoslawien 80000 km² großer Küstenstreifen entlang der Adria, zu 90 % verkarstet

Flußhöhlen im Istrischen Karst:

Adelsberger Höhlensystem aktive Flußhöhle, Klufthöhle, mehrere Etagen (Grotta di Postumia Nr. 108) mit intensiver Tropfsteinbildung

Schweiz

Höhlen im Schweizer Jura:

Hölloch Kanton Schwyz im Muotatal; längste Höhle Europas; 70 km unterirdische Gänge bisher vermessen mit weit über 100 bisher unerforschten Seitengängen; Höhendifferenzen von 360 m

Frankreich

in Südfrankreich sogenannte *gouffres*, Schlünde (französische Höhlen in Tabelle: *Höhlenfunde*)

Höhlen außerhalb Europas

Nordamerika

Mammoth Cave (Mammuthöhle) in Kentucky; längste Höhle der Welt; weit über 200 km lang, Bodenfläche mehr als 12 km²

Höhlenbildungen in Utah im Gebiet des Desha- und Purple-Sage-Cañon

Carlsbad Caverns in New Mexiko; 61 km lang

Afrika

Nyarashöhle im Tindigaland (Tindiga sind kleinwüchsige Wildbeuter Afrikas); Flußhöhle; Felszeichnungen; Höhle im Gneis

Simbabwe in Südafrika; in der Nähe einer mächtigen Ruinenstätte

Höhlen am Mumbohügel am Njarasasee, Ostafrika; 1934 entdeckt; mit Felszeichnungen; Schädelfund und bearbeitete Tierknochen, 75000 Artefakte

Opferhöhle von Ras-el-Ma bei Xanen (Marokko); Spalthöhle; Höhle für religiöse Zwecke von Frauen aufgesucht

Asien

Pamir Blasenhöhlen (Kristallhöhlen)

Minajew-Höhle 1937 von dem Geologen *Minajew* entdeckt, 7 m Länge; besonders mit Bergkristall und kristallisiertem Kalzit gefüllt

China

Höhle am „Lion Hill" Süd-China, Prov. Kwangtung, Dorf Mapa; 1958 entdeckt; Abbau des Höhlenlehms für Düngergewinnung; Fund eines Schädeldachs, bisher östlichstes Vorkommen des Neandertalers

Kalimantan (Borneo)

Kalksteinhöhlen Sarawaks und Nordborneos: Funde Paläolithikum-Bronzezeit; Grabungsstellen des Sarawak-Museums/Kutching. Fundstätten eßbarer Vogelnester

IX. Meer

DIE OZEANE UND IHRE NEBENMEERE

Meeresgebiet	Fläche in 1000 km²
Atlantischer Ozean, insgesamt 106200000 km²	
offener Atlantischer Ozean	82218
Nordpolarbecken und Europäisches Nordmeer	14057
Hudsonbai	1232
Sankt-Lorenz-Golf	238
Westindische Gewässer, einschließlich Golf von Mexiko	4311
Ostsee	422
Nordsee	575
Britische Gewässer	178
Mittelmeer und Schwarzes Meer	2969
Indischer Ozean, insgesamt 75804000 km²	
offener Indischer Ozean	74329
Rotes Meer	438
Persischer Golf	239
Andamanen-See	798

Meeresgebiet	Fläche in 1 000 km²
Pazifischer Ozean, insgesamt 178766000 km²	
offener Stiller Ozean	163442
Sulusee	420
Celebessee	472
Molukkensee	307
Ceramsee	210
Bandasee	742
Savusee	106
Makassarstraße	194
Floressee	230
Djawasee	433
Arafurasee	1391
Baßstraße	75
Chinasee	3638
Gelbes Meer	1249
Japanisches Meer	1008
Ochotskisches Meer	1528
Beringmeer	2268
Kalifornischer Golf	162
Roßmeer	891

Zur Beachtung. Unterschiede zwischen dieser Übersicht und anderen Übersichten zur Größe der Flächenangaben der Meere beruhen auf unterschiedlichen Berechnungsmethoden.

SALZGEHALT DER MEERE

Die Summe aller festen Stoffe, die im Meerwasser gelöst sind, bezeichnet man als seinen *Salzgehalt.* Er beträgt für alle Meere 3,5 %, das sind 35 g für 1000 g Meerwasser, die sich wie folgt zusammensetzen:

Kochsalz	27,2 g	Chlorverbindungen 31,0 g = 88,6 %
Chlormagnesium	3,8 g	
Bittersalz	1,7 g	schwefelsaure Salze 3,8 g = 10,8 %
Gips	1,2 g	
Kaliumsulfat	0,9 g	
kohlensaure Salze, Brom u. a.		0,2 g = 0,6 %

Die *absoluten Werte* des Salzgehaltes sind jedoch für die einzelnen Meere sehr verschieden. Sie betragen:

Bottnischer Meerbusen	1 g	nördliche Südsee	35 g
Finnischer Meerbusen	1 g	Nordatlantik	38 g
westliche Ostsee	8 g	Rotes Meer	40 g
Schwarzes Meer	15···18 g	Persischer Golf	40 g
mittlere Nordsee	35 g	Totes Meer	200···260 g

Der *bittere Geschmack* des Meerwassers ist den Magnesiumsalzen zuzuschreiben.

MEERESTIEFEN

in m

Wattenmeer bei Flut	2···5	Nordamerikanisches Becken	6894
Doggerbank (Nordsee)	13	Keigraben (südöstlich vom Malaiischen	
Landsorter Tief (Ostsee)	459	Archipel)	6504
Skagerrak (Nordsee)	725	Aleutengraben	7443
Schwarzes Meer	2245	Sundagraben (Planettiefe)	7455
Mittelmeer westlich Kreta	4901	Riukiugraben (Ostasien)	7481
mittlere Tiefe der Ozeane	4420	Japgraben (Mikronesien)	7538
Niederkalifornischer Graben	4866	Neuhebridengraben (Melanesien)	7570
Golf von Biskaya	5089	Atacamagraben (chilenische Küste)	7819
Mexikanischer Graben	5428	Palaugraben (Mikronesien)	8138
Nördliches Eismeer (nordöstlich der Neusibirischen Inseln)	5220	Meteortiefe (Südsandwichgraben)	8264
		Japanischer Graben	8513
Caymangraben (Mittelamerika)	6296	Bougainvillegraben (Melanesien)	9140

Puerto-Rico-Graben (Milwaukeetiefe)	9219
Kermadecgraben (nordöstlich von Neuseeland)	9427
Boningraben (zwischen Japan und den Marianeninseln)	9435
Snelliustiefe (Philippinengraben)	10130
Ramapotiefe (südöstlich von Japan)	10374
Witjastiefe (Kurilen-Kamtschatka-Graben)	10382
Philippinengraben:	
Emdentiefe	10400
Cape-Johnson-Tiefe	10497
Galatheatiefe (östlich der Philippinen)	10540
Challenger-(II)-Tiefe (südwestlich von Guam)	10863
Horizontiefe (Tongagraben)	10892
Witjastiefe (Marianengraben)	11034

TAUCHTIEFEN

Perlentaucher	etwa 30 m
Taucher mit Tauchanzug	100 m
Taucher mit Tauchpanzer	200 m
Unterseeboot	300 m
W. Beebe (Taucherkugel 1934)	923 m
O. Barton (Taucherkugel 1948)	1370 m
G. Houot und *P. Willm* 1954 „FNRS 3"	4050 m
J. Piccard und *D. Walsh* 22./23. 1. 1960 „Trieste"	10916 m

URSACHE DES GEGENWÄRTIGEN MEERESSPIEGELANSTIEGS

In den letzten Jahrzehnten war im Mittel ein Anstieg des Spiegels der Weltmeere von 1,1 mm im Jahre zu beobachten. Dafür wurden meist als Ursachen das Abschmelzen der Gletscher in den Hochgebirgen und der Eismassen der Polarkalotten (vor allem Grönland) angegeben.

Die Ergebnisse des Internationalen Geophysikalischen Jahres (I.G.J.) ziehen diese Annahmen in Zweifel. Wäre nämlich der Abschmelzverlust vom Eis der vergletscherten Landgebiete der Erde, die etwa 15 Mill. km² betragen ($^1/_{10}$ des Festlandes), so groß wie der der Alpen, wo jährlich 50 cm Wasser je Flächeneinheit der Gletscher bestimmt wurden, müßte das Weltmeer um 2 cm im Jahr steigen. Da jedoch nur $^1/_{20}$ dieses Betrages errechnet wurde, ist dies ein sicherer Beweis, daß die Eismasse der Antarktis keinen Beitrag liefert. Es scheint im Gegenteil sicher, daß nach den Messungen des I.G.J. im antarktischen Kontinent mit einem Zuwachs von 1000 km³ zu rechnen ist. Der Entzug dieser Wassermasse würde den Meeresspiegel um 2,9 mm im Jahr absenken. Zum tatsächlich vorhandenen Anstieg von 1,1 mm ergibt sich also eine Differenz von 4 mm, die durch Wirkung großräumiger Erwärmung der Gesamterde, die wir augenblicklich miterleben, gedeutet wird.

Hoinkes gibt hierzu folgende Daten an: Bei einer mittleren Ozeantemperatur von + 3,8 °C, einer mittleren Tiefe von 3800 m und einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Wassers von 0,015 erhält man den geforderten Anstieg von 4 mm je Jahr bei einer jährlichen Erwärmung des Meerwassers um 0,007 °C. Dieser Wert erscheint glaubhaft, da in der Periode von 1890/97 bis 1926/33 nach Messungen, die im Nordatlantik durchgeführt wurden, wir eine Erwärmung von 0,3 °C für diesen Zeitraum feststellen können. Dieses Meßergebnis bestätigt den oben zugrunde gelegten Temperaturwert.

Das Anwachsen des Eises der Antarktis steht daher nicht im Gegensatz zu der gegenwärtigen Erwärmung. Man muß vielmehr den beobachteten Anstieg des Meeresspiegels als komplexe Wirkung mehrerer Vorgänge deuten, die im einzelnen gegenläufige Tendenz zeigen.

DIE GEZEITEN

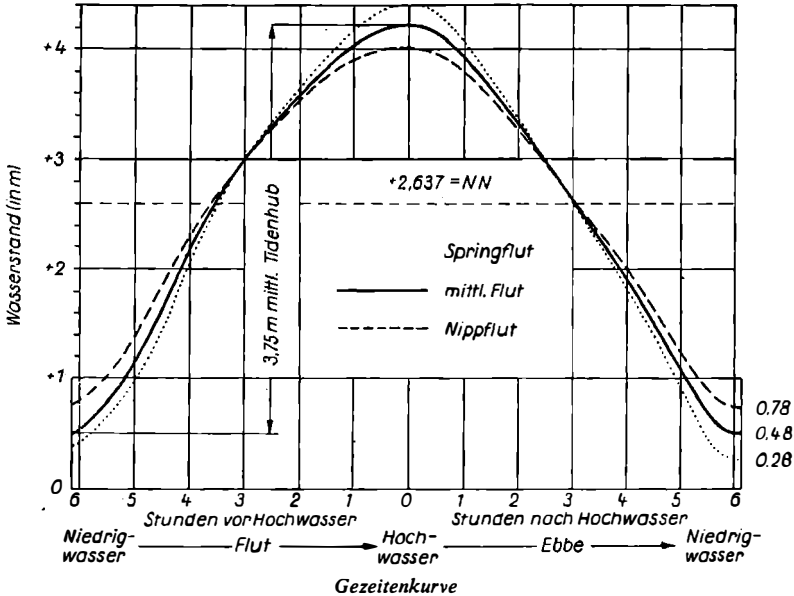
Die Gezeiten, auch *Ebbe* und *Flut* genannt, bezeichnen das täglich meist zweimalige Steigen und Fallen des Meeresspiegels. Alle Ozeane sowie Randmeere, die mit einem Ozean in unmittelbarer Verbindung stehen, werden von diesen regelmäßigen Schwankungen betroffen. Die beiden extremen Wasserstände werden als *Hoch-* und *Niedrigwasser*, der Unterschied zwischen beiden wird als *Tidenhub* bezeichnet. *Tide* nennt man den zeitlichen Abstand von einem Hochwasser bis zum Eintritt des nächsten.

Die irdischen Gezeiten werden durch die Anziehung von Mond und Sonne hervorgerufen. Die fluterzeugende Wirkung der Sonne macht infolge ihrer großen Entfernung nur $^2/_5$ derjenigen des Mondes aus. Die Gezeitenwirkungen, die von den Planeten ausgehen, sind zu gering, als daß sie sich nachweisen ließen.

Die *fluterzeugenden Kräfte* ergeben sich an jedem Punkt der Erdoberfläche als Resultierende aus der dort wirksamen Anziehungskraft und der Fliehkraftkomponente, die jeweils bei der Bewegung des Systems Erde–Mond bzw. Erde–Sonne um den gemeinsamen Schwerpunkt entsteht.

Liegen die Anziehungskräfte von Sonne und Mond in einer Linie, wie es bei Voll- und Neumond der Fall ist, so verstärken sie sich gegenseitig, und die entstehende Flutwelle ist besonders hoch (*Springflut*). Stehen dagegen Sonne und Mond von der Erde aus gesehen um 90° gegeneinander versetzt, wie wir es beim ersten und letzten Mondviertel beobachten können, so schwächen sich die beiden Tiden gegenseitig, weil dann entweder Mondniedrigwasser und Sonnenhochwasser zusammentreffen oder umgekehrt (*Nippflut*). Entsprechend den Mondphasen treten allmonatlich zweimal Spring- bzw. Nipptiden auf.

Während nach der klassischen Theorie zwei Flutberge beständig die Erde umkreisen, sind die wirklichen Gezeiten weit komplizierter. Die Wassermassen der Weltmeere stehen zwar miteinander in Verbindung, doch verhindern die Festlandsgebiete einen im Sinne der Mondbewegung ostwestlichen Umlauf der Gezeitenwelle um die Erde. In jedem Ozean entsteht daher eine besondere Flutwelle, die von der Form und Erstreckung desselben abhängt. Der Atlantische Ozean wird z. B. regelmäßig in etwa 8 Stunden von einer Flutwelle durchlaufen, die sich von der Südspitze Afrikas bis nach Grönland deutlich verfolgen läßt. Treten Flutwellen in Randmeere ein, so bilden sich hier u. U. der Flutwelle überlagerte Eigenschwingungen, sogenannte *Mitschwingungsgezeiten* aus. Dann läßt sich mit dem Mondhöchststand und dem Eintritt des Hochwassers kein enger Zusammenhang mehr finden. Man bezeichnet die Zeitdifferenz zwischen dem Monddurchgang durch den Ortsmeridian und der Eintrittszeit des Hochwassers als *Hafenzeit*.



Gezeitenkurve

Orte mit maximalem Tidenhub. Wo Gezeitenwellen in enge Meeresbuchten oder Flußmündungen eindringen, wird durch Stau der Tidenhub erheblich verstärkt. Höchstwerte werden in der Fundy-Bai in Neuschottland mit 20 m Tidenhub erreicht.

Europäische Gewässer

Deutsche Bucht	bis 4 m
Calais, Ärmelkanal	bis 7 m
Le Havre, Seinemündung	bis 8 m
Mont St. Michel, Bucht von St. Malo	bis 13 m
Dover, Ärmelkanal	bis 6 m
Hull, Humber-Mündung	über 6 m
London, Themse	bis 7 m
Liverpool und Morecambe-Bay	über 8 m
Port of Bristol, Bristol-Kanal	bis 14 m

Afrikanische Gewässer

Nunez-Mündung, Guinea	bis 6 m
Malagasy, Westküste	bis 6 m
Sofala-Mündung, Ostafrika	bis 7 m

Süd- und ostasiatische Gewässer

Moulmein River, Birma	bis 7 m
Ganges-Delta, südlich Kalkutta	bis 7 m
Bhaunagar, 300 km nördlich Bombay	bis 11 m
Südwestküste von Kiuschu	bis 6 m

Penschinski-Golf, Ochotskisches Meer	über 9 m
Sansa-Bucht, nördlich der Straße von Taiwan	bis 7 m
Kanghoa-Bucht, West-Korea	bis 9 m
Hangdschou-Bucht, südwestlich Schanghai	bis 11 m
Australische Gewässer	
Port Darwin	bis 7 m
Roebuck- und La-Grange-Bay	bis 9 m
Collier-Bay und King Sound	fast 12 m
Broad Sound	bis 10 m
Südamerikanische Gewässer	
Delta des Amazonenstroms, Nordseite	bis 9 m
Golf von Panamá	bis 6 m
Golf von Ancud und Golf von Corcouado, Chile	bis 7 m
Puerto Santa Cruz, Patagonien	bis 11 m
Osteinfahrt der Magalhãesstraße, Nordseite	bis 13 m
Nordamerikanische Gewässer	
St.-Lorenz-Strom, Kanada	fast 6 m
Chatham-Sound und Queen-Charlotte-Inseln, British-Columbien	bis 6 m
Colorado-Mündung, Kalifornien	über 8 m
Cook-Einlaß, Alaska	bis 11 m
Frobisher-Bay, Davis-Straße	bis 14 m
Fundy-Bay, Neubraunschweig/Neuschottland	bis 20 m

MEERESSTRÖMUNGEN

Name	Meer	Temperatur	Ursache
Durch Wind hervorgerufene Strömungen			
a) *nicht an Jahreszeiten gebundene Strömungen:*			
Nord- und Südäquatorialstrom	Atlantischer, Indischer und Großer Ozean	warm	Passatwinde (Nordostpassat nördlich, Südostpassat südlich vom Äquator)
Golfstrom (mit Florida-, Irischem und Norwegischem Strom)	Atlantischer Ozean	warm	Aufstauung des nordäquatorialen Karibenstromes im Golf von Mexiko
Kuro-Schio-Strom	Großer Ozean	warm	Abzweigung des Nordäquatorialstromes
Ostaustralstrom	Großer Ozean	warm	Abzweigung des Südäquatorialstromes
Brasilstrom	Atlantischer Ozean	warm	
Agulhas- (Moçambique-) Strom	Indischer Ozean	warm	
polare Westwindrift	Atlantischer, Indischer und Großer Ozean	kalt	dauernd wehende „Brave Westwinde"
Perú- oder Humboldtstrom	Großer Ozean	kalt	Abzweigung der Westwindrift
Falklandstrom	Atlantischer Ozean	kalt	
Benguelastrom	Atlantischer Ozean	kalt	
Westaustralstrom	Großer Ozean	kalt	
Ostgrönlandstrom	Atlantischer Ozean	kalt	Abfluß kalten Polarwassers
Labradorstrom			
b) *jahreszeitliche Strömungen:*			
Monsunstrom	Indischer Ozean	warm	im Sommer landwärts, im Winter meerwärts wehende Monsune
Oyashio(-Strom)	Großer Ozean	kalt	winterlicher Abfluß aus Ochotskischem und Beringmeer
Durch Auftriebwasser hervorgerufene Strömungen			
Kanarenstrom	Atlantischer Ozean	kalt	aufgetauchtes Kaltwasser
Kalifornienstrom	Großer Ozean	kalt	

Der Seegang

See-gang	Kennzeichen der See nach *Petersen*	mittlere Wellen-länge in m	größte Wellenhöhe in m	*Beaufort*
0	spiegelglatte See	—	—	0
1	kleine schuppenförmig aussehende Kräuselwellen ohne Schaumkämme	0,1···0,2	0···0,02	1
2	kleine Wellen, noch kurz, aber ausgeprägt; Kämme sehen glasig aus und brechen sich nicht, Kämme beginnen sich zu brechen; Schaum überwiegend glasig, ganz vereinzelt können kleine weiße Schaumköpfe auftreten	2···6	0,05···0,35	2···3
3	Wellen noch klein, werden aber länger; weiße Schaumköpfe treten bereits ziemlich verbreitet auf	15	1,1	4
4	mäßige Wellen, die eine ausgeprägte lange Form annehmen; überall weiße Schaumkämme; ganz vereinzelt tritt schon Gischt auf	30	2,7	5
5	Bildung großer Wellen beginnt; Kämme brechen sich und hinterlassen größere weiße Schaumflächen; etwas Gischt	50	5,2	6
6	See türmt sich; der beim Brechen entstehende weiße Schaum beginnt sich in Streifen in die Windrichtung zu legen	80	8,8	7
7	mäßig hohe Wellenberge mit Kämmen von beträchtlicher Länge; von den Kanten der Kämme beginnt Gischt abzuwehen; Schaum legt sich in gut ausgeprägten Streifen in die Windrichtung; hohe Wellenberge, dichte Schaumstreifen in Windrichtung; „Rollen" der See beginnt; Gischt kann die Sicht schon beeinträchtigen	115···163	14···22	8···9
8	sehr hohe Wellenberge mit langen überbrechenden Kämmen; See ist weiß durch Schaum, schweres stoßartiges „Rollen" der See; Sicht beeinträchtigt durch Gischt	225	32	10
9	außergewöhnlich hohe Wellenberge, durch Gischt herabgesetzte Sicht — Luft mit Schaum und Gischt angefüllt; See vollständig weiß; Sicht sehr stark herabgesetzt, jede Fernsicht hört auf	300 und mehr	45	11···12

MEERENGEN

Name	zwischen	geringste Breite in km
Kleiner Belt	Jütland–Fünen	0,66
Großer Belt	Fünen–Seeland	15
Öresund	Seeland–Schweden	4
Ärmelkanal	Dover–Calais	33
Gibraltar	Spanien–Marokko	14
Straße von Bonifacio	Korsika–Sardinien	10
Straße von Messina	italienischem Festland–Sizilien	3,5

Name	zwischen	geringste Breite in km
Straße von Otranto	Italien–Albanien	75
Kanal von Euripos	griechischem Festland–Euböa	0,04
Dardanellen	europäischer–asiatischer Türkei	1,3
Bosporus	europäischer–asiatischer Türkei	0,7
Straße von Kertsch	Krim–Kaukasien	4
Karische Pforte	Nowaja Semlja–Insel Waigatsch	45
Bab el Mandeb	Afrika–Arabien	17,5
Straße von Hormus	Arabien–Iran	15
Palkstraße	Indien–Ceylon	55
Malakkastraße	Malakka–Sumatera	36
Torresstraße	Australien–Irian	85
Baßstraße	Australien–Tasmanien	160
Cookstraße	Neuseeland: Nordinsel–Südinsel	85
Fukienstraße	China–Taiwan	120
Koreastraße	Korea–Japan	140
Straße von Schimonoseki	Kiuschu–Hondo	0,6
Bungestraße	Kiuschu–Shikoku	12
Tsugarusstraße	Hondo–Hokkaido	20
La-Pérouse-Straße	Hokkaido–Sachalin	40
Beringstraße	Sibirien–Alaska	75
Magalhãesstraße	Südamerika–Feuerland	4
Monapassage	Puerto Rico–Haïti	105
Windwardpassage	Haïti–Cuba	85
Yucatanstraße	Cuba–Yucatan (Mexiko)	220
Cloridastraße	Cuba–Florida (USA)	160
Fabotstraße	Kanada–Neufundland	60
Hudsonstraße	Labrador–Baffinland	120

ARTEN DES MEEREISES

Eisart	Kennziffer	Eisart	Kennziffer
eisfrei	0	offene Seerinne längs der Küste	5
loser Eisbrei oder Neueis	1	starkes Festeis (über 15 cm)	6
Festeis (unter 15 cm dick)	2	starkes Treibeis (Schollen über	
Treibeis (Schollen unter 15 cm)	3	15 cm dick)	7
zusammengeschobener Eisbrei		Packeis	8
oder dichte Treibeisstreifen	4	Eispressung	9

Der sogenannte „Baltische Eisschlüssel" wird seit 1928/29 von den Randstaaten der Nord- und Ostsee für den Eismeldedienst verwendet.

WICHTIGE FJORDE

Name	Land	Länge in km
Hamilton Inlet	Labrador	240
Limfjord	Dänemark (Jütland)	180
Sognefjord	Norwegen	175
Hardangerfjord	Norwegen	172
Trondheimfjord	Norwegen	130
Pamplicosund	USA	130
Varangerfjord	Norwegen	120
Porsangerfjord	Norwegen	120
Oslofjord	Norwegen	100
Nordfjord	Norwegen	90
Lyngenfjord	Norwegen	90
Albemarlesund	USA	90
Laxefjord	Norwegen	70
Tanafjord	Norwegen	70
Lysefjord	Norwegen	40
Isefjord	Dänemark (Seeland)	40

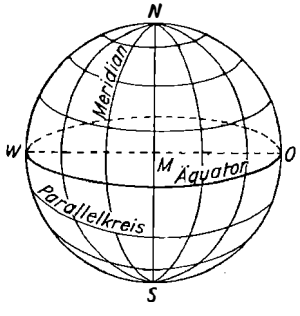
X. Ortsbestimmung auf der Erdoberfläche

Zur eindeutigen Festlegung eines beliebigen Punktes auf der Erdoberfläche muß dieselbe mit einem *Netz* oder *Gitter* überzogen werden, das mathematischen Gesetzen entspricht. Obgleich unsere Erde ein *Rotationsellipsoid* ist, wird bei dieser Betrachtung die Erde als Kugel mit gegebenem Halbmesser $R = 6370$ km angenommen.

ÜBERSICHT DER KOORDINATENSYSTEME

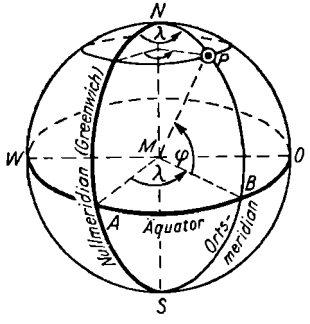
a) *Geographische Koordinaten*

Die Erde wird in 360 Großkreise eingeteilt, die durch den Nord- und Südpol verlaufen. Diese Großkreise werden als *Meridiane, Mittagslinien* oder *Längenkreise* bezeichnet.
Rechtwinklig zur Erdachse *NS* liegt in der Erdmitte der *Äquator*. Parallel zum Äquator befinden sich nach Norden und Süden je 89 *Parallelkreise, Breitenkreise* oder *Kleinkreise*.



Links: *Erde mit geographischem Netz; M Erdmittelpunkt, N Nordpol, S Südpol, W West, O Ost, NS Erdachse*

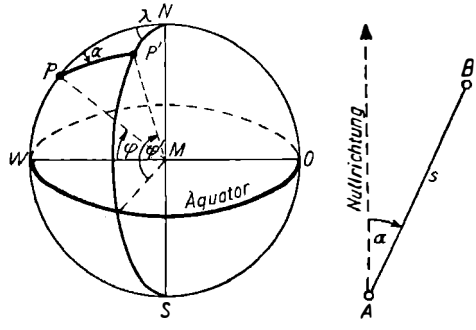
Rechts: *Punktbestimmung auf der Erde mit geographischen Koordinaten*



Die Lage eines Punktes *P* auf der Erdoberfläche wird festgelegt durch seine *geographische Länge* λ, dargestellt entweder als Winkel λ im Pol *N* zwischen dem angenommenen Null- oder Bezugsmeridian (Greenwich) *NAS* und dem durch Punkt *P* verlaufenden Ortsmeridian *NPBS* oder als Bogen *AB* auf dem Äquator, seine *geographische Breite* φ, dargestellt durch den Zentriwinkel $BMP = \varphi$ oder als Meridianbogen *BP* des Ortsmeridians *NPBS* und seine *Höhe*, gemessen in Metern über einer als *Normalnull* oder *Bezugsniveau* bezeichneten und mit 0,00 m angenommenen mittleren Meereshöhe.

Die geographischen Koordinaten der Länge λ werden vom *Nullmeridian* (Greenwich) fortlaufend nach Osten von 0° bis 360° gezählt. Vereinzelt wird sowohl nach Osten bis 180° als auch nach Westen bis 180° beziffert, dann wird die Länge des Punktes als östlich bzw. westlich von Greenwich angegeben.

Die geographischen Koordinaten der Breite φ werden vom Äquator nach Norden oder Süden je nach Lage des Punktes als nördliche bzw. südliche Breite jeweils von 0° bis 90° zählend angegeben.



Punktbestimmung mit Polarkoordinaten

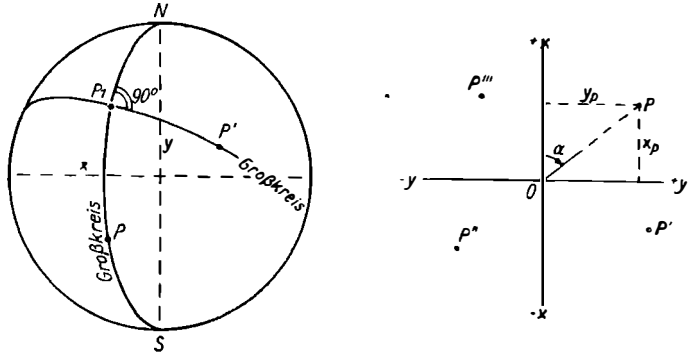
b) *Polarkoordinaten*

Ist *P* ein fester Punkt auf der Kugel, dann kann ein zweiter Punkt *P'* gegen *P* durch die Angabe des *Bogenabstandes PP'* und des *Azimutes* $NPP' = a$ festgelegt werden. Die Azimute werden meist von Norden über Osten gezählt.
Werden *Polarkoordinaten* für kleinere, ebene Gebiete der Erdoberfläche verwendet, dann wird von einem Festpunkt *A* ein zweiter Punkt *B* durch die horizontale Strecke *s* und den *Richtungswinkel* α von einer Nullrichtung aus festgelegt und bestimmt.

c) *Rechtwinklige Koordinaten*

Auch auf der Kugel kann ein *rechtwinkliges Koordinatensystem* benutzt werden. Ein beliebiger Großkreis *NPS* dient als *Abszissenachse*, die *Ordinaten* sind ebenfalls Großkreise rechtwinklig zur Abszissenachse. Meist bildet der Meridian durch den Nullpunkt *P* die Abszissenachse. Zur

Bestimmung von P' wird ein Großkreis P_1P' rechtwinklig zur Abszissenachse gelegt und dann ist $PP_1 = x$ die Abszisse und $P_1P' = y$ die Ordinate. Es werden die Abszissen x nördlich vom Nullpunkt und die Ordinaten y östlich positiv gezählt. Einer Anzahl Karten liegen diese *rechtwinklig-sphärischen Koordinaten* (1809 *Soldner*, Bayern) zugrunde.



Punktbestimmung nach rechtwinkligen Koordinaten auf der Kugel und in der Ebene

Die Lage eines Punktes P in der Ebene wird bestimmt durch die rechtwinkligen Koordinaten x_p und y_p; x ist die Hauptachse, die y-Achse steht rechtwinklig zu ihr. Die Koordinaten erhalten algebraische Vorzeichen + und −. P hat die Koordinaten $+y_P$ und $+x_P$, P' hat $+y_{P'}$ und $-x_{P'}$, P'' hat $-y_{P''}$ und $-x_{P''}$ usw. Die Richtung des vom Koordinatenursprung O nach P gehenden Strahles OP wird durch den Richtungswinkel $= \alpha$ bestimmt.

ASTRONOMISCHE ORTSBESTIMMUNG

Die Hauptaufgabe der astronomischen Ortsbestimmung ist die Bestimmung der geographischen Koordinaten von Punkten auf der Erdoberfläche durch astronomische Messungen.

Zeitbestimmung. Zur Zeitmessung wird die scheinbar gleichförmige Drehung des Himmels um die Erdachse benutzt. Die Standorte der Gestirne lassen sich durch *Äquatorkoordinaten* angeben. Bei astronomischen Beobachtungen muß die augenblickliche Stellung der Himmelskugel festgehalten werden, da sich das ganze System in Bewegung befindet.
Mit der *Zeitbestimmung* werden *Stand-* und *Gangkorrektion* der nicht absolut genau gehenden Uhren (Chronometer, Pendeluhren, Quarzuhren) ermittelt. Die Zeit wird zu solchen Augenblicken abgelesen, deren wahre Zeit bekannt ist. Bei *Zeitzeichenempfang* führt die Zeitbestimmung zur *Weltzeit* (WZ, mittlere Greenwicher Zeit), *mitteleuropäischen Zeit* (MEZ) bzw. *osteuropäischen Zeit* (OEZ) und bei Zeitbestimmungen aus astronomischen Messungen zur *Ortszeit*. Der Zeitunterschied von Ortszeit und Weltzeit ist gleich dem Längenunterschied λ der beiden Orte.
Als *Sterntag* wird die Zeit bezeichnet, in der eine vollständige Umdrehung des Himmels um die Erde erfolgt. Er beginnt bzw. endet für einen Beobachtungsort in dem Moment, wenn der *Frühlingspunkt* im Süden durch den Meridian des Ortes hindurchgeht.
Ein *wahrer Sonnentag* beginnt für einen Beobachtungsort mit dem Durchgang der Sonne durch den Meridian des Ortes im Norden (*untere Kulmination*).

Breitenbestimmung. Winkelmessungen auf einem Punkt der Erde werden nicht auf die *Äquatorebene*, sondern auf die *Tangentialebene* an der Erdkugel im Beobachtungspunkt bezogen. Ein zweites Himmelskoordinatensystem, das *Horizontalsystem*, trägt dem Rechnung. Die *Lotlinie* im Standpunkt durchstößt in deren Verlängerung die Himmelskugel im sog. *Zenitpunkt Z*.
Steht ein Stern genau im Himmelspol, dann liegt der einfachste Fall der Breitenbestimmung vor. Wird zu diesem Zeitpunkt die Zenitdistanz Z_0 und die Höhe h_0 des Sternes gemessen, erhält man

$$\varphi = 90° - Z_0 = h_0$$

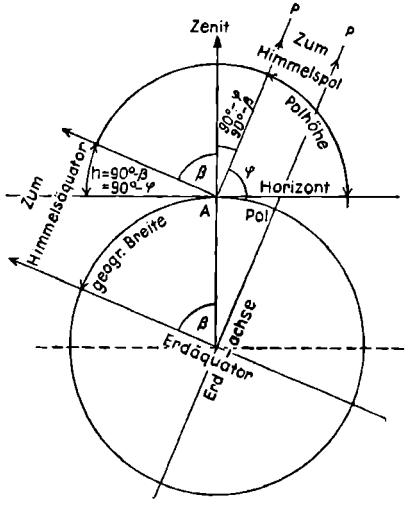
Bestimmung der geographischen Breite

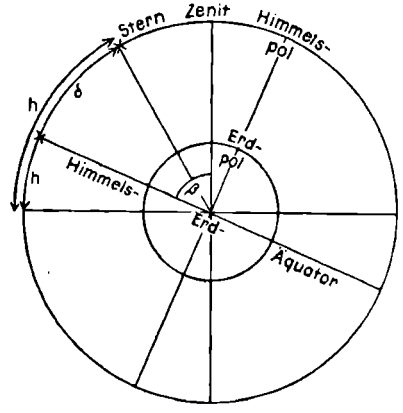
Mit Hilfe des Polarsternes

Man geht davon aus, daß die *Breite* (β) *eines Ortes* (A) gleich ist der Höhe des Himmelspoles (P) über dem Horizont, *Polhöhe* (φ) genannt, und daß die Höhe (h) des Himmelsäquators über dem Horizont die Polhöhe oder geographische Breite zu einem rechten Winkel ergänzt:

$$h = 90° - \varphi = 90° - \beta; \qquad \text{also } \beta = 90° - h$$

Da der Himmelspol nicht durch einen hellen Stern markiert ist, so ist die *Messung* der Polhöhe *nicht einfach*. Der Polarstern, der etwa 1° (genauer 70') vom Pol entfernt ist, läßt sich nur dann leicht benutzen, wenn Mizar senkrecht unter oder über ihm steht. Im ersten Falle sind von der gemessenen Höhe 70' abzuziehen, im zweiten 70' zuzuzählen. In den dazwischenliegenden Fällen ist die Berechnung erheblich schwieriger.





Rechts: *Bestimmung der geographischen Breite mit Hilfe eines Sternes*

Links: *Messen der Polhöhe*

Mit Hilfe des Himmelsäquators

Man mißt die Höhe (h) des Himmelsäquators. Diese läßt sich nur zur Zeit der Tagundnachtgleichen, wenn die Sonne über dem Äquator steht, unmittelbar aus der Mittagshöhe der Sonne gewinnen.

Mit Hilfe irgendeines Sternes

Zur Bestimmung der geographischen Breite φ können sämtliche Sterne in jeder beliebigen Stellung benutzt werden. Zur Vermeidung der umständlichen Rechnung werden jedoch für die Messung solche Sterne benutzt, die gerade im Meridian stehen. Der Abstand des Sternes vom Äquator kann aus einem Sternatlas oder Sternkatalog entnommen werden, und man erhält

$h = h' - \delta$ (bei nördlicher Deklination).
$= h' + \delta$ (bei südlicher Deklination)

Daraus ergibt sich

die Breite eines Ortes $\varphi = 90° - h$

Längenbestimmung. Für die Bestimmung der geographischen Länge λ gibt es an der scheinbaren Himmelskugel keinen direkt meßbaren Winkel. Da alle Orte auf demselben Meridian gleiche Ortszeit haben, so kann aus dem Unterschied der Stundenwinkel eines Gestirnes am Beobachtungsort und in Greenwich die Länge ermittelt werden. Es muß durch eine Zeitbestimmung die *Ortszeit* U festgelegt und diese dann zu einem bestimmten Zeitpunkt mit der *Ortszeit* U_0 des Nullmeridians (Greenwich) verglichen werden.
Da 24 Stunden 360° entsprechen, so läßt sich der in Stunden angegebene Längenunterschied in Grad umrechnen. Zum Vergleich der Ortszeit, z. B. $U = 11^h$, eines Beobachtungspunktes mit der Ortszeit, z. B. $U_0 = 12^h$, von Greenwich (WZ) benutzt man die Rundfunkzeitsignale, die die WZ aussenden.

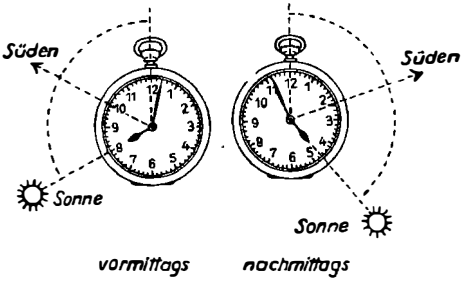
$$\lambda = U_0 - U = 12^h - 11^h = 1^h = 15°$$

Azimutbestimmung. Zur Bestimmung des astronomischen Azimut, unter dem man den horizontalen Winkelabstand eines Gestirnes vom Südpunkt des *Ortsmeridians* versteht, muß die Südrichtung des Ortsmeridians festgelegt werden.
Das *geodätische Azimut* entspricht durchaus dem astronomischen, es wird jedoch vom Norden aus über Osten gezählt. Zur Bestimmung des astronomischen Azimuts werden andere Elemente gemessen, z. B. Stundenwinkel und Zenitdistanz eines Sternes. Aus dem ermittelten astronomischen Azimut kann dann das geodätische abgeleitet werden.
Die Messung des *Kulminationspunktes* von Gestirnen ergibt die *Meridianrichtung*.

Feststellung der Nordsüdlinie ohne Kompaß

a) bei *Tage* mit Hilfe der Taschenuhr, indem man den Stundenzeiger (kleinen Zeiger) auf die Sonne richtet und den Winkel zwischen Stundenzeiger und der 12 halbiert;

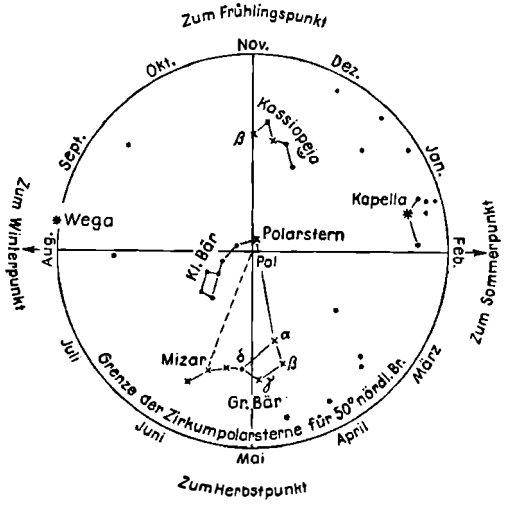
b) bei *Vollmond* ebenfalls mit Hilfe der Taschenuhr. Stundenzeiger zum Vollmond halten und den Winkel zwischen Stundenzeiger und 12 halbieren.



Bestimmung der Südrichtung

Bestimmung der Himmelsrichtung mit Hilfe des Polarsternes. Verlängert man die Verbindungslinie von β und α im Großen Bären über α hinaus in der in der Skizze angegebenen Weise, so trifft man auf α im Kleinen Bären, den *Polarstern.* Verbindet man diesen Stern mit Mizar im Großen Bären, so trifft man etwa 2 Vollmondbreiten (genau 70') vom Polarstern auf den *Himmelspol*, um den sich alle Sterne einmal am Tage drehen. Der Polarstern umkreist also den Pol auf einem Kreise von 140 Bogenminuten Durchmesser.

Verbindet man die Mitte zwischen δ und γ im Großen Bären mit dem Polarstern, so trifft die über diesen verlängerte Linie zunächst auf β in der Cassiopeia und weiterhin auf den *Frühlingspunkt.* Ihm gegenüber liegt der *Herbstpunkt.* An diesen beiden Punkten schneidet die Sonne den Äquator. Die Linie Frühlingspunkt–Herbstpunkt nennt man *Kolur der Tagundnachtgleichen,* β Cassiopeiae den *Kolurstern.* Die Entfernung Polarstern–Kolurstern beträgt 30°. Die Linie, die senkrecht zu dieser Linie durch den Pol geht, heißt *Kolur des Winter- und Sommerpunktes.* An diesen Punkten wendet die Sonne. Hält man den Kreis, wenn man zum Polarstern schaut, so, daß der Monat, in dem man sich befindet, oben liegt, so erhält man ungefähr die Stellung der Sternbilder zum Polarstern jeweils um 20^h abends. *Zu Beginn des Frühlings* geht der Frühlingspunkt zusammen mit der Sonne um 6^h (Ortszeit) genau im Osten auf und um 18^h genau im Westen unter. Der Herbstpunkt tut dasselbe 12 Stunden später, steht also um Mitternacht genau im Süden. *Zu Beginn des Herbstes* ist es umgekehrt. Steht die Verbindungslinie Polarstern–Mizar genau senkrecht auf dem Horizont, so liegt sie in der Nordsüdrichtung.



Bestimmung der Himmelsrichtung mit Hilfe des Polarsternes

GEODÄTISCHE GRUNDLAGEN

Die Geodäsie ist die Wissenschaft und Lehre, die sich mit der Bestimmung und Berechnung der Größe, Form und Gestalt der Erde mit mathematischen und physikalischen Mitteln und mit der Aufnahme, Vermessung und Darstellung der Erdoberfläche beschäftigt.

1. Landesvermessung (*Höhere Geodäsie*). Die *Landesvermessung* oder Höhere Geodäsie befaßt sich mit der Ausmessung von Ländern, Kontinenten und der gesamten Erde unter Berücksichtigung der „wahren" Erdgestalt. Die Berechnungen werden auf eine gekrümmte Fläche (*Kugel, Ellipsoid, Rotationsellipsoid*) als Bezugsfläche bezogen und die Resultate in die gewünschte Kartenebene projiziert.

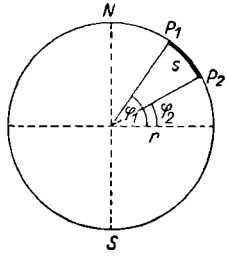
Man betrachtet die Erdoberfläche für Lagemessungen

a) als *Ebene*, bis zur Ausdehnung von 1 Quadratmeile (rund 55 km²);

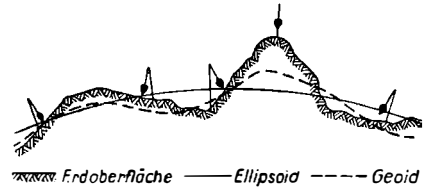
b) als *Kugel*, deren Halbmesser der Erdkrümmung an der betreffenden Stelle möglichst entspricht, diese Annahme reicht bis zur Ausdehnung von einigen hundert Quadratmeilen;

c) als *Ellipsoid*, von gegebenen Größenwerten für die Aufnahme ganzer Staatsgebiete.

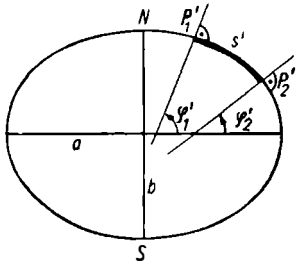
Die gewählten Rechenkörper decken sich nicht mit der wirklichen Erdoberfläche, auch nicht mit einem ruhend gedachten Meeresspiegel. Der *Meeresspiegel* ist eine *Gleichgewichtsfläche* (Niveaufläche) im Schwerefeld der Erde. Seine unregelmäßige Gestalt ist abhängig von den zufälligen Massenverteilungen im Erdinnern. Diesen auch unter den Kontinenten weitergeführt gedachten Meeresspiegel nennt man *Geoid*. Abweichungen zwischen Geoid und Rotationsellipsoid betragen bis zu 50 m; außerdem haben die in einem Punkte gefällten Lote verschiedene Richtungen (Lotabweichungen).
Eine der wichtigsten Aufgaben der Landesvermessung ist die Feststellung der Unterschiede zwischen dem physikalischen Geoid und der mathematischen Rechenfläche (Ellipsoid).



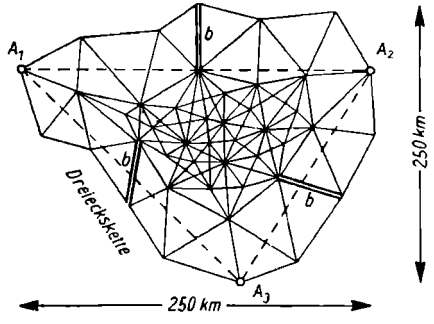
Meridianbogen bei Kugelgestalt der Erde



Lage von Geoid und Ellipsoid zur Erdoberfläche und Lotabweichungen (schematisch)



Meridianbogen beim Erdellipsoid



Aufbau eines Flächennetzes I. Ordnung mit Verdichtungsnetz; A_1, A_2, A_3 Zielpunkte astronomisch bestimmt (φ, λ), b Grundlinie oder Basis

Größen der in der Geodäsie benutzten mathematischen Rechenflächen

	Kugel	Rotationsellipsoid		
		Bessel (1841)	*Hayford* (1924)	*Krassowskij* (1942)
Große Halbachse a	~ 6370000 m	6377397 m	6378388 m	6378245 m
Kleine Halbachse b		6356079 m	6356911 m	6356863 m
Abplattung $\frac{a-b}{a}$		1 : 299,15	1 : 296,99	1 : 298,39

Lagefestpunktfeld. Zum Vermessen großer Landflächen und Kontinente überspannt man das Gebiet mit einem Dreiecksnetz. Diese *Dreiecksnetzpunkte* werden durch *Signale* (bis 40 m hohe Gerüste) markiert. Die *Dreiecksseiten* sind 40 km, maximal 100 bis 150 km lang. Bei der *Triangulation* werden sämtliche Dreieckswinkel mit *Winkelmeßinstrumenten* (Theodoliten) und wenige Dreiecksseiten, die *Grundlinien* oder *Basen*, gemessen.

a) Messung von Grundlinien mit *Basislatten*, *Invardrähten*, *Invarbändern* (Eisen-Nickel-Legierung) und *physikalischen Verfahren* (Interferenzmethode);

b) Messung von Dreiecksseiten (*Trilateration*) unmittelbar durch physikalische Verfahren (lichtelektrische Verfahren, Impuls- und Relaisverfahren);

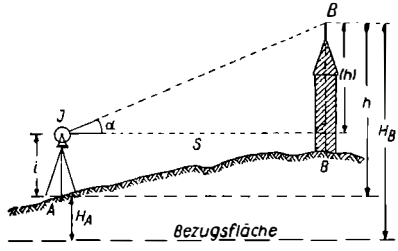
c) Messung von Längen durch das astronomische Längenmeßverfahren; es wird die Laufzeit des Schattens des Mondes über die Erde bei Sonnenfinsternissen gemessen (*Bonsdorff* hat 1947 damit die Entfernung Westafrika-Südamerika auf ±30 m genau bestimmt);

d) Winkelmessungen I. Ordnung werden mit einem sehr genauen Theodoliten durchgeführt, meist mit photographischer Registrierung der Meßzahlen; Zielpunkte werden tags mit Sonnenspiegel (*Heliotropen*), nachts mit elektrischem Licht signalisiert.

Höhenfestpunktfeld. Durch das Dreiecksnetz werden Punkte der Lage nach auf dem Erdellipsoid festgelegt. *Höhenfestpunkte* sind jene Punkte auf der Erdoberfläche, deren Höhen über einer bestimmten Bezugsfläche mit der erforderlichen Genauigkeit ermittelt worden sind.

Bezugsflächen sind im allgemeinen idealisierte Meeresoberflächen, die man sich als in Ruhe befindlich unter dem Festland fortgesetzt denken muß (Geoid). Die spezielle *Niveaufläche* (Geoidoberfläche) wird durch einen etwa im Meeresniveau liegenden bestimmten Punkt — den *Normalhöhenpunkt* — festgelegt. Die Höhenbestimmung der Höhenfestpunkte erfolgt durch Anschluß der Höhenmessungen an diesen Normalhöhenpunkt.

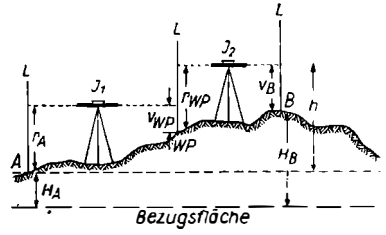
Die Bezeichnung *Meereshöhe* (Höhe des Punktes über der idealisierten Meeresoberfläche) des Geländepunktes hat nur näherungsweise Gültigkeit. Es wird deshalb die strengere Definition der *Höhe über NN* (Normalnull) bevorzugt.



Trigonometrische Höhenbestimmung; i Instrumentenhöhe über A, (h) = S tan *α*, $h = i + (h)$, $H_B = H_A + h$

Für Deutschland erlangte der 1879 an der Berliner Sternwarte bei genau 37,000 m angebrachte Normalhöhenpunkt größere Bedeutung. Die Höhenmarke lag 37 m über dem Nullpunkt des Amsterdamer Pegels. Als Nullniveaufläche galt also die Niveaufläche, die 37 m unter dem Normalhöhenpunkt lag und mit dem Mittelwasser der Nordsee zusammenfiel. Durch Abbruch der Sternwarte wurde 1912 der Normalhöhenpunkt (NH) nach dem Müncheberger Stadtforst verlegt und mit *NH 1912* bezeichnet (liegt 54,638 m über NN). Die einzelnen Staaten haben ihre eigenen *Landeshorizonte* und Normalhöhenpunkte, die bei der Benutzung von Höhenangaben auf Karten berücksichtigt werden müssen.

Die neuen Kartenwerke der Deutschen Demokratischen Republik benutzen als *Höhen-Normal-Null* (*HN*) das Mittelwasser der Ostsee bei *Kronstadt*. Der *Kronstädter Pegel* liegt 0,114 m über NN des Amsterdamer Pegels.



Geometrisches Nivellement; H_A Ausgangshöhe, H_B Abschlußhöhe, h Höhenunterschied, r Rückblick (Lattenabschnitt), v Vorblick (Lattenabschnitt), WP unvermarkter Lattenwechselpunkt, L Nivellierlatte, J Nivellierinstrument mit Libelle

$h = r_A - v_{WP} + r_{WP} - v_B$; $H_B = H_A + h$

Die Ermittlung der Höhenunterschiede zwischen den Punkten erfolgt je nach geforderter Genauigkeit

a) durch *barometrische Höhenbestimmung* mit Barometer, mit einer Genauigkeit von 1 bis 2 m. Die Luftdruckunterschiede werden zwischen den verschieden hoch gelegenen Punkten ermittelt. Unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren und Konstanten werden durch eine entsprechende barometrische Höhenformel die Höhenunterschiede berechnet;

b) durch *trigonometrische Höhenbestimmung* mit einem Theodoliten, mit dem Vertikalwinkel gemessen werden können. Die Genauigkeit bei Entfernungen bis 300 m kann auf Zentimeter, bei Entfernungen von 300 bis 5000 m auf Dezimeter erfolgen. Durch verschiedene Meßanordnungen kann man jedoch auch Höhen bei geringeren Entfernungen, z. B. Turmhöhen, sehr genau ermitteln.

c) durch *geometrisches Nivellement* mit einem Nivellierinstrument bzw. Präzisionsnivellierinstrument. Die Genauigkeit liegt bei wenigen Millimetern bzw. Teilen davon.

Bestimmung des Horizontes. Der Horizont eines Ortes liegt rechtwinklig zum Lot. Mit einer einspielenden Libelle (Röhren- oder Dosenlibelle), z. B. in der Wasserwaage, erhält man den scheinbaren Horizont. Die Ebene des *wahren* Horizontes geht durch den Erdmittelpunkt. Auf den Himmel projiziert, unterscheiden sie sich nicht wesentlich voneinander.

Erhebt man sich um die *Höhe h* (Augenhöhe) über die ruhend gedachte Meeresfläche, vergrößert sich die *Sichtweite s*. Die *Kimm*, das ist die Linie, in der Himmel und Erde zusammenstoßen, vertieft sich um einen Winkel α (Kimmtiefe). Sichtweite s und Kimmtiefe hängen wie folgt von h ab (h in Metern, mittlerer Erdradius $R = 6370$ km):

$$s = \sqrt{h(2R + h)} \approx \sqrt{2Rh}$$

$$s = 3{,}57\sqrt{h} \qquad \text{für } s \text{ in km}$$

$$s = 1{,}93\sqrt{h} \qquad \text{für } s \text{ in sm}$$

$$\alpha = \sin\alpha = \frac{s}{R + h} \approx \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

$$\alpha = 1{,}93\sqrt{h} \qquad \text{für } \alpha \text{ in Bogenminuten}$$

Der durch die atmosphärische Luft eilende Zielstrahl verläuft infolge der von Schicht zu Schicht sich ändernden Dichte und lichtbrechenden Wirkung in einem flachen Bogen. Die sog. *Refraktion* wird durch einen mittleren Koeffizienten berücksichtigt

$$s = 3{,}843\sqrt{h} \qquad \text{für } s \text{ in km}$$

$$s = 2{,}075\sqrt{h} \qquad \text{für } s \text{ in sm}$$

$$\alpha = 1{,}779\sqrt{h} \qquad \text{für } \alpha \text{ in Bogenminuten}$$

Beziehungen zwischen Augenhöhe, Kimmtiefe, Sichtweite und überblickter Fläche

Augenhöhe in m	Kimmtiefe	Sichtweite in km	überblickte Fläche in km²	
1	1,8′	3,8	45	
2	2,5	5,4	91	
5	4,0	8,6	232	
10	5,6	12,1	460	
15	6,9	14,9	695	
20	8,0	17,2	890	
50	12,6	27,2	2320	
100	17,8	38,4	4630	
200	25,2	54,4	9300	
300	30,8	66,6	13900	
400	35,6	76,8	18500	
500	39,8	86	23200	
600	43,5	94	27800	
700	47,1	102	32600	
800	50,4	109	37300	
900	53,4	115	41500	
1000	56,3	121	46000	
1250	1° 02,8	136	58000	
1500	1° 08,9	149	69000	
1750	1° 14,4	161	81000	
2000	1° 19,6	172	93000	
2500	1° 29,0	192	116000	
3000	1° 37,4	210	138000	
4000	1° 53,2	243	185000	
6000	2° 17,7	298	278000	
8000	2° 39,0	344	372000	
175000	12° 24	1607	8120000	Gagarin
302000	16° 18	2115	14020000	Gagarin

2. Vermessungskunde (*Niedere Geodäsie*). Die *Vermessungskunde* vermittelt diejenigen Kenntnisse und Methoden, die zur Einzelaufnahme eines Gebietes notwendig sind. Die Vermessungskunde erstreckt sich auf kleine, noch als eben anzusehende Teile der Erdoberfläche. Die Grundlage für die Einzelaufnahme ist ein Netz von Lage- und Höhenfestpunkten, die sich von den Punkten der Landesvermessung nur durch geringere Punktentfernung und Genauigkeit unterscheiden. Es wird

mit Winkel- und Höhenmeßinstrumenten gemessen, die einfacher und etwas geringer in der Meßgenauigkeit sind. Die Vermessungskunde beschäftigt sich mit:

Grundrißaufnahme und Herstellung von *großmaßstäblichen Lage- und Höhenplänen* für den Bau von Siedlungen, Verkehrswegen, für industrielle und wasserwirtschaftliche Anlagen, für den Bergbau, die Land- und Forstwirtschaft u. a.;
Absteckungs- und *Bauüberwachungsmessungen*, Beobachtung von Senkungserscheinungen;
Lage- und *Höhennetzverdichtungen* durch trigonometrische und nivellitische Arbeiten;
Aufnahmen von *Geländeprofilen* und *Flächennivellements; Katastermessungen.*

3. Topographie. Die *Topographie* (Beschreibung des Ortes) schafft die Grundlagen für die Herstellung von geographischen und topographischen Karten. Bei Verwendung von *Katasterplänen, großmaßstäblichen Lage-* und *Höhenplänen* und *Luftaufnahmen* werden vom Topographen mit vermessungstechnischen Geräten (Theodolit, Nivellier, Kippregel, Meßtisch, Tachymeter) die Objekte und Erscheinungsformen der Erdoberfläche aufgenommen. Die Aufnahme wird an lage- und höhenmäßig bekannte Festpunkte angeschlossen. Diese topographischen Arbeiten dienen zur Herstellung großmaßstäblicher topographischer Karten.
Die *geographische Topographie* benutzt zur Aufnahme eines Gebietes weniger genau arbeitende Instrumente wie Bussole, Neigungsmesser, Schrittzähler, Zeitmesser usw. Die gewonnenen Unterlagen dienen dem Kartographen zur Herstellung kleinmaßstäblicher geographischer Karten.
Der Topograph muß über geodätische, geographische und geomorphologische Kenntnisse verfügen.

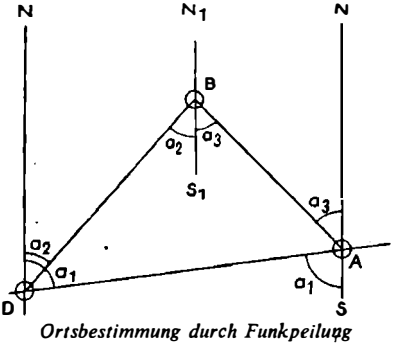
4. Photogrammetrie. Die *Photogrammetrie* oder *Bildmessung* entnimmt die notwendigen Elemente zur Kartenherstellung nicht unmittelbar der Natur wie Landesvermessung, Vermessungskunde und Topographie, sondern aus photographischen Bildern (*Meßbildern*), die von diesen Objekten angefertigt werden. Mit Hilfe von Auswertemethoden und -geräten werden die abzubildenden Gegenstände nur im Grundriß oder Grundriß und Aufriß wiedergegeben. Die Photogrammetrie wird hauptsächlich im Vermessungswesen eingesetzt und ist das jüngste und modernste Vermessungsverfahren. Die Photogrammetrie gliedert sich in zwei große Teilgebiete:

a) die *Erdbildmessung* oder *terrestrische Photogrammetrie;* die Aufnahmekamera (*Phototheodolit*) befindet sich im Augenblick der Aufnahme auf einem festen Standpunkt auf der Erde;

b) die *Luftbildmessung* oder *Aerophotogrammetrie;* die Aufnahmekamera befindet sich im Augenblick der Aufnahme *über* der Erdoberfläche (Flugzeug).

Zur Auswertung werden einfache oder komplizierte Auswertegeräte benutzt, die das natürliche, *stereoskopische* Sehen des Menschen benutzen (Raumwahrnehmung oder Tiefenunterscheidung durch gleichzeitiges Sehen mit beiden Augen, binokulares Sehen). Um zwei von verschiedenen Standpunkten aufgenommene Bilder zum *Raummodell* verschmelzen zu lassen, wird jedem Auge das ihm zugeordnete entsprechend orientierte Teilbild zugeführt. Das entstandene Raummodell wird mit einer im Raum schwebend wahrgenommenen Meßmarke lage- und höhenmäßig, punkt- oder linienweise ausgewertet. Gleichzeitig wird der Grundriß kartiert bzw. die Koordinaten und Höhen der Punkte an Skalen abgelesen und registriert.

5. Seevermessung. Die Aufgabe der *Seevermessung* besteht in der Herstellung von *Seekarten*. Sie gliedert sich in Küstenvermessung und Hochseevermessung.
Die *Küstenvermessung* macht Aufnahmen von Küste und Küstenvorfeld. In die Seekarten werden die Tiefenverhältnisse, Fahrrinnen, Leuchtsignale, Hafenanlagen, Funkstationen u. a. eingetragen.
Die *Hochseevermessung* führt die Auslotung der Meere durch und bestimmt den Ort durch astronomische oder funktechnische Verfahren.
Die Tiefenangaben werden bei *Gezeitenmeeren* auf ein *Kartennull* bezogen (*mittleres Springniedrigwasser*), das in den seltensten Fällen unterschritten wird. Die Meerestiefen werden durch *manuelle Lotmethoden* (Hand- oder Drahtlotung, Thomsonlot, thermometrische Tiefenmessungen, Fall- oder Freilot) und durch *Echolotungen* (Messung der Schallgeschwindigkeit) ermittelt und berechnet. Die Ortsbestimmung auf See kann durch *terrestrische Messungen* (Drahtverpeilung, Deckpeilung, Doppelwinkelmessung, Kompaßpeilung, Sextantmessung), durch *astronomische Methoden* (Bestimmung der wahren Höhe, Kimmtiefe, Zeitbestimmungen, Standlinienverfahren) und durch *funktechnische Verfahren* (Fremd-, Eigen- und Mischpeilung, Hyperbelfunkortung [Deccaverfahren] und Radarortung) durchgeführt werden.



Ortsbestimmung durch Funkpeilung

Ortsbestimmung durch Funkpeilung. Durch Funkpeilung können *Länge und Breite zugleich* bestimmt werden. *D* ist der Standpunkt des Schiffes, *A* und *B* sind zwei bekannte Sender. Ihre Verbindungs-

linie AB sowie deren Abweichung (Azimut) a_3 von der Nordsüdlinie (N_1S_1) sind bekannt. Vom Schiff aus mißt man mit Hilfe der Rahmenantenne den Winkel $NDA = a_1$ und den Winkel $NDB = a_2$, legt dann an die Linie NS in A den Winkel a_1, an die Linie N_1S_1 in B den Winkel a_2 und erhält aus dem Schnittpunkt beider Linien den Ort D des Schiffes auf der Karte.

XI. Darstellung der Erdoberfläche

Kartographie. Die *Kartographie* ist die Lehre und Wissenschaft, die sich mit der Herstellung *geographischer* und *thematischer* Karten befaßt. Die moderne Kartographie gliedert sich in:

Kartenkunde — sie untersucht Wesen, Eigenschaften, Arten und Entwicklungen der Karten;
mathematische Kartographie — sie erarbeitet die mathematischen Grundlagen der Karten, speziell die Theorie der kartographischen *Projektionen* und *Netzentwürfe*;
Kartenredaktion — sie analysiert die vorhandenen Materialien und erarbeitet Grundsätze und Methoden zur Kartenherstellung;
Kartengestaltung — durch sie werden Fragen zur graphischen und farblichen Gestaltung des Karteninhalts geklärt;
Kartentechnik — sie umfaßt das gesamte technologische Gebiet von der Originalherstellung bis zum Auflagendruck.

Die Kartographie hat engste Verbindung mit den *Geowissenschaften*, vor allem Geodäsie und Geographie. Sie verarbeitet und veredelt die Arbeits- und Forschungsergebnisse vieler Wissenszweige in der Karte.

DIE LANDKARTE

Die Landkarte ist die verkleinerte, verebnete und erläuterte Grundrißdarstellung der Erdoberfläche. Sie soll mathematisch genau, geographisch richtig, vollständig, zweckmäßig, anschaulich und modern sein.

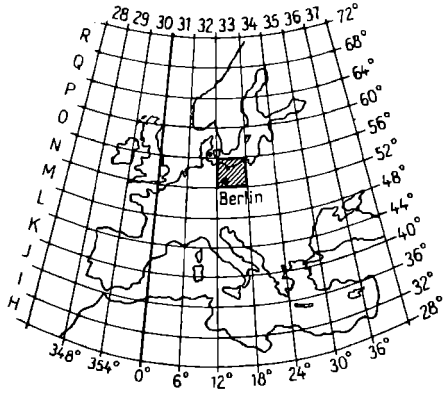
Kartenmaßstab. Die *Maßstabszahl* (m) drückt das lineare Verkleinerungs- oder Verjüngungsverhältnis zwischen Natur und Karte aus.

$$m = \frac{\text{Kartenstrecke}}{\text{Naturstrecke}} = \frac{1\text{ cm}}{1\text{ km}} = \frac{1\text{ cm}}{100000\text{ cm}} = \frac{1}{100000} = 1:100000$$

Die Bezeichnung „*großmaßstäblich*" bedeutet: Ein Gebiet wird auf der Karte groß abgebildet; „*kleinmaßstäblich*": Ein Gebiet wird auf der Karte klein abgebildet (Maßstab 1 : 10000 ist größer als 1 : 1000000).

Die praktisch erreichbare größte Zeichengenauigkeit liegt bei 0,2 mm, ihr entsprechen auf den Karten der Maßstäbe

1 :	5000 =	1 m in der Natur
1 :	10000 =	2 m in der Natur
1 :	25000 =	5 m in der Natur
1 :	50000 =	10 m in der Natur
1 :	100000 =	20 m in der Natur
1 :	200000 =	40 m in der Natur
1 :	500000 =	100 m in der Natur
1 :	1000000 =	200 m in der Natur



Lageschema der Kartenblätter der Internationalen Weltkarte (IWK) 1: 1 000 000 (Nomenklatur von Blatt Berlin NN – 33). Gebiete nördlich vom Äquator erhalten zusätzlich den Buchstaben N, südlich davon den Buchstaben S

Karteneinteilung. *Gradabteilungskarten* werden durch geographische Längen- und Breitengrade begrenzt;
Rahmenkarten werden durch die Netzlinien von rechtwinkligen Koordinatensystemen begrenzt;
Inselkarten haben keinen Anschluß an übergeordnete Bezugssysteme.

Karten können nach dem Maßstab, nach dem Inhalt und nach dem Verwendungszweck eingeteilt werden.

a) nach Maßstab: z. B. Pläne und Karten bis 1 : 5000
topographische Karten 1 : 5000 bis 1 : 200000
topographische Übersichtskarten 1 : 200000 bis 1 : 1 Mill.
Übersichtskarten kleiner als 1 : 1000000;

b) nach Inhalt: in *allgemeingeographische Karten* und in *thematische Karten*. Zu den allgemeingeographischen Karten gehören z. B. sämtliche topographischen Karten, auf denen die Gesamtheit der Erscheinungen der Erdoberfläche abgebildet wird. Die thematischen Karten können unterteilt werden in:
Karten mit *physisch-geographischem* Inhalt (geologische, hydrologische, geophysikalische, meteorologische, klimatologische und biologische Karten);
Karten mit *politisch-ökonomischem* Inhalt (allgemein sozial-politische, Bevölkerungskarten, ökonomische, kulturelle, politische, historische Karten);
Karten mit vorwiegend *technischem* Inhalt (Pläne und Karten mit ingenieurtechnischen Angaben, Schiffahrtskarten, Luftverkehrs-, Wander- und Straßenkarten, militärische Karten);

c) nach Verwendungszweck: für staatliche Zwecke, Lehre und Forschung, Militär, Wandern und Touristik, Wirtschaft, Technik.

Es kann aber auch die Einteilung nach Ländern und Territorien bzw. nach den Gesichtspunkten: staatliche Karten, Karten von Verlagen, Nomenklaturkarten erfolgen.

Nomenklaturkarten sind aus der Internationalen Weltkarte (IWK) 1 : 1 000000 abgeleitet. Zur eindeutigen Festlegung der Lage des Kartenblattes wird die Nomenklatur der IWK angegeben. Bis zum Maßstab 1 : 100000 wird die Karte 1 : 1 000000 geteilt in:

4 Blätter 1 : 500000 (Großbuchstaben A, B, C, D)
36 Blätter 1 : 200000 (römische Zahlen I bis XXXVI)
144 Blätter 1 : 100000 (arabische Zahlen 1 bis 144)

Die größeren Maßstäbe als 1 : 100000 werden jeweils durch Halbierung des nächstkleineren Maßstabes (außer beim Übergang 1 : 25000 nach 1 : 10000) gefunden, und bei Beibehaltung gleicher Blattgröße beinhaltet jeweils ein kleinerer Maßstab vier Blätter des nächstgrößeren

1 : 100000 = 4 Blätter 1 : 50000 (A, B, C, D) — 1 : 25000 = 4 Blätter 1 : 10000 (1, 2, 3, 4)
1 : 50000 = 4 Blätter 1 : 25000 (a, b, c, d) — 1 : 10000 = 4 Blätter 1 : 5000 (I, II, III, IV),

die mit den ersten vier Buchstaben oder Zahlen beziffert werden, wobei von der Nomenklaturbezeichnung des Maßstabes 1 : 100000 ausgegangen wird und sämtliche Zwischenmaßstäbe entsprechend ihrer Nomenklatur mit aufgeführt werden müssen. Eine Karte 1 : 100000 beinhaltet

4 Blätter 1 : 50000 — 64 Blätter 1 : 10000
16 Blätter 1 : 25000 — 256 Blätter 1 : 5000.

Die *neuen staatlichen Karten der DDR* sind Gradabteilungskarten (s. folgende Tabelle).

Bezeichnung	Maßstab	Nomenklatur	Größe	
			Breite	Länge
topographische Karte	1 : 5000	N-33-123-D-a-2-IV	0° 01′ 15″	0° 01′ 52,5″
	1 : 10000	N-33-123-C-b-4	0° 02′ 30″	0° 03′ 45″
	1 : 25000	N-33-123-A-d	0° 05′	0° 07′ 30″
	1 : 50000	N-33-123-B	0° 10′	0° 15′
	1 : 100000	N-33-123	0° 20′	0° 30′
topographische Übersichtskarte	1 : 200000	N-33-XXVI	0° 40′	1°
	1 : 500000	N-33-A	2°	3°
	1 : 1000000	N-33	4°	6°

Alte deutsche Karten

Bezeichnung	Maßstab	Größe		Netzentwurf
		Breite	Länge	
Grundkarte	1 : 5000	40 cm	40 cm	Rahmenkarte
Meßtischblatt topographische Karte	1 : 25000	0° 06′	0° 10′	Polyederentwurf
Karte des Deutschen Reiches (DR)	1 : 100000	0° 15′	0° 30′	Polyederentwurf
topographische Übersichtskarte des DR	1 : 200000	0° 30′	1°	Schnittkegelentwurf
Übersichtskarte von Mitteleuropa	1 : 300000	1°	2°	Polyeder und winkeltreuer Berührungskegelentwurf
Vogels Karte von Mitteleuropa	1 : 500000	2°	3°	polykonischer Entwurf
Weltkarte	1 : 1000000	4°	6°	modifizierter polykonischer Entwurf

Bekannte Nullmeridiane

	Greenwich	Ferro	Paris	Berlin	Pulkowo
Greenwich	—	− 17° 39′ 46″	+ 2° 20′ 14″	+ 13° 23′ 44″	+ 30° 19′ 39″
Ferro	+ 17° 39′ 46″	—	+ 20° — —	+ 31° 03′ 30″	+ 47° 59′ 25″
Paris	— 2° 20′ 14″	− 20° — —	—	+ 11° 03′ 30″	+ 27° 59′ 25″
Berlin	− 13° 23′ 44″	− 31° 03′ 30″	− 11° 03′ 30″	—	+ 16° 49′ 55″
Pulkowo	− 30° 19′ 39″	− 47° 59′ 25″	− 27° 59′ 25″	− 16° 49′ 55″	—

Anmerkung. Es bezeichnet:

Greenwich den internationalen Nullmeridian seit 1911
Ferro den deutschen Nullmeridian bis 1884 bzw. 1911; auf europäischen Kartenwerken früher allgemein angewendet
Paris den französischen Nullmeridian; früher auch in Deutschland verwendet (z. B. Vogelsche Karte 1 : 500000)
Berlin den Nullmeridian der preußischen Kartenaufnahme bis etwa 1850
Pulkowo den Nullmeridian der russischen Karten bis 1920

KARTENNETZENTWÜRFE

Die Abbildung der Erdoberfläche in der Ebene ist ohne *Verzerrung* nicht möglich. Auf dem Globus jedoch kann die Erde winkel-, flächen- und längentreu abgebildet werden.
Das *Gradnetz* (Meridiane und Parallelkreise) der Erdkugel abzubilden, ist Aufgabe der *Kartenprojektionslehre.*

Projektionen sind Abbildungen im Sinne der Perspektive,

Netzentwürfe sind Abbildungen auf Grund mathematischer Berechnungen und Konstruktionen.

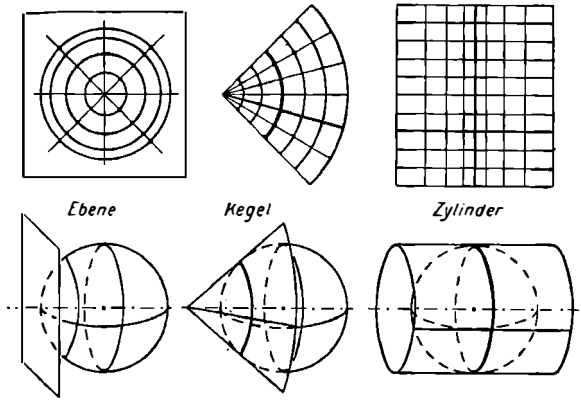


Abbildung der Kugel auf Ebene, Kegel und Zylinder bei normalachsiger Lage

Erklärung der Grundbegriffe winkeltreu, flächentreu, vermittelnd:
winkeltreu oder *konform:* Der Winkel zwischen zwei von einem Standpunkt ausgehenden Verbindungslinien nach benachbarten Punkten ist auf der Kugel und in der Kartenebene gleich groß (Anwendung in Geodäsie, Schiffahrt und Luftfahrt);
flächentreu: Die Flächen bestimmter Figuren auf der Kugel werden maßstäblich in richtiger Größe in der Kartenebene abgebildet (Anwendung in Geographie, Schule);
vermittelnd: Es liegen weder Winkel- noch Flächentreue vor, es handelt sich um ausgleichende Entwürfe mit geringer Winkel- und Flächenverzerrung.

Um den verschiedensten Bedürfnissen der Kartenbenutzer gerecht zu werden, gibt es sehr viele Kartennetzprojektionen und Kartennetzentwürfe.

Projektionen. Projektionen sind Abbildungen auf geometrische Hilfskörper, die eine Abwicklung in die Ebene ermöglichen. Man unterscheidet:

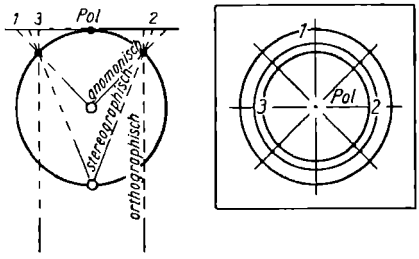
a) *ebene oder azimutale Projektionen*
b) *Kegelprojektionen*
c) *Zylinderprojektionen*
d) *Polyederprojektionen*

Bei der Lage des Projektionszentrums handelt es sich
im Erdmittelpunkt um die gnomonische oder Zentralprojektion,
im Gegenpol um die stereographische Projektion,
im Unendlichen um die orthographische oder Parallelprojektion.

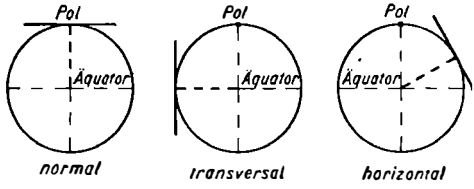
Azimutalprojektion ist die Bezeichnung für alle Abbildungen auf Berührungsebenen. Das *Kugelgroßkreisbüschel* durch den Berührungspunkt entspricht in der Karte dem Strahlenbüschel der

Himmelsrichtungen. Die Winkel und damit auch ihre Azimute (Winkel mit der Nordrichtung) bleiben unverändert.

Entsprechend der Lage des Berührungspunktes der Ebene handelt es sich
um normalachsige, polständige oder polachsige Projektion (im Pol),
um transversale, äquatorständige oder querachsige Projektion (im Äquator),
um zwischenständige, schiefachsige oder horizontale Projektion (beliebiger Berührungspunkt).



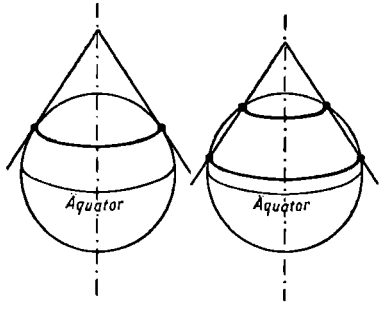
Projektionszentren bei azimutaler Projektion



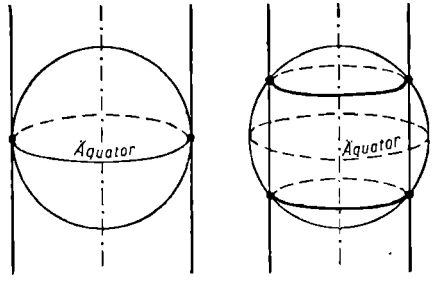
Möglichkeiten der Lage der Berührungsebene

Kegelprojektion. Ein Kegel über die Erdkugel gestülpt, kann diese berühren oder schneiden.
Die *echte Kegelprojektion* ist gekennzeichnet durch normalachsige Lage; die Meridiane sind gerade Linien, die im Pol zusammenlaufen; Parallelkreise sind konzentrische Kreise, die sich rechtwinklig mit den Meridianen schneiden.
Die *unechte Kegelprojektion* ist gekennzeichnet durch beliebige Achslage, fehlende Rechtschnittigkeit, krummlinige Meridiane.

Zylinderprojektion. Ein Zylinder wird über die durchsichtig gedachte Erdkugel gestülpt, dessen Achslage normal, transversal oder schiefachsig sein kann. Der Zylinder kann berühren oder schneiden. Unter der Annahme einer Beleuchtungsquelle als Projektionszentrum würden die Meridiane und Parallelkreise sich auf dem Zylinder als Schatten abbilden.



Berührungskegel *Schnittkegel*

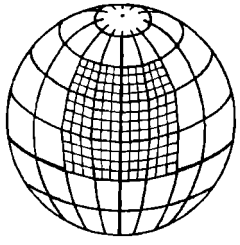


Berührungszylinder *Schnittzylinder*

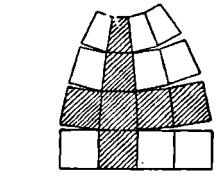
Die *echte Zylinderprojektion* ist gekennzeichnet durch normalachsige Lage, Längen- und Breitenkreise sind rechtwinklig zueinander verlaufende parallele Gerade; große Verzerrungen treten nach den Polen zu auf; der Polpunkt ist ebenso lang wie der Äquator.
Kennzeichen der *unechten Zylinderprojektion*: Längen- und Breitenkreise sind keine Geraden mehr, Rechtschnittigkeit nicht vorhanden, beliebige Lage der Zylinderachse.

Polyederprojektion. Bei der Polyederprojektion erfolgt die Abbildung der Fläche auf einzelne durch Meridiane und Parallelkreise begrenzte Trapeze (Gradabteilungskarten). Durch den großen Maßstab können die flachgekrümmten Parallelkreise als Gerade angenommen werden. Jedes Kugelstück wird einzeln auf das Kartenblatt projiziert, es entsteht ein *Vielflächner*. Durch Wahl gleich langer Randlinien der benachbarten Blätter können sie aneinandergefügt werden.
Echte Projektionen auf Ebene, Kegel und Zylinder eignen sich besonders für die Abbildung von großen Erdräumen und Gebieten auf kleinmaßstäblichen Karten (Weltkarten, Erdkarten, Staatenkarten. Planigloben u. a.). Für großmaßstäbliche Karten werden *Netzentwürfe* entwickelt, die nur mathematisch ableitbar und nicht mehr geometrisch so anschaulich darstellbar sind.

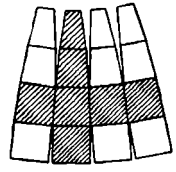
Netzentwürfe. Durch mathematische Berechnungen können Verzerrungsverhältnisse ermittelt und die Koordinaten der Schnittpunkte der Längen- und Breitenkreise bestimmt werden. Man kann *flächen- oder winkeltreue Entwürfe* anfertigen. Die Abbildung des Netzes kann wie bei Projektionen auf Ebene, Kegel oder Zylinder erfolgen.



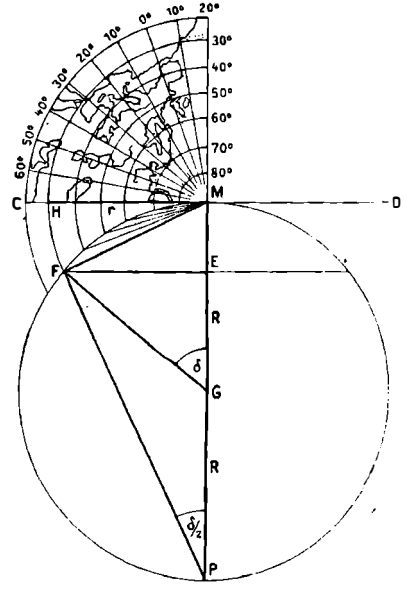
Kugel und Polyeder



Klaffungen der aneinandergereihten Parallelkreisstreifen



Klaffungen der aneinandergereihten Meridianstreifen



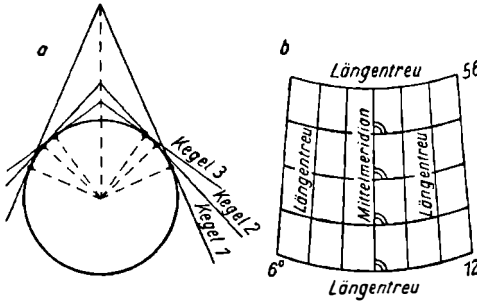
Rechts: *Flächentreuer Azimutalentwurf von Lambert*

Flächentreuer Azimutalentwurf von Lambert. Wählt man die Sehnen der Kugelkappen, die begrenzt werden vom Berührungspunkt und den Parallelkreisen, zu Radien der Parallelkreise auf der Karte, so erhält man den *flächentreuen Azimutalentwurf* von *Lambert* (deutscher Naturwissenschaftler, 1728 bis 1777).

Der Radius des Parallelkreises FF wird auf der Karte in den Radius $HM = r$ verwandelt; r wird berechnet aus dem rechtwinkligen $\triangle PFM$. In diesem ist:

$FM = r$; $MP = 2R$; $\sphericalangle FPM = \frac{\delta}{2}$;

$\sin \frac{\delta}{2} = \frac{r}{2R}$; also $r = 2R \cdot \sin \frac{\delta}{2}$.



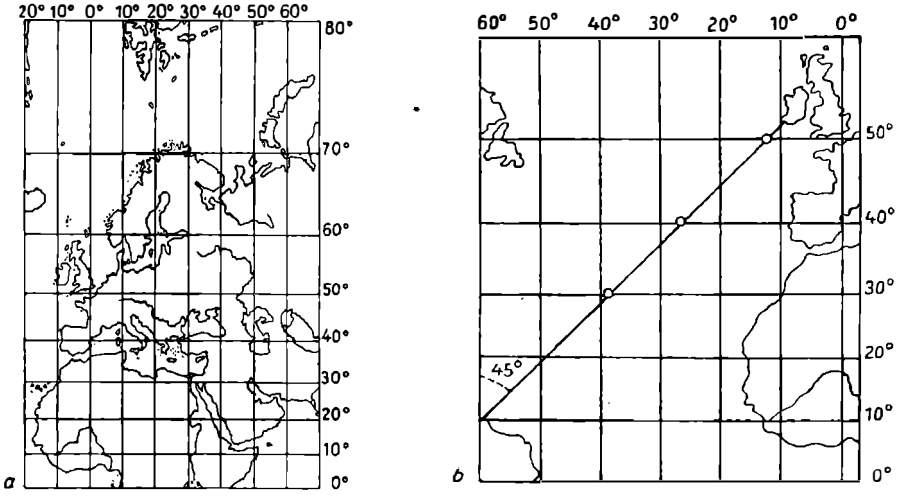
a) polykonischer Entwurf (Schnittbild), Erdkugel mit 3 Berührungskegeln; b) Netz eines Blattes der Internationalen Weltkarte (IWK) 1 : 1 000000 (schematisch)

Abbildung auf den Kegel. Der *modifizierte polykonische Entwurf* bildet die Grundlage für das Netz der *Internationalen Weltkarte 1 : 1 000 000.* Die Meridiane werden als Gerade, die Parallelkreise als Kreisbögen abgebildet.

Abbildung auf den Zylinder. Der *winkeltreue Berührungszylinderentwurf (Mercatorentwurf)* ist der einzige Kartennetzentwurf, der die *Kurslinie* oder *Loxodrome* als gerade Linie abbildet; dieser Entwurf spielt in der Nautik und Luftfahrt eine große Rolle. Um dem Anspruch der Winkeltreue zu genügen, muß das Vergrößerungsverhältnis im Meridian dem Vergrößerungsverhältnis im Parallelkreis entsprechen. Der Äquator wird längentreu abgebildet, die Meridiane stehen senkrecht darauf. Da die Bogenlängen der Parallelkreise auf der Kugel mit dem Kosinus der geographischen Breite abnehmen, wird bei geradlinigem, parallelem Verlauf der Meridiane der Abstand der Längenkreise auf der Karte zu groß. Durch Vergrößerung der Abstände der Breitenkreise im gleichen Verhältnis wird Ähnlichkeit der Abbildung mit der Kugel gewahrt und Winkeltreue erreicht.

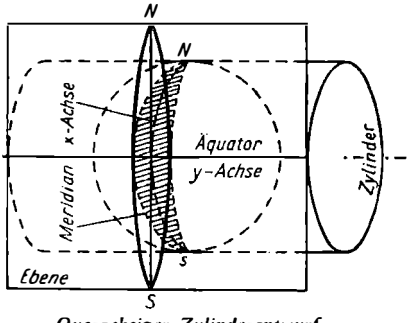
Meridianstreifensystem nach Gauß-Krüger. Dieser sehr verbreitete Entwurf ist nur mathematisch ableitbar. Er kann mit der transversalen oder querachsigen Zylinderprojektion verglichen

werden. Das Hauptmerkmal ist die winkeltreue Übertragung der *Meridianstreifen* vom Erdellipsoid auf die Ebene.
Die Zylinderachse liegt in der Äquatorebene, der Zylinder berührt die Kugel im Äquator und entlang des Mittelmeridians, der längentreu abgebildet wird. Der Äquator ist in jedem Meridianstreifen die Horizontale oder y-Achse, der Mittelmeridian die Vertikal- oder x-Achse, beide Achsen

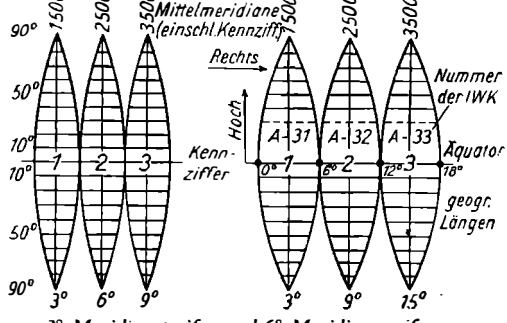


a) winkeltreuer Berührungszylinderentwurf (Mercator), b) Mercatorkarte mit Loxodrome

bilden das Achsensystem der rechtwinkligen *Gauß-Krüger*-Koordinaten (y-Werte sind ***Rechtswerte***, die vom Mittelmeridian aus gezählt werden, x-Werte sind ***Hochwerte***, die vom Äquator aus gezählt werden). Zur Verringerung der Verzerrungen an den Rändern werden nicht nur ein, sondern viele Abbildungszylinder benutzt, die jeweils um 3 bzw. 6° gedreht werden. Zur Vermeidung von negativen Rechtswerten wird dem Mittelmeridian nicht der Betrag Null, sondern 500000 m gegeben (Punkte mit den y-Koordinaten größer als 500000 m liegen östlich, mit den y-Koordinaten kleiner als 500000 m liegen westlich vom Mittelmeridian).
Das *Gauß-Krüger*-Meridianstreifensystem wird von fast allen Ländern der Erde als Gitternetz für die staatlichen topographischen Karten benutzt.
Die Bezifferung bei 3°-Streifen erfolgt in der Weise, daß die Längengradzahl des Mittelmeridians geteilt durch 3 die Kennziffer ergibt.
Die Bezifferung bei 6°-Streifen (gültig nur für Gebiete östlich Nullmeridian Greenwich) erfolgt in der Weise, daß der Mittelmeridian der *Gauß-Krüger-Abbildung* mit dem Mittelmeridian der IWK übereinstimmt. Die Nomenklatur-Zahl der IWK abzüglich der Zahl 30 ergibt die Kennziffer.



Querachsiger Zylinderentwurf (schematisch)



3°-Meridianstreifen und 6°-Meridianstreifen nach Gauß-Krüger

KARTENINHALT

Zum Karteninhalt gehören sämtliche innerhalb des Kartenrahmens abgebildeten geodätischen, topographischen, geographischen und ökonomischen Objekte und Erscheinungen, die das Aussehen der Erdoberfläche bestimmen.

Graphische Darstellungsmöglichkeiten. Der Inhalt auf allgemeingeographischen Karten wird mit Hilfe von *symbolischen Zeichen und Signaturen* (Punkt-, Linien- und Flächensignaturen), *Farbe* und *Kartennamen* dargestellt und erläutert. Neben die Zeichnung ist in neuerer Zeit die Gravur getreten.

Physisch-geographische Kartenelemente. Sie ergeben sich durch Hydrographie, Relief, Bodenbewachsung und Bodenbeschaffenheit.
Zur *Hydrographie* gehören Ozeane, Meere, Seen, künstliche Wasserbecken, Quellen, Flüsse, Kanäle, hydrotechnische Anlagen u. a., die meist in blauer Farbe dargestellt werden.
Das *Relief* umfaßt alle vorkommenden Geländeformen, z. B. Berge, Hügel, Mulden, Schluchten, Felsen u. a., auf der Karte meist in brauner Farbe dargestellt. Das Relief soll *geometrisch genau* (nach Lage und Höhe) und *anschaulich* wiedergegeben sein. Beide Forderungen sind schwer gleichzeitig erfüllbar. Die Darstellung des Reliefs kann erfolgen durch

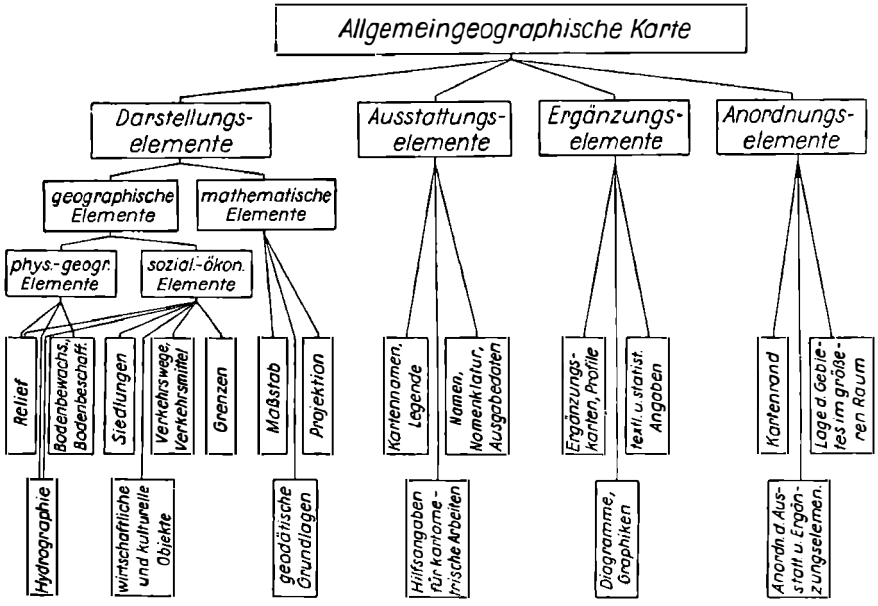
a) *Höhenlinien;* große geometrische Genauigkeit, Punkte gleicher Höhe werden durch *Isolinien* (Isohypsen) verbunden,

b) *Schraffen;* sehr formenplastisch und anschaulich, jedoch schwer bzw. nicht ausmeßbar — man spricht von *Böschungsschraffen,* wenn die Beleuchtungsquelle senkrecht über dem Gebiet angenommen wird (Schraffen um so dunkler, je steiler das Gelände ist), von *Beleuchtungsschraffen,* wenn die Beleuchtungsquelle in einer bestimmten Richtung (vorzugsweise Nordwest) angenommen wird. Durch die Licht- und Schattenhänge besteht keine Meßbarkeit mehr, dafür große Anschaulichkeit;

c) *Höhenstufenfärbung;* zur Anwendung kommen ein-, zwei- und vielfarbige Skalen; eine bestimmte Höhenstufe wird in gleicher Farbe dargestellt, z. B. Höhenstufe 0 bis 200 m grün;

d) *Reliefschummerung;* wie bei der Reliefdarstellung durch die Schraffen ergibt sich je nach Lage der Lichtquelle eine Unterscheidung in Böschungs- und Beleuchtungsschummerung, jedoch mit verlaufenden Halbtönen (hellgrau bis schwarz); große Formenplastik, jedoch keine Ausmeßbarkeit und Bestimmung der Höhe von Punkten.

In neuer Zeit werden die angegebenen Verfahren oft miteinander kombiniert (Höhenlinien und Schummerung, Höhenlinien und Höhenstufenfärbung u. a.).



Übersicht über die Kartenelemente

Die *Bodenbewachsung* führt zur Gliederung in landwirtschaftlich genutzte Flächen und naturbedingte Flächen, die durch Signaturen und Farbe dargestellt werden (Forste, Obstgärten, Waldreservate, Sträucher, Gräser, Sumpfgewächse u. a.).
Die *Bodenbeschaffenheit* führt zur Unterteilung in steinige Flächen, Lehm- und Schotterboden, Sande u. a., durch Signaturen bzw. Farben wiedergegeben.

Sozial-ökonomische Kartenelemente. Dazu gehören Siedlungen, Verkehrswege und Verkehrsmittel, wirtschaftliche und kulturelle Objekte und Grenzen.
Siedlungen werden entsprechend des Maßstabes *grundrißtreu, grundrißähnlich* oder durch *Signaturen* dargestellt;

Verkehrswege und Verkehrsmittel, dazu zählen Eisenbahnen, Straßen, Wege, Schiffahrtswege, Luftverkehrswege, Nachrichtenmittel, sonstige Transporteinrichtungen (Ferngas- und Erdölleitungen), werden durch Liniensignaturen und Farbe dargestellt;
wirtschaftliche und kulturelle Objekte, dazu zählen industrielle, landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche Betriebsanlagen, soziale und kulturelle Einrichtungen wie Krankenhäuser, Schulen, Theater u. a., werden grundrißtreu oder durch Signaturen dargestellt;
Grenzen, darunter fallen Landes-, Bezirks-, Kreis- und Gemeindegrenzen, werden durch Signaturen und Farbbänder dargestellt.

XII. Wichtige Jahreszahlen

DIE ERWEITERUNG DES GESICHTSFELDES VOM ALTERTUM BIS ZUR GEGENWART

(nach Prof. *W. Behrmann*)

um das Jahr	Land		Meer		Erdoberfläche insgesamt	
	bekannt in %	unbekannt in %	bekannt in %	unbekannt in %	bekannt in %	unbekannt in %
400 v. u. Z.	6	94	1	99	3	97
200 u. Z.	13	87	4	96	7	93
1000	15	85	5	95	8	92
1500	25	75	21	79	22	78
1600	40	60	53	47	49	51
1800	60	40	92	8	83	17
1900	90	10	98	2	96	4
1960	100	0	100	0	100	0

Die Entdeckung der Erde ist erst in der Mitte unseres Jahrhunderts zum Abschluß gekommen. Der Einsatz der modernsten Mittel der Verkehrs- und Aufnahmetechnik, vor allem der von Flugzeugen und der Luftphotogrammetrie, haben auch alle die Gebiete der Erde entschleiert, zu denen bisher noch kein Mensch vorgedrungen war. Als der großartige Abschluß der Entdeckungsgeschichte unserer Erde kann das *Internationale Geophysikalische Jahr* 1957/58 angesehen werden, in dessen Verlauf praktisch auch die entlegensten Gebiete der Erde bis in die fernen Weiten des antarktischen Kontinents ihre letzten Geheimnisse preisgeben mußten. Über die exakten Lagebeziehungen der durch weite Meeresräume getrennten Kontinente haben schließlich die vorliegenden Aufnahmen von den künstlichen Erdsatelliten aus neues Material geliefert.
Während man aber die Entdeckung der Erde als abgeschlossen betrachten kann, wird ihre Erforschung niemals beendet werden. Welche Fülle von Aufgaben liegt allein in der Erforschung der Ozeane und der Erdatmosphäre, um die Gesetze der Wetterbildung zu erkennen und zu beherrschen, die eine exakte Wettervorhersage selbst auf längere Sicht ermöglichen! Noch ist ein großer Teil der Erdoberfläche exakt zu vermessen, noch ist erst ein Teil des Bodens auf seine optimale Nutzbarkeit untersucht. Die Suche nach Bodenschätzen in der Erdkruste bringt immer neue Ergebnisse. Sehr wenig sind bisher die tieferen Erdschichten bekannt, und vom Inneren unserer Erde weiß man eigentlich bis jetzt noch weniger als von den Riesenweiten des Kosmos. Der großen Zahl der Geowissenschaften bleibt also ein noch nicht abzuschätzendes Betätigungsfeld.
Eine einheitliche Entdeckungsgeschichte für alle Völker unserer Erde oder für alle Kulturgebiete ist allein schon infolge der verschiedenen räumlichen Voraussetzungen nicht möglich. Sie mußte daher bei den Völkern Europas anders ablaufen als beispielsweise bei den Völkern Ost- oder Südasiens. Wir betrachten den Gang der Entdeckungen vom Standpunkt der Völker Europas aus, wobei wir im Altertum die Völker Vorderasiens und Nordostafrikas einbeziehen, da deren Erkenntnisse sich im ganzen westlichen Teil der „Alten Welt" ausgewirkt haben.

ENTDECKUNGSREISEN UND GEOGRAPHISCHE FORSCHUNGEN

Asien

v. u. Z.

um 450 *Herodot* von Halikarnassos faßt das Wissen von der damals den Griechen bekannten Welt zusammen, nachdem er selbst Kleinasien, Babylonien und Persien (bis zum heutigen Hamadan) bereist hatte.

334–323 *Alexander* von Makedonien dringt auf seinen Feldzügen, auf denen ihn viele Gelehrte begleiten, bis zum Jaxartes (Syr-Darja) und Indus vor. Sein Feldherr *Nearchos* befährt mit einer Flotte die südasiatische Küste von der Indusmündung bis zum Persischen Golf.

um 100 Der griechische Seefahrer *Hippalus* erkennt das Gesetz der jahreszeitlich wechselnden Monsune zwischen Ostafrika und Südasien für die Schiffahrt.

u. Z.

um 100 Der griechische Kaufmann *Alexander* gelangt auf dem Seeweg bis Südchina.

um 525 Der griechische Kaufmann *Kosmas* kommt bis nach Indien und Ceylon. Seit dem 7. Jahrhundert verhindert die „islamische Sperre" die Verbindungen zwischen Europa und Indien immer stärker.

1245–1247 *Giovanni de Carpini* reist im Auftrag des Papstes *Innozenz IV.* von Lyon durch Südrußland, die kasachische Steppe und die Dsungarische Pforte bis zum Sitz der mongolischen Großchans bei Karakorum, westlich vom heutigen Ulan-Bator. Er folgte dabei einer uralten Handelsstraße. 1253 bis 1255 gelangte *Wilhelm von Rubruk* im Auftrage Ludwigs IX. (des „Heiligen") von Frankreich durch die gleichen Gebiete Asiens nach Karakorum. Beide kehrten mit wertvollen Berichten zurück.

1271–1295 Der Venezianer *Marco Polo* reist mit seinem Vater *Nicolò* und seinem Onkel *Maffeo*, die beide bereits auf ihrer ersten Reise von 1260 bis 1269 bis China gekommen waren, über Kleinasien, Persien, den Pamir und Osttürkestan nach Kambaluk (Peking), dem Sitz des Mongolenherrschers Kublai Khan. Im Auftrag des Großkhans bereist Marco fast alle Provinzen Chinas bis Osttibet und Burma. 1292 bis 1295 kehren die Polos durch das Südchinesische Meer, über die Sundainseln, Vordcrindien, Persien, Armenien, Trapezunt nach Europa zurück. Marco Polos abenteuerlicher Bericht verschafft dem Abendlande Einblick in eine bisher unbekannte Welt und bringt die erste Kunde von Japan.

1325–1349 Auf seiner Weltreise kommt der arabische Reisende *Ibn Battuta* aus Tanger nach Arabien und Vorderasien, reist später über Südrußland nach Mittelasien (Turan), Persien und Indien sowie nach Ceylon, den Sundainseln und China.

1419—1444 Der Venezianer *Niccolò Conti* bereist als erster bekannter Europäer das Innere Indiens und kommt auf dem Landweg von Burma nach China.

1466—1472 Der russische Reisende *A. Nikitin* gelangt auf einer Handelsfahrt wolgaabwärts zum Kaspischen Meer, durchquert Persien und erreicht Indien, wo er bis weit in das Innere des Dekan vordringt. In seinem Bericht „Die Fahrt des Afanassi Nikitin über die drei Meere" geht er auch auf die politischen, kulturellen und sozialen Zustände in den Ländern ein, die er besucht hat.

1498 Der portugiesische Seefahrer *Vasco da Gama* (1469 bis 1524) erreicht auf der Fahrt um das Kap der Guten Hoffnung Calicut (Kozhikode) in Vorderindien und entdeckt damit den Seeweg nach Indien.

1512 Die Portugiesen *de Abreu* und *Serrão* gelangen als erste zu den Gewürzinseln (Maluku oder Molukken).

1516 Das erste portugiesische Schiff erreicht unter *d'Andrade* einen chinesischen Hafen.

1542 Südjapan wird zum ersten Male von Portugiesen gesichtet und 1543 von ihnen betreten.

1581 Der Kosakenhetman *Jermak* überschreitet den Ural und beginnt die Eroberung Sibiriens. 1639 erreicht der Kosak *I. Moskwitin* das Ochotskische Meer.

1648 Der Kosak *Semjon Deshnjow* (Deschnew) umfährt das asiatische Nordostkap, das später nach ihm benannt wird. Damit ist geklärt, daß Asien und Amerika im Norden nicht zusammenhängen.

1690—1692 Der deutsche Arzt und Naturforscher *Engelbert Kämpfer* dringt von der japanischen Insel Deshima bei Nagasaki bis nach Edo (Tokio) vor und bringt ausführliche Berichte über Japan heim.

1697—1699 *Wladimir Atlassow* durchdringt Kamtschatka und beschreibt es als erster.

1725—1730 Während der ersten Kamtschatka-Expedition unter Leitung des in russischen Diensten stehenden Dänen *Vitus Bering* erneuert dieser 1728 die Entdeckung der Beringstraße.

1733—1743 Während der „Großen Nordischen Expedition" (Zweiten Kamtschatka-Expedition) der russischen Regierung wurden unter Leitung von *V. Bering* und *A. Tschirikow* ausgedehnte Gebiete Sibiriens erforscht, die gesamte Nordpolarmeerküste von der Karasee bis östlich der Kolymamündung kartographisch aufgenommen und die an Nordostsibirien angrenzenden Meeresteile des Stillen Ozeans bis Alaska erforscht. Von den zahlreichen Expeditionsmitgliedern erforschten *S. P. Krascheninnikow* und nach ihm der Deutsche *G. W. Steller* Kamtschatka (1737 bis 1741), erreichte 1742 *S. I. Tscheljuskin* das nach ihm benannte asiatische Nordkap u. a. m. Tschirikow und Bering entdeckten von Kamtschatka aus Alaska (1741).

1761—1766 Der deutsche Naturforscher *Karsten Niebuhr* beginnt in dänischen Diensten die wissenschaftliche Erforschung Arabiens, besonders Jemens.

1768—1774 Der Deutsche *Peter Simon Pallas* bereist im Auftrag der Petersburger Akademie der Wissenschaften außer Teilen des europäischen Rußlands Sibirien bis zum Altai, den Baikalsee und das Amurgebiet.

1803—1806 Der russische Seeoffizier *Iwan Fjodorowitsch v. Krusenstern* führt auf zwei Schiffen die erste russische Weltumsegelung durch. Er erforscht dabei die Westküsten der Inseln Hondo und Hokkaido (Japan), die Ostküste von Kamtschatka und Sachalin sowie die Kurilen.

1808 Der Engländer *Webb* entdeckt die Gangesquellen.

1822 Der Engländer *Moorcroft* erreicht Kaschmir.

1828/29 Der deutsche Physiker *Erman* stellt in Sibirien erdmagnetische Messungen an, die *Gauß* als Grundlagen zu seiner Theorie des Erdmagnetismus dienen.

1829 Der deutsche Naturforscher *Alexander v. Humboldt* (1769 bis 1859) bereist West- und Südwestsibirien bis zum Altai und zur Dsungarei.

1835—1864 Der deutsche Naturforscher *F. W. Junghuhn* erforscht Java und Teile Sumatras.

1843—1845 Der russische Zoologe *A. F. von Middendorf* untersucht in Nord- und Ostsibirien als erster den Dauerfrostboden.

1849—1855 Der russische Seeoffizier *Newelskoi* stellt durch Befahrung des Tatarensundes fest, daß Sachalin eine Insel ist, und er entdeckt die Amurmündung neu.

1855—1857 Die deutschen Forscher *Adolf, Hermann* und *Robert Schlagintweit* erforschen im Auftrage der East India Company den östlichen und westlichen Himalaja und übersteigen den Karakorum bis zum Tarimbecken. H. und R. Schlagintweit überqueren als erste den Kunlun, A. Schlagintweit wird in Kaschgar getötet.

1856—1858 Der russische Forscher *Semjonow* reist an den Balchaschsee, den Issyk-Kul, den Transilenischen Alatau und in den Tienschan. Er erhält später den ehrenden Beinamen *Tjan-Schanski*.

1864—1868 Der russische Gelehrte *Sewerzow* bereist als Botaniker und Zoologe den westlichen Tienschan und dringt bis zu den Quellen des Syr-Darja vor.

1868—1872 Der deutsche Geograph *Ferdinand von Richthofen* (1833 bis 1905) durchforscht China.

1870—1888 Der russische General *Prshewalski* entschleiert auf vier Reisen die Grundrisse Innerasiens, besonders das Tarimbecken, Nordtibet und die Wüste Gobi. Er entdeckt den Lopnor und das Quellgebiet des Hwangho. 1879/80 nähert er sich Lhasa auf 250 km.

1871 Der russische Naturforscher *Fedtschenko* entdeckt den nach ihm benannten Riesengletscher im Pamir.

1884—1926 Der russische Forscher *Kosłow* bereist in sechs großen Reisen die Quellgebiete des Hwangho, Jangtsekiang und Mekong, Ostturkestan, den Mongolischen Altai und die Mongolei, in der er viele archäologische Ausgrabungen durchführt.

1885—1887 Der russische Zoologe *Grum-Grshimailo* erforscht Innerasien (Pamir, Buchara, Tienschan), 1899 Ostturkestan und die westliche Mongolei.

1886—1935 Der schwedische Forscher *Sven Hedin* erforscht auf mehreren Reisen Persien, das Hochland von Tibet, das Tarimbecken und die Wüste Gobi.

1889/90 Den französischen Forschern *Bonvalot* und *Heinrich von Orléans* gelingt die erste wissenschaftliche Durchquerung Tibets.

1903—1905 Der deutsche Forscher *Wilhelm Filchner* (1877 bis 1957) unternimmt eine wissenschaftliche Expedition nach China und Osttibet.

1926 Der sowjetische Geologe *Obrutschew* entdeckt in Ostsibirien das alpine Tscherskigebirge.

1926—1938 *Filchner* führt auf zwei Forschungsreisen (1926 bis 1928 und 1934 bis 1938) in Zentralasien und China (Tarimbecken, Osttibet) erdmagnetische Messungen durch (wobei er auch für deutsche Monopolisten tätig ist).

1928 Eine gemeinsame sowjetisch-deutsche Pamirexpedition entdeckt den höchsten Berg der Sowjetunion (Pik Kommunismus; 7495 m).

1943 Die sowjetische Tienschan-Expedition unter *Rapassow* bezwingt neben anderen Gipfeln den Pik Pobedy (Pik des Sieges; 7439 m), den höchsten Gipfel dieses Gebirges.

1953 29. Mai: Der Tschomolungma oder Mount Everest (8848 m), der höchste Gipfel des Himalaja und der ganzen Erde, wird durch den Neuseeländer *Hillary* und den Nepalesen *Tensing* im Rahmen einer britischen Expedition von der Südseite aus bestiegen.

1953 3. Juli: Nanga Parbat (8125 m) durch *Hermann Buhl* von der deutsch-österreichischen „Willy-Merkel-Gedächtnis-Expedition" erstiegen.

1954 31. Juli: K 2 (Mount Godwin Austen oder Tschogori; 8611 m) durch die italienischen Alpinisten *A. Compagnoni* und *L. Lacedelli* bezwungen.

Afrika

v. u. Z.

um 1500 Auf Befehl der Königin *Hatschepsut* fährt eine ägyptische Flotte in das Weihrauchland Punt, das wahrscheinlich im heutigen Somalia zu suchen ist. Es ist dies die erste schriftlich belegte Handels- und Entdeckungsreise.

um 945 Eine von König *Salomo* entsandte israelisch-judäisch-phönizische See-Expedition erreicht, vom Hafen Ezeon Geber beim heutigen Akaba ausfahrend, das Goldland Ophir, das unter anderen im heutigen Rhodesien bei Simbabwe vermutet wird.

um 595 Wie Herodot berichtet, fuhren *Phönizier*, vom ägyptischen König Necho beauftragt, vom Roten Meer aus südwärts, gingen unterwegs zweimal an Land, säten und ernteten und sahen die Sonne zur Rechten, d. h. im Norden, stehen. Nach dreijähriger Abwesenheit kehrten sie durch die „Säulen des Herkules" (Straße von Gibraltar) ins Mittelmeer heim. Damit war die erste Umfahrung Afrikas geglückt.

um 525 Der Karthager *Hanno* fährt an der afrikanischen Westküste entlang und kommt bis zum Kamerunberg („Götterwagen").

23—22 Eine römische Militärexpedition dringt in den Ostsudan vor.

u. Z.

um 60 Eine von Kaiser Nero zum Aufsuchen der Nilquellen ausgesandte *römische* Expedition gelangt bis zu den Nilsümpfen.

um 100 Römische Seefahrer gelangen bis Ostafrika; *Julius Maternus* kommt wahrscheinlich bis zum Tschad.

1325—1352 Der arabische Weltreisende *Ibn Battuta* aus Tanger besucht auf seiner Weltreise (1325 bis 1349) Ägypten und Ostafrika und 1352 als marokkanischer Gesandter auf dem Wege durch die Sahara den Sudan mit der Stadt Timbuktu am Niger.

1446 Die von *Heinrich dem Seefahrer* seit 1416 entsandten Portugiesen erreichen unter *Diniz Fernandez* das „Grüne Vorgebirge" (Cap Verde), die Westspitze Afrikas.

1485/86 *Diego Cão* fährt, von dem Nürnberger Kosmographen *Martin Behaim* begleitet, bis zum Kap Cross (SW-Afrika).

1488 Der portugiesische Seefahrer *Bartolomeu Diaz* umfährt die Südküste Afrikas bis zur Algoabai. Das von ihm als „Cabo tormentoso" (Stürmisches Kap) bezeichnete Kap wird von König Johann II. von Portugal in „Cabo de boã esperança" („Kap der Guten Hoffnung") umbenannt, da nunmehr der langgesuchte Seeweg nach Indien gefunden scheint.

1497/98 *Vasco da Gama* umfährt die afrikanische Küste bis Melinde (Malindi) im heutigen Kenia. Von dort aus gelangt er als erster europäischer Seefahrer nach Indien.

1770 Der Schotte *James Bruce* entdeckt den Tanasee im Quellgebiet des Blauen Nils.

1795—1797 Der Schotte *Mungo Park* erreicht von Gambia aus den oberen Niger und erkundet dessen Lauf von Ségou bis Murzan.

1797—1801 Der Deutsche *Friedrich Hornemann* dringt von Ägypten aus durch die Sahara zum Niger vor und bleibt verschollen.

1822—1824 Die Engländer *Clapperton*, *Denham* und *Oudney* durchqueren von Tripolis aus die Sahara und gelangen zum Tschadgebiet.

1827/28 Der Franzose *René Caillié* durchquert, von der Küste von Sierra Leone zu Fuß wandernd, als erster Europäer das Bergland Futa Djalon, gelangt an den oberen Niger und nach Timbuktu und erreicht von da aus zu Fuß Tanger.

1830/31 Die Engländer *R.* und *J. Lander* befahren den unteren Niger und klären endgültig dessen Verlauf.

1848 Die deutschen Missionare *Krapf* und *Rebmann* entdecken den Kilimandscharo und Kenia.

1850—1855 Der Deutsche *Heinrich Barth* durchquert mit seinem Landsmann *Adolf Overweg* als Teilnehmer der englischen Bornuexpedition unter *James Richardson* die Sahara von Tripolis bis ins Tschadgebiet und Sokoto, erforschte dann Adamaua und entdeckte den Benuë. Nach dem Tod aller anderen Expeditionsmitglieder drang er über Sinder nach Timbuktu vor. Auf seinen Reisen erforschte er eingehend die Natur und das Völkerleben des mittleren Sudans.

1849—1871 Der schottische Missionar und Forscher *David Livingstone* entdeckt 1849 auf der Reise durch die östliche Kalahari den Ngamisee. 1851 stößt er im Makolololand auf den oberen Sambesi. 1852 bis 1856 erforscht er zunächst weitere Abschnitte des oberen Sambesi, erreicht dann, durch das südwestliche Kongosystem reisend, Loanda an der Atlantikküste, kehrt darauf zum Sambesi zurück, entdeckt 1855 die Victoriafälle und gelangt über Tete nach Quelimane an der Ostküste. Er hatte damit die erste Durchquerung des südlichen Afrika durch einen Forscher vollendet und fast den gesamten Sambesilauf erkundet. 1858 bis 1864 durchforscht er von neuem das Sambesigebiet, befährt den Schire und entdeckt den Schirwa- und den Njassasee. 1866 bis 1873 findet er auf der Suche nach den Nilquellen den Bangweolo- und den Merusee und trifft auf den Lualaba, die alle zum Kongosystem gehören.

1858 Die Engländer *Burton* und *Speke* entdecken den Tanganjikasee. Speke findet im gleichen Jahr den Viktoriasee, den er 1863 als Quellsee des Nils erkennt.

1862—1879 Der Deutsche *Gerhard Rohlfs* wandert 1862 bis 1864 durch Südmarokko und übersteigt den Hohen Atlas, durchquert 1865 bis 1867 Nordwestafrika von Tripolis bis zum Golf von Guinea, bereist 1868/69 und 1873/74 die Libysche Wüste und stößt dort 1878/79 bis zur Oase Kufra vor.

1865—1872 Der Deutsche *Karl Mauch* erforscht Südafrika, findet die Goldfelder des Maschonalandes und am Tati und entdeckt die Ruinen von Simbabwe.

1868—1871 Der deutsche Botaniker *Georg Schweinfurth* reist in das Gebiet der Wasserscheide zwischen dem oberen Nil und dem Kongo und entdeckt das Zwergvolk der Akka und den oberen Uëlle, einen Nebenfluß des Kongo.

1869—1875 Der deutsche Arzt *Gustav Nachtigal* (1834 bis 1885) durchquert die Sahara von Tripolis bis zum Tschad, entdeckt das Hochland von Tibesti, durchforscht den mittleren Sudan und erreicht den Nil bei Khartum.

1871—1877 Der englische Journalist *H. M. Stanley* findet 1871 den verschollenen Livingstone am Tanganjikasee. 1874 bis 1877 reist er von Bagamojo über den Viktoria- und den Tanganjikasee nach Njangwe am Lualaba, verfolgt den Lauf des Kongo bis zu dessen Mündung und löst damit das Kongoproblem.

1873—1875 Der englische Forscher *Cameron* durchquert als erster Äquatorialafrika von Osten (Bagamojo) nach Westen (Benguela).

1875—1880 Der Franzose *de Brazza* erforscht das Ogowegebiet bis zum Kongo beim heutigen Brazzaville.

1876—1900 Der französische Forscher *Foureau* bringt von zehn großen Saharaexpeditionen über 510 Ortsbestimmungen mit.

1879/80 Der deutsche Geologe *Oskar Lenz* durchquert die Westsahara von Tanger über Timbuktu nach Senegal.

1880—1882 Der Deutsche *Hermann v. Wißman* durchquert im Auftrage der Afrikanischen Gesellschaft als erster Forscher Afrika von West nach Ost, von Loanda nach Sadani.

1883—1887 Der tschechische Forscher *Holub* bereist Südafrika sowie das Sambesigebiet, das er bereits 1875 einmal erreicht hatte.

1889 Der deutsche Geograph *Hans Meyer* ersteigt als erster den Kilimandscharo.

1912—1917 Der Franzose *Tilho* erforscht die zentralsaharischen Landschaften Borku, Tibesti und Ennedi.

1924—1930 Der Ägypter *Kemal ed-Din Hussein* erforscht mit Raupenautos die östliche Libysche Wüste.

1931 Der italienische Forscher *Desio* bereist das Hinterland Libyens.

1936 Der französische Geograph *Monod* durchquert die Tanesruft (Westsahara).

Amerika

981	Der Normanne *Erik Raude* (*Erich der Rote*) entdeckt Grönland.
1000	Eriks Sohn *Leif* entdeckt die Küsten von Labrador und Neufundland sowie das „Vinland", das ist wahrscheinlich die Küste von Massachusetts bei Boston. Später drangen Normannen weit in das Innere Nordamerikas vor.
1492—1504	Der Italiener *Christoph Kolumbus* (Cristóbal Colón; 1451 bis 1506) entdeckt in spanischen Diensten auf der Suche nach Indien und China 1492 die Bahama-Insel Guanahani (Watlings-Insel), Cuba und Haiti, auf der 2. Reise (1493 bis 1496) Puerto Rico und Jamaica, auf der 3. Reise (1498 bis 1500) die südamerikanische Festlandsküste nahe der Orinocomündung und die Insel Trinidad, auf der 4. Reise (1502 bis 1504) die Küste von Honduras.
1497	Der in englischen Diensten stehende italienische Seefahrer *Giovanni Caboto* (*John Cabot*) entdeckt bei dem Versuch, China auf einem Nordwestweg zu erreichen, Labrador und damit das Festland von Nordamerika.
1498—1502	Der italienische Seefahrer *Amerigo Vespucci* (1451 bis 1512) erkundet die Küste Südamerikas vom Mündungsgebiet des Rio Magdalena bis nach Südbrasilien, entdeckt dabei 1500 die Mündung des Amazonas. Nach seinem Vornamen wurde der neue Erdteil Amerika genannt.
1500	Der Portugiese *Cabral* entdeckt Brasilien bei Porto Seguro.
1513	Der Spanier *Ponce de León* entdeckt Florida.
1513	Der Spanier *Balboa* überquert die Landenge von Darién und erblickt die Südsee.
1515	Der Spanier *de Solis* entdeckt auf der Suche nach einer Durchfahrt zum Stillen Ozean die La-Plata-Mündung.
1519—1521	Der Spanier *Fernando Cortez* (1485 bis 1547) erobert Mexiko.
1520	Der in spanischen Diensten stehende Portugiese *Fernão de Magalhães* (um 1480 bis 1521) entdeckt in der nach ihm benannten Meeresstraße die Durchfahrt vom Atlantischen zum Stillen Ozean.
1531—1533	Die Spanier *Pizarro* und *Almagro* erobern das Reich der Inka.
1534/35	Der Franzose *Cartier* entdeckt den St.-Lorenz-Strom.
1535—1537	Der Spanier *Almagro* stößt von Perú bis nach Mittelchile vor.
1541/42	Der Spanier *Orellana* übersteigt die Anden und fährt den gesamten Amazonas hinab.
1578/79	Der englische Kaperführer *Sir Francis Drake* (1545 bis 1596) erforscht auf seiner Erdumsegelungsfahrt die Nordwestküste Nordamerikas bis etwa 48° nördlicher Breite.
1610	Der Engländer *H. Hudson* erreicht die später nach ihm benannte Bai, die möglicherweise bereits 1517 von dem Italiener *Sebastiano Caboto* in englischen Diensten entdeckt worden ist.
1741	Die Leiter der russischen Großen Nordischen Expedition, *Tschirikow* und *Bering*, entdecken die Küste Alaskas.
1789	Der Schotte *Mackenzie* folgte dem später nach ihm benannten Fluß bis zum Nordpolarmeer. 1792/93 vollendet er die erste Durchquerung Nordamerikas.
1799—1804	*Alexander v. Humboldt*, ein Bahnbrecher der wissenschaftlichen Erforschung der Erde, bereist Venezuela, Cuba, Kolumbien, Ecuador, Mittelamerika und Mexiko.
1804—1806	Die Amerikaner *Lewis* und *Clarke* erreichen das Columbiaplateau und den Stillen Ozean.
1873—1900	Der kanadische Geologe *Dawson* erforscht große Teile der kanadischen Rocky Mountains.
1888—1900	Der deutsche Geograph *A. Sapper* bereist Mittelamerika und leitete dessen neuzeitliche Erforschung ein.

Australien und Ozeanien

1520/21	Der in spanischen Diensten stehende Portugiese *Fernão de Magalhães* findet die später nach ihm benannte Straße und durchfährt den Stillen Ozean bis zu den Philippinen, wo er im Kampfe gegen die Bewohner der Insel Matan fällt. Von den fünf Schiffen seiner Flotte konnte nur eines unter *de Elcano* die erste Erdumseglung vollenden (1522).
1526	Der Portugiese *Meneses* entdeckt von Osten her Neuguinea (Irian).
1528/29	Der Spanier *Saavedra* gelangt von Mexiko her nach Neuguinea (Irian) und entdeckt Teile der Admiralitätsinseln, Karolinen und Marshallinseln.

1567	Der Spanier *Mendãna de Neyra* entdeckt die Salomoninseln.
1605/06	Die Spanier *de Torres* und *de Quiros* entdecken Tahiti und Teile der Neuen Hebriden, Torres 1606 auch die nach ihm benannte Straße zwischen Neuguinea (Irian) und der Nordspitze Australiens.
1606	Der Niederländer *Jansz(oon)* trifft auf die australische Festlandsküste am Carpentariagolf. In den folgenden Jahrzehnten werden die Nord-, Ost- und Südküste Australiens durch niederländische Seefahrer bekannt.
1642	Der Niederländer *Tasman* entdeckt die später nach ihm benannte Insel (Tasmanien) sowie Neuseeland, 1643 die Tonga- und die Fidschiinseln sowie den Bismarckarchipel.
1722	Der Niederländer *Roggeveen* entdeckt die Osterinsel und einige Samoainseln.
1768—1779	Der englische Seefahrer *James Cook* (1728 bis 1779) unternimmt drei Erdumseglungen: Auf der 1. Weltreise 1768 bis 1771 in der Südsee entdeckt er von Tahiti aus die Gesellschaftsinseln, die Zweiteilung Neuseelands und die Ostküste Australiens beim heutigen Sydney. Auf der 2. Weltreise 1772 bis 1775 umsegelt er, von den beiden deutschen Naturforschern *J. R.* und *G. Forster* (Vater und Sohn) begleitet, die Erde in hoher südlicher Breite. Er entdeckt Südgeorgien, die Süd-Sandwich-Inseln sowie Neukaledonien und stellt fest, daß es kein großes „Südland" gibt. Auf der 3. Reise 1776 bis 1779 entdeckt er die Hawaii-Inseln und dringt bis ins Beringmeer vor. Bei einem zweiten Besuch in Hawaii wird er 1779 von Inselbewohnern getötet.
1788	Der englische Kapitän *Phillip* gründet beim heutigen Sydney die erste Sträflingskolonie. Von hier aus erfolgt 1813 der erste Vorstoß in das Innere Australiens.
1798	Der englische Arzt *Bass* entdeckt die nach ihm benannte Straße.
1828/29	*Ch. Sturt* erforscht den Darling und Murray.
1840	*Eyre* entdeckt den Eyresee in Südaustralien.
1844/45	Der deutsche Forscher *Ludwig Leichhardt* durchforscht große Gebiete Nordostaustraliens. 1847/48 versucht er eine Durchquerung Australiens von Osten nach Westen, kehrt aber nicht zurück.
1860	*Burke* und *Wills* durchqueren als erste Australien von Süden (Melbourne) nach Norden (Carpentariagolf).
1871/72	Der russische Völkerkundler *Miklucho-Maklai* erforscht die Nordostküste und 1774 die Südwestküste Neuguineas (Irians).
1874—1876	Die Gebrüder *Forrest* durchqueren und erforschen Westaustralien.
1884/85	Die Deutschen *Finsch* und *Dallmann* forschen im Nordostteil Neuguineas (Irians) und im Bismarckarchipel.
1891/92	Der Australier *Lindsay* erforscht die Große Victoriawüste im Innern Australiens.

Arktis (Nordpolarländer)

v. u. Z.	
um 330	*Pytheas von Massilia* (Marseille), der erste Nordlandreisende, umfährt Britannien und stößt nordwärts bis „Thule" vor (wahrscheinlich Mittelnorwegen, nach Ansicht anderer am Bottnischen Meerbusen gelegen).
u. Z.	
860	*Normannen* (Wikinger) entdecken Island, das sie seit 874 besiedeln.
981	Der Wikinger *Erik Raude* entdeckt von Island aus die Südküste Grönlands.
um 1525	Der russische Gesandte in Rom, *Gerassimow*, vertritt als erster den Gedanken einer Nordöstlichen Durchfahrt zum Stillen Ozean und nach China–Indien.
1553	Der englische Seefahrer *Chancellor* kommt auf der Suche nach einer Nordöstlichen Durchfahrt bis zur Mündung der Nördlichen Dwina, reist von dort nach Moskau und knüpft die ersten britisch-russischen Handelsbeziehungen.
1576	Der englische Seefahrer *Frobisher* findet auf der Suche nach der Nordwestlichen Durchfahrt Grönland wieder und entdeckt die nach ihm benannte Bai auf Baffinland.
1585	Der englische Seefahrer *John Davis* entdeckt die nach ihm benannte Straße zwischen Grönland und Baffinland.
1594—1597	Die *Niederländer* versuchen die Nordöstliche Durchfahrt auf drei Reisen zu erzwingen. Dabei gelangte *Barents* bis Nowaja Semlja und entdeckte 1596 Spitzbergen (Svalbard). Alle Vorstöße scheitern aber am Eis der Meere östlich der nach Barents benannten See.

1609/10 Der englische Seefahrer *Hudson* sucht am Hudsonfluß und an der Hudsonbai nach der Nordwestlichen Durchfahrt.

1616 Der Engländer *Baffin* durchfährt die Baffinbai, erreicht den Smithsund und entdeckt die Lancasterstraße, den Eingang zur Nordwestlichen Durchfahrt.

1733—1743 Während der von Zar *Peter I.* veranlaßten „Großen Nordischen Expedition" werden die Nordküsten Sibiriens kartographisch aufgenommen; dabei sollen die Möglichkeiten einer Nordöstlichen Durchfahrt untersucht werden.

1778 *James Cook* dringt auf seiner 3. Erdumseglungsfahrt in der Beringstraße bis 70° 41′ nördlicher Breite vor, um die Nordwestliche Durchfahrt von Westen aus zu erkunden.

1818 Der Engländer *John Ross* stößt im Smithsund nach Norden vor und entdeckt die Etah-Eskimos, die am nördlichsten wohnenden Menschen der Erde.

1819/20 Der Engländer *Parry* dringt auf der Suche nach der Nordwestlichen Durchfahrt bis zur Melvilleinsel und zum Banksland vor.

1820—1824 Der russische Seefahrer *V. v. Wrangel* reist durch Nordsibirien, forscht besonders auf den Neusibirischen Inseln und im Nordpolarmeer.

1831 Der Engländer *James Clarke Ross* entdeckt auf Boothia Felix den südmagnetischen Pol (damals bei 70° 5′ nördlicher Breite und 96° 46′ westlicher Länge).

1845—1848 Der englische Seefahrer *John Franklin* erstrebt mit zwei Schiffen die Nordwestliche Durchfahrt und geht dabei mit 129 Mann zugrunde.

1850—1854 Der Ire *MacClure*, Leiter einer der etwa 40 Expeditionen, die von 1848 an das Schicksal Franklins aufzuklären suchen, gelangt von der Beringstraße aus zum Melvillesund, den Parry von Osten her erreicht hatte, friert dort jedoch ein. Mit Schlitten schlägt er sich 1853 nach Osten durch und trifft auf Expeditionen, die von Osten gekommen sind. Damit ist die Nordwestliche Durchfahrt gefunden, sie erweist sich aber wegen der schweren Vereisung als unbrauchbar.

1872—1874 Die Österreicher *Payer* und *Weyprecht* leiten die österreichisch-ungarische Nordpolexpedition und entdecken 1873 Franz-Josef-Land.

1878/79 Dem schwedischen Geographen *A. E. Nordenskiöld* gelingt mit der „Vega" die erste Nordöstliche Durchfahrt nach einer Überwinterung nahe der Beringstraße.

1888—1896 Der Norweger *Fridtjof Nansen* (1861 bis 1930) überquert 1888 auf Schneeschuhen als erster das grönländische Inlandeis von der Ostküste zum Ameralikfjord an der Westküste. 1893 bis 1896 unternimmt er auf der „Fram" seine berühmte Driftfahrt von den Neusibirischen Inseln aus, verläßt 1895, begleitet von *Johansen*, das Schiff und erreicht mit Schlitten 86° 4′ nördlicher Breite. Wegen der schwierigen Eisverhältnisse ziehen sich beide nach Franz-Josef-Land zurück, wo sie 1896 von der britischen *Jackson*expedition aufgenommen werden. Die „Fram", die unter *O. Sverdrup* ihre Driftfahrt fortgesetzt hatte, kam im gleichen Jahre bei Spitzbergen aus dem Eise frei.

1897 Der Schwede *S. A. Andrée* sucht von Spitzbergen aus den Nordpol im Freiballon zu erreichen. Er bleibt verschollen. Überreste des Forschers, Tagebücher und Fotos wurden am 6. 8. 1930 auf der Insel Vitö (Spitzbergengruppe) aufgefunden.

1898/99 Der russische Ozeanograph *Makarow* setzt als erster einen Eisbrecher, die von ihm entworfene „Jermak", in der Polarforschung bei Vorstößen nach Spitzbergen und Nowaja Semlja ein.

1903—1926 Der Norweger *Roald Amundsen* (1872 bis 1928) durchfährt 1903 bis 1906 als erster die Nordwestliche Durchfahrt von Ost nach West. 1926 fliegt er mit *Ellsworth* im Luftschiff des Italieners *Nobile* von Spitzbergen über den Nordpol nach Alaska.

1909 Der Amerikaner *Peary* erreicht den Nordpol vom Kap Columbia aus. Der Ruhm, als erster in die Nähe des Nordpols gelangt zu sein, wird ihm von seinem Landsmann *Frederick Cook* streitig gemacht, der schon 1908 am Pol gewesen sein will.

1913—1915 Der Russe *Wilkizki* durchfährt mit den Eisbrechern „Taimyr" und „Waigatsch" die Nordöstliche Durchfahrt in westlicher Richtung und entdeckt Sewernaja Semlja.

1919 Gründung des Arktischen Instituts in Leningrad.

1921—1924 Der Däne *Knut Rasmussen* findet auf seiner 5. Thuleexpedition westlich der Hudsonbai die Urheimat der Eskimos.

1926 Der Amerikaner *Byrd* erreicht von Spitzbergen aus im Flugzeug den Nordpol.

1929/30 Eine sowjetische Expedition unter *O. Schmidt* an Bord des Eismeerdampfers „Sedow" errichtet Funkstationen auf Franz-Josef-Land und Sewernaja Semlja und entdeckt die Sedow- und die Wiseinsel.

1931 Auf der Arktisfahrt des Luftschiffes „Graf Zeppelin" unter Führung von *H. Eckener*, an der sich acht deutsche (darunter *L. Weickmann*), vier sowjetische (darunter

R. Samoilowitsch) und zwei amerikanische Gelehrte (darunter *L. Ellsworth*) sowie ein Schweizer und ein Schwede beteiligen, werden wertvolle Luftaufnahmen von der Taimyrhalbinsel, Nowaja Semlja, Sewernaja Semlja und Franz-Josef-Land gewonnen.

1931 Der sowjetische Polarforscher *W. J. Wise* unternimmt mit dem Eisbrecher „Malygin" eine Forschungsreise nach Franz-Josef-Land.

1932 Dem sowjetischen Eismeerdampfer „Sibirjakow" gelingt die erste Befahrung der Nordöstlichen Durchfahrt von Archangelsk bis zur Beringstraße ohne Überwinterung.

seit 1933 Unter Leitung der „Hauptverwaltung des Nördlichen Seewegs" wird von der Sowjetunion der Nördliche Seeweg (die Nordöstliche Durchfahrt) planmäßig ausgebaut; es wird ein System von meteorologischen Stationen, Flugzeugstützpunkten u. a. geschaffen.

1937 Die sowjetischen Flieger *Tschkalow* und *Gromow* fliegen nacheinander von Moskau über den Nordpol nach Oregon bzw. Kalifornien (USA).

1937/38 Eine unter Leitung des sowjetischen Polarforschers *Iwan D. Papanin* stehende Expedition, die auf einer vom Nordpol zur Ostküste Grönlands treibenden Eisscholle stationiert ist („Nordpol 1"), ergründet während der 274tägigen Eisdrift (21. Mai 1937 bis 19. Februar 1938) die geophysikalischen und meteorologischen Verhältnisse im Nordpolarmeer.

1937—1940 Der in der Nähe der Neusibirischen Inseln vom Eise eingeschlossene Eismeerdampfer „Sedow" wird 1938 unter Leitung von *Badigin* als driftende Station eingerichtet; er erreicht 1939 eine Breite von 86° 39,5' und kommt Anfang 1940 bei Spitzbergen aus der Eisgefangenschaft frei.

1941 Der sowjetische Flieger *Tscherewitschny* startet mit dem Ozeanographen *Tschernigowski* und dem Physiker *Ostrekin* von der Wrangelinsel aus zu ozeanographischen Messungen im Nordpolarmeer, besonders im Bereich des „Pols der Unzugänglichkeit".

1944 *Larsen* erzwingt in einem kanadischen Polizeischoner die Nordwestliche Durchfahrt von Ost nach West (Halifax–Vancouver) in einem Sommer (86 Tagen).

seit 1948 Sowjetische Luftexpeditionen erforschen große Teile der Arktis. Dabei wird u. a. der Lomonossow-Rücken, ein untermeerisches Gebirge zwischen den Neusibirischen Inseln und Grantland, entdeckt.

seit 1950 Sowjetische Polarstationen werden auf triftenden Eisschollen im Nordpolarmeer eingerichtet. Die Station „Nordpol 2" legt von April 1950 bis April 1951 nördlich der Wrangelinsel eine Strecke von 2500 km zurück. „Nordpol 9" wurde 1960 bei 77° 23' nördlicher Breite und 163° östlicher Länge eingerichtet. „Nordpol 10" startete im Oktober 1961. Diese Stationen führen u. a. meteorologische, ozeanographische und magnetische Messungen durch und haben die Kenntnisse von der Arktis entscheidend vorangetrieben.

1952—1954 Eine Forschungsgruppe der USA driftet in der Westarktis mit der Eisinsel T 3.

1957—1958 Während des Internationalen Geophysikalischen Jahres entstehen in der Arktis mehrere hundert Forschungsstationen zahlreicher Nationen.

Antarktis (Südpolarländer)

1773 Der Engländer *James Cook* erreicht auf der Suche nach dem „Südland" (2. Erdumseglung) 70° 10' südlicher Breite und entdeckt Südgeorgien und die Süd-Sandwich-Inseln. Er vermutet bereits einen antarktischen Kontinent.

1819 Der Engländer *W. Smith* entdeckt die Süd-Shetland-Inseln.

1819—1821 Eine russische Expedition unter *v. Bellingshausen* und *Lasarew* sucht nach dem Südland und entdeckt nahe dem antarktischen Kontinent die Insel Alexander-I.-Land und Peter-I.-Insel.

1823 Der englische Robbenfänger *Weddell* dringt in die Weddellsee ein und erreicht 74° 15 südlicher Breite.

1839—1843 Gemeinsame wissenschaftliche Erforschung der Antarktis auf der Suche nach dem nordmagnetischen Pol.
Dumont d'Urville (Frankreich) entdeckt Louis-Philippe-, Claire- und Adélie-Land, *Wilkes* (USA) Wilkes-Land, *J. Cl. Ross* (Großbritannien) Süd-Victoria-Land mit den Vulkanen Erebus und Terror und die Rosseisbarriere und erreicht 78° 9,5' südlicher Breite; die Lage des Magnetpols konnte er annähernd bestimmen.

1895 Der norwegische Forststudent *Borchgrevink* betritt als Robbenfangmatrose an Bord der „Antarctic" als erster beim Kap Adare (Süd-Victoria-Land) den Erdteil Antarktika.

1901—1903 Die 1. Deutsche Südpolarexpedition unter *E. v. Drygalski* auf der „Gauß" entdeckt Kaiser-Wilhelm-II.-Land an der heutigen Prawdaküste und den Gaußberg.

1901—1903 Die Expedition des Schweden *O. Nordenskiöld* entdeckt den Landzusammenhang zwischen Grahamland und Louis-Philippe-Land und findet Versteinerungen.

1903—1905 Die schottische „Scotia"-Expedition unter *W. T. Bruce* erkundet die Coatsküste.

1903—1905 Die Expedition des Franzosen *J. Charcot* findet das Loubetland.

1908/09 Der Ire *Shackleton* legt vom Rossmeer aus in 127 Tagen 2830 km zurück und stößt bis 88° 23' südlicher Breite vor. *David* findet den nordmagnetischen Pol.

1911 *Roald Amundsen* erreicht am 16. Dezember als erster den Südpol.

1912 Der Engländer *R. F. Scott* erreicht am 18. Januar den Südpol, über 4 Wochen später als Amundsen. Auf dem Rückwege gehen er und seine Gefährten zugrunde.

1911/12 Die 2. Deutsche Südpolarexpedition unter *W. Filchner* entdeckt Prinzregent-Luitpold-Land im südlichen Randgebiet der Weddellsee.

1915 *Shackleton* entdeckt die Cairdküste.

1928—1947 Der Amerikaner *Byrd* unternimmt vier Antarktisexpeditionen. Sein Hauptstützpunkt ist die 1928 von ihm gegründete Station Kleinamerika (Little America) am Rande des Rossmeeres. Während der ersten Unternehmung (1928 bis 1930) fliegt er 1929 zum erstenmal zum Südpol; auf weiteren Flugunternehmen werden Gebirgszüge im bisher unbekannten Marie-Byrd-Land entdeckt. 1933 bis 1936 werden über 1 Million km² von der Luft aus vermessen, 1939 bis 1941 das Gebiet zwischen Rossmeer und Weddellsee erforscht. 1946 bis 1947 führte Byrd eine 4000 Teilnehmer umfassende Großexpedition militärischen Charakters nach Antarktika, die außer neuen Vermessungsflügen u. a. besonders meteorologische Untersuchungen durchführte.

1938/39 Die „Deutsche Antarktis-Expedition 1938/39" entdeckt Neuschwabenland und die ersten eisfreien „Oasen".

seit 1946 Die in Antarktika vermuteten Bodenschätze lösen einen Wettlauf um die Antarktis aus.

1956—1959 Aus Anlaß des Internationalen Geophysikalischen Jahres (1957 bis 1958) führen Forschungsunternehmen von 12 Staaten (Sowjetunion, USA, Großbritannien, Frankreich, Belgien, Norwegen, Australien, Neuseeland, Japan, Argentinien, Chile, Südafrika) nach einem gemeinsam abgesprochenen Programm eine umfassende Erforschung der Antarktis, besonders Antarktikas, durch.
Die sowjetischen Forscher errichten 1956 ihre Basisstation Mirny in Ostantarktika östlich des Gaußberges an der Prawdaküste. Von hier aus legen sie eine Reihe von Binnenstationen an: 1956 „Pionerskaja" (375 km von Mirny entfernt), 1957 „Wostok I" (635 km von Mirny), „Komsomolskaja" (865 km) und „Wostok" im Bereich des geomagnetischen Pols (1400 km von Mirny), 1958 „Sowjetskaja" im Bereich des „Pols der relativen Unzugänglichkeit" (2000 km von Mirny). Ende 1959 erreicht eine sowjetische Raupenfahrzeugexpedition den Südpol. Die Forschungen werden auch nach 1958 fortgesetzt.
Die Forscher der USA errichten von Kleinamerika aus 1956 die Stationen „Byrd" im Marie-Byrd-Land und „Südpol" am geographischen Pol.
Von der britischen Basisstation „Shackleton Base" (seit 1956) am Rande der Weddellsee unternimmt *Vivian Fuchs* 1957/58 die erste Transantarktische Expedition über den Südpol zur neuseeländischen „Scott Base" am Rossmeer; von dort erreichte *Hillary* Anfang 1958 noch vor Fuchs den Südpol.
Der Antarktisvertrag von 1959, der von allen an der Südpolarforschung beteiligten Mächten abgeschlossen worden ist, sichert die Auswertung der Forschungsergebnisse zu friedlichen Zwecken.

Ozeane

1857—1859 Die österreichische Novaraexpedition unter *v. Wüllerstorf-Urbain* forscht im Atlantischen, Indischen und Stillen Ozean.

1872—1876 Die englische *Challengerexpedition* unter *G. Nares* und *W. Thomson* führt in allen drei Weltmeeren auf einer Fahrt von 68890 Seemeilen Tiefseelotungen und Tiefseetemperaturmessungen, erdmagnetische, biologische und hydrographische Forschungen durch.

1873—1878 Die nordamerikanische *Tuscaroraexpedition* forscht im Stillen Ozean, lotet östlich von Japan 8513 m („Tuscaroratiefe").

1874—1876 Die deutsche Korvette „*Gazelle*" forscht im Atlantischen, Indischen und Stillen Ozean.

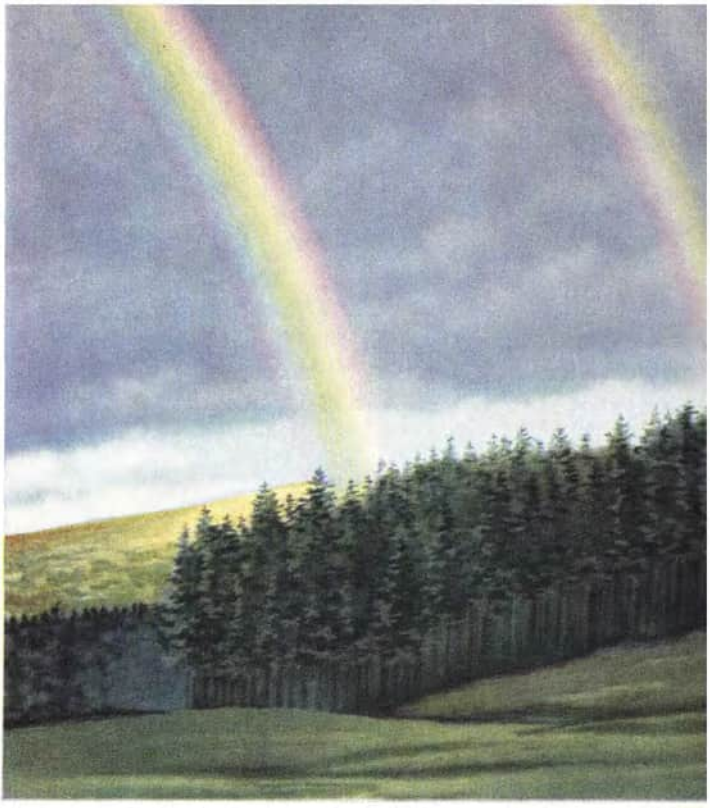
1898/99	Die deutsche *Valdiviaexpedition* unter dem Zoologen *Chun* und dem Ozeanographen *Schott* stellt Tiefenlotungen und Temperaturmessungen im Atlantischen und Indischen Ozean an.
1906/07	Die deutsche *Planetexpedition* findet bei den Philippinen die „Planettiefe" (9788 m).
1925—1927	Die deutsche *Meteorexpedition* erforscht unter der wissenschaftlichen Leitung von *A. Merz* und *F. Spieß* in 14 ozeanographischen Querprofilen mit über 300 Stationen den Südatlantik von 20° nördlicher Breite bis 65° südlicher Breite.
1934	Der amerikanische Zoologe und Tiefseeforscher *Beebe* erreicht in seiner Tauchkugel fast 1000 m Tiefe.
1951	Das britische Vermessungsschiff „Challenger II" stellt bei einer Kontrollmessung südwestlich Guam im Marianengraben eine Tiefe von 10899 m fest.
1957—1959	Das sowjetische Forschungsschiff „*Witjas*" forscht in allen Ozeanen und stellt in der „Witjastiefe" des Marianengrabens eine Tiefe von 11034 m fest, d. i. die größte bisher gemessene Tiefe der Weltmeere.
1960	*J. Piccard* und *W. Walsh* erreichen mit einer von dem Schweizer *A. Piccard* entworfenen stählernen Tauchkammer im Stillen Ozean eine Tiefe von 10916 m.



Minerale (Erze) 1 Buntkupferkies (USA) 2 Pyrit (Chile) 3 Kupferkies (Siegerland) 4 Zinnstein (Zinnwald/Erzgeb.) 5 Zinkblende (Ungarn) 6 Arsenkies mit Quarz (Freiberg/Sachsen) 7 Garnierit (Callenberg/Erzgeb.) 8 Bleiglanz (Freiberg/Sachsen) 9 Roteisenerz (Thüringen) 10 Uranpecherz mit Uranocker (ČSSR) 11 Zinnober (Saarland) 12 Antimonglanz (Ungarn)



Edelsteine (Vorkommen in der Natur, darunter geschliffene Formen) 1 Turmalin im Quarz von der Insel Elba; links Rubellit, rechts Chromturmalin 2 edler Opal aus Neusüdwales 3 Rauchquarz aus der Schweiz 4 Amethyst mit Quarz aus Brasilien 5 Zitrin aus New Mexiko 6 Chrysopras im Muttergestein aus Polen 7 Achat aus Brasilien 8 Granat im Glimmerschiefer aus Norwegen 9 Heliotrop aus dem Iran



Die bei Regenschauer auftretenden Regenbogen werden durch die Lichtbrechung von Sonnenstrahlen in Regentropfen hervorgerufen. Der Hauptregenbogen bildet einen in den Spektralfarben leuchtenden Bogen mit etwa 42° Öffnungswinkel; der gelegentlich auftretende schwächere Nebenbogen mit umgekehrter Farbfolge hat 51° Öffnungswinkel

Regenbogen

Vulkanausbruch

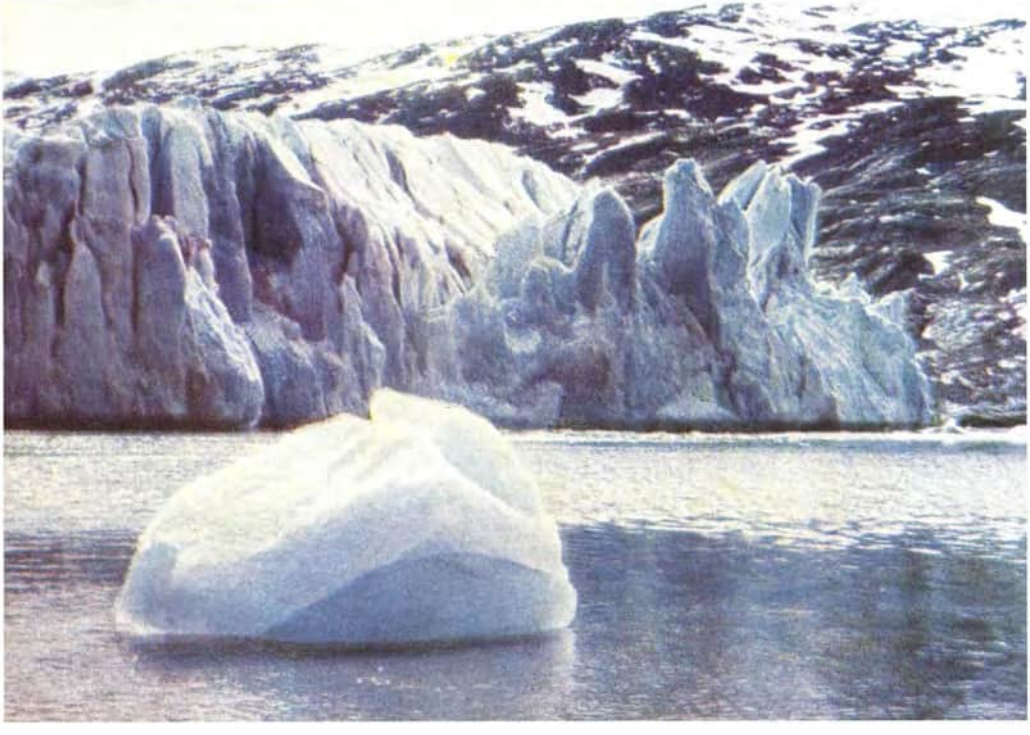


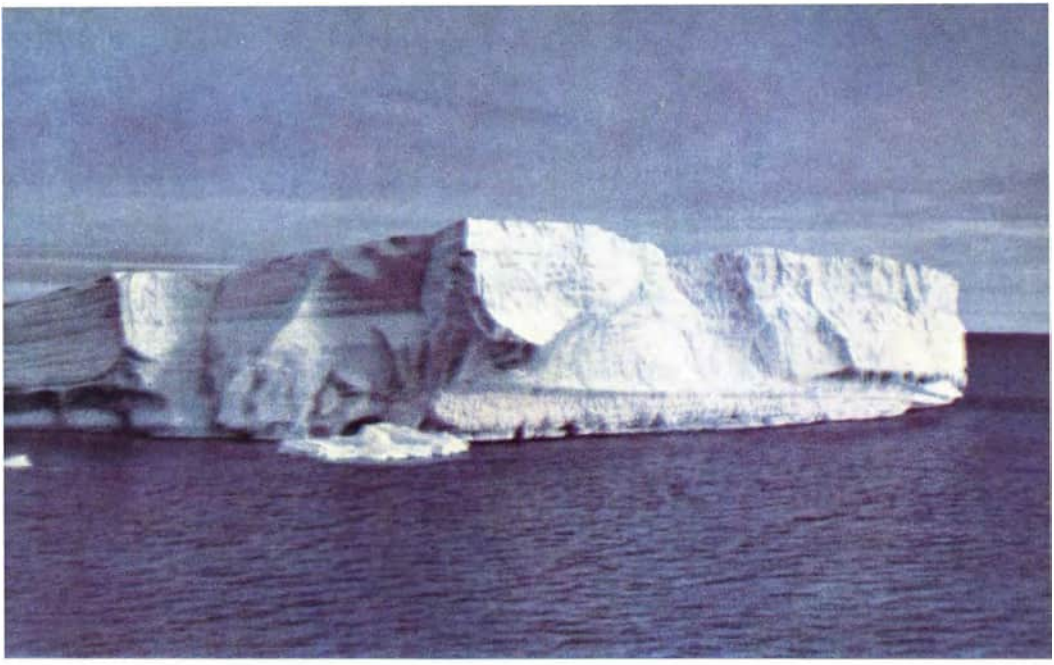
Die fast ununterbrochen tätigen Vulkane Stromboli und Vulcano der Liparischen Inseln nördlich von Sizilien bieten bei nächtlichen Eruptionen ein eindrucksvolles Feuerwerk. Der über 900 m hohe Strombolikegel ist hier aus etwa 500 m Entfernung aufgenommen, als er rotglühende vulkanische Bomben auswirft



Arktischer Eisberg

Enden Gletscher unmittelbar im Meer, so brechen an ihrer Stirnseite von Zeit zu Zeit Teile der Zunge ab und schwimmen aus den Fjorden hinaus ins freie Meer (*unten*). Mit der Meeresströmung werden sie dann von Grönland aus an der nordamerikanischen Küste entlang bis weit nach Süden geführt, wo sie die Schiffahrt ernstlich gefährden können, bis sie allmählich aufgezehrt werden (*oben*)



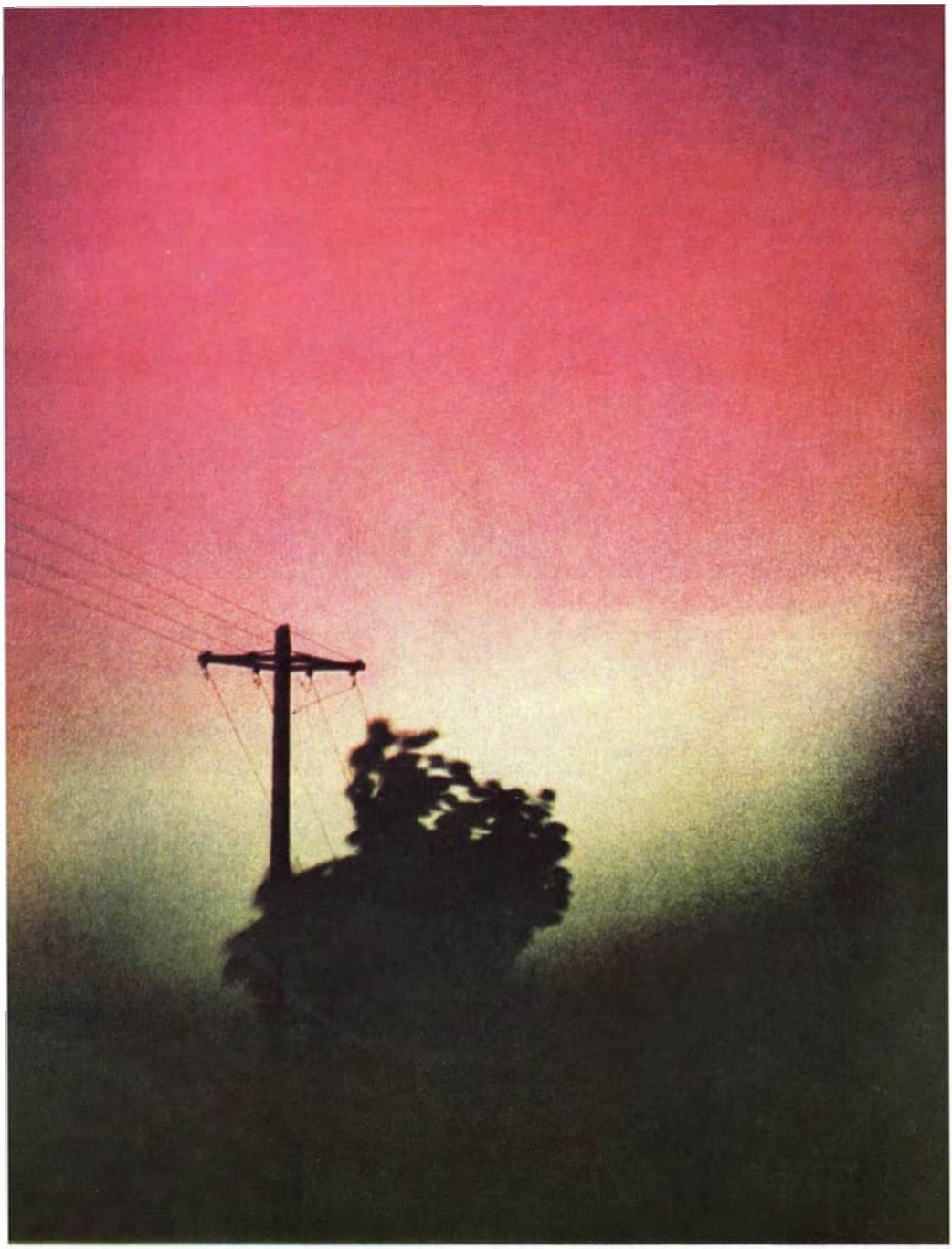


Antarktischer Eisberg – Halo

oben Die antarktischen Eisberge sind, da sie sich als große Schollen vom Schelfeis lösen, oft riesige, zum Teil kilometerlange Eistafeln, die, wie alle Eisberge, nur zu einem geringen Teil, etwa einem Neuntel der Gesamtmasse, aus dem Wasser herausragen. An ihren Rändern ist die Eisschichtung gut zu erkennen

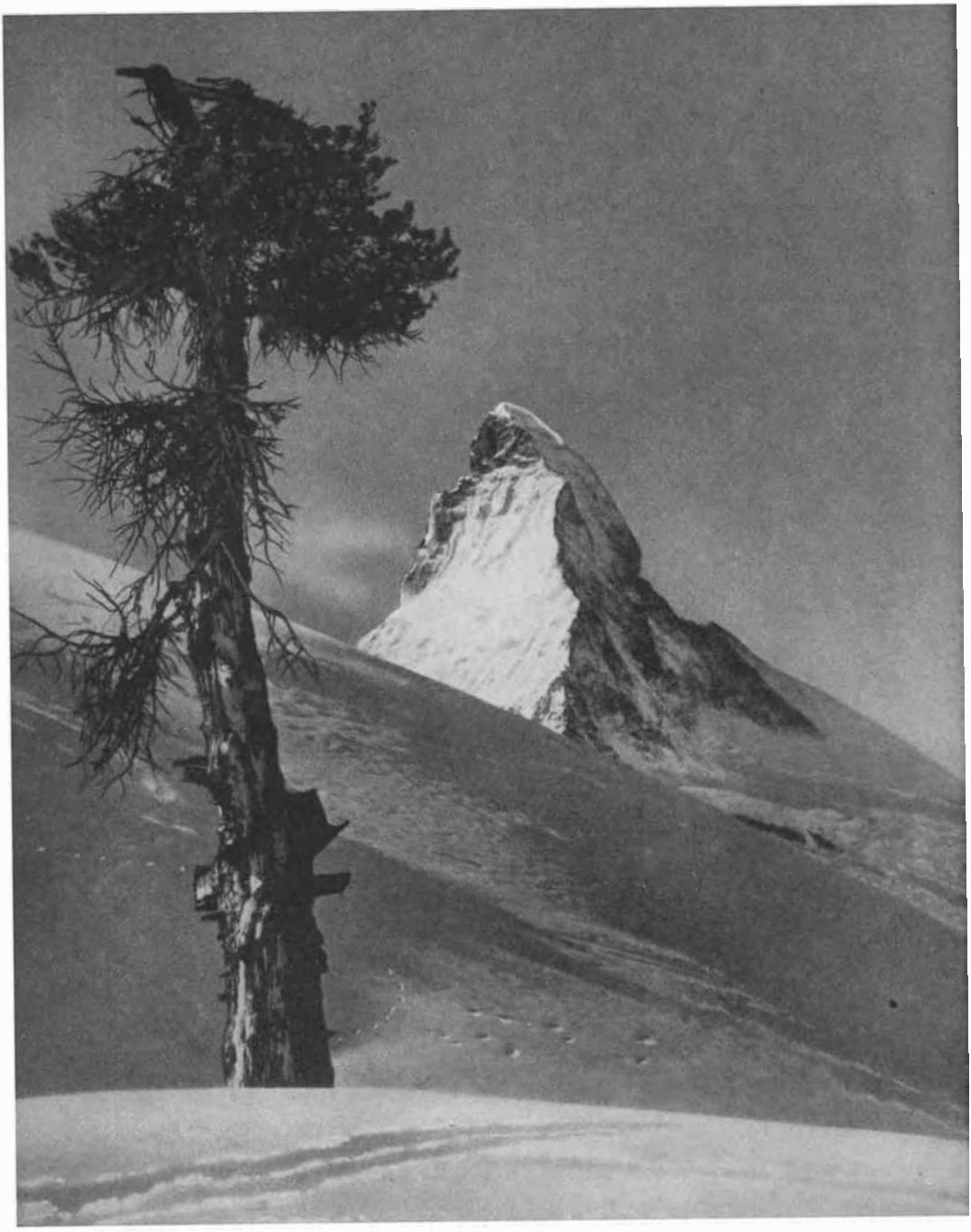
unten Die Sonnenringe oder Halo zeigen sich in höheren Breiten. Außer Ringen, die meist weiß, seltener farbig leuchten, treten zusätzlich noch Lichtstrahlen, Säulen und eventuell auch Neben- und Gegensonnen auf. Das Phänomen entsteht durch Spiegelung von Sonnenstrahlen an Eiskristallen und hohen Wolken. Das Bild wurde in der Nähe von Thule in Nordgrönland aufgenommen





Nordlicht

Nordlicht kennen die meisten Menschen nur vom Hörensagen. Es ist in unseren Breiten nur selten zu sehen und noch seltener wird es photographiert. Die Farbaufnahme zeigt eine Nordlichterscheinung an der deutschen Ostseeküste



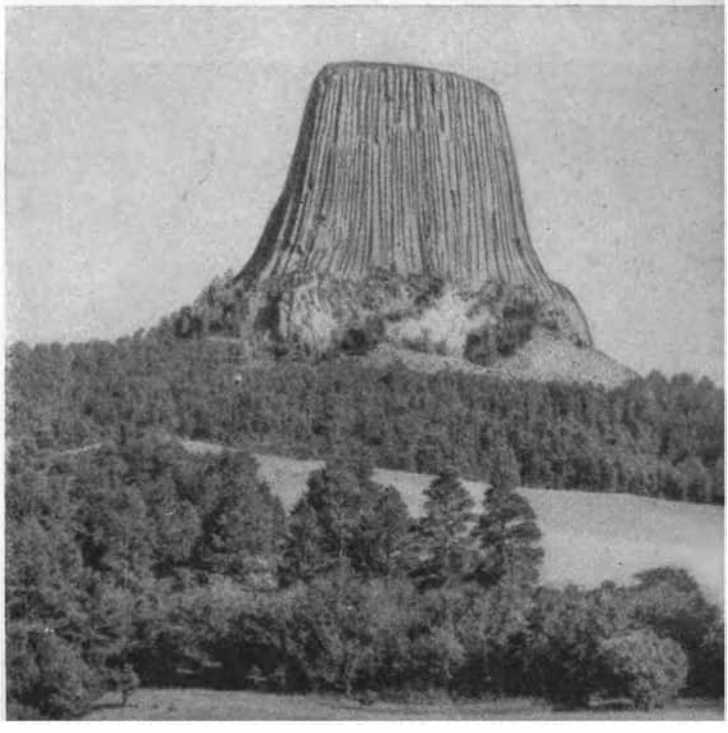
Alpengipfel

Das Matterhorn, der schönste Berg der Alpen, liegt an der schweizerisch-italienischen Grenze; die steilwandige Gneispyramide von 4 502 m Höhe überragt den vergletscherten Hauptkamm der Penninischen Alpen um mehr als 1 000 m (Erstbesteigung am 14. Juli 1865)



Vulkanlandschaften gehören zu den eindrucksvollsten Naturräumen. Dieser Vulkankegel entstand am 20. Februar 1943 im Mexikanischen Hochland inmitten gepflügten Kulturlandes und wuchs in 8 Monaten zu einem etwa 500 m hohen Kegel empor; die ausfließende Lava bedeckte mehr als 25 km²

Vulkanismus I

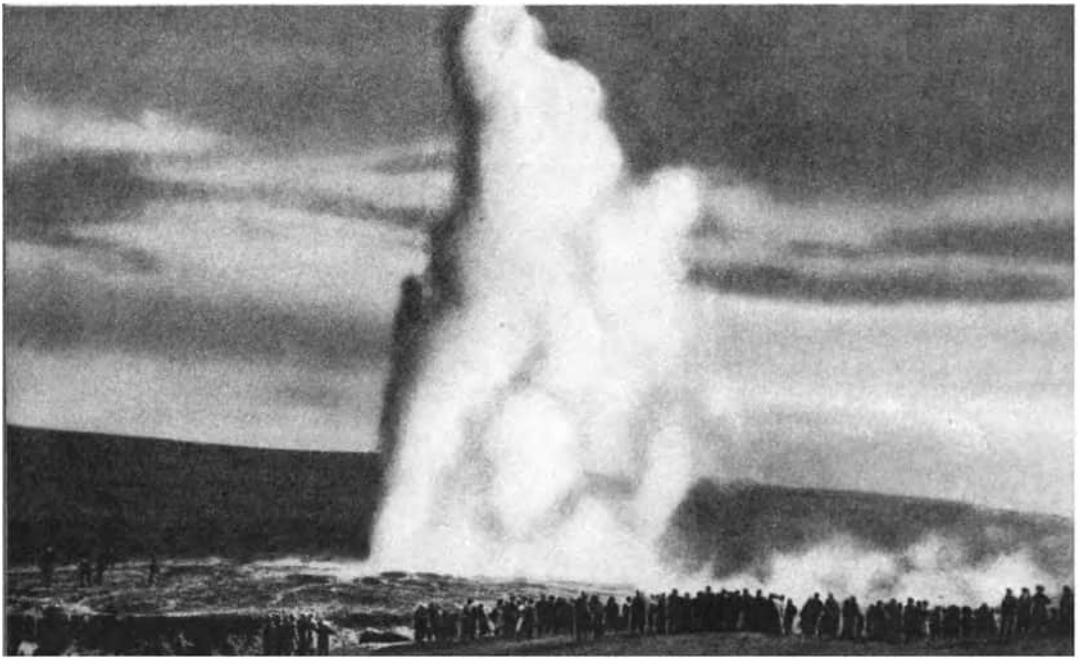


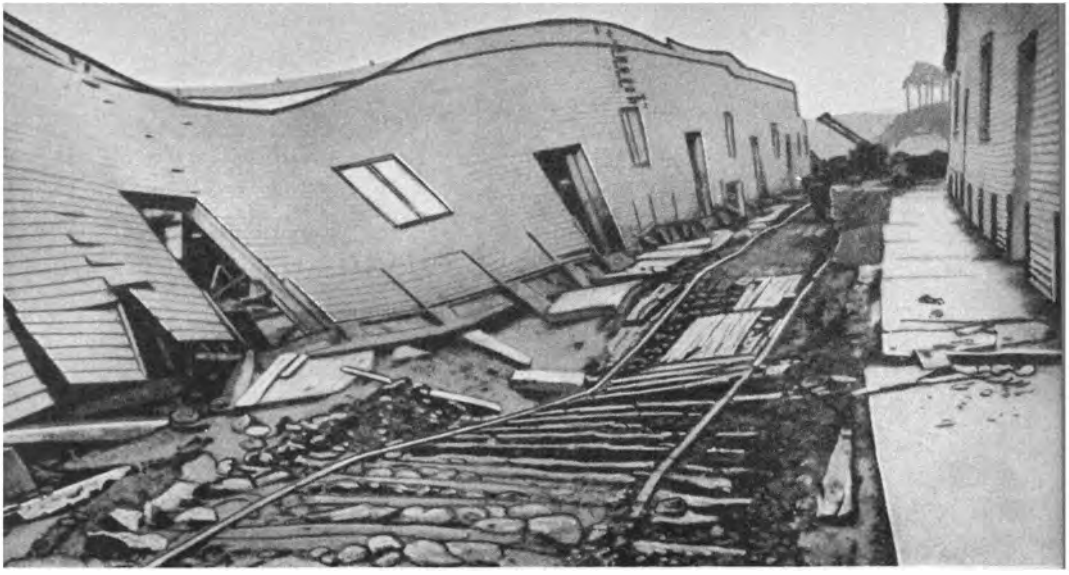
Die gleichmäßigen, senkrecht stehenden Basaltsäulen von 1,8 m Durchmesser am Teufelsturm (Devil's Tower) im NO des USA-Staates Wyoming gelten als erstarrte Lavafüllung eines Vulkanschlotes, der in geologischer Vergangenheit die Sedimentdecke durchstieß und später durch die Abtragung als steiler, über 250 m hoher Kegelstumpf (am Fuß 300 m, oben 62 m Durchmesser) aus ihr herauspräpariert wurde



Vulkanismus II

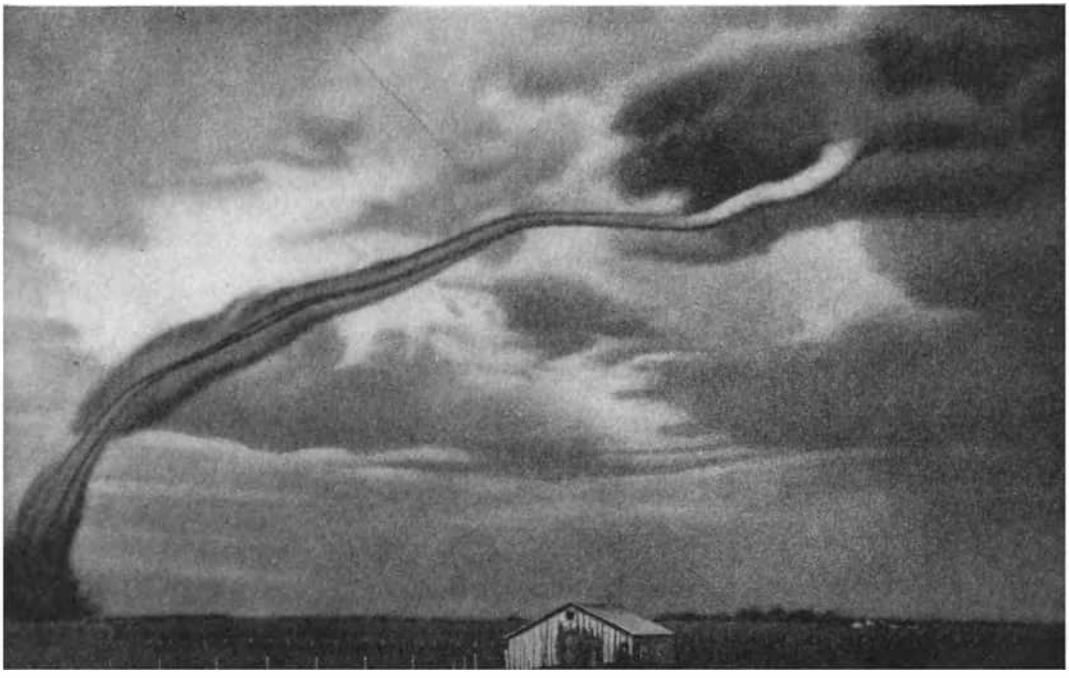
Begleiterscheinungen und Nachwirkungen des Vulkanismus sind heiße Quellen und Geysire, die in großartiger Weise in Island auftreten. In Reykjavik werden die in der Umgebung zahlreich aus dem Boden sprudelnden heißen Quellen (*Bild oben*) zum Beheizen großer Gewächshäuser und zur Versorgung ganzer Stadtteile mit Heißwasser genutzt. Der häufig von Touristen besuchte Große Geyser (*Bild unten*) schleudert seine dampfenden Wassermassen alle 24 bis 30 Stunden als 30 m hohe Fontäne in die Luft. Geysire kommen nur in wenigen jungvulkanischen Gebieten der Erde als seltene Naturerscheinung vor



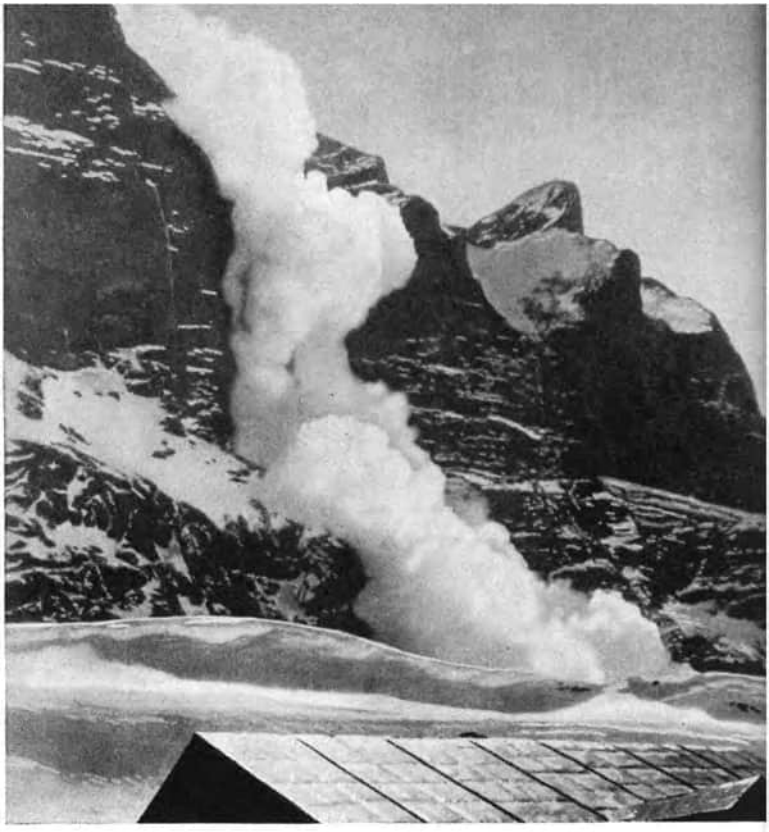


Erdbeben Die in der Erdkruste vorhandenen Spannungen führen häufig zu räumlich und zeitlich begrenzten Erschütterungen, die von leichten Erdstößen bis zu starken Beben reichen. Bei den in größeren Zeitabständen auftretenden Katastrophenbeben werden im Zentrum schwere Zerstörungen verursacht: Häuser, Brücken, Straßen und Bahnlinien werden zerstört, meterbreite Spalten öffnen sich, Geländeteile heben und senken sich, wie hier bei dieser im Juni 1960 zerstörten Bahnstation bei Santiago (Chile)

Wirbelsturm Über stark erhitzten Trockengebieten treten bei großen horizontalen Temperaturgegensätzen Wirbelstürme, sogenannte Tromben auf. Aus einer mittelhohen Wolke wächst ein schlauchförmiges Gebilde heraus, das die Erde erreicht. Durch die rasche Drehbewegung herrscht im Inneren eine heftige Saugwirkung, die längs einer sehr schmalen, aber oft kilometerlangen Bahn schwere Verwüstungen anrichtet. Besonders gefürchtet sind die verheerenden Wirbelstürme Nordamerikas, die Tornados, in denen Windgeschwindigkeiten bis 400 km/h gemessen worden sind



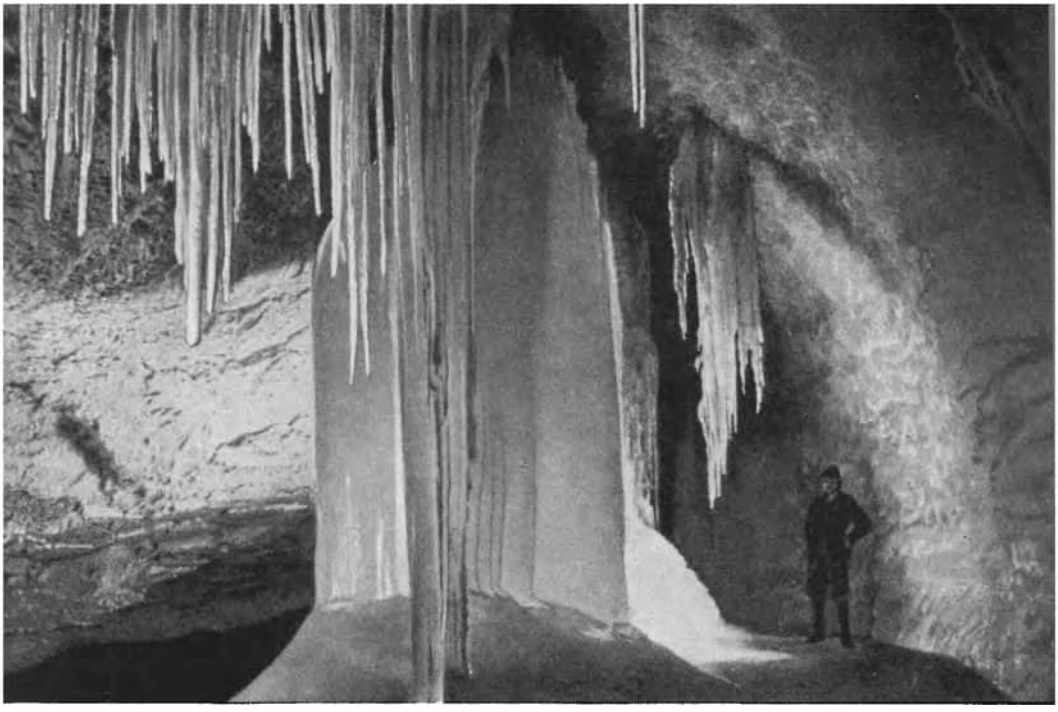
Ein auf das Hochgebirge beschränktes Naturphänomen sind die Lawinen. Die im allgemeinen bei Tauwetter abgehenden Grundlawinen reißen Erdreich und Gesteinsmaterial mit zu Tal; der Lawinenkegel bildet dann ein wirres Durcheinander von Schnee, Eis, Erde, Steinen und geknickten Bäumen (Grundlawine am Wetterhorn bei Grindelwald, Schweiz)



Lawine — Gletscher

Aus der Schnee- und Eisregion der Hochgebirge reichen die Gletscher oft bis weit in die Täler hinunter, wie hier am Jostedalsbre in Südnorwegen, wo der Lodalsbre mit seiner deutlichen Mittelmoräne weit in ein trogartiges Seitental des Sognefjordes hineinreicht; im Vordergrund ein vom Gletscherabfluß aufgeschüttetes, den Talboden ausfüllendes Sandfeld



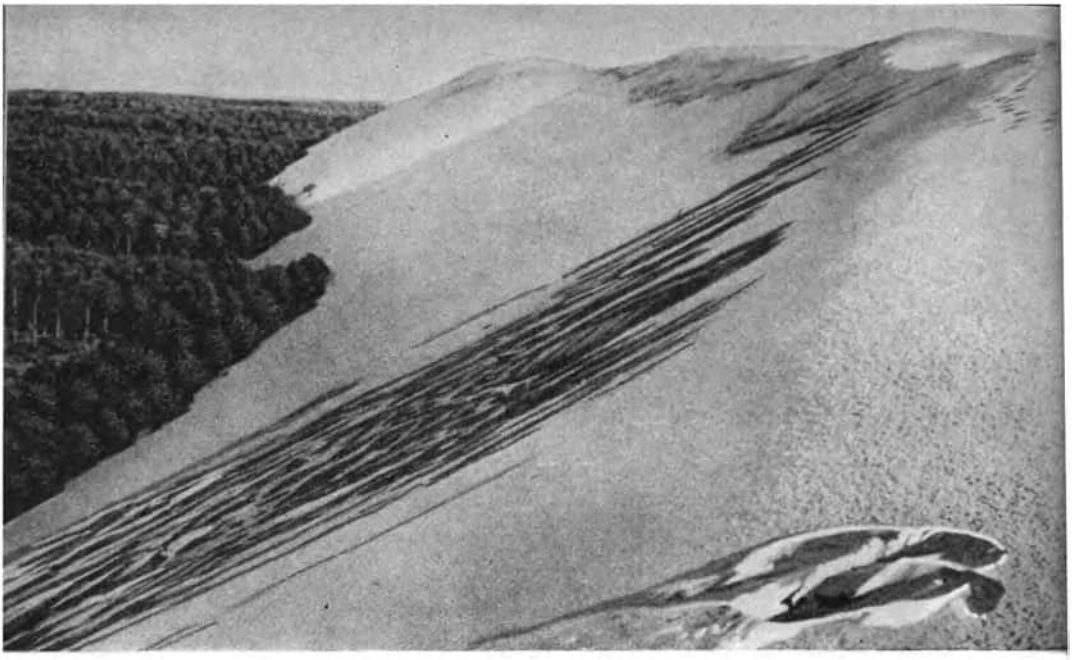


Unter den Höhlen gelten die Eishöhlen mit Recht als Besonderheit. Das den Boden überziehende Sohleneis, die Eiskegel, die Eissäulen und die bizarren Eiszapfen entstehen durch Gefrieren der Sicker- und Höhlenwässer. Die Eisgebilde halten sich über lange Zeiträume, wenn die im Winter in die Höhle einfließende Kaltluft im Sommer nicht entweichen kann und so wärmerer Luft den Zutritt versperrt (Eisriesenwelt-Höhle im Tennengebirge, Land Salzburg)

Höhle — Nordlicht

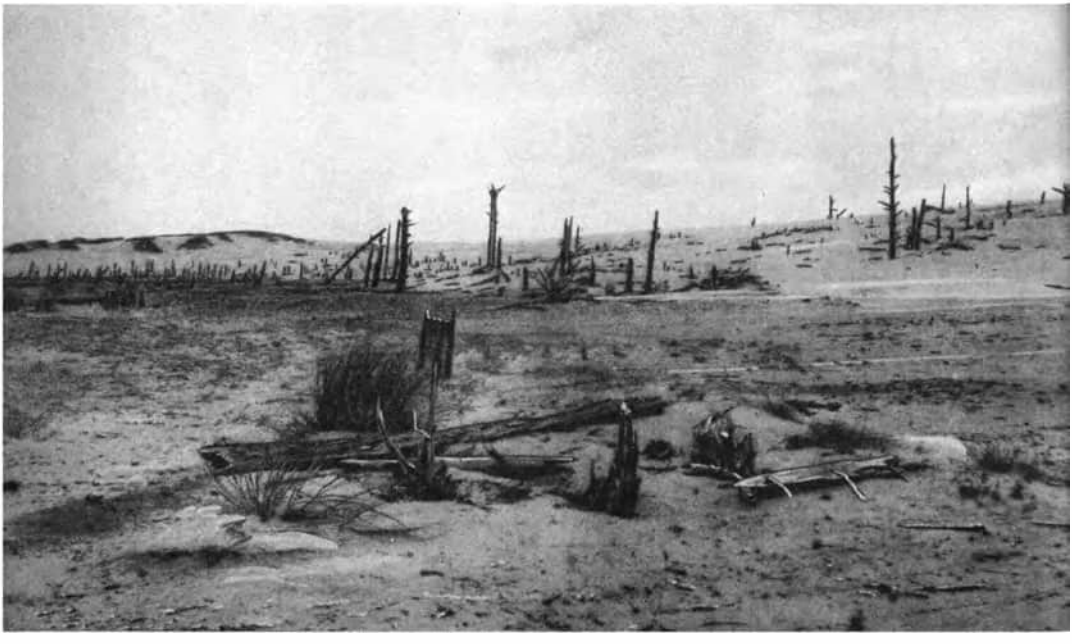


Das in den Polargebieten häufig, in den mittleren Breiten nur selten zu beobachtende Polar- oder Nordlicht, eine Lichterscheinung am Abend- und Nachthimmel, wird durch den Erdmagnetismus verursacht. Diese Erscheinung hat sehr verschiedene, rasch wechselnde oder auch länger still verharrende Gestalt (Aufnahme aus Finnisch-Lappland in der Nähe des Observatoriums Sodankylä, nördlich des Polarkreises)



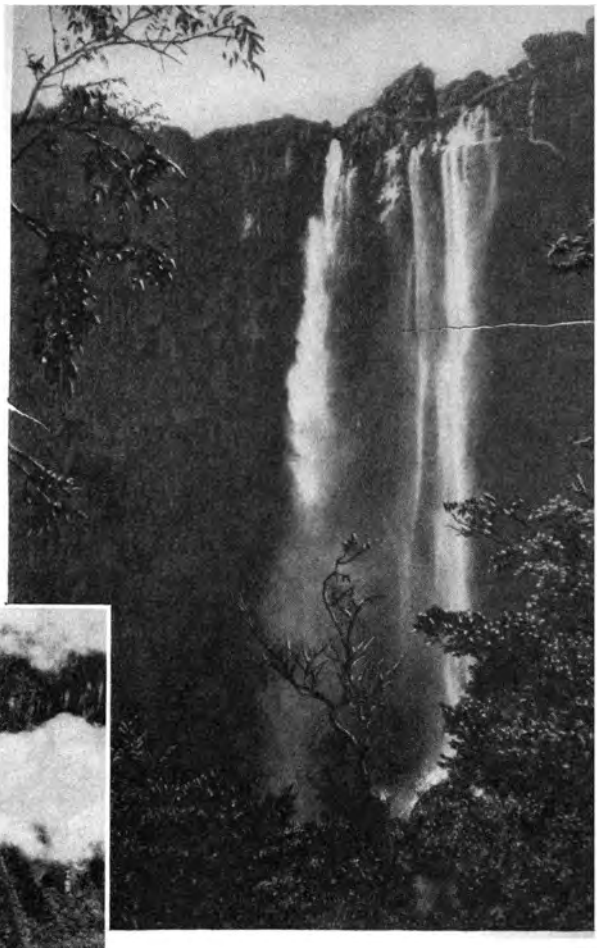
Wanderdüne

Beeindrucken die Wanderdünen der Sandwüsten innerhalb der Trockengürtel der Erde durch ihre Großartigkeit, so ziehen die Küstendünen als eng begrenztes Fremdelement in vegetationsbedeckter Umgebung die Aufmerksamkeit auf sich. Auf dem oberen Bild verschüttet eine mächtige Wanderdüne mit ihrem steilen, dem Wind abgekehrten Leehang einen Kiefernwald. Wird später, oft erst nach vielen Jahren, eine solche Stelle von der Düne wieder freigegeben (ihr flacher, dem Wind zugekehrter Luvhang ist auf dem unteren Bild rechts noch sichtbar), kommt nur ein toter Wald aus morschen Baumgerippen wieder zum Vorschein



Wasserfall

Der überwältigende Eindruck aus großer Höhe herabstürzender Wassermassen wird durch optische und akustische Reize ausgelöst.





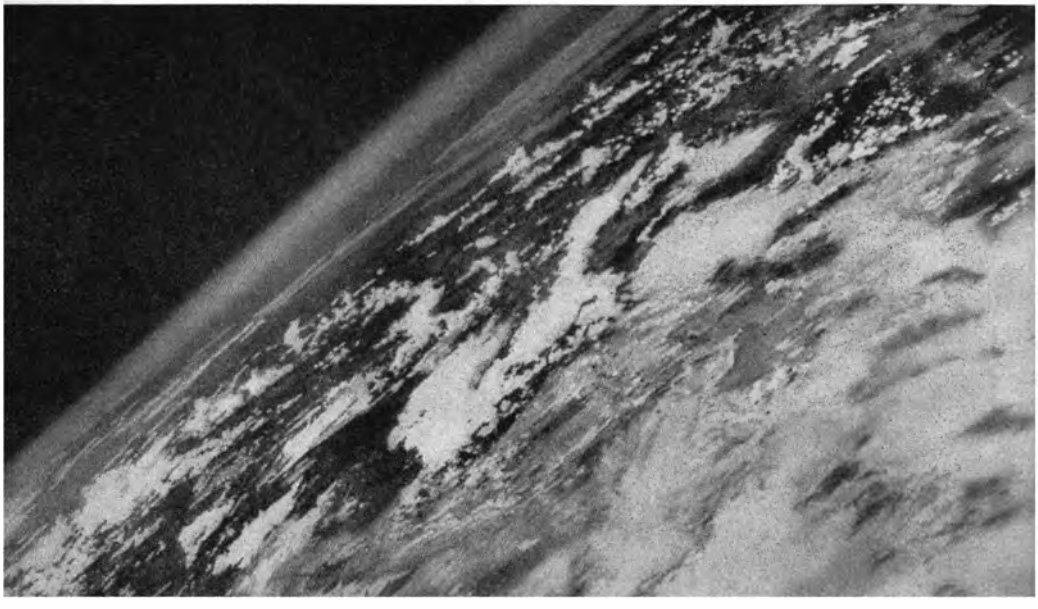
Bei dem erst jüngst bekannt gewordenen Angelfall stürzen vom Sandsteinklotz des Roraima (Bergland von Guayana, Venezuela) die an verschiedenen Stellen unterhalb der 2400 m hohen Oberkante der fast senkrechten Felswände in Strängen austretenden Wassermassen mit gewaltigem Getöse, teilweise schon im Fall zerstiebend, 980 m tief in einen Talkessel hinunter. Der Angelfall ist der höchste Wasserfall der Erde



Unter den vielfältigen Wolkenformen fallen die quellenden und brauenden, oft mächtige Türme bildenden Kumuluswolken besonders auf, zumal wenn sie am tiefblauen Sommerhimmel über Berggipfeln auftreten, wo die zum Aufsteigen gezwungenen Luftschichten in größere Höhen geführt werden

Wolken

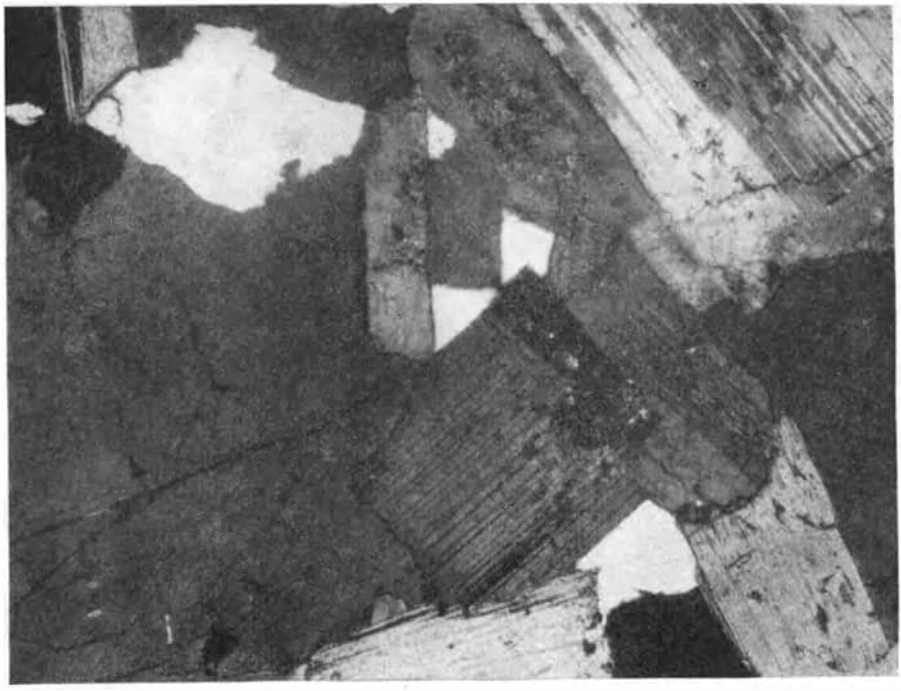
Mit der Entwicklung der Raketentechnik wurde es möglich, photographische Bilder von größeren Teilen der Erdoberfläche aus mehreren hundert, ja sogar tausend Kilometer Höhe aufzunehmen. Bei Schrägaufnahmen können dadurch die Erdkrümmung und oft auch interessante Wolkenbildungen ausgemacht werden, die bei kontinuierlicher Beobachtung, etwa vom Wettersatelliten aus, die dynamischen Vorgänge in der Erdatmosphäre sichtbar werden lassen



Steilküste



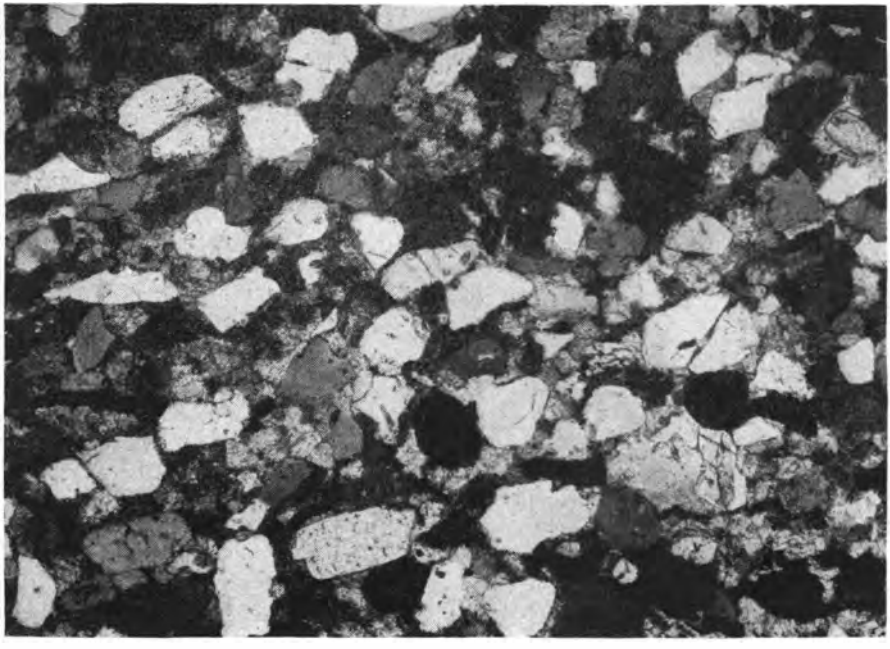
Die großartigsten Steilküsten der Erde finden sich in den ehemals vergletscherten Gebieten. An den nach dem Abschmelzen des Inlandeises und nachfolgender Landhebung mit fast senkrechten Wänden unmittelbar aus dem Meer aufsteigenden, schwer zugänglichen Felsküsten werden, wie hier in Island, die Gesteinsstrukturen gut sichtbar



Sehr grobkörniger Granit (Biotitgranit), Vergrößerung 30fach

Granit — Sandstein
Dünnschliffaufnahmen

Mittelkörniger Sandstein; die deutlich erkennbaren Quarzkörner liegen in einem kalkig-tonigen Bindemittel, Vergrößerung 35fach



LEBEN

INHALTSÜBERSICHT

I. *Die Organismenwelt der Erde* 576
Das Leben in seiner Gesamtheit 576
Organismen und Umwelt 577

II. *Aufbau und Eigenschaften der lebenden Materie* 579
Was ist das Leben? 579
Die chemische Zusammensetzung .. 579
Stoffwechsel 581
Reizbarkeit 582
Entstehung des Lebens auf der Erde 583

III. *Einfache Lebensformen und Grundelemente des pflanzlichen und tierischen Körpers* 584
Einfachste Formen und Bakterien .. 584
Die Zelle 586
Das Gewebe 587

IV. *Fortpflanzung, Befruchtung und Vererbung* 592
Fortpflanzung 592
Befruchtung 592
Vererbung 593

V. *Entwicklung* 594
Beziehungen zwischen Einzel- und Stammesentwicklung 594
Individuelle Entwicklung 595
Stammesentwicklung 596
Die Abstammungslehre und die Faktoren der Evolution 601

VI. *Wichtige Jahreszahlen* 603

I. Die Organismenwelt der Erde

DAS LEBEN IN SEINER GESAMTHEIT

Außerirdisches Leben. Das Leben ist eine Existenzform der Materie. Diese, durch besondere qualitative Merkmale ausgezeichnete Existenzform der Materie entsteht unter bestimmten Bedingungen gesetzmäßig. Das Leben ist folglich keine Zufallserscheinung, die an unseren Planeten Erde gebunden ist. Ob innerhalb unseres Sonnensystems auch auf anderen Planeten irgendwelche Lebensformen existieren, ist bislang noch nicht bewiesen. Für mehrere dieser Planeten muß diese Frage mit ziemlicher Sicherheit verneint werden; so für den Planeten Merkur und die erdfernen Planeten. Dagegen deuten gewisse Anzeichen darauf hin, daß es auf Mars und Venus, unseren Nachbarplaneten, Lebensformen gibt.
Außer durch theoretische Überlegungen erhalten wir gegenwärtig über solche Fragen nur durch die Fernbeobachtungen der Himmelskörper Hinweise. Schon in nächster Zeit wird auch die Astronautik zur Lösung dieser Probleme beitragen.
Als sicher darf angenommen werden, daß es außerhalb unseres Sonnensystems weitere Himmelskörper gibt, die von Lebewesen bewohnt werden. Selbst die Existenz von vernunftbegabten Lebewesen außerhalb der Erde in der Unendlichkeit des Weltalls ist wahrscheinlich.
Von den Erscheinungsformen des Lebens auf anderen Himmelskörpern können wir uns noch keine Vorstellungen machen. Es muß aber auf Grund unserer heutigen Kenntnisse angenommen werden, daß es im wesentlichen den gleichen Gesetzen unterliegt wie auf dem Planeten Erde.

Lebensbedingungen auf der Erde. Das Leben auf der Erde ist an bestimmte Grundbedingungen geknüpft, die im wesentlichen auch für das außerirdische Leben gelten dürften. Zu den lebenswichtigen Bedingungen zählen vor allem:

1. Ein günstiger *Temperaturbereich.* Dieser liegt etwa zwischen 0 und + 40 °C; wird er überschritten, beginnt die Zerstörung der Eiweißkörper; wird er unterschritten, geht das ebenfalls lebensnotwendige Wasser in den festen Zustand über. Die Einhaltung der optimalen Temperatur wird auf der Erde durch den günstigen Radius der Erdbahn um die Sonne und durch die günstige Neigung der Erdachse zur Erdbahn bewirkt.
2. Das Vorhandensein von *Wasser.*
3. Die Ausbildung einer *Gashülle* (Atmosphäre), die Sauerstoff und Kohlendioxyd enthält.
4. *Licht* (Sonneneinstrahlung).

Zu den Voraussetzungen für die Existenz von Leben gehört auch die atmosphärische Abschirmung energiereicher Strahlen, die, wenn sie ungeschwächt aus dem Kosmos auf die Erdoberfläche gelangen würden, jedes Leben unmöglich machten.
Einzelne Organismen können sich von einigen dieser Faktoren unabhängig machen. So gibt es eine Reihe von Mikroorganismen, die ohne Sauerstoff auskommen können (*anaerobe Mikroorganismen*), manche Tiere leben in völliger Finsternis (z. B. Höhlenbewohner, Tiefseeformen). Das Leben in seiner Gesamtheit ist aber vom Vorhandensein dieser Bedingungen abhängig.

Die Verteilung der Lebewesen auf der Erde. Die gegenwärtige Verteilung des Lebens hat sich historisch entwickelt. Immer mehr Lebensräume wurden von den Organismen erschlossen. Selbst dem Leben ungünstige Räume der Erdoberfläche wurden von spezialisierten Formen besiedelt. Heute sind nur noch das Innere der polaren Eisfelder, die höchsten Gipfel der Hochgebirge, sowie manche heißen Quellen und kohlensäuregefüllten Höhlen frei von Leben.
Der Lebensraum der Pflanzen und Tiere bildet, gemessen am gesamten Erdkörper, eine sehr dünne Kugelschale. Wenn man die anorganischen Kugelschalen, die sich an der Oberfläche unseres Planeten befinden, gewöhnlich als *Lithosphäre* (Gesteinshülle), *Hydrosphäre* (Wasserhülle) und *Atmosphäre* (Lufthülle) bezeichnet, so kann man ihnen den Lebensraum der Organismen als *Biosphäre* gegenüberstellen oder beiordnen. Die Biosphäre umfaßt die drei genannten anorganischen Kugelschalen in verschiedenem Umfang:

Lithosphäre. Stark besiedelt ist nur die oberste Bodenschicht. Auch im Grundwasser existieren Lebewesen. Maximale Grenze örtlich verschieden 2 bis 10 m.

Hydrosphäre. In ihrer Gesamtheit besiedelt. Über $^2/_3$ der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt. Den größten Anteil haben die Ozeane, deren durchschnittliche Tiefe annähernd 4000 m beträgt. Auch in den tiefsten Grabenbrüchen (bis über 10000 m) wurden tierische Lebewesen gefunden.

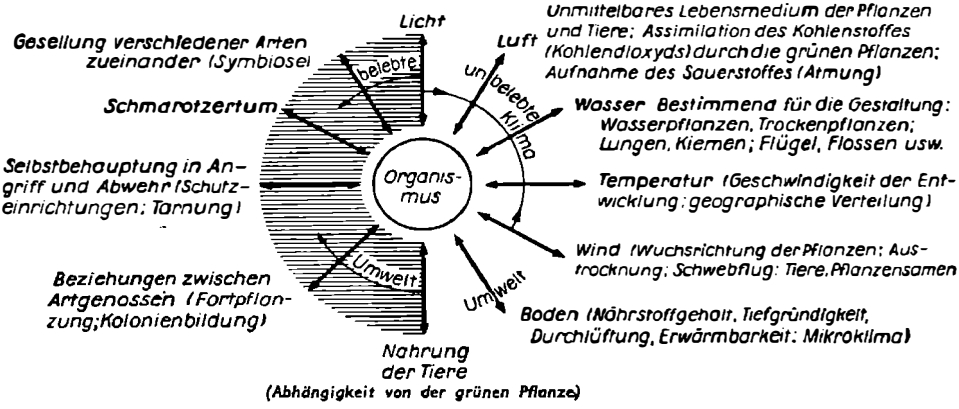
Atmosphäre. Nur bis zu einer Höhe von etwa 300 m (Insektenflug, normaler Vogelflug) über der Erdoberfläche, in Ausnahmefällen (z. B. bestimmte Zugvögel) bis zu 3000 m besiedelt. Manche Mikroorganismen und z. T. auch Insekten können passiv in sehr große Höhen getragen werden. Dann spricht man aber nicht mehr vom *Lebensraum* der Organismen, sondern von ihrem „*Spielraum*".

Besiedlungsunterschiede zwischen Pflanzen- und Tierwelt. Die Pflanzen besiedeln nur einen Teil der Biosphäre, nämlich die Oberfläche der Festländer (Grenzschicht zwischen Lithosphäre und Atmosphäre) und die obersten Schichten der Hydrosphäre. Hier leben vor allem einzellige Algen in den Zonen, in die das Sonnenlicht eindringt, in Abhängigkeit von den Trübungsverhältnissen des Wassers bis zu 200 m Tiefe. Die Tiere hingegen bewohnen die gesamte Hydrosphäre (Unabhängigkeit vom Sonnenlicht) und die unteren Schichten der freien Atmosphäre. Den Tieren steht somit ein etwa fünfmal größerer Lebensraum als den Pflanzen zur Verfügung.
Andererseits ist die Dichte des Pflanzenwuchses sehr viel bedeutender als die Siedlungsdichte der Tiere. Der Hauptteil der Festländer, die obersten Wasserschichten und ein Teil des Bodens der flachen Meere sind von einer nahezu geschlossenen Pflanzendecke überzogen. In der Gegenwart gibt es dreimal so viel bekannte Tier- wie Pflanzenarten (etwa 1 100000 Tierarten und 300000 Pflanzenarten). Dabei ist ziemlich sicher, daß sich die Zahl der Tierarten noch bedeutend erhöhen wird, je weiter die Durchforschung einiger Tiergruppen voranschreitet. Nach der Individuenzahl aber ist das Verhältnis umgekehrt. Man hat berechnet, daß allein die Vegetationsdecke der Kontinente einem Volumen von 2250 km³ entspricht, die Tiere der Festländer dagegen hätten in einem Würfel von 1 km³ Rauminhalt Platz. Bezieht man die Ozeane in diese Betrachtung mit ein, verschiebt sich dieses Verhältnis allerdings etwas zugunsten der Tierwelt.

ORGANISMEN UND UMWELT

Wechselwirkungen zwischen Organismus und Umwelt. Als Umwelt (*Milieu*) eines Organismus bezeichnen wir die Gesamtheit der äußeren Faktoren, die seinen Lebenslauf beeinflussen. Jedes Lebewesen bildet mit seiner Umwelt eine Einheit und steht in dauernder Wechselwirkung mit ihr. Die Umwelt begrenzt die Lebensmöglichkeiten von Tier und Pflanze in ganz bestimmter Weise (z. B. durch das Nahrungsangebot), andererseits wirkt der Organismus seinerseits aktiv auf die Umwelt ein. Die Umweltfaktoren werden in *abiotische Faktoren* (Klima, Zusammensetzung des Bodens, Zusammensetzung der Luft, Lichtintensität, Temperatur u. ä.) und *biotische Faktoren* (Artgenossen, Feinde, Nahrungskonkurrenten, als Nahrung dienende Organismen usw.) gegliedert.
In einem Lebensraum (*Biotop*), etwa im Auwald oder in einem See, bilden alle dort lebenden Tiere und Pflanzen eine Lebensgemeinschaft (*Biozönose*). In ihr nimmt jede Art einen durch Entwicklungsweise, Ernährung, Zahl der natürlichen Feinde, Zahl der Nachkommen usw. bedingten Platz ein. Dieses Netz von Abhängigkeiten, das sowohl von Faktoren der unbelebten als auch der belebten Natur bestimmt wird, führt zu einem biologischen Gleichgewicht zwischen den Gliedern einer Lebensgemeinschaft. Dieses Gleichgewicht ist, wenn in das System der Biozönose nicht von außen eingegriffen wird, weitgehend konstant bzw. pendelt um einen Mittelwert. So wird z. B. einer Massenvermehrung von forstschädigenden Insekten in einem natürlichen oder naturnahen Wald eine Massenvermehrung von Insektenfeinden, einfach wegen des Ansteigens des Nahrungsangebotes folgen (Vermehrung der Zahl der insektenfressenden Vögel, Zunahme der Feinde unter den Insekten selbst). Dadurch wird der Bestand an Schadinsekten wieder heruntergedrückt, was andererseits später wegen Nahrungsmangel zum Absinken der Individuenzahl der Insektenfresser führt. Greift aber der Mensch unüberlegt in eine solche Lebensgemeinschaft ein (kapitalistische Profitwirtschaft), wird das biologische Gleichgewicht gestört, was zu einer schweren Schädigung der gesamten Biozönose führen kann.
Wie meist sehr viele Faktoren innerhalb einer Biozönose und auch über deren Bereich hinaus zusammenwirken, zeigt eindrucksvoll eine schon von *Darwin* angestellte Überlegung, in der er

zu dem Schluß kommt, daß zwischen der Zahl der Katzen und den Ergebnissen der Viehzucht Zusammenhänge bestehen können. Katzen ernähren sich in der Hauptsache von Mäusen, Mäuse wiederum sind Feinde der Hummeln, Hummeln aber sind diejenigen Insekten, die hauptsächlich für die Bestäubung der Kleeblüte verantwortlich sind. Also: Viele Katzen — wenig Mäuse, wenig Mäuse — viele Hummeln, viele Hummeln — viel Klee und viel Klee — viele Schafe.



Schematische Darstellung der wichtigsten zwischen Organismus und Umwelt bestehenden Beziehungen

Symbiose und Parasitismus. Symbiose und Parasitismus stellen besondere Formen der Wechselbeziehung zwischen Organismen dar. Als *Symbiose* bezeichnet man ein Zusammenleben verschiedener Organismen, das beiden Partnern Vorteile verschafft. Die Beziehung kann so eng sein, daß einer oder beide Partner allein gar nicht mehr lebensfähig sind. Symbiosen können z. B. entstehen

zwischen Tieren und Tieren
z. B. Einsiedlerkrebs und Aktinie („Seerose");

zwischen Pflanzen und Mikroorganismen
z. B. die *Mykorrhiza* (das Zusammenleben höherer Pflanzen mit Pilzen, die deren Wurzelhaare besiedeln). Der Pilz hilft der Pflanze vor allem bei der Nährstoffaufnahme, die Pflanze liefert evtl. Assimilationsprodukte. Ein jedem Pilzsammler bekanntes Beispiel für eine Mykorrhiza ist das Vorkommen bestimmter Pilzarten in der Umgebung bestimmter Baumarten (z. B. „Birkenpilz");

zwischen Tier und Pflanzen
Es enthalten z. B. manche unserer Süßwasserpolypen in ihrem Inneren Grünalgen, die Assimilationsprodukte, evtl. auch Sauerstoff liefern und zumindest einen Teil ihrer Kohlensäure aus dem Wirtstier beziehen;

zwischen Tieren und Mikroorganismen
gibt es ebenfalls Symbiosen, z. B. Darmbakterien im Verdauungskanal der Wirbeltiere und vieler Wirbelloser.

Eine eigenartige Symbiose ist die zwischen den nektar- oder pollensammelnden Insekten und den „insektenblütigen" Blütenpflanzen (Bestäubungssymbiose) bestehende Wechselbeziehung. Besonders eng ist eine Symbiose zwischen Algen und Pilzen in Gestalt der Flechten, die man lange Zeit für selbständige Organismen gehalten hat. In dieser Gemeinschaft übernimmt die Alge die Assimilation des Kohlenstoffes, der Pilz die Wasseraufnahme und Speicherung.
Unter der Bezeichnung *Parasitismus* wird eine Form des Zusammenlebens verstanden, bei der nur ein Partner (der *Parasit* oder *Schmarotzer*) sich auf Kosten des anderen (*Wirtsorganismus*) einseitige Vorteile verschafft.

Parasiten gibt es sowohl unter den Tieren,
z. B. Eingeweidewürmer, Läuse, Flöhe, Mücken, Gallmücken,
als auch unter den Pflanzen,
z. B. Mistel, Kleeseide,
und den Mikroorganismen,
z. B. krankheitserregende Bakterien.

Der Parasitismus kann, wie die Symbiose, eine Erscheinung sein, die für das gesamte Leben besteht (manche Eingeweidewürmer), er kann auf einen bestimmten Lebensabschnitt beschränkt sein (schmarotzende Larven der Schlupfwespen), und er kann schließlich nur ganz kurzzeitig deutlich werden (blutsaugende Mücken). Meist spielt der Parasitismus für die Deckung des Nahrungsbedarfes eine Rolle. Es gibt aber auch andere Formen, z. B. Brutparasitismus (Kuckuck).
Eine besonders eigentümliche Form des Parasitismus findet sich bei dem im Mittelmeer lebenden Wurm Bonellia viridis, bei dem die zwerghaften Männchen auf dem Rüssel der Weibchen parasitieren.
Aus dem Parasitismus kann unter Umständen, nämlich wenn der Wirt sich im Laufe vieler Generationen auf den Schmarotzer einstellt, eine Symbiose entstehen.

II. Aufbau und Eigenschaften der lebenden Materie

WAS IST DAS LEBEN?

Es gibt keinen Stoff, der das Leben schlechthin darstellt. Es gibt aber auch keine besondere, nicht stoffgebundene Lebenskraft. Das Leben ist eine „besondere Bewegungsform der Materie, die auf einer bestimmten Etappe ihrer historischen Entwicklung entstanden ist" (Oparin).
Das Leben erscheint uns heute in der ungeheuren Mannigfaltigkeit der Pflanzen, Tiere und Kleinstlebewesen, die auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen stehen und sich durch die verschiedensten qualitativen Besonderheiten voneinander unterscheiden. In dieser Vielfalt lassen sich aber auch gemeinsame, allen Lebewesen zukommende Eigenschaften auffinden, die deshalb als allgemeine Merkmale des Lebens gelten dürfen. Hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung fällt auf, daß stets Eiweißstoffe und Nukleinsäuren vorhanden sind. Das Leben ist aber nicht schlechthin ein Gemisch chemischer Substanzen, sondern besitzt Individualität. Es existiert nur in Gestalt von Einheiten (Individuen), die sich durch eine bestimmte Organisation des stofflichen Aufbaus auszeichnen. Der Organismus nimmt aus der Umwelt zahlreiche chemische Verbindungen auf, die nach tiefgreifenden Umwandlungen durch Assimilation zu körpereigener Substanz werden. Er ist somit zur Autoreproduktion befähigt. Entsprechend seiner erblichen Konstitution werden aus Fremdstoffen körpereigene Stoffe (und Strukturen) aufgebaut, die den im Organismus schon vorhandenen (bzw. denen seiner Vorfahren) gleichen. Da Assimilate gleichzeitig um- und abgebaut werden und ein Teil der Zerfallprodukte schließlich nach außen abgeschieden wird, findet im Organismus ein ständiger Stoffwechsel statt.
Autoreproduktion bildet zugleich die Grundlage für das individuelle Wachstum und die Fortpflanzung (überindividuelles Wachstum). Vererbung bedeutet die Beibehaltung des gleichen Typs der Autoreproduktion bei den Nachkommen. Im Falle einer jederzeit und völlig identischen Reproduktion gäbe es keine Evolution. Die Variabilität durch Abweichungen im Reproduktionsprozeß bildet deshalb eine weitere Grundbedingung für die Existenz einer Organismenwelt.
Die als Reizbarkeit bezeichnete Fähigkeit der Lebewesen auf Umwelteinwirkungen zu reagieren, gehört ebenfalls zu den allgemeinen Merkmalen des Lebens.

DIE CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Die Elemente. Fast alle in der Natur vorkommenden chemischen Elemente (Grundstoffe) lassen sich in unterschiedlichen Mengen in den Organismen nachweisen. Nicht alle jedoch sind lebenswichtig.
Die ihrem Anteil nach bedeutendsten lebenswichtigen Elemente sind

Kohlenstoff, C,	Sauerstoff, O,	Schwefel, S,
Wasserstoff, H,	Stickstoff, N,	Phosphor, P.

Aus diesen 6 Elementen setzen sich vorwiegend die organischen (kohlenstoffhaltigen) Verbindungen zusammen, z. B. Eiweiße, Kohlenhydrate, Fette und Lipoide, die nach dem Wasser den Hauptanteil der Masse des lebenden Organismus bilden.
Neben den obengenannten gibt es noch andere Grundstoffe, die für das Leben unbedingt erforderlich sind. Dazu gehören vor allem Kalium, K, Eisen, Fe, Magnesium, Mg, Kalzium, Ca. Von den nachstehenden Elementen sind einige nur für einige Organismen lebenswichtig, in anderen Organismen können sie fehlen:
Natrium, Na, Lithium, Li, Barium, Ba, Mangan, Mn, Nickel, Ni, Kupfer, Cu, Zink, Zn, Aluminium, Al, Chlor, Cl, Silizium, Si, Jod, J, Bor, B, Fluor, F.
Einige von ihnen sind in ganz geringen Mengen wirksam, sie werden deshalb als Spurenelemente bezeichnet.
Während die erstgenannten 6 Grundstoffe die Hauptmasse des Organismus aufbauen, werden die anderen in die organischen Verbindungen eingebaut oder spielen als Ionen in den Zell- und Körpersäften eine wichtige Rolle.

Eiweiße. Im Mittelpunkt des Stoffwechselgeschehens der Lebewesen stehen die Eiweiße. Die Eiweißstoffe sind organische Verbindungen von äußerst komplizierter chemischer Zusammensetzung. Der Name „Eiweiß" geht auf das Vorkommen dieser Verbindungen im Eiklar des Vogeleies zurück.
Die Eiweiße sind der wesentlichste Bestandteil des *Protoplasmas* und erfahren während der gesamten Lebensdauer eines Organismus vielfältige chemische Veränderungen und Umsetzungen.
Ihrer physikalischen Beschaffenheit nach sind die Eiweißkörper *Kolloide*, also Stoffe, die aus einem flüssigen Zustand (Sol) durch Wasserabgabe in einen gallertartigen (Gel) übergehen können und umgekehrt.
Alle Eiweiße enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, die meisten Schwefel und einige Phosphor. In den meisten Eiweißen ist der Gehalt an Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff annähernd gleich, nämlich (nach Masseanteilen):

55 bis 56% Kohlenstoff, 21 bis 24% Sauerstoff, 15 bis 18% Stickstoff, 6,5 bis 7,5% Wasserstoff.

Durch chemische und fermentative Prozesse lassen sich die hochmolekularen Eiweißkörper in einfachere Verbindungen, in *Aminosäuren*, spalten. Aminosäuren sind wasserlösliche organische Säuren von der Summenformel $R \cdot CHNH_2 \cdot COOH$, deren NH_2- oder Aminogruppe ihnen den Namen gab. Das Radikal R kann ganz verschieden zusammengesetzt sein. Die einfachste Aminosäure ist das Glykokoll, die Aminoessigsäure ($CH_3 \cdot CHNH_2 \cdot COOH$) mit dem Radikal $R = CH_3$. Die Aminosäuren können auf Grund ihres chemischen Aufbaues sowohl wie Säuren (saure COOH-Gruppe) als auch wie Basen (basische NH_2-Gruppe) reagieren, und infolgedessen auch mit Basen und Säuren Salze bilden. Sie können sich aber auch miteinander verbinden, wobei jede Aminosäure gleichzeitig als Säure und Base reagiert. In den Eiweißen sind auf diese Weise mehrere hundert solcher Aminosäuren miteinander verknüpft, wobei von den etwa 20 in der Natur vorkommenden manche mehrfach vertreten sind. Jedes Eiweiß ist durch eine ganz bestimmte Reihenfolge und Anordnung von Aminosäuren charakterisiert. Die große Zahl der möglichen Aminosäurekombinationen ist der Grund dafür, daß es auf der Erde keine zwei Lebewesen mit einer völlig identischen Eiweißzusammensetzung gibt.
Es werden zwei Gruppen von Eiweißen unterschieden, die weiter unterteilt werden können:

1. *Proteine* (reine Eiweiße), sie bestehen ausschließlich aus Aminosäuren. Sie werden unterteilt in
   a) *Protamine*, stark basisch reagierende, relativ einfach zusammengesetzte Eiweißkörper, vor allem in den Samenfäden der Fische nachgewiesen.
   b) *Histone*, ebenfalls stark basische Eiweißkörper, wichtige Bestandteile der Zellkerne.
   c) *Gliadine* und *Gluteline* (Klebereiweiße), pflanzliche Eiweiße, z. B. aus Getreidekörnern. Stellen ernährungsphysiologisch allein keinen vollwertigen Ersatz für tierische Eiweiße dar.
   d) *Globuline*, komplizierte Proteine, die fast überall vorkommen. Zu ihnen gehören die wichtigsten Muskeleiweiße.
   e) *Albumine*, neben den Globulinen wichtigste Gruppe der Proteine, kommen häufig mit ihnen gemeinsam vor. Der Eiweißbestandteil des roten Blutfarbstoffes ist z. B. ein Albumin.
   f) *Skleroproteine* (Gerüsteiweiße), in Knorpel, Knochen, Bindegewebe enthalten, gehen beim Kochen mit Säuren in Gelatine (Leim) über.
2. *Proteide* (zusammengesetzte Eiweiße), sie bestehen aus einem reinen Eiweiß als Grundkörper und einer meist sehr reaktionsfreudigen chemischen Gruppe von nicht eiweißartiger Beschaffenheit.
   a) *Nukleoproteide*, hochaktive und außerordentlich wichtige Bestandteile des Zellkerns, aber auch des Protoplasmas. Wichtigster Bestandteil der Chromosomen (Kernschleifen), enthalten Nukleinsäuren.
   b) *Phosphoproteide*, enthalten Phosphorsäure, der bekannteste Vertreter ist das Kasein (Milcheiweiß).
   c) *Glykoproteide*, sehr vielfältige Gruppe von Eiweißkörpern, die im Organismus eine große Rolle spielen. Zu ihnen gehören z. B. die Schleimstoffe und einige Hormone. Ihre wirksame Gruppe ist ein Kohlenhydrat.
   d) *Chromoproteide*, gefärbte Eiweißkörper, sie enthalten einen Farbstoff. Das Hämoglobin (der rote Blutfarbstoff) ist ein Chromoproteid, das aus einem Albumin und dem Farbstoff Häm besteht.

Kohlenhydrate. Die Kohlenhydrate erfüllen im Stoffwechselgeschehen der Lebewesen unterschiedliche Funktionen. Sie können sowohl Ausgangsstoffe für den Aufbau anderer Kohlenstoffverbindungen als auch Speicherstoffe oder Material sein, aus dem die zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge notwendige Energie gewonnen wird. Auch einige chemische Verbindungen mit ganz bestimmten Funktionen im Organismus gehören zu dieser Stoffgruppe (z. B. Blutgruppensubstanzen, die wirksamen Bestandteile einiger Hormone u. a.).
Als Kohlenhydrate bezeichnet man eine Gruppe von Verbindungen, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen. Ihre Grundkörper, die *Zucker*, sind Oxydationsprodukte mehrwertiger Alkohole von der Summenformel $C_nH_{2n}O_n$. In diesen Verbindungen ist das Mengenverhältnis von Wasserstoff zu Sauerstoff ebenso groß wie im Wasser (2 : 1). Primär können die Kohlenhydrate nur in der autotrophen (meist grünen) Pflanze aus anorganischen Stoffen (Kohlendioxyd und Wasser) unter Verbrauch von Sonnenenergie aufgebaut werden.

Wichtige Kohlenhydrate

1. *Stärke*, Amylum, $(C_6H_{10}O_5)_n$: in den Pflanzen gebildetes Endprodukt der Kohlenstoffassimilation, das besonders in den Nährgeweben der Getreidesamen und in den Knollen der Kartoffeln gespeichert wird.
2. *Glykogen*, $(C_6H_{10}O_5)_n'$: in fast allen tierischen Zellen, besonders in denen der Leber und Muskulatur enthaltenes, der Pflanzenstärke ähnliches Kohlenhydrat. Das Glykogen der Leber dient als Energiereserve, das der Muskulatur als Energielieferant für die Muskelbewegung.
3. *Zellulose*, $(C_6H_{10}O_5)_n''$: der Stärke nahestehendes Kohlenhydrat, das in allen pflanzlichen Zellwänden eingelagert ist und sich, sobald es einmal gebildet wurde, erst nach dem Tode des Organismus unter Einwirkung von Bakterien auflöst. Besonders reich an Zellulose sind die Zellwände des Holzes.
4. *Traubenzucker*, Glukose, $(C_6H_{12}O_6)$: vor allem in Früchten und Honig, in kleineren Mengen aber auch in einigen pflanzlichen und tierischen Geweben sowie im Blut vorkommendes Kohlenhydrat. Spielt eine zentrale Rolle im Stoffwechsel.
5. *Rohrzucker*, Sacharose, $(C_{12}H_{20}O_{10})$: vor allem in Zuckerrohr und -rüben, aber auch in anderen Pflanzen enthaltener, besonders süß schmeckender Zucker.
6. *Milchzucker*, Laktose: einziges Kohlenhydrat in der Milch aller Säugetiere.

Fette. Die Fette haben im Gegensatz zu den Kohlenhydraten und Eiweißen meist keinen unmittelbaren Anteil am Stoffwechselgeschehen des lebenden Körpers. Sie sind vor allem *Speicherstoffe* des tierischen, seltener auch des pflanzlichen Organismus.
Die Fette sind wasserunlösliche, in Äther, Chloroform u. ä. jedoch lösliche, hochmolekulare Kohlenstoffverbindungen, die sich leicht in kleinere Moleküle spalten lassen. Ihrer chemischen Beschaffenheit nach sind die Fette *Ester*. Das sind organische Verbindungen, die bei der Vereinigung von Alkohol und Fettsäure unter Wasseraustritt entstehen. Der den Fetten zugrunde liegende Alkohol ist das *Glyzerin*, $C_3H_5(OH)_3$. Alle Fette sind in chemisch reinem Zustande farb-, geruch- und geschmacklos.

Lipoide. Unter diesem Namen faßt man eine Reihe von Substanzen zusammen, die sich trotz zum Teil großer Unterschiede im chemischen Aufbau in physikalischer Hinsicht weitgehend ähnlich, nämlich wie Fette verhalten (Löslichkeit in Fettlösungsmitteln). Sie lassen sich in allen pflanzlichen und tierischen Zellen nachweisen. In kolloidaler Emulsion mit komplizierten Eiweißkörpern sind die Lipoide an der Bildung der sogenannten *Plasmagrenzschichten* der Zellen beteiligt, die den Zellinhalt allseitig gegen umgebende Körperflüssigkeit sowie gegen Kern und Vakuolen abschließen. Besonders reichlich sind die Lipoide in Hühnereiweiß, Gehirn, Nerven, Galle, Milch und Pflanzensamen enthalten.

Wasser. Das Wasser, eine Verbindung von *Wasserstoff* und *Sauerstoff*, H_2O, ist der einfachste und mengenmäßig überwiegende Bestandteil aller den Organismus aufbauenden Stoffe. Im allgemeinen bestehen drei Viertel der Gesamtmasse eines lebenden Körpers aus Wasser. Beim Menschen macht das Wasser etwa zwei Drittel des Körpergewichtes aus.
Das Wasser ermöglicht den reibungslosen Ablauf des Stoffwechselgetriebes und ist eine unbedingte Voraussetzung des Lebens überhaupt. Aktives Leben ist stets untrennbar mit einer ganz bestimmten Mindestmenge von Wasser verbunden. In dem sehr wasserarmen, ruhenden Samen ist die Lebenstätigkeit bis auf ein Minimum eingeschränkt.

Salze. Im lebenden Körper kommen zahlreiche Salze vor. Sie treten entweder *gelöst* in Form ihrer Ionen oder auch in Form *nicht gelöster Salze* (z. B. in Knochen) auf. Die wichtigsten Salze hierbei sind das Kochsalz und die Salze der Phosphorsäure sowie deren organische Abkömmlinge.

STOFFWECHSEL

Wesen des Stoffwechselprozesses. Um ihr Leben aufrechtzuerhalten, müssen die Organismen ständig neue Stoffe aus ihrer Umwelt aufnehmen. Nach mannigfachen Umsetzungen im Körper werden diese Stoffe teilweise wieder ausgeschieden. Diese lebenerhaltenden Vorgänge (*Stoffaufnahme*, *Stoffumwandlung*, *Stoffabgabe*) und der damit verbundene *Energieaustausch*, also die physikalisch-chemischen Wechselwirkungen der Lebewesen mit ihrer Umwelt, werden unter dem Begriff des *Stoffwechsels* zusammengefaßt.
Obgleich dabei mannigfaltige hochmolekulare, das Protoplasma aufbauende Verbindungen entstehen, werden die Stoffwechselvorgänge nicht von einer Vielzahl komplizierter Reaktionen begleitet. Alle Stoffwechselprozesse lassen sich auf wenige einfache Reaktionen zurückführen, die auch außerhalb des lebenden Körpers ablaufen können, wie *Oxydation*, *Reduktion*, *Hydrolyse* u. a. Die Besonderheit der lebenden Materie besteht aber darin, daß diese Reaktionen im Stoffwechselgeschehen mit so großer Geschwindigkeit vor sich gehen, wie sie außerhalb des lebenden Organismus gar nicht möglich ist. Ursache der ungewöhnlich hohen Reaktionsgeschwindigkeiten sind die *katalytischen Eigenschaften der Eiweißfermente*, die den Ablauf dieser chemischen Reaktionen außerordentlich beschleunigen.

Ein in den Organismus eintretender und in dessen Stoffwechselgeschehen sich sofort verändernder Stoff geht zunächst mit einem ihm entsprechenden Eiweißferment des Körpers eine labile *Komplexverbindung* ein. Sehr rasch erfolgen weitere Umsetzungen, in deren Verlauf ein vorläufiges Endprodukt (z. B. Zucker oder Stärke) entsteht. Das Ferment regeneriert, d. h. nimmt wieder seine ursprüngliche Form an, so daß es erneut Komplexverbindungen eingehen kann. Ebenso wie Stoffaufnahme und -umwandlung ist auch die Stoffabgabe des Organismus an fermentative Wirkungen gebunden.

Assimilation. Die Erhaltung des Lebens erfordert die ständige Zufuhr von Energie, deren Urquell die Sonne ist. Allein die *grünen Pflanzen*, die Rot- und Braunalgen und einige Bakterien sind imstande, das Sonnenlicht auf dem Wege der Assimilation in chemische Energie umzusetzen und so zur Lebenserhaltung und zum Aufbau ihres Körpers zu verwenden. Sie sind *autotroph* (sich selbst ernährend). Alle übrigen Lebewesen sind *heterotroph*, d. h. in ihrer Ernährung von den grünen Pflanzen abhängig. Sie machen sich entweder als *Pflanzenfresser* oder Fäulnisbewohner deren Speicherstoffe unmittelbar zunutze oder sind als *Fleischfresser* (denen pflanzenfressende Organismen zur Nahrung dienen) mittelbare Kostgänger. Diese Unterschiede in der Ernährungsweise bedingen auch die typischen Unterschiede zwischen Tier und Pflanze. Die *Pflanze* entnimmt dem Boden Wasser und darin gelöste Salze, der Luft Kohlendioxyd. Aus diesen rein anorganischen Stoffen baut sie mit Hilfe der Sonnenenergie Zucker, Stärke, Eiweiß und Fett auf. Dementsprechend ist die Pflanze auf eine große Entfaltung nach außen eingerichtet und meist fest an einen Standort gebunden, an dem Licht, Wasser, Kohlendioxyd und Nährsalze in hinreichender Menge zur Verfügung stehen. Durch fortwährende Vergrößerung ihrer Oberfläche (der Blätter, bei Landpflanzen außerdem der Wurzeln) sucht sie neuen Licht- und Nährstoffraum zu erschließen.
Die *Tiere* dagegen müssen sich meist aktiv ihre Nahrung suchen. Sie sind äußerlich weniger sperrig gebaut als die Pflanzen und zeigen eine starke Ausbildung der inneren Oberfläche (Darmkanal mit Anhangsorganen), die zur Aufschließung der Nahrungsstoffe nötig ist. Festsitzende Tiere gibt es im wesentlichen nur im Meer, und zwar an Stellen, wo viele Kleinlebewesen im Wasser verteilt sind, die geangelt oder eingestrudelt werden. Festsitzende Tiere sind z. B. Seerosen, Seemoos, Moostierchen und auch der Süßwasserpolyp (Hydra) unserer Teiche.
Manche Einzeller (gewisse Geißeltierchen) ernähren sich je nach den Lebensumständen wie grüne Pflanzen (autotroph) oder bei mangelndem Sonnenlicht nach Art der Tiere (heterotroph). Sie gelten daher als ursprüngliche Lebewesen, die den stammesgeschichtlichen Zusammenhang zwischen Pflanze und Tier dokumentieren.

Atmung. Unter dem Begriff der Atmung werden alle im Pflanzen- und Tierkörper ablaufenden Vorgänge zusammengefaßt, bei denen mit Hilfe des aufgenommenen *Sauerstoffes* der Luft körpereigene Substanzen zur Gewinnung von *Energie* abgebaut werden. Meist werden dabei *Kohlendioxyd*, CO_2, und *Wasser*, H_2O, als Endprodukt frei.
Die grundsätzliche Reaktion der Atmung verläuft nach der Gleichung:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E$$

Traubenzucker + Sauerstoff → Kohlendioxyd + Wasser + Energie

Das Atmungsmaterial wird entweder zuerst in Traubenzucker umgewandelt oder kann nur abgebaut werden, wenn gleichzeitig Traubenzucker veratmet wird („Fette verbrennen im Feuer der Kohlenhydrate").
Atmungsmaterial (körpereigene Substanz, die beim Atmen umgewandelt wird) können *Kohlenhydrate*, *Fette* und *Eiweiße* sein. Die Pflanze veratmet fast ausschließlich Kohlenhydrate in Form von Zucker und Stärke. Nur die fettreichen Pflanzensamen bauen zur Energiegewinnung während der Keimung Fette ab. Die Tiere veratmen im wesentlichen Speicherstoffe wie Glykogen und Fett. Um das Lebensgeschehen aber dauernd aufrechtzuerhalten, müssen im tierischen Organismus außerdem ständig Eiweißstoffe abgebaut werden. Deshalb werden neben Kohlendioxyd und Wasser stets stickstoffhaltige Substanzen wie *Harnstoff* und *Harnsäure* z. T. auch Ammoniak (NH_3) als Endprodukte vom Körper ausgeschieden.

Gärung. Die Gärung ist — ebenso wie die Atmung — ein Abbauprozeß, durch den die Organismen (besonders einige der sich heterotroph ernährenden Kleinstlebewesen) die zur Aufrechterhaltung des Lebens notwendige Energie gewinnen. Von der Atmung unterscheidet sich die Gärung im allgemeinen dadurch, daß die in den abzubauenden Stoffen enthaltene Energie nur zu einem geringen Teil freigesetzt wird. Viele Gärungen gehen auch ohne Verbrauch von Luftsauerstoff vor sich.
Der bekannteste Gärungsvorgang ist die *alkoholische Gärung*. Dabei wird Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd gespalten. Die Spaltung wird verursacht durch Hefezellen, einige andere niedere Pilze und Bakterien. Andere wichtige Gärungen sind die *Milchsäuregärung* (Sauerwerden der Milch, Sauerkohl- und Silofutterbereitung), die *Buttersäure-* und die *Essigsäuregärung*.

REIZBARKEIT

Die Reizbarkeit ist eine allen Lebewesen — Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen — in gleicher Weise zukommende, allgemeine Eigenschaft der lebenden Materie. Die Reizbarkeit ist die Fähigkeit des Protoplasmas, auf eine Einwirkung der Außenwelt in zweckmäßiger, lebenerhaltender Weise

zu reagieren. Dieser Effekt erfordert nicht das Vorhandensein von Sinneszellen, von Nervenbahnen oder eines Gehirns.
Die Pflanzen besitzen bekanntlich keine Sinnesorgane und Nerven. Trotzdem reagieren sie auf Einflüsse der Umwelt in ganz bestimmter Weise, meist in Form von Bewegungen zur Reizquelle hin oder von ihr weg. Im Zimmer gehaltene Topfpflanzen z. B. stellen ihre Blätter senkrecht zu den einfallenden Lichtstrahlen. Die *Mimose* legt schon bei leisester Berührung ihre Fiederblättchen zusammen. Wegen dieses besonderen Verhaltens wird sie auch Sinnpflanze genannt. Noch einfacher antwortet das *Wechseltierchen* (die Amöbe) auf einen Reiz. Es zieht seine Protoplasmafüßchen zusammen oder streckt sie aus.
So verschiedenartig auch diese Vorgänge im einzelnen erscheinen, so gleichartig ist ihre Ursache. Der Reiz, der das Protoplasma eines Lebewesens trifft, löst eine *Erregung* aus, die den energetischen Zustand der lebenden Substanz verändert, sich im Organismus ausbreitet und eine *Reaktion* auslöst.
Bei den höheren Tieren ist der Ort der Reizaufnahme ein *Sinnesorgan*. Nervenbahnen leiten den aufgenommenen Reiz als Erregung weiter über das *Zentralnervensystem* bis zu einem *Erfolgsorgan*, z. B. einem Muskel oder einer Drüse. Das Erfolgsorgan reagiert auf den Reiz der Außenwelt mit einer Bewegung bzw. einer Drüsenabsonderung in lebenerhaltender Weise.
Diese allgemeine Eigenschaft der lebenden Materie wird Reizbarkeit genannt. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Wegfall des Reizes der Ausgangszustand wieder hergestellt wird; die von einem Reiz ausgelöste Reaktion kann meist beliebig oft erfolgen. Im Gegensatz hierzu wird in der anorganischen Natur im allgemeinen der alte Zustand nicht wieder erreicht, wenn ein äußerer Einfluß, der eine Zustandsänderung verursachte, nicht mehr wirkt.

ENTSTEHUNG DES LEBENS AUF DER ERDE

Die materialistische Theorie von A. J. Oparin. Für die gegenwärtige Epoche ist es charakteristisch, daß Leben nur aus Leben entsteht. Seit den ältesten Zeiten aber ist die Frage nach dem Ursprung des Lebens Gegenstand des naturwissenschaftlichen Denkens und Forschens. In jüngster Vergangenheit entwickelte der sowjetische Forscher *A. J. Oparin* eine umfassende Theorie von der Entstehung des Lebens auf der Erde aus unbelebter Materie. Oparin geht davon aus, daß alle den lebenden Organismus aufbauenden chemischen Grundstoffe wie z. B. Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff auch in der anorganischen Natur vorkommen. Er unterscheidet für die Entstehung des Lebens drei Hauptetappen:

1. das Entstehen von *Kohlenwasserstoffen* als einfachsten organischen Verbindungen;
2. die Bildung komplizierter, *organischer Substanzen von eiweißartiger Beschaffenheit;*
3. das Entstehen lebender *Eiweißkörper mit allen das Leben kennzeichnenden Eigenschaften* wie Stoffwechsel, Reizbarkeit, Entwicklung und Fortpflanzung.

Entstehung von Kohlenwasserstoffen. Bei der Erforschung von Himmelskörpern, insbesondere der Sonne, werden einfachste organische Verbindungen unter Verhältnissen festgestellt, die das Vorhandensein von Lebewesen unbedingt ausschließen. Das bedeutet, daß diese einfachen organischen Verbindungen unabhängig von lebenden Organismen entstanden sein müssen, also direkt aus anorganischen Verbindungen hervorgegangen sind. So konnten z. B. in der Sonnenatmosphäre, die eine Temperatur von etwa 6000 °C hat, Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden. Oparin nimmt an, daß auch schon bei der Entstehung der Erde in deren *Urozean* verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen vorhanden waren.

Bildung eiweißartiger Substanzen. Durch Reaktionen von Kohlenwasserstoffen mit Ammoniak und Sauerstoff, die beide in der Atmosphäre vorhanden waren, konnten Aminosäuren entstehen. Dabei spielten elektrische Entladungen in der Atmosphäre eine wichtige Rolle. (Derartige Vorgänge sind im Laboratorium bereits nachgeahmt worden.) Die Aminosäuren lagerten sich zu einfachen Eiweißstoffen zusammen, die in den Urozeanen isolierte Tröpfchen bildeten.

Entstehung lebender Eiweißkörper. Werden im Reagenzglas Lösungen verschiedener Eiweißkörper gemischt, so vereinigen sich ihre Moleküle zu Komplexen, die nach dem Erreichen einer bestimmten Größe unter dem Mikroskop als Tropfen sichtbar werden.
Solche Tropfen verschiedenartiger Eiweißstoffe, die als individuelle Komplexe bereits eine gewisse Elementarstruktur besitzen, mußten auch in der ursprünglichen Wasserhülle der Erde während eines bestimmten Entwicklungsstadiums entstehen. In der Wechselwirkung mit der Umwelt entstand in diesen Komplexen die Fähigkeit zur Stoffaufnahme und -abgabe und schließlich die Fähigkeit zum Wachsen und zur Vermehrung. Nur jene Tropfen blieben auf die Dauer erhalten, die nach Absorption der gelösten anorganischen und organischen Stoffe ihrer Umwelt am schnellsten zu wachsen vermochten. Sie spalteten „Tochtertropfen" ab. Andere Tropfen hingegen, deren chemische Veränderungen im wesentlichen auf Zerfall beruhten, gingen zugrunde.
Auf diese Weise bildete sich im Entstehungsprozeß des Lebens eine neue Gesetzmäßigkeit heraus, die als *natürliche Auslese* der Eiweißkörper bezeichnet werden kann. Im Verlaufe einer langen Entwicklung zu immer höheren Lebensformen mit steigender Vollkommenheit entstanden schließlich Gebilde, die als *Urformen* des Lebens anzusehen sind.

III. Einfache Lebensformen und Grundelemente des pflanzlichen und tierischen Körpers

EINFACHSTE FORMEN UND BAKTERIEN

Viren. Lange Zeit galt die Zelle als Grundbaustein des Lebendigen. Das Leben existierte nach dieser Ansicht nur in Gestalt von Zellen. Diese Auffassung hat Einschränkungen erfahren. Die Entwicklung von der unbelebten zur belebten Materie ist ein langer Prozeß. Die hochkomplizierte Zelle ist sicherlich erst sehr spät entstanden. Es muß also lebensfähige Strukturen gegeben haben, die wesentlich einfacher als Zellen aufgebaut waren. Bei der Suche nach heute auf der Erde vorkommenden Zwischenformen zwischen Eiweißtröpfchen und Zellen stößt man auf die *Viren*, deren einfachste sich in vieler Beziehung wie Eiweißmoleküle verhalten. Ihre Stellung ist noch umstritten. Sie werden entweder als Vorstufen von Zellen oder als degenerierte Zellbestandteile aufgefaßt. Eventuell sind sie in ihrer Entstehung nicht einheitlich. Nach bisheriger Kenntnis sind Viren nur in lebenden Zellen vermehrungsfähig.
Eine gewisse Sonderstellung gegenüber den typischen Zellen verdienen auch die *Bakterien*, die sich durch eine, im Vergleich zu jenen, sehr primitive Struktur auszeichnen (z. B. Fehlen eines wohldefinierten Zellkernes).

Primitivste Lebensformen

Name	Größe in nm	Eigenschaften
Viren (lat., Gift), Erreger der Viruskrankheiten, z. B. Tollwut, Pocken, Windpocken, Masern, Grippe, Tabakmosaikkrankheit	2,5···250	einfachste Eiweißkörper, die in lebenden Zellen wesentliche Eigenschaften des Lebens (Stoffwechsel, Vermehrung) aufweisen. Große Formen (Pockenvirus 200 × 250 nm) enthalten neben Eiweiß auch Fett und Kohlenhydrate, kleinste Formen bestehen aus einem einzigen, riesigen Eiweißmolekül (enthaltend Nukleoproteide). Manche Viren sind kristallisierbare und nach Umkristallisation unvermindert infektionsfähige Eiweißkörper, z. B. das Virus der Tabakmosaikkrankheit (150 nm lange und 15 nm dicke Stäbchen). Die Vermehrungsfähigkeit kann zerstört werden durch Zerstörung des Molekülaufbaues mittels Ultraschallwellen, ohne daß die Molekülgröße und die Fähigkeit, Kristalle zu bilden, verlorengehen
Bakteriophagen	15···140	an vielen Bakterien auftretende und diese vernichtende Viren; Gestalt: Kugel-, Keulen- oder Stäbchenform; lassen sich von Bakterien absondern und auf gesunde Bakterien übertragen, die dann vernichtet werden; Vermehrung durch Selbstkatalyse (Selbstvermehrung von Eiweißmolekülen)
Anaplasmiden z. B. Erreger des Otoyafiebers, Carrionsche Krankheit (Peruknoten)	100···200	keine Sporenbildung; werden durch Temperaturen von 50 °C abgetötet, sind auf Nährböden (ohne Gegenwart lebender Zellen) züchtbar
Rickettsien z. B. Erreger des Fleckfiebers	300···400	Vermehrung durch Zweiteilung, meist in Gegenwart lebender Zellen, keine Sporenbildung; lassen sich z. T. auf künstlichen Nährböden züchten, werden durch Temperaturen von 50 bis 60 °C abgetötet; ohne Atmung, unbeweglich
Mikromyzeten (Zystidien), z. B. Erreger der Lungenseuche des Rindes	200···100	Lebewesen von zellartigem Aufbau, eiförmiger Gestalt. Sie kommen in Abwässern und Komposterde vor, existieren ohne Anwesenheit von lebenden Zellen, haben also einen eigenen inneren Stoffwechsel

Bakterien. Bakterien, auch als „Spaltpilze" bezeichnet, vermehren sich durch Zweiteilung oder durch Sporen. Sie atmen bzw. führen Gärungen durch, ertragen z. T. Temperaturen von + 140 °C bis — 253 °C und sind auf Nährböden züchtbar. Sie treten in Kugel- (*Kokken*), Stäbchen- (*Bazillen*, Bakterien im engeren Sinne) und Schraubenform (*Vibrionen*, *Spirillen*) auf. Nur ein relativ geringer

Teil von ihnen ruft Krankheiten hervor (*pathogene* Bakterien), viele sind nützlich (z. B. *Knöllchenbakterien*) und viele ohne unmittelbare Bedeutung für den Menschen. Als wichtige Gruppe der Mikroorganismen spielen sie eine bedeutende Rolle innerhalb des gesamten Stoffkreislaufs.

Nützliche Bakterien. *Fäulnis- und Gärungsbakterien* zerlegen Menschen- und Tierleichen sowie Pflanzenreste in ihre Bestandteile und führen sie so wieder dem Stoffkreislauf zu. Bacillus chitinovorus baut Chitin (Insekten-, Krebspanzer) ab; *Urobakterien* verarbeiten die Harnausscheidungen. Nitrosococcus, Nitrosomas, Nitrobacter führen die Nitrifikation durch, so daß den Pflanzen Stickstoffverbindungen (Nitrate) zur Verfügung stehen. Die *Knöllchenbakterien* (Bacillus radicicola) verschaffen besonders den Leguminosen verwertbaren Stickstoff. Wärmeliebende *Heubazillen* rufen die Selbsterhitzung des Heues hervor und schaffen damit das Braunheu. An der Käsereifung sind Bakterien beteiligt, an der Säuerung der Butter *Milchsäurebakterien*, die auch an der Herstellung von Sauerkraut, sauren Gurken, Gärfutter Anteil haben. Neben Hefe spielen Bakterien in der Bereitung des Sauerteiges eine Rolle. *Essigsäurebakterien* (besonders Bacterium aceti) verursachen die Essigbildung. Bei der Fermentation des Tabaks, bei der Flachs- und der Hanfröste wirken Bakterien mit. *Darmbakterien*, z. B. Bakterium coli im Darm des Menschen, sind für die Verdauung unerläßlich
(*Krankheitserregende* Bakterien s. Infektionskrankheiten.)

Größe einiger Bakterien

Spirillum parvum	0,1···0,3 µm Durchmesser
Eiterkokken	0,8 µm Durchmesser
Milzbrandbazillus	3···10 µm lang, 1···1,2 µm breit
Bacillus oxalaticus	10 µm lang, 4 µm breit

Teilungsfähigkeit

Choleravibrionen: aller 20 Minuten; Tuberkelbazillus: aller 2 Tage

Vorkommen

in 1 m³ Großstadtluft	330···1 540 Bakterien
in 1 ml stark verschmutzten Abwassers	1···100 Millionen Bakterien
in 1 ml guten Trinkwassers	unter 100 Bakterien
in 1 g Humusboden	10 Millionen Bakterien
in 1 g Sandboden	mehrere 100000 Bakterien

Farbe einiger Bakterien. (In dichten Anhäufungen rufen manche Arten Färbungen hervor.)

Chromatium okenii (Schwefelbakterium)	pfirsichrot
Bacillus prodigiosus (Hostienbazillus)	blutrot
Micrococcus pyogenes aureus (Eiterkokkus)	gelb
Bacillus syncyaneus	stahlblau
Bacillus fluorescens	gelblichgrün
Bacillus pyocyaneus	blaugrün

Günstigste Temperaturen. Die meisten in der freien Natur im Erdboden, im Wasser usw. vorkommenden Bakterien gedeihen bei 20 bis 35 °C.
Bacterium phosphoreum lebt und leuchtet noch bei 0 °C. Der Heubazillus lebt noch bei 50 °C. Die meisten krankheitserregenden Bakterien gedeihen am besten bei der Temperatur des Blutes (37 bis 40 °C); der Tuberkelbazillus hört unterhalb 30 °C und oberhalb 40 °C auf zu wachsen. Hitzeliebende Arten (in gärenden heißen Heu- und Mistmassen) gedeihen am besten bei 60 bis 75 °C.

Vorübergehend ertragen ohne Schaden:

Tuberkelbakterien	−7 °C
Pestbakterien	−31 °C
manche Kokken und Bakterien	−210 °C

Temperaturen von 100 °C und darüber töten meist nach gewisser Zeit (Sterilisieren!). Sporen können sehr hohe Temperaturen ertragen, deshalb ist es oft nötig, mehrmals zu sterilisieren, um auch die sich aus den Sporen entwickelnden Bakterien abzutöten.

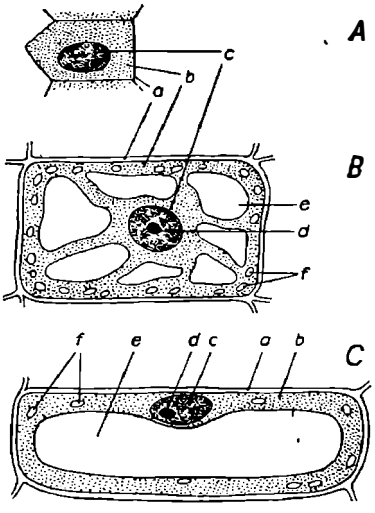
Übersicht kleinster Größen (in nm = $^1/_{1\,000\,000\,000}$ m = $^1/_{1\,000\,000}$ mm)

	Durchmesser bzw. Breite × Länge
Rotes Blutkörperchen des Menschen (Einzelzelle)	7500
Jauchebakterie Spirillum jenense	3500 × 100000
Bacillus megatherium (in Wasser und Erde)	1500 × 9000
Bacterium coli (Darmbakterium)	Länge 500···1000
Milzbrandbazillus	1000 × 3000 bis 10000
Eiterkokke	800

	Durchmesser bzw. Breite × Länge
Bacillus prodigiosus (Hostienbazillus, erzeugt roten Farbstoff)	750
Tuberkelbakterium	300···600 × 4000···5000
Rickettsia (Flecktyphuserreger)	300
Erreger der Ornithose (früher Papageienkrankheit)	275
Vakzine (Kuhpockenerreger)	200···250
Myxom- (Virusgeschwulst-) Erreger	175
Tollwuterreger	125
Gürtelroseerreger	100 × 150
Bakteriophagus subtilis	80 × 120
Vogelpesterreger	60 × 90
Gelbfiebererreger	17···28
Tabakmosaikvirus	15 × 150
Molekül des Hämozyanins (Blutfarbstoff mancher niederer Tiere)	13,2 × 59
Poliomyelitiserreger (Virus der Kinderlähmung)	20···90
Virus der Maul- und Klauenseuche	8 × 14
Riesenmolekül des Serumalbumins	5,4
Molekül des Hämoglobins der Pferde	0,6 × 2,8
Molekül des Ei-Albumins (des Weißen im Vogelei)	0,6 × 1,8
Rohrzuckermolekül	0,7
Kohlenstoffatom	0,15
Atomkern	0,00001
Elektron	0,000001

DIE ZELLE

Einzeller und Vielzeller. Eine Zelle ist dadurch gekennzeichnet, daß sie gegenüber ihrer Umwelt eine relativ selbständige Existenz führt, indem sie Stoffe aus dieser Umwelt zu Körpersubstanz verarbeitet und andererseits Abfallstoffe an die Umwelt abgibt. Als Zellen bezeichnet man jene einzelnen Plasmaportionen mit je einem oder mehreren dazugehörigen Zellkernen, aus denen die Pflanzen und Tiere oft zu Millionen bestehen. Die Zellen eines Organismus sind auf verschiedene Aufgaben im Gesamthaushalt spezialisiert. Wir nennen die Lebewesen, die nur aus einer Zelle bestehen und meist mikroskopisch klein sind, *Protisten*. Einzellige Pflanzen werden auch als *Protophyten*, einzellige Tiere als *Protozoen* bezeichnet. Die mehrzelligen Lebewesen durchlaufen in ihrer frühen individuellen Entwicklung zunächst ein einzelliges Stadium (Beispiele: Eizelle, Spore). Während beim Einzeller eine Zelle sämtliche Lebensfunktionen erfüllen muß, tritt bei den Vielzellern mit zunehmender Entwicklungshöhe eine immer stärkere *Spezialisierung* der Zellen und damit eine *Arbeitsteilung* ein.



Bei den vielzelligen Lebewesen sind die Zellen nicht etwa gegeneinander abgeschachtelt, wie der Name vermuten lassen könnte. Die Zellen stehen in stofflichem Austausch und sind mitunter durch feinste Plasmabrücken miteinander verbunden.

Pflanzenzellen verschiedener Altersstufen. A junge Zelle, B ältere Zelle, C alte Zelle.
a Zellulosewand; b Protoplasma; c Zellkern; d Kernkörperchen; e Saftraum (Vakuole); f Chlorophyllkörner

Wir müssen somit einen höheren Organismus nicht als ein Mosaik von einzelnen Zellen, sondern als einen zusammenhängenden, aber in verschiedene Arbeitsbezirke unterteilten Plasmakörper betrachten.

Die Entwicklung der Keimzelle zum vielzelligen Organismus ist durch eine Folge von Teilungsschritten gekennzeichnet, welche der Reihe 2, 4, 8, 16, 32 usw. entspricht. Demnach teilt sich die Ausgangszelle in zwei Tochterzellen, die ihrerseits wieder in je 2 Zellen zerlegt werden kann usw. Wenn nun eine gewisse Anzahl von Zellen erreicht ist, setzt eine Differenzierung ein, d. h. die Zellen werden auf bestimmte Leistungen im Gesamthaushalt (z. B. Festigung, Abschluß nach außen hin) spezialisiert. Den so entstandenen Verband gleichartig differenzierter Zellen bezeichnet man als Zellgewebe (z. B. die Epidermis oder Oberhaut). Die Gewebezellen verlieren oft ihre Teilungsfähigkeit.

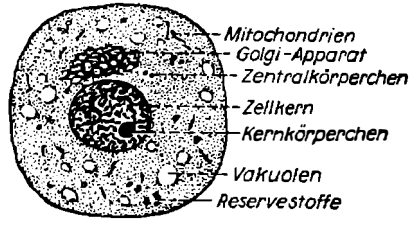
Die Pflanzenzelle. Die junge Pflanzenzelle hat zunächst noch keinen Saftraum. Dieser bildet sich erst im Laufe der Entwicklung heraus. Während die Zellwand weiterwächst, nimmt das *Plasma* nur wenig an Menge zu. Es überzieht das Innere der völlig erwachsenen Zelle wie mit einer Tapete und läßt den *Saftraum* im Zellinnern entstehen.

Größe der Pflanzenzellen (gemessen am Pfahlrohr, Arundo donax).

	Durchmesser in mm
Hautzelle	0,01
Zelle des Festigungsgewebes	0,02
Zelle des Grundgewebes	0,045···0,075
Zelle der Siebröhre (dient der Leitung der Assimilationsprodukte)	0,015
Geleitzelle (hat Anteil am Stofftransport)	0,005
Zelle der Trachee (dient der Leitung des Wassers)	0,09
Zelle der Holzfaser (Fasertracheide)	0,008

Osmotischer Druck im Inneren der Pflanzenzellen. Die im Zellsaft gelösten Stoffe besitzen ein Saugvermögen. Dieses ermöglicht es der Pflanze, ihrer Umgebung das Wasser zu entziehen, das sie zur Erhaltung ihres Lebens braucht. Der Wassereintritt bewirkt einen Druck auf die Zellwand (Turgor). Meerespflanzen und gewisse Pilzarten benötigen ein besonders hohes Saugvermögen, weil die Salzkonzentration des Meeres und die Kolloide des Bodens das Wasser entsprechend fest binden. Das Saugvermögen entspricht

bei Landpflanzen	5···11 at
bei Meerespflanzen	17···24 at
bei manchen Pilzen	157 at



Schema der tierischen Zelle

Die tierische Zelle. Die tierische Zelle unterscheidet sich von der Pflanzenzelle durch das Fehlen einer besonderen Wandung — die Zellen werden nur durch eine verdichtete Plasmaschicht gegeneinander abgegrenzt — und durch das Fehlen der Safträume in ihrem Innern. Dafür sind die Gewebslücken des mehrzelligen Tieres mit Gewebssaft angefüllt.

Die Größe der tierischen Zellen (in mm)

Größe der Zellkerne	0,004···0,08
Größe der Gesamtzellen	0,005···0,5

Eizellen können erhebliche Größen erlangen, besonders die dotterreichen Eizellen von Reptilien und Vögeln. Die mit langen Fortsätzen ausgestatteten Nervenzellen können bei großen Tieren Meterlänge erreichen.

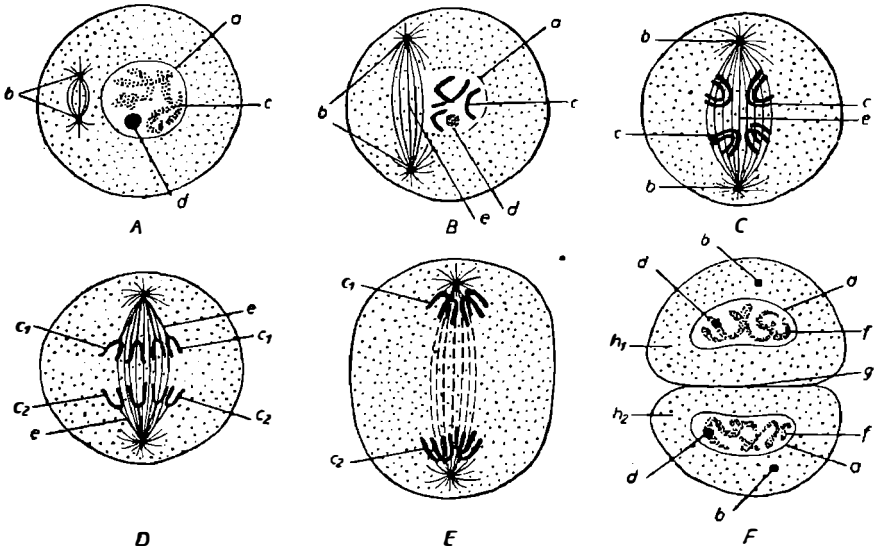
Zellteilung. Die Zellteilung ist eine Vermehrungsvorgang, der vom Kern einer Zelle ausgeht. Man unterscheidet

1. die *amitotische Kernteilung*, auch Amitose genannt. Hierbei zerfällt der Kern in zwei oder mehrere Teile, ohne daß Chromosomenfäden und Kernspindel erkennbar werden. (Vorkommen: z. B. in alternden Geweben);
2. die *mitotische Kernteilung*, auch Mitose oder Karyokinese genannt. Hierbei kommt es zur Ausbildung von Chromosomenfäden und Kernspindel. Der Vorgang der mitotischen Kernteilung verläuft im einzelnen bei Tieren folgendermaßen:

In Einzelheiten können die Prozesse der Zellteilung variieren (Zahl und Gestalt der Chromosomen, Bildung des Spindelapparates, Bildung der Trennwand zwischen den Tochterzellen). Die prinzipiellen Vorgänge (Längsteilung der Chromosomen) sind aber im gesamten Organismenreich gleich.

DAS GEWEBE

Zelle und Gewebe. Wenn bei der Zellteilung eine gewisse Anzahl von Zellen erreicht ist, setzt die *Differenzierung* ein, d. h. eine Spezialisierung bestimmter Zellen auf bestimmte Leistungen im Gesamthaushalt des lebendigen Organismus. Einen Verband gleichartig differenzierter und damit gleicher Zweckbestimmung dienender Zellen bezeichnet man als *Zellgewebe* (z. B. die Epidermis oder Oberhaut). Verschiedene Gewebe vereinigen sich zum Aufbau von Organen (z. B. Blatt, Magen, Darm), worunter Körperteile von bestimmter Form mit besonderen Funktionen verstanden werden.
Die meisten Gewebszellen (*Dauerzellen*) teilen sich im allgemeinen nicht mehr selbst, sondern gehen immer nur aus den nichtspezialisierten Bildungzellen hervor, die für Wachstum und Erneuerung des Zellverbandes Sorge tragen. Ein *Organismus* ist nun nicht etwa als einfache Summe von Teilgeweben und Teilfunktionen aufzufassen. Vielmehr macht erst das geordnete *Zusammenwirken* der verschieden spezialisierten Teile, der Zellen im Gewebe, der Gewebe im Organ, der Organe im Organismus, den „Zellenstaat" der höheren Pflanzen und Tiere mit seiner unlösbaren Einheit aller Lebensvorgänge aus. Das Leben verstehen, heißt nicht Teilerscheinungen voneinander isolieren, sondern ihre wechselseitige Bedingtheit erkennen.



Mitotische Teilung

A: Ausbildung der Chromosomen (c) aus dem Kerngerüst; Ausbildung einer Zentralspindel zwischen den durch Teilung entstandenen zwei Zentralkörperchen (b); a Kernmembran; d Kernkörperchen.

B: Auflösung der Kernmembran (a) und des Kernkörperchens (d); Auseinanderweichen der Zentralkörperchen (b); Streckung der Zentralspindel (e); ihre Spindelfasern greifen an den Chromosomen an.

C: Die Chromosomen (c) haben sich längsgeteilt (aus jedem Chromosom sind zwei geworden); die Zentralkörperchen (b) sind nach den Polen der Zelle gewandert; die Chromosomen wandern nach der Äquatorebene der Zelle.

D: Die längsgeteilten Chromosomen (die Tochterchromosomen c_1, c_2) ordnen sich im Äquator der Zelle zur Äquatorialplatte und werden von den Spindelfasern (e) nach den Polen gezogen.

E: Auseinanderrücken der Tochterchromosomen c_1 und c_2.

F: Umwandlung der Chromosomen in ein Kerngerüst (f); Ausbildung der Kernmembran (a); Neubildung der Kernkörperchen (d); Verschwinden der Spindelfasern und damit Rückbildung zum Zentralkörperchen (b); Ausbildung einer Scheidewand (g), so daß nunmehr zwei getrennte Zellen (h_1 und h_2) entstanden sind.

Die pflanzlichen Gewebe

Bildungsgewebe

Bezeichnung	Vorkommen	Leistung	Lage	Differenzierung der Zellen
Meristem	in den Wachstumszonen der Pflanzen	Lieferung des Zellmaterials für das Wachstum von Sproß und Wurzel	als „Wachstumspunkte" in den Spitzen von Sprossen und Wurzeln, seltener zwischen fertigen Geweben (interkalar)	Beginn in einiger Entfernung vom Wachstumspunkt, nach hinten fortschreitend: Sonderung in Anlagen von Blättern, Seitenzweigen und Wurzeln, Ausbildung aller späteren Gewebe
Kambium	zusätzlich bei *Holzgewächsen* (Dikotyledonen und Gymnospermen) in Stamm und Wurzel	bleibendes Dickenwachstum der Sproßachse, Seitenzweige und Wurzeln	als zylindermantelförmige Wachstumszone zwischen Holzkörper und umgebendem Bast eingeschlossen	nach innen abgeteilte Zellen: Wasserleitungsröhren + Holzfasern + Parenchymzellen = Holz. Jährlicher Zuwachs zwischen Frühjahr und Winterruhe (Vegetationsperiode): Jahresring. Nach außen abgeteilte Zellen: Siebröhren für organische Nährstoffe + Bastfasern + Parenchymzellen = Bast. (Die abgestorbenen Siebröhren der letzten Vegetationsperiode werden von den neu angelegten nach außen zu geschoben und zerdrückt)

Bezeichnung	Vorkommen	Leistung	Lage	Differenzierung der Zellen
Korkkambium (Phellogen)	bei Holzgewächsen zu Beginn des sekundären Dickenwachstums in Sproß und Wurzel	Bildung von Korkgewebe, Ergänzung des Rindenparenchyms	bei Sprossen in den äußersten Rindenlagen sekundär gebildet (Folgemeristem), in der Wurzel im Perikambium, das den Gefäßbündelzylinder begrenzt	nach außen zu abgeteilt: Kork und Borke, nach innen zu abgeteilt: Rindenparenchym (Phelloderm)

Dauergewebe

Bezeichnung	Lage und Funktion	Leistung	Beschaffenheit der Zellen
Grundgewebe (Parenchym)	im Inneren des Pflanzenkörpers und des Blattes Hauptträger des Stoffumsatzes	Bereitung und Speicherung von Nahrungsstoffen, Atmung; Wasserreservoir (damit gleichzeitig auch der Festigung dienend)	mit lebendem Plasma, stoffdurchlässigen Zellwänden; zwischen den Zellen meistens Luftgänge (Gasaustausch); wichtige Typen: schlauchförmige Zellen (Palisaden) für die Assimilation, bläschenförmige Zellen für Stoff- und Wasserspeicherung, vielarmige Zellen (z. B. im Schwammparenchym) für Durchlüftung
Abschlußgewebe	Zellschicht, die den Organismus nach außen abschließt, zugleich aber den Stoffaustausch mit der Außenwelt vermittelt	s. Angaben unter 1. und 2.	s. Angaben unter 1. und 2.
1. Hautgewebe a) Oberhaut (Epidermis)	schützende Hülle der jüngeren Teile des Pflanzenkörpers	Ausschaltung schädlicher Wasserverluste; Sicherung gegen mechanische Verletzungen	lückenlos zu einer Haut verbunden, Außenwände meist besonders durch wachsartige Stoffe abgedichtet und verdickt
b) Spaltöffnungsapparate	in der Oberhaut; Ventile für Gasaustausch und Wasserverdunstung	a) Versorgung der grünen Zellen mit Kohlendioxyd (Assimilation) und Sauerstoff (Atmung) b) Abgabe von Wasserdampf (Transpiration); Regulierung des Wasserhaushaltes	je ein Paar besonders gestaltete Zellen, die einen Spalt umgeben, den sie bei guter Wasserversorgung (stärkere Krümmung!) öffnen, bei Wassermangel schließen können; bei Licht geöffnet, im Dunkeln meist geschlossen
c) Haare	meist Ausstülpungen je einer Oberhautzelle; sehr vielfältig in Bau und Leistung	a) als trockene Überzüge von abgestorbenen *Wollhaaren* (z. B. Königskerze): Herabsetzung der Wasserverdunstung; Schirm gegen zu starke Besonnung b) Aufnahme des Bodenwassers: *Wurzelhaare* c) Schutz vor Verletzung: *Brennhaare* (z. B. Brennnessel) d) Ausscheidung von Stoffen, besonders ätherischen Ölen (*Drüsenhaare*)	von mannigfacher Gestalt als einzellige oder als Bausteine vielzelliger (z. B. schuppenförmiger) Haare: kegel- oder schlauchförmig, sternförmig geteilt usw.; lebend oder tot (z. B. Samenhaare der Baumwolle)
2. verkorktes Abschlußgewebe	Schichten verkorkter Zellen; in der Abdichtung nach außen hin weit wirksamer als Oberhaut	Ersatz für (durch Dickenwachstum oder Verletzung) verlorengegangene Oberhaut	*Korkzellen:* Lufthaltig, abgestorben und dabei gebräunt; lückenlos zusammenschließend; gut isolierend z. B. gegen zu hohe Erwärmung durch Sonneneinstrahlung. *Verkorkung* (Einlagerung von Korkstoff in die Zellwand)
Festigungsgewebe	in Stengeln, Stämmen, Blättern: *Biegungsfestigkeit* (an Stengeln äußere Längsrippen, in Blättern T-Träger). In Wurzeln: *Zugfestigkeit* (Mittelstrang wie bei technischen Konstruktionen)	a) zur Festigung noch wachsender Pflanzenteile b) zur mechanischen Festigung *ausgewachsener* Pflanzenteile: Druckfestigkeit, Biegungsfestigkeit, Säulenfestigkeit der Baumstämme, Zugfestigkeit	a) lebend, wachstumsfähig, Zellwände nicht gleichmäßig stark verdickt: Aufrechterhaltung des Stoffwechsels (Kollenchym) b) abgestorben, nicht mehr streckungsfähig, Zellwände sehr stark verdickt. Nicht gestreckt, sehr stark verholzt: Steinzellen. Äußerst langgestreckt, oft elastisch: z. B. Bastfasern (Flachs) Holzfasern im Holz

Bezeichnung	Lage und Funktion	Leistung	Beschaffenheit der Zellen
Leitgewebe	von den Wurzeln bis zu den Blättern ziehendes Leitungssystem, das dem Austausch von Stoffen zwischen den einzelnen Organen dient	a) Leitung von Wasser und Nährsalzen aus der Wurzel; hauptsächlich in Richtung der Blätter, aber auch seitliche Aufnahme und Abgabe möglich, im ganzen also aufsteigend b) Transport von organischen Stoffen, vor allem des in den grünen Zellen (Blätter!) gebildeten Zuckers zu allen Verbrauchsorten, im ganzen gesehen absteigend	a) langgestreckte und in Längsreihen angeordnete tote Röhren (Gefäße mit oder ohne Querwände), mit Wandversteifungen und unverdickten Aussparungen, die den Wasseraustausch mit Nachbarzellen gestatten (Tüpfel) b) Längsreihen von lebenden, stets unverholzten *Siebröhren* (Querwände siebartig durchlöchert und von Plasmasträngen durchsetzt). Plasma als dünner Wandbelag. Jeweils nur eine Vegetationsperiode lang tätig
Exkretgewebe	in verschiedenen Geweben verstreut als normalgebaute Einzelzellen oder langgestreckte Zellschläuche, die flüssige oder feste Stoffe (meist Endprodukte des Stoffwechsels) speichern	Aufnahme von Stoffen, die für den Stoffwechsel nicht weiter verwertbar und in gespeicherter Form diesem entzogen sind. *Schutzstoffe* gegen Tierfraß; Wundverschluß durch gerinnenden Milchsaft	a) *Milchröhren*, das sind reich verzweigte Schläuche ohne Querwände; oft auch durch Verschmelzung aus mehreren Zellen hervorgehend (z. B. Kautschukbäume, Mohn, Schöllkraut, Löwenzahn) b) innere Zellgruppen, die sich allmählich auflösen und einen mit ätherischem Öl gefüllten Hohlraum zurücklassen (z. B. Zitrone, Apfelsine) c) Abscheidung in *innere* Hohlräume, die durch Auseinanderweichen der Drüsenzellen entstehen (z. B. Harzgänge)
Drüsengewebe	peripher im Grundgewebe; zur *Ausscheidung* von Wasser oder gelösten Baustoffen	direkte Abscheidung nach außen: Nektar, Wasser (z. B. Frauenmantel) bei hohem Wasserdampfgehalt der Luft, Verdauungsstoffe bei fleischfressenden Pflanzen	oft lückenlos zu Zellschichten verbunden. Bildung von mehrzelligen Drüsenhaaren und -zotten auf der Oberhaut

Die tierischen Gewebe

Bezeichnung	Herkunft	Lage und Funktion	Bau und Leistung der Zellen
Deck- (Epithel-) Gewebe	aus jedem der drei Keimblätter möglich (z. B. ektodermal: Oberhaut; mesodermal: Bauchfell; entodermal: Darmepithel)	einschichtige (bei Wirbeltieren auch mehrschichtige) Zellenlagen zur Begrenzung nach außen hin oder von inneren Hohlräumen: Platten-, Pflaster-, Zylinderepithelien	oft durch Plasmabrücken in engem physiologischem Zusammenhang stehend a) Ausscheidung einer Verdikkungsschicht (Kutikula) nach außen: Chitinaußenskelett der Gliederfüßer (z. B. Krebse, Käfer) b) auf der freien Fläche mit schwingenden Fortsätzen (Geißeln oder Wimpern): Flimmerepithel zum Herbeistrudeln von frischem Atemwasser bei Schwämmen und Muscheln, zur Beförderung von Nahrung im Darm, von Eiern im Eileiter, von Schleim aus den Luftwegen und von Ausscheidungsprodukten aus den Nierenkanälchen c) Absonderung bestimmter Stoffe (Sekrete). Einzeln oder als Drüsenepithel, z. B. Drüsenschlauch oder -säckchen (Schweißdrüsen)
Bindegewebe	von Zellen zwischen den Keimblättern (mesenchymal)	Zellmasse zum Ausfüllen von Hohlräumen zwischen den Organen; Stützfunktion. Meist mit einer nichtzelligen Grundsubstanz zwischen den Zellen (oft	a) spindelförmig oder verästelt: entweder beweglich (z. B. als stofftransportierende Wanderzelle) oder ein Netzwerk bildend. Allgemein vorherrschend nur bei einfach organisierten Tieren (z. B.

Bezeichnung	Herkunft	Lage und Funktion	Bau und Leistung der Zellen
		gallertig). Auch das Blut kann als ein Bindegewebe mit flüssiger Zwischenzellsubstanz aufgefaßt werden	Schwämmen) bzw. den Embryonen höherer Tiere b) fibrillär: Einlagerung von Eiweißfasern in die Gallertmasse zur Erhöhung der Elastizität (zugelastisch). Bestimmte Richtung der Fasern z. B. in den Sehnen c) Festigung durch kohlensauren Kalk, Kieselsäure oder eine organische Substanz. Skelettkörper niederer Tiere (Korallen, Seeigellarven) d) Spezialaufgaben wie Speicherung von Fett: Fettzellen bzw. -gewebe, z. B. unter der Haut der Säugetiere; mit Farbstoffkörnchen: Pigmentzellen (äußere Färbung)
Stützgewebe a) *Knorpelgewebe*		als Wirbelsäule einschließlich Schädelskelett usw. das feste Stützsystem der niederen Wirbeltiere (z. B. Haifisch) bzw. der höheren Wirbeltierembryonen: druck- und biegungselastisch	meist abgerundet, selten verästelt; Ausscheidung von viel steifgallertiger elastischer Grundmasse aus verschiedenen Eiweißkörpern; oft Einlagerung von Fasern zur Erhöhung der Festigkeit (Faserknorpel)
b) *Knochengewebe*	von Zellen zwischen den Keimblättern (mesenchymal)	als Bausubstanz der Knochen die höchstentwickelte Stufe eines Stützgewebes, von noch größerer Festigkeit als das Knorpelgewebe und bei den höheren Wirbeltieren dieses allmählich ersetzend. Bildet die harten druck-, zug- und biegungsfesten Skelettstücke	sternförmig, allseitig durch reichverzweigte Ausläufer miteinander verbunden. Erzielung größtmöglicher Festigkeit durch Einlagerung von Kalksalzen in die knorpelartige Zwischensubstanz (Knochenleim)
Muskelgewebe	aus dem mittleren Keimblatt (mesodermal)	Träger der Bewegung von Körperteilen und der Fortbewegung. Seine Grundelemente — zu rascher Verkürzung befähigte Plasmafasern (Fibrillen) — schon bei Einzellern. Oftmals als Hautmuskelschlauch (Würmer) oder einem Skelett als festem Widerlager ansitzend	entweder als einkernige *Muskelzellen* oder vielkernige *Muskelfasern*. Eingelagerte Fibrillen entweder glatt od. quergestreift, d. h. in sehr rasch verkürzbare und kaum verkürzbare Abschnitte unterteilt. Quergestreifte Muskeln daher für besonders hohe Beanspruchung: Glockenmuskeln der Medusen, fast alle Muskeln der Gliederfüßer (rasche Bewegung!), Herz- und Skelettmuskeln der Wirbeltiere. Nicht immer (durch bindegewebige Häute) zu Muskeln zusammengepackt, sondern häufig auch verstreut im Bindegewebe
Nervengewebe	aus dem äußeren Keimblatt (ektodermal); meist durch Einstülpung	in Form von einzelnen reizaufnehmenden *Sinneszellen* meist einem Epithel eingefügt; die erregungsleitenden *Nervenzellen* hingegen meist in die Tiefe verlagert, entweder verstreut (z. B. Nervennetz der Polypen) oder zu einem Schaltsystem zentralisiert (Strickleiternervensystem der Ringelwürmer und Gliederfüßer; Rückenmark und Gehirn)	*Sinneszellen* auf spezielle Reize abgestimmt: Geruchs-, Geschmacks-, Temperatur-, Licht-, Tast-, Strömungs-, Dreh-, Schwere- und Gehörsinn. *Nerven-* (Ganglien-) *Zellen*. Verknüpfung und Weitergabe von Sinneseindrücken und autonomen Impulsen mit leitenden Plasmafäden (Neurofibrillen), vor allem in den langen Zellfortsätzen (Nervenfasern). Entweder Reize von den Sinnesorganen aufnehmend: *sensibel* oder Erregungen zum Erfolgsorgan (z. B. Muskel, Drüse) entsendend: *motorisch*. Nachwirkungen früherer Erregungen: Grundlage von Erfahrungshandlungen

IV. Fortpflanzung, Befruchtung und Vererbung

FORTPFLANZUNG

Die Fortpflanzung, oftmals gleichbedeutend mit Vermehrung, sichert über das Einzelwesen hinausgreifend den Weiterbestand des Lebens und die Erhaltung der Art durch Erzeugung neuer Lebewesen bei Pflanze, Tier und Mensch. Verschiedene Formen der Fortpflanzung entsprechen dabei der Mannigfaltigkeit der Organismen und ihrer unterschiedlichen Lebensweise.

Ungeschlechtliche Fortpflanzung. Die Grundform der ungeschlechtlichen Fortpflanzung ist die *Teilung von Zellen*. Sie erfordert keine besondere Keim- oder Geschlechtszellen. Als einfache *Zweiteilung* wird sie bei vielen Einzellern (z. B. Amöben, Algen usw.) beobachtet. Durch *multiple* oder *Zerfallsteilung* können bei einem Teilungsschritt aus einer Zelle auch mehrere neue entstehen. Das ist z. B. bei der Vermehrung der Sporentierchen (einzellige Schmarotzer, wie der Malariaerreger) zu beobachten.
Die ungeschlechtliche Fortpflanzung wird auch als *vegetative* Fortpflanzung bezeichnet, weil sie im Pflanzenbereich weit verbreitet ist. Sie tritt bei vielen grünen Pflanzen in Form der Bildung von *Brutknollen* und *-zwiebeln* auf.
Auch bei vielen Tieren, z. B. bei den Polypen, bilden sich häufig Auswüchse und Knospen am Körper, aus denen sich neue Individuen entwickeln. Dieser Vorgang wird als *Knospung* oder *Sprossung* bezeichnet. Die aus solchen Knospen hervorgegangenen Lebewesen lösen sich entweder vom Muttertier ab und leben dann frei, oder sie bleiben bei stockbildenden Tieren mit ihm verbunden.

Geschlechtliche Fortpflanzung. Ebenso wie die ungeschlechtliche ist auch die geschlechtliche Fortpflanzung an die *Zellteilung* geknüpft. Jedoch geht bei der geschlechtlichen Fortpflanzung der Zellteilung eine *Zellverschmelzung* voraus. Das ist eine Vereinigung zweier Geschlechts- oder Keimzellen und ihrer Kerne, die als *Befruchtung* bezeichnet wird.
Bei niedereren Pflanzen und einzelligen Tieren werden die miteinander verschmelzenden Zellen *Gameten* genannt. Sie sind entweder gleichartig in Größe, Form und Beweglichkeit, oder sie können als *Makro-* und *Mikrogameten* voneinander unterschieden werden. Bei den meisten vielzelligen Lebewesen dagegen werden die Keimzellen von *männlichen* und *weiblichen* Individuen gebildet, die sich durch besondere Geschlechtsorgane und -merkmale unterscheiden. Die weiblichen Geschlechtszellen sind die *Eizellen*. Die männlichen Geschlechtszellen sind die *Samenzellen*. Ihre Bildung erfolgt bei allen höheren Tieren und beim Menschen in den *Keimdrüsen* (*Gonaden*). Beim männlichen Geschlecht werden die Keimdrüsen *Hoden*, beim weiblichen *Eierstock* genannt.
Trägt ein Organismus sowohl männliche als auch weibliche Geschlechtsorgane, so wird er als *Zwitter* bezeichnet. Diese Erscheinung ist im Tierreich selten, bei Blütenpflanzen jedoch häufig anzutreffen.

Generationswechsel. Bei vielen Pflanzen und Tieren unterliegt die Art der Fortpflanzung im Laufe der Generationen einem regelmäßigen oder unregelmäßigen Wechsel. Dabei folgt auf eine sich *geschlechtlich* fortpflanzende Generation eine sich *ungeschlechtlich* fortpflanzende.
Auch mehrere sich ungeschlechtlich fortpflanzende Generationen können aufeinander folgen.
Allgemein bekannt ist z. B. der Generationswechsel einiger Hohltiere. Die auf dem Meeresboden festsitzenden *Polypen* bilden durch Knospung frei im Wasser schwimmende *Quallen* (*Medusen*), die als Geschlechtstiere wieder Polypen erzeugen.

BEFRUCHTUNG

Wesen der Befruchtung. Bei der Befruchtung verschmilzt eine männliche Keimzelle mit einer weiblichen. Damit ist die Vereinigung ihrer Kerne bzw. Kernsubstanzen verbunden. Dieser Vereinigung geht eine gesetzmäßig sich vollziehende Halbierung des Chromosomensatzes voraus (*Reduktionsteilung*), die in manchen Fällen auch unmittelbar nach der Befruchtung erfolgen kann. Die Reduktion des doppelten (*diploiden*) Chromosomensatzes auf die Hälfte (*haploid*) ist notwendig, damit bei der Befruchtung der diploide Zustand wiederentstehen kann und keine unendliche Vermehrung des Chromosomensatzes eintritt. Unterbleibt in Ausnahmefällen oder durch experimentellen Eingriff die Reduktion, so kommt es zur Erscheinung der *Polyploidie*, d. h. zu einer Vervielfachung des Chromosomensatzes in den Zellen.
Die mit der Bildung der Keimzellen (Reduktionsteilung) verbundenen Vorgänge und die bei der Befruchtung eintretende Vereinigung von Kernmaterial verschiedener Individuen führt zur Neukombination von Erbanlagen. Damit wird die erbliche Plastizität einer Art (Population) gewährleistet.

Begattung. Als Begattung wird die durch den *Geschlechts-* oder *Begattungstrieb* herbeigeführte, mehr oder minder enge Berührung eines männlichen Individuums mit einem weiblichen bezeichnet, bei der die Samenzellen (männliche Keimzellen) durch die Geschlechtsöffnung in den weiblichen Körper eindringen. Bei manchen Tieren werden die in den weiblichen Organismus gelangenden Samenzellen zunächst in einer Samentasche aufbewahrt und erst später zur Befruchtung verwendet. Das geschieht z. B. bei der Bienenkönigin.

Parthenogenese. Eine Entwicklung der Eizelle *ohne* Befruchtung ist, wenn auch nur zeitweise, bei verschiedenen Tierarten möglich, z. B. bei Blattläusen, Bienen, Ameisen, Wasserflöhen u. a. Bei einer solchen Parthenogenese oder Jungfernzeugung entstehen aus den unbefruchteten Eiern oft nur Männchen oder nur Weibchen. Bei den Bienen z. B. gehen aus den unbefruchteten Eiern die Drohnen hervor. Bei einigen Wasserflöhen entstehen aus diesen Eiern lediglich Weibchen.

Sexualität. Unter Sexualität oder Geschlechtlichkeit versteht man das Vorhandensein von männlichen und weiblichen *Geschlechtsorganen* (z. B. Hoden und Eierstock) oder von männlichen und weiblichen *Keim-* oder *Geschlechtszellen* oder geschlechtlich differenzierten *Kernen* bzw. Kernsubstanzen.
Von männlichen und weiblichen Einzelwesen einer Art kann erst dann gesprochen werden, wenn männliche und weibliche Keimdrüsen auf verschiedene Individuen verteilt sind (*Getrenntgeschlechtlichkeit*). Männliche und weibliche Individuen sind meist durch unterschiedliche Merkmale im Körperbau gekennzeichnet. Diese werden allgemein als *Geschlechtsmerkmale* bezeichnet.
Primäre Geschlechtsmerkmale sind die an den Keimdrüsen und Geschlechtsorganen selbst festzustellenden Unterschiede. *Sekundäre* Geschlechtsmerkmale dagegen sind die äußerlich festzustellenden Unterschiede der männlichen und weiblichen Individuen. Durch sie ist der sogenannte *Geschlechtsdimorphismus* bedingt. Bei Vögeln äußert er sich oft in der unterschiedlichen Färbung des Federkleides von Männchen und Weibchen. Bei einigen Tieren treten diese Eigentümlichkeiten besonders während der Paarungszeit auf. Bekannt sind die *Hochzeitskleider* der Männchen bei Vögeln, Lurchen und Kriechtieren (z. B. die leuchtende Blaufärbung der männlichen Moorfrösche und der farbenprächtige lange Schwanz der Paradiesvogelmännchen). Wie an Tieren, denen die Keimdrüsen entfernt worden waren, beobachtet werden konnte, sind die sekundären Geschlechtsmerkmale von der verstärkten Tätigkeit der Keimdrüsen und von einem gesteigerten Stoffwechsel während der Zeit der Geschlechtsreife abhängig. Dies gilt sowohl für die zeitweiligen als auch für die dauernden sekundären Geschlechtsmerkmale.

VERERBUNG

Vererbung und Veränderung. Die Nachkommen ähneln bei allen Organismen den Eltern. Diese Erscheinung wird als *Vererbung* bezeichnet. Sie ist sowohl bei Formen mit geschlechtlicher als auch bei solchen mit ungeschlechtlicher Fortpflanzung gültig. Die Frage nach dem Zustandekommen dieser Ähnlichkeit, d. h. die Frage nach dem Wesen der Vererbung, ist eine der zentralen Fragen der Biologie. Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung beginnt die Entwicklung mit der Befruchtung. Mit der Befruchtung ist zugleich die Übertragung der *Erbanlagen* auf die Nachkommen verbunden. Die Zusammensetzung der Erbanlagen läßt sich durch *Kreuzung* erblich verschiedener Formen (Rassen) einer Art ermitteln. Zugleich lassen sich aus solchen Versuchen Hinweise auf die Übertragungsweise und die Art der Wirkung der Erbanlagen gewinnen. Auch beim *Menschen* vererbt sich eine große Zahl normaler und krankhafter Merkmale in dieser gesetzmäßigen Weise. Mit völlig gleichen Erbanlagen ausgestattet sind eineiige Zwillinge, die sich auch äußerlich zum Verwechseln ähnlich sehen.
Die Erbanlagen werden von der Elterngeneration auf die Folgegenerationen übertragen. Die Erbanlagen sind aber nicht absolut konstant, sondern veränderlich. Ohne diese Voraussetzung gäbe es keine Entwicklung der Organismenwelt. Die Vererbungswissenschaft (*Genetik*) widmet den erblichen Veränderungen und ihren Ursachen besondere Aufmerksamkeit.
Erblichkeit und Veränderlichkeit sind die beiden in dialektischer Wechselbeziehung stehenden Komponenten, die im Erbgeschehen wirksam sind. Metaphysische Auffassungen und Theorien haben die eine oder andere Seite überbetont. Die einseitige Anerkennung der konservativen Komponente führt letztlich zur *Konstanzlehre*, d. h. zum Dogma von der Unveränderlichkeit der Arten. Die ebenso undialektische Auffassung, daß der Organismus ausschließlich durch Umweltverhältnisse geprägt wird, vermag die relative Stabilität der Arten nicht zu deuten und muß spekulative Hilfshypothesen heranziehen, indem zum Beispiel ein besonderer Mechanismus sprunghafter Artentstehung postuliert wird.

Erbregeln. Obwohl viele Vererbungserscheinungen schon seit dem Altertum bekannt waren, entwickelte sich die Genetik als experimentelle Naturwissenschaft erst um die Jahrhundertwende. Die von *Mendel* eingeführte Kreuzungsanalyse zur Untersuchung des Erbganges einzelner Merkmale bei Bastarden und Bastardnachkommenschaften führte zur Erkenntnis, daß relativ konstante, trennbare und miteinander kombinierbare Erbeinheiten (*Gene*) vorliegen, die von Generation zu Generation weitergegeben werden. Die durch Kreuzungsanalyse statistisch erfaßten Gesetzmäßigkeiten (*Mendelsche Regeln*) ließen sich aus dem Verhalten der Chromosomen bei der Kernteilung erklären, nachdem der komplizierte Teilungs- und Verteilungsmechanismus erforscht war, dem die Chromosomen bei der Reifungsteilung (Bildung der Geschlechtszellen) unterliegen.
Die statistische Analyse von Kreuzungsexperimenten und die Zellforschung sind also zunächst völlig unabhängig voneinander entwickelt worden und haben dann in wechselseitiger Ergänzung und Bestätigung die moderne Vererbungswissenschaft begründet. Nach der von *Morgan* vertretenen Chromosomentheorie der Vererbung sind die Gene in den Chromosomen lokalisiert und linear angeordnet. Bei einer Reihe von Untersuchungsobjekten konnten die Genorte auf den einzelnen

Chromosomen genau bestimmt werden. Moderne genetische Arbeitsrichtungen erforschen Lage, biochemische Struktur und Wirkungsweise der Erbeinheiten, weiter befassen sie sich mit der Veränderung von Genen und Chromosomen (*Mutationen*) durch verschiedene *mutagene* Faktoren (Strahlen, Chemikalien u. a.). Die Gesamtheit der in den Chromosomen lokalisierten Gene heißt *Genotypus*. Nachdem nachgewiesen wurde, daß auch im Zellplasma Erbanlagen vorhanden sind (plasmatische Vererbung), bezeichnet man deren Gesamtheit als *Plasmotypus*. Genotypus und Plasmotypus bilden zusammen den *Idiotypus*. Das *Erscheinungsbild* eines Lebewesens (*Phänotypus*) entsteht auf Grund seines Idiotypus und der modifizierenden Wirkung von Umweltfaktoren; vererbt werden Anlagen, die sich unter dem Einfluß der Umweltbedingungen in verschiedener Weise realisieren.

Mutationen. *Mutationen* sind chromosomale Erbänderungen, die *spontan* auftreten oder mittels *mutagener Agenzien* hervorgerufen werden. Solche Agenzien können z. B. sein: extreme Temperaturen, verschiedene Strahlenarten (z. B. Röntgenstrahlen, Neutronen) und chemische Verbindungen (z. B. Senfgas). Die *spontane Mutabilität* sichert, daß innerhalb einer Art bzw. Fortpflanzungsgemeinschaft (*Population*) stets in gewissem Umfang verschiedene Erbanlagen vorhanden sind. Diese erbliche Unterschiedlichkeit gestattet es der Art bzw. Population, sich auch unter veränderten Umweltbedingungen zu erhalten oder in neue Lebensräume einzudringen. Die einzelnen Mutationen stehen in keinem sinnvollen Bezug zu den vorhandenen Umweltbedingungen und sind insofern richtungslos. Die durch Einzelmutationen bedingten erblichen Veränderungsschritte sind meist klein (Mikromutationen) und führen erst in der Summierung zu deutlicheren Abänderungen. Größere Erbsprünge (Makromutationen) sind meist von negativer Auswirkung und bleiben in Wildpopulationen nicht erhalten, während sie unter den Bedingungen der Domestikation, z. B. bei der Rassezüchtung von Haustieren oft besondere Beachtung finden.

Plasmatische Vererbung. Neben den Chromosomen besitzt das Plasma der Zelle für die Vererbung Bedeutung. Ein bekanntes Beispiel für diese Tatsache ist die Kreuzung zwischen Pferd und Esel. Durch Kreuzung von Eselvater und Pferdmutter entsteht das Maultier. Nachkomme der Kreuzung Eselmutter und Pferdvater ist der Maulesel. Die Verschiedenheit zeigt also, daß die Chromosomen nicht allein das Vererbungsgeschehen bestimmen. Ebenso kennt man u. a. bei Blütenpflanzen und Moosen verschiedene Fälle, bei denen die Erbanlagen verschiedene Merkmalsausbildungen auslösen, je nachdem, in welches Plasma sie bei der Kreuzung gelangen.
Eine Veränderung plasmatischer Erbanlagen durch Stoffwechseleinflüsse ist denkbar. So gibt es Modifikationen, die durch Umwelteinflüsse hervorgerufen werden, aber in Folgegenerationen auch dann weiterwirken, wenn die auslösenden Umwelteinflüsse nicht mehr bestehen und erst allmählich abklingen. Solche Modifikationen werden als *Dauermodifikationen* bezeichnet.
Über die wechselseitige Beziehung, die sich bei den Vorgängen der Vererbung zwischen Kern und Plasma vollzieht, läßt sich noch nichts sagen, selbst für solche Fälle, bei denen man Strukturen im Plasma kennt, an die Erbanlagen gebunden sind. Das Problem der Vererbung liegt einerseits in der gewissen Konstanz der Erbanlagen und andererseits in der in verschiedener Weise erwiesenen oder experimentell erzielten Veränderlichkeit.

V. Entwicklung

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN EINZEL- UND STAMMESENTWICKLUNG

Unter Entwicklung versteht man ganz allgemein den Prozeß des Hervorgehens von Neuem, Höherem und Komplizierterem aus Altem, Niederem und Einfacherem. Entwicklung beobachtet man in allen Bereichen der Natur und der Gesellschaft. Die Untersuchung der allgemeinen Gesetze aller Entwicklung ist Gegenstand der Dialektik. In der Biologie tritt die Entwicklung in zwei verschiedenen Formen auf: als Entwicklung des Einzellebewesens — Pflanze, Tier oder Mensch — von der Keimzelle bis zum ausgebildeten Organismus (*Ontogenese*) und als Entwicklung von Pflanzen- und Tierarten im Laufe der Stammesentwicklung (*Phylogenese*). Die Entwicklung der Organismen, sowohl die individuelle als auch die einer bestimmten Art oder Gattung, verläuft in unlösbarer Einheit mit den Bedingungen der Umwelt.
Die Wiederholung von früheren Entwicklungsstufen im Lebensablauf eines Organismus ist ein charakteristischer Zug der organischen Entwicklung und wurde von Ernst *Haeckel* als *biogenetische Grundregel* formuliert:

„Die Ontogenesis ist die kurze und schnelle Rekapitulation (Wiederholung) der Phylogenesis, bedingt durch die physiologischen Funktionen der Vererbung (Fortpflanzung) und Anpassung (Ernährung)."

Das heißt: Im Entwicklungsablauf eines Lebewesens (Ontogenese) wiederholen sich in allgemeinster Form die wichtigen Entwicklungsstufen seiner Stammesgeschichte (Phylogenese). Diese Rekapitulation ist keine vollständige, sie ist in wechselndem Umfang verändert. So gibt es Sonderanpassungen von Larven und Jugendstadien an bestimmte Umweltbedingungen, die keine Entsprechung in der Phylogenese besitzen. Auch kann die Rekapitulation in der Ontogenese stark verkürzt sein oder Stadien überspringen.

INDIVIDUELLE ENTWICKLUNG

Lebensablauf. Im Lebensablauf eines tierischen Organismus lassen sich vier Perioden unterscheiden:

1. die Periode der Embryonalentwicklung,
2. die Jugend- bzw. Larvenperiode,
3. die Periode der Geschlechtsreife,
4. die Altersperiode.

Während der ersten Phase differenziert sich durch Zusammenwirken innerer und äußerer Entwicklungsfaktoren aus dem bildungsfähigen Ei (bzw. im pflanzlichen Samen) der junge Embryo. Die dabei einwirkenden äußeren Faktoren lösen den Ablauf der Entwicklungsschritte aus. Das Zusammenwirken zahlreicher, aufeinander abgestimmter Faktoren bedingt den normalen Ablauf der Entwicklung. Im Meerwasser stellen die verschiedenen Salze einen aufeinander abgestimmten Komplex verschiedener Faktoren dar. Durch einseitige Einwirkung einzelner Salze aus dem Meerwasser kommt es dagegen zu Fehlentwicklungen bzw. vorzeitigem Entwicklungsstillstand. Ähnlich lassen sich auch Süßwassertiere in einem bestimmten Entwicklungsstadium durch veränderte Salzkonzentration oder Verschiebung der Wasserstoffionenkonzentration in spezifischer Weise umbilden.

Embryonalentwicklung. Die Embryonalentwicklung der Tiere gliedert sich in drei große Perioden: 1. Furchung, 2. Keimblätterbildung, 3. Gewebsdifferenzierung und Organbildung. Der Verlauf der Embryonalentwicklung ist in den einzelnen Tierstämmen unterschiedlich. Schon die Furchung der befruchteten Eizelle verläuft sehr verschieden, wobei ihr Dottergehalt eine Rolle spielt. Bei Tieren mit dotterarmen Eiern vollzieht sich die frühe Embryonalentwicklung in folgender Weise:
Während der ***Furchungsperiode*** entsteht aus der befruchteten Eizelle durch rasch aufeinanderfolgende Teilungen ein kugelförmiger Haufen kleinerer Zellen, die *Morula*, und daraus im typischen Fall zunächst — indem alle diese Zellen sich abrunden und an die Oberfläche rücken — eine Hohlkugel, die ***Blastula***.
Danach vollzieht sich die ***Keimblätterbildung***. Es entstehen drei Zellschichten, aus denen die späteren Gewebe und Organe hervorgehen. Zunächst entsteht ein aus zwei Keimblättern (äußeres *Ektoderm* und inneres ***Entoderm***) bestehender Becherkeim, die *Gastrula*. Der Vorgang der Gastrulation vollzieht sich in verschiedener Weise. So kann sich z. B. die Blastula am unteren Pol einstülpen, so daß gleichzeitig mit der Bildung des Entoderms der *Urmund* an der Einstülpungsstelle entsteht. Bei anderen Tierarten bildet sich das Entoderm aus eingewanderten Zellen der Blastulawand (***Blastoderm***), und der Urmund bricht später durch. Zwischen Ekto- und Entoderm entwickelt sich dann als drittes Keimblatt das *Mesoderm*. Es bilden sich bei Wirbeltieren aus den einzelnen Keimblättern folgende Anlagen:

Ektoderm	Oberhaut, epithelide Auskleidung des Anfangs- und Endabschnittes des Darmkanals, Nervensystem, Sinnesorgane
Entoderm	das Darmepithel im Mittelteil des Darmkanals, Teile des Atmungsapparates, der Kiemen bzw. Lungen
Mesoderm	Bindegewebe, Muskulatur, Skelett, Herzbeutel, Brust- und Bauchfell, Nieren- und Geschlechtsorgane.

Der weitaus größte Teil der Körpermasse entsteht somit aus der Mesodermanlage.
Im Anschluß an die Keimblätterbildung setzen die ***Differenzierung*** der Gewebe und die ***Organbildung*** ein.

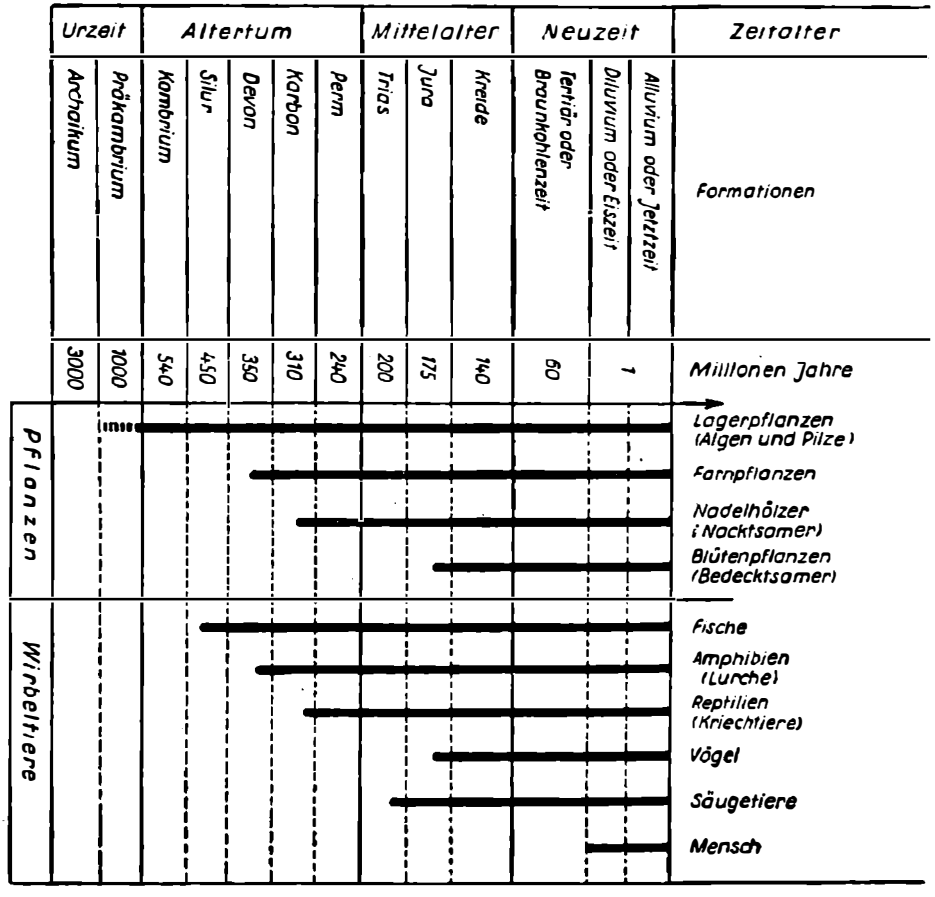
Lebensdauer und Tod. Im allgemeinen ist die *Lebensdauer* eines Individuums durch innere Faktoren festgelegt, sie ist im Rahmen einer gewissen Variationsbreite artspezifisch. Fortschreitende Änderungen im Stoffwechsel, insbesondere Störungen im Fließgleichgewicht der lebenden Zellen, bei der die Abfuhr schädlicher Stoffwechselprodukte der Zufuhr neuer Stoffe nicht mehr die Waage halten kann, führen mit Notwendigkeit zum *physiologischen Tode*, dessen Ursachen aber in vielen Fällen noch nicht restlos geklärt sind, so bei manchen Lebewesen (z. B. Eintagsfliegen), deren Existenz sich mit beendeter Fortpflanzung zu erübrigen scheint.
Wie Experimente zeigen, ist die Lebensdauer eines Organismus beeinflußbar. So konnte das Leben von einjährigen Pflanzen dadurch auf $3^1/_2$ Jahre verlängert werden, daß man sie am Blühen hinderte, oder es ließ sich durch Aufpfropfen von Blütenknospen bei Rüben eine doppelte Lebensdauer erzielen. Auch Alterserscheinungen hat man durch Hormone für gewisse Zeiträume zum Verschwinden gebracht.
Im lebenden Organismus sterben dauernd Zellen ab (z. B. Zellen der Oberhaut, Blutzellen der Wirbeltiere) oder werden ganze Körperteile abgestoßen (z. B. Äste der Bäume, verletzte Glieder der Krebse), ohne daß ihr Verlust ein Eingehen des ganzen Lebewesens nach sich zöge. Denn nach Zerstörung ausgedienter Gewebe und Organe werden die verlorengegangenen Teile durch ***Regeneration*** weitgehend ersetzt.
Merkwürdigerweise können sich einige Lebewesen, um ungünstige Zeitspannen zu überdauern, dem Tod gleichsam entziehen, wenn die obere oder untere Grenze der Erträglichkeit gewisser Lebensbedingungen über- oder unterschritten wird, also etwa an Temperatur, Nährstoffen, Wasser, Licht

u. a. ein Zuviel oder Zuwenig einwirkt. So vermögen Bakteriensporen, Zysten von Einzellern, Fadenwürmern und niederen Krebsen (also Individuen, die sich von der Umwelt abkapseln) sowie Dauereier vom Kiemenfußkrebs, eingetrocknete Räder- und Bärtierchen ihre normale Lebensdauer um ein Vielfaches (Bakteriensporen um mehr als 90 Jahre, Getreidesamen bis zu 60 Jahren) zu verlängern. Bei ihnen sind alle Lebensvorgänge stark gedrosselt. Dennoch vermögen sie dann, wenn günstige Lebensumstände eintreten, ihr Leben fortzusetzen. Solches *latentes* Leben ist unter Umständen äußerlich wegen der außerordentlichen Langsamkeit der Stoffumsetzung vom Tode kaum zu unterscheiden, kann auch unmerklich in ihn übergehen.

Wachstum. Wachstum bedeutet Vermehrung der Menge an lebender Materie und somit der Eiweißkörper des Protoplasmas bei einem Lebewesen. Das Wachstum der Organismen beruht auf verschiedenen Vorgängen; es kann einerseits durch *Zellvermehrung*, andererseits durch *Zellvergrößerung* zustande kommen. Das Streckungswachstum der Pflanzenzellen unter Einlagerung von Wasser ist hierfür ein Beispiel. Alle Wachstumsvorgänge werden durch Hormone gesteuert.

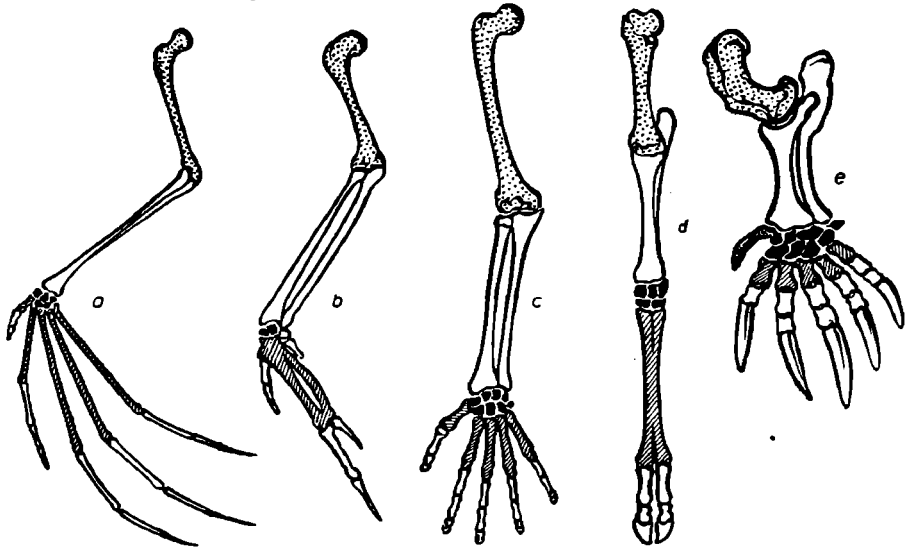
STAMMESENTWICKLUNG

Fossile Lebewesen. Die gegenwärtigen Formen des Lebens (Mikroben, Pflanze, Tier) sind das Ergebnis eines nach Jahrmillionen zählenden *Entwicklungsprozesses*. Während sich die feste Erdkruste vor etwa 2 Milliarden Jahren (Archaikum) bildete, entstanden die ersten Organismen vor etwa 1 Milliarde Jahren (Algonkium). Zunächst traten ganz einfach gebaute Lebewesen auf (Algen,



Erstes Auftreten der Pflanzen und Wirbeltiere in der Erdgeschichte

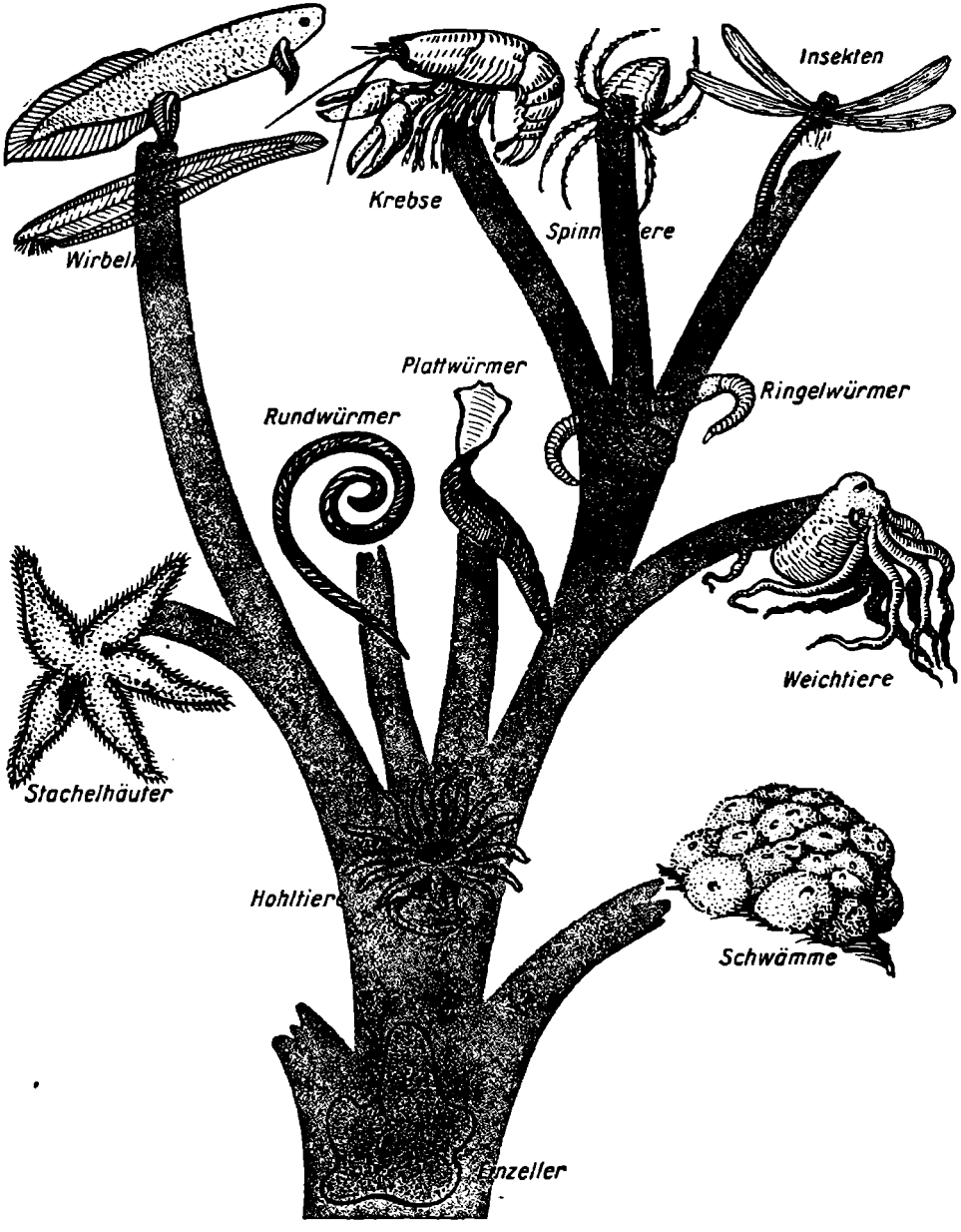
Schwämme, Würmer), doch allmählich entwickelten sich immer kompliziertere Formen (Moose, Blütenpflanzen, Gliedertiere, Vögel, Menschen). Dabei ist die *Mannigfaltigkeit der Formen* bemerkenswert. Der Wissenschaft sind heute fast 1 500 000 Arten bekannt, von denen nahezu 300000 zum Pflanzenreich, die übrigen zum Tierreich gehören. Längst nicht alle Arten, die einmal die Erde bevölkerten und dann ausstarben, sind in ihren Resten bis auf unsere Tage erhalten geblieben. Man kennt jedoch mehr als 100000 fossile Tierarten und etwa 100000 fossile Pflanzenarten. Von den lebenden Pflanzenarten gehören mehr als 40000 zu den Pilzen, die meisten aber (170000) zu den Samenpflanzen, besonders zu den bedecktsamigen Blütenpflanzen. Die Mehrzahl der lebenden Tierarten gehört zum Stamm der Gliederfüßer (rund 800000), dann folgen die Weichtiere mit etwa 100000 und die Chordatiere mit rund 60000 Arten. Die Fossilarten entstammen vornehmlich solchen Gruppen, die durch Hartbestandteile ihres Körpers erhaltungsfähig waren. So ist die Zahl der Fossilfunde bei Mollusken (Schnecken, Muscheln, beschalte Tintenschnecken) und Wirbeltieren (Knochenskelett) besonders groß.

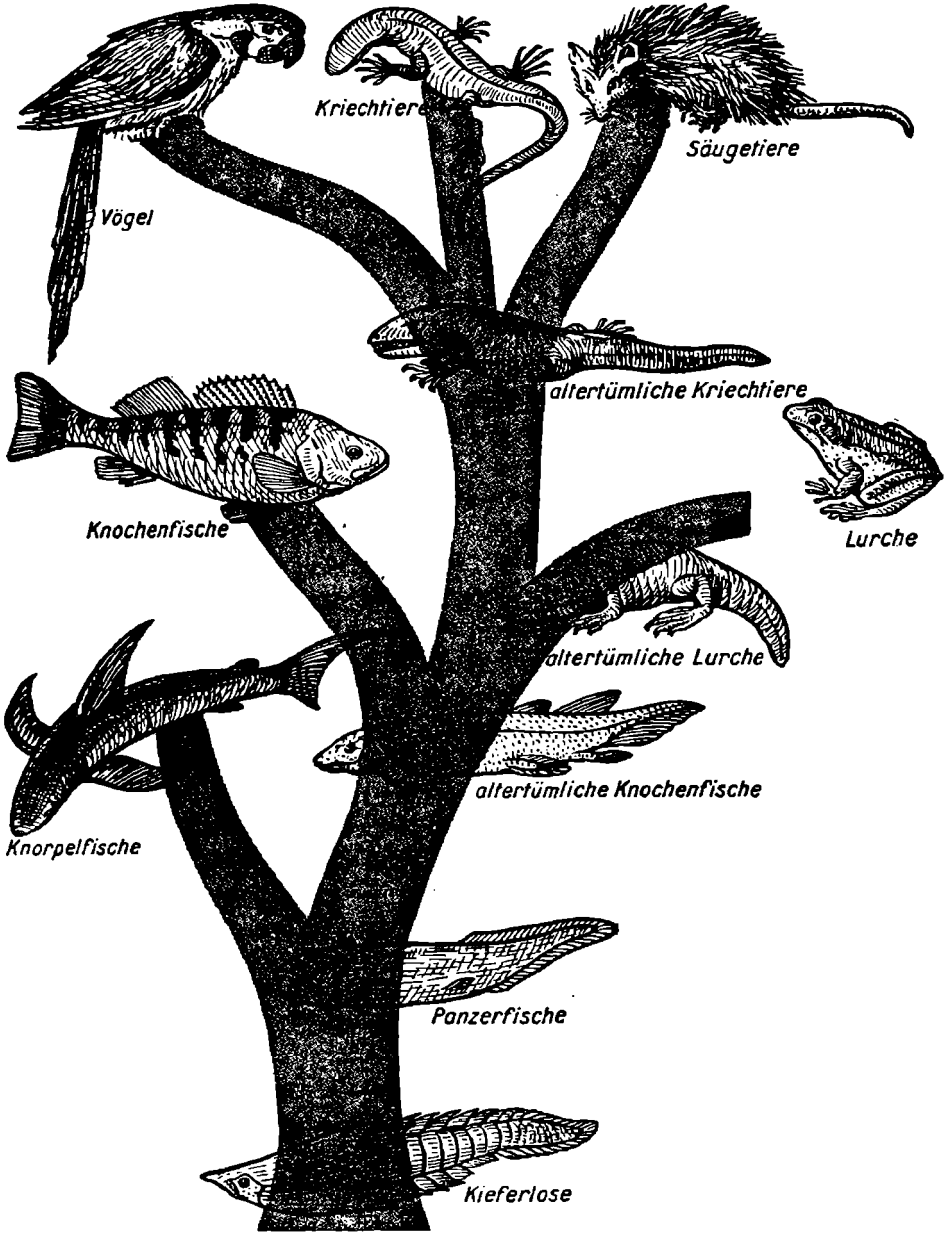


Skelett der Vorderextremität verschiedener Wirbeltiere, a Fledermaus, b Vogel, c Mensch, d Paarzeher, e Maulwurf

Stammbäume und Methoden der stammesgeschichtlichen Forschung. Seit sich die materialistische Erkenntnis durchgesetzt hat, daß die heutige Organismenwelt im Verlauf eines langen Entwicklungsprozesses entstanden ist, versucht man den Ablauf der Stammesgeschichte durch *Stammbäume* darzustellen. Solche Stammbäume sind für das gesamte Tier- oder Pflanzenreich und für einzelne Verwandtschaftsgruppen aufgestellt worden. Die Stammbaumdarstellung fußt auf Fossilmaterial, das von der *Paläontologie* erforscht wird, und auf Untersuchung an den in der Gegenwart lebenden Organismen. Von besonderer Bedeutung sind dabei vergleichende morphologische und embryologische Studien. Die *vergleichende Anatomie* unterscheidet zwischen *Homologien* und *Analogien*. Homologe Organe sind solche gleicher Abkunft und Bildungsgeschichte. Ihre funktionelle Bedeutung kann sehr unterschiedlich sein. So sind z. B. die Vordergliedmaßen der höheren Wirbeltiere (Lurche, Kriechtiere, Vögel und Säugetiere) in ihrem Grundplan gleich (homolog), während sie funktionell als Lauf-, Schwimm- oder Flugorgane dienen. Analoge Organe sind solche gleicher Funktion, z. B. die Flügel von Insekten und Vögeln. Die Ähnlichkeit mancher Analogien kann eine Verwandtschaftsbeziehung vortäuschen. So sehen sich die auf der Farbtafel dargestellten Freiwasserfische (Heringshai und Thunfisch) und die Bodenfische (Rochen und Butt) bei flüchtiger Betrachtung sehr ähnlich, obwohl nach den wesentlichen anatomischen Merkmalen Hai und Rochen einerseits, und Thunfisch und Butt andererseits verwandtschaftlich zusammengehören. Solch äußere Ähnlichkeiten und funktionell bedingten Parallelen bezeichnet man auch als *Konvergenzen*. Für die Aufklärung stammesgeschichtlicher Beziehungen haben nur die Homologien Bedeutung.

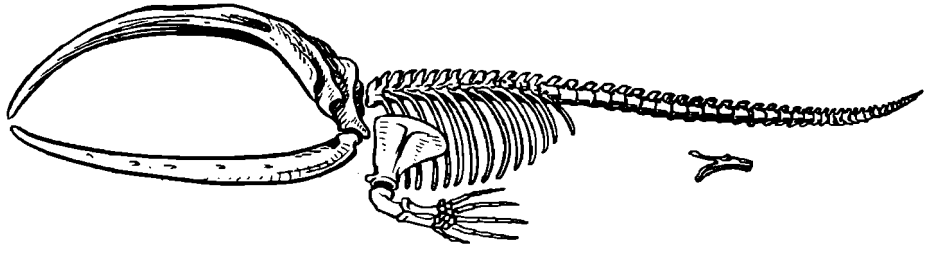
Seit einigen Jahrzehnten finden auch *chemische* Methoden in der stammesgeschichtlichen Forschung Verwendung. Die Eiweißkörper der Blut- bzw. Körperflüssigkeit unterscheiden sich in ihrem chemischen Aufbau. Je enger zwei Tierarten oder -gruppen miteinander verwandt sind, um so ähnlicher


Insekten
Krebse
Spinn ere
Wirbel
Plattwürmer
Ringelwürmer
Rundwürmer
Weichtiere
Stachelhäuter
Hohltier
Schwämme
Einzeller


Kriechtiere
Säugetiere
Vögel
altertümliche Kriechtiere
Knochenfische
Lurche
altertümliche Lurche
altertümliche Knochenfische
Knorpelfische
Panzerfische
Kieferlose

ist die Zusammensetzung ihrer Eiweißkörper. In gleicher Weise können auch chemische Untersuchungen an Geweben (z. B. Muskelgewebe) Verwandtschaftsverhältnisse aufklären helfen.
Mit fortschreitender Forschung und auf Grund neuer Ergebnisse verändern sich unsere Vorstellungen über den Verlauf der stammesgeschichtlichen Entwicklung. Sie spiegeln immer genauer den tatsächlichen Entwicklungsprozeß wider, was auch in verbesserten Stammbaumdarstellungen seinen Ausdruck findet.

Die Stammesentwicklung der Wirbeltiere. Die ältesten fossilen Reste von Wirbeltieren entstammen dem *Untersilur*. Es handelt sich um kleine (maximal 25 cm lange) kieferlose Bewohner des Süßwassers mit einem kräftigen Panzer aus Hautverknöcherungen. Als stark abgewandelte Restformen dieser Gruppe werden die in der Gegenwart lebenden *Rundmäuler* betrachtet. Zu Ende des Silur erscheinen Fische mit ebenfalls starken Hautverknöcherungen, die besonders den vorderen Körperabschnitt bedecken. Diese als Panzerfische (*Placodermi*) bezeichneten Formen besaßen Kiefer und



Skelett eines Bartenwals

paarige Flossen. Auch bei dieser Gruppe handelt es sich vornehmlich um Süßwasserbewohner. Noch vor Ende des Erdaltertums starben die Panzerfische aus.
Sowohl die Knorpelfische (Haie, Rochen) als auch die Knochenfische leiten sich von den Panzerfischen ab. Die *Knorpelfische*, deren Skelett ausschließlich aus Knorpelgewebe besteht, wobei dieses durch Kalkeinlagerungen erhebliche Festigkeit gewinnen kann, sind eine Sondergruppe, die zu den höheren Wirbeltieren keinen Bezug hat. Das Fehlen des Knochengewebes ist als Rückbildung zu deuten, nachdem bei mehreren Panzerfischen knöcherne Innenskelette nachgewiesen werden konnten. Die *Knochenfische* sind eine sehr umfangreiche und in sich unterschiedliche Gruppe. Die meisten von ihnen haben das Knochenskelett bewahrt. Die altertümlichen Vertreter dieser Gruppe waren Süßwasserbewohner des Devon, die in Anpassung an jahreszeitliche Trockenperioden neben der Kiemenatmung auch atmosphärische Luft atmeten und blind endende Ausstülpungen am Vorderarm (d. h. *Lungen*) besaßen. In späterer Zeit wurden diese Lungen, die vor allem beim Übergang in das Meer ihre Bedeutung verloren, zu einem *hydrostatischen* Organ, der *Schwimmblase*, umgebildet. Die jüngeren Knochenfische, die seit dem Erdmittelalter existieren und die Masse der heute lebenden Fische bilden, sind eine Sondergruppe mit starken Abwandlungen gegenüber ihren Vorfahren, von denen heute noch z. B. in Gestalt der *Lungenfische* in Australien, Afrika und Südamerika einige, allerdings auch schon abgewandelte Restformen leben. Die altertümlichen Knochenfische besaßen muskulös-lappige „Quastenflossen" ähnlich denen des australischen Lungenfischs, während die jüngeren Knochenfische „Strahlflosser" sind, d. h., ihre paarigen Flossen werden von Hautfalten gebildet, die im Inneren strahlig angeordnete Stützelemente (Flossenstrahlen) haben.
Die *Lurche* stammen von altertümlichen Knochenfischen ab. In Anpassung an die für das Devon charakteristischen jahreszeitlichen Trockenperioden kommt es zu einem Überwiegen der Lungenatmung und zum Verzicht auf die Kiemenatmung bei den erwachsenen Tieren. Die „Quastenflossen" werden zu Laufextremitäten umgestaltet. Die Bindung an das Wasser ist aber noch immer ausgeprägt. Der Verdunstungsschutz ist schwach entwickelt, und die Jugendentwicklung vollzieht sich im Wasser.
Die *Kriechtiere* haben sich dagegen völlig vom Wasser gelöst. Die dotterreichen Eier besitzen Schutzhüllen gegen Austrocknung, und das Jungtier schlüpft in voller Ausbildung, so daß Larvenstadien entfallen. Die mit Hornschuppen oder -schilden bedeckte Haut liefert einen guten Verdunstungsschutz.
Von den Kriechtieren, deren größte Formenmannigfaltigkeit in das Erdmittelalter fällt, leiten sich einerseits die *Vögel*, andererseits die *Säugetiere* ab. Federkleid und Haarkleid bilden als günstige Wärmeisolatoren die Voraussetzung, die Körpertemperatur von der Außentemperatur unabhängig zu machen. Als Folge davon stehen den Vögeln und Säugetieren nahezu alle Lebensräume des Planeten offen. Älteste, kriechtierähnliche Vögel sind seit der Jurazeit bekannt. Die großartige Entfaltung dieser Gruppe vollzog sich aber erst in der Erdneuzeit. Primitive, kleine Säugetiere lebten bereits in der Trias. In der Kreide, als die formenreiche Kriechtierfauna aus bislang noch nicht voll verständlichen Gründen zugrunde ging, setzte eine rasche Vermannigfaltigung und Höherentwicklung der Säugetiere ein.

Rudimente. *Rudimentäre Organe* sind Organe, die im Verlauf der Stammesgeschichte ihre Funktion verloren haben und nur noch als Restbildungen vorhanden sind. Die Deutung rudimentärer Organe gelang erst nach Anerkennung des Entwicklungsgedankens. Vom Standpunkt der *Konstanzlehre* (Dogma von der Unveränderlichkeit der Arten) und des *Schöpfungsglaubens* sind die vielfach anzutreffenden funktionslosen Organreste nicht zu verstehen. Sie erlangten deshalb als Beweismittel für die Veränderlichkeit der Organismen große Bedeutung. Rudimentäre Bildungen sind z. B. beim Menschen die Muskulatur der Ohrmuscheln und der Wurmfortsatz des Blinddarmes. Bei den Walen sind Becken und Hinterbeine völlig funktionslose Rudimente, die in der Rumpfmuskulatur liegen und keine Verbindung zur Wirbelsäule haben.

DIE ABSTAMMUNGSLEHRE UND DIE FAKTOREN DER EVOLUTION

Abstammungslehre und Weltanschauung. Die *Evolutionstheorie* (Entwicklungslehre) oder *Deszendenztheorie* (Abstammungslehre) bildet heute die gesicherte Grundlage aller biologischen Wissenschaften. Die Entwicklungslehre ist die Bestätigung des dialektischen Materialismus in der Biologie. Sie bedarf heute keines Beweises mehr. Das schon während des vergangenen Jahrhunderts angehäufte Beweismaterial reicht völlig aus, um jeden objektiv Urteilenden von ihrer Richtigkeit zu überzeugen.

Wenn es dennoch vielfältiger und harter Kämpfe bedurfte, bis die Abstammungslehre allgemeine Anerkennung fand, so deshalb, weil ihre wissenschaftlichen Aussagen und objektiven Feststellungen im Widerspruch zur Ideologie der herrschenden Klasse standen. Selbst in der Gegenwart mangelt es in kapitalistischen Staaten, besonders auch in Westdeutschland, nicht an reaktionären Bemühungen, die Abstammungslehre zu diskreditieren und in Zweifel zu ziehen. Dabei werden die Ergebnisse der Fachwissenschaft ignoriert oder verfälscht. Die Verfälschung geschieht meist in der Weise, daß kritische Äußerungen von Fachwissenschaftlern zum Problem der Evolutionsursachen als Kritik an der Abstammungslehre selbst ausgelegt werden. Gegenstand der wissenschaftlichen Auseinandersetzungen sind aber heute lediglich Fragen, die mit den Ursachen und Faktoren des Evolutionsvorganges im Zusammenhang stehen. Auf diesem Gebiet wird seit Jahren eine umfassende Forschungsarbeit geleistet. In der Beurteilung einzelner Evolutionsfaktoren bestehen unterschiedliche Auffassungen. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind bislang noch nicht alle Evolutionsmechanismen bekannt. Die Diskussion um diese Fragen vollzieht sich aber auf der Grundlage einer rückhaltlosen Anerkennung der Entwicklungslehre durch die Fachwissenschaftler. Der weltanschauliche Kampf um die Abstammungslehre wird allerdings so lange weitergehen, wie es Kräfte gibt, die eine Verbreitung wissenschaftlicher Wahrheiten fürchten. Aber auch auf diesem Gebiet wird die Gesetzmäßigkeit der historischen Entwicklung den Sieg der Wahrheit erzwingen.

Jean Baptist Lamarck (1744 bis 1829). Der französische Naturforscher Lamarck war der erste bedeutende Vertreter des Entwicklungsgedankens. Seine vorzüglichen Kenntnisse auf botanischem und zoologischem Gebiet und das Studium von Fossilien führten ihn zu der Erkenntnis, daß die Organismenwelt eine Entwicklung durchlaufen hat und noch durchläuft. Die *Ursachen* für die Veränderung der Lebewesen sieht er in Umweltveränderungen. Die *Lebensweise, Gewohnheiten* und *Lebensbedürfnisse* der Organismen wandeln sich mit den sich ändernden Umweltbedingungen. Daraus ergeben sich Veränderungen und abweichende Entwicklungen ihrer Organe. Diese Veränderungen, die ein Lebewesen im Laufe seines individuellen Lebens erfährt, werden auf die Nachkommen übertragen. Die wesentlichen Grundsätze der von Lamarck entwickelten Anschauungen lauten: 1. *Ständiger Gebrauch stärkt das Organ, ständiger Nichtgebrauch läßt es verkümmern.* 2. *Alles durch Gebrauch Erworbene oder durch Nichtgebrauch Verlorene vererbt sich.* Diese Anschauungen Lamarcks und seiner Nachfolger werden als *Lamarckismus* bezeichnet. Lamarckistische Auffassungen spielen auch in der Gegenwart in der Diskussion über die Entwicklungsursachen (*Evolutionsfaktoren*) eine Rolle. Experimentelle Untersuchungen haben aber ergeben, daß in der Regel eine *Vererbung erworbener Eigenschaften* in so einfacher und unmittelbarer Form nicht erfolgt, wie Lamarck annahm. Das Hauptwerk Lamarcks ist die 1809 erschienene „Philosophie zoologique".

Charles Darwin (1808 bis 1882). Darwin lieferte mittels einer umfangreichen und vielseitigen Tatsachensammlung den schlüssigen Beweis, daß die in der Gegenwart existierenden tierischen und pflanzlichen Arten nicht das unveränderliche Produkt eines Schöpfungsaktes, sondern das Ergebnis eines langen Entwicklungsvorganges sind. Zum anderen schuf er mit seiner Lehre von der *„natürlichen Zuchtwahl"* eine wohldurchdachte und einleuchtende Theorie zur Klärung der Ursachen und Faktoren, die den Wandlungsprozeß der organischen Formen und ihre zweckmäßige, d. h. den Lebensbedingungen entsprechende Gestaltung bedingen. Damit entfiel die Notwendigkeit, einen Schöpfer oder eine übernatürliche Kraft zu bemühen, und für den Entfaltungsprozeß der Organismenwelt verantwortlich zu machen. Darwin demonstrierte an einem umfangreichen Material, das er vor allem in den Werken „Die Entstehung der Arten" (1859) und „Das Variieren der Tiere und Pflanzen im Zustande der Domestikation" (1868) vorlegte, anschaulich die Wandelbarkeit tierischer und pflanzlicher Organismen. Er verglich Wildformen und domestizierte Formen und konstatierte starke Veränderungen in der Domestikation. Seine Untersuchungen überzeugten ihn von der

Irrigkeit der Konstanzlehre und verhalfen ihm letztlich zu der Erkenntnis, daß die Organismen auch im Naturzustande veränderlich sind.

Zuchtwahltheorie. Darwin hatte Gelegenheit, die züchterische Praxis in England — dem Lande mit der seinerzeit am weitesten fortgeschrittenen Landwirtschaft — zu beobachten und konnte auf dem Wege der Verallgemeinerung und der theoretischen Durcharbeitung der in der züchterischen Praxis gewonnenen Erkenntnisse die Grundlagen seiner *Selektionstheorie* (Zuchtwahltheorie) finden. Er analysierte eingehend die Faktoren, die zur Veränderung der Haustierrassen und Kulturpflanzensorten führen. Er trat mit geschickten Züchtern in Verbindung, versandte Fragebogen an Tierzüchter, Landwirte und Gärtner. Darwin fand, daß die von den Züchtern angewandte Auslese (*künstliche Zuchtwahl oder Auslese*) die Ursache des Formenwandels der Haustiere und Kulturpflanzen ist. Die Angehörigen einer Haustierrasse, selbst die Nachkommen eines Elternpaares, unterscheiden sich voneinander. Der Züchter wählt diejenigen Individuen aus, deren Eigenschaften seinen Wünschen und Bedürfnissen am besten entsprechen. Nur diesen gibt er Gelegenheit, ihre Merkmale weiterzuvererben, die übrigen merzt er aus.

Die Analyse der in der landwirtschaftlichen Praxis vorgenommenen künstlichen Auslese veranlaßte Darwin zu der entscheidenden Fragestellung, ob nicht auch im Naturgeschehen Auslesevorgänge wirksam sind, die den Wandel der Formen erklären können. Darwin bejaht diese Frage und zeigt, daß auch bei Wildarten die Individuen variieren, daß nur ein Teil der Nachkommenschaft das Alter der Geschlechtsreife erreicht und in die Lage kommt, seine Eigenschaften an Nachkommen weiterzugeben. Zwar wählt hier nicht der Wille des Züchters bevorzugte Formen aus, aber die belebte und unbelebte Umwelt des betreffenden Tieres entscheidet darüber, ob es zur Fortpflanzung kommt oder nicht. Diejenigen Individuen, die am besten in eine gegebene Umwelt passen, haben die größere Aussicht dazu. Diejenigen Individuen, die für die Auseinandersetzung mit der bestehenden Umwelt die günstigsten Voraussetzungen besitzen, überleben im „*Kampf ums Dasein*", d. h. in der Auseinandersetzung mit den gegebenen biotischen und abiotischen Umweltbedingungen. Die *natürliche Zuchtwahl oder Auslese* wirkt nicht so intensiv wie die künstliche. Deshalb verlaufen die Wandlungen im Naturgeschehen langsamer als bei Kulturorganismen. Die Zuchtwahltheorie und alle neueren Lehren über die Faktoren der Evolution, die diese Theorie als Kernstück enthalten, werden als „Darwinismus" bezeichnet.

Ernst Haeckel (1834 bis 1919). Der bedeutendste Vertreter der Entwicklungslehre in Deutschland war der Zoologe Ernst Haeckel. Ab 1862 als Professor in Jena tätig, begann er die gesamte Zoologie unter dem Aspekt des Entwicklungsgedankens umzugestalten und weiterzuführen. Der Gedanke, daß alles Bestehende nur durch die Erforschung seines Werdens voll verständlich wird, begeisterte ihn. Immer neue Beweisstücke zugunsten der Abstammungslehre trug er zusammen und war bemüht, die Fruchtbarkeit des Entwicklungsgedankens nicht nur den Fachwissenschaftlern, sondern auch breiteren Kreisen verständlich zu machen. Seine gemeinverständlichen Werke, wie die „Natürliche Schöpfungsgeschichte" (1868) und die „Welträtsel" (1899), fanden eine zahlreiche Leserschaft.

In Haeckels Werken finden sich verschiedentlich Gedankengänge, die dem *dialektischen* Charakter des Entwicklungsgeschehens Rechnung tragen. So betonte er immer wieder, daß jeder Organismus einerseits Merkmale besitzt, die als Resultat seiner stammesgeschichtlichen Entwicklung aufzufassen sind, während andere Merkmale jüngeren Ursprungs Anpassungen an die zur Zeit bestehenden Lebensbedingungen darstellen. Diese beiden Charaktere eines Organismus sind nicht starr getrennt, denn die Anpassungsmerkmale können im Verlauf der Weiterentwicklung historisch bedingte Merkmale werden. Weiterhin schränken die stammesgeschichtlich bedingten Merkmale die Anpassungsmöglichkeiten in gewissem Rahmen ein, während andererseits die Anpassung die an sich konservativen stammesgeschichtlichen Merkmale oft stark umzugestalten vermag.

Weltanschauliche Auseinandersetzungen. Dort, wo Darwin den weltanschaulichen Kampf scheute, kannte Haeckel keine Vorbehalte. Ohne zu zögern, zog er die aus der Abstammungslehre entspringenden Konsequenzen hinsichtlich der Ableitung des Menschen von tierischen Vorfahren. Der „naturwüchsige Materialismus" Haeckels ist aber begrenzt. Die Erkenntnis, daß die Geschichte der menschlichen Gesellschaft auf qualitativ anderen Gesetzmäßigkeiten beruht, als sie im Reiche der Organismenwelt herrschen, blieb ihm fremd. Die materiellen Triebkräfte der gesellschaftlichen Entwicklung erfaßte er ebensowenig wie den Klassencharakter des Staates, in dem er lebte. Mehrfach schlug er Reformen auf kulturellem, insbesondere schulischem Gebiete vor, die auf eine Propagierung des philosophischen Materialismus hinausliefen, und hat nie ganz verstanden, warum man seinen Vorschlägen so feindlich begegnet ist. Haeckel meinte, daß die Entwicklungslehre die naturgemäße Betrachtung der Welt, die Verbannung aller abergläubischen Vorstellungen dazu beitragen, einen freien selbstbewußten Menschen zu erziehen, der nicht von höheren Mächten, sondern nur von sich, von seinen eigenen Bemühungen und Entscheidungen das Glück erwartet. Er sprach vom Fortschritt des Menschengeschlechtes zu freier Selbstbestimmung und von der Herrschaft der Vernunft zum Wohle der Menschheit. Die Verwirklichung dieser Ideen ist aber nur in einer Gesellschaft möglich, in der niemand daran interessiert ist, die Fesseln der Unwissenheit zu erhalten.

Die Verbindung von Selektionstheorie und Mutationstheorie. Das Material für stammesgeschichtliche Wandlungen liefern Erbänderungen. Innerhalb einer *Population*, d. h. einer sich tatsächlich oder

potentiell untereinander fortpflanzenden Bevölkerung von Individuen in einem Lebensraum, sind verschiedene Erbanlagen oder Anlagenkombinationen vorhanden. Durch die *spontane Mutabilität* entstehen in gewissem Umfang (Mutationsrate) ständig neue Erbänderungen. Der Mutabilität, die bildlich als Veränderungsdruck oder *Mutationsdruck* aufgefaßt werden kann, wirken die *Selektion* oder der *Selektionsdruck* entgegen. Die auslesenden Faktoren sind die Umweltbedingungen. Individuen, die den gegebenen Umweltbedingungen in ihren Eigenschaften und Merkmalen am besten entsprechen, überleben mit der größeren Wahrscheinlichkeit und können ihre Erbanlagen an Folgegenerationen weitergeben. Individuen mit Eigenschaften und Merkmalen, die den gegebenen Umweltbedingungen nicht oder weniger gut entsprechen, haben geringere Aussichten zu überleben und ihre Erbanlagen auf Folgegenerationen zu übertragen.
Mutabilität und Selektion sind somit zwei in dialektischer Wechselbeziehung stehende Faktoren, die den Erbanlagenbestand einer Population in einem labilen Gleichgewichtszustand halten. Wandeln sich die Selektionsbedingungen, indem die Umweltverhältnisse sich verändern, so hat das Veränderungen im Erbanlagenbestand der Population zur Folge. Es ist möglich, aber bisher noch nicht ausreichend gesichert, daß auch die Mutabilität einer Population nicht konstant ist, sondern Schwankungen unterliegt, indem die Mutationsrate und die Richtung der Mutabilität Veränderungen zeigen.
Innerhalb einer Population findet ein ständiger Austausch der Erbanlagen statt. Treten im Siedlungsgebiet einer Population Hindernisse auf, die dieser Durchmischung entgegenwirken, so bilden sich in den getrennten Teilpopulationen verschiedene Erbanlagenbestände aus. Diese *Isolation* ist ein wesentlicher Evolutionsfaktor, durch den *geographische Rassen* entstehen, die schließlich zur Bildung neuer Arten führen können.

VI. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
um 470	Der griechische Philosoph *Heraklit* lehrt: Alles fließt. In der Veränderung liegt der Kern alles Seins. Es hat deshalb keinen Sinn, die Welt begreifen zu wollen, indem man das Unveränderliche darin sucht. — Diese fundamentale Erkenntnis spiegelt das größte und allgemeinste aller Naturgesetze wider.
um 350	Der griechische Philosoph *Aristoteles* schafft ein zusammenfassendes System der Naturbetrachtung, indem er die Tiere nach bestimmten Gesichtspunkten (Lebensweise, Verhalten, Gestalt) miteinander *vergleicht* und zu Gruppen mit jeweils gemeinsamen Eigenschaften zusammenstellt (z. B. Land- und Wassertiere).
um 300	Der griechische Philosoph *Epikur* fordert die Beseitigung des Aberglaubens, den der Glaube an übernatürliche Mächte mit sich bringt, und lehrt, daß alles auf der Welt auf natürliche Weise zugeht. Vertreter der atomistischen Weltanschauung. Die Schule der Epikureer vertritt die Ansicht, daß Organe durch Übung entwickelt und durch Ruhe geschwächt werden, und stößt dabei auf erbitterte Opposition.
u. Z.	
um 50	Der Römer *Plinius* stellt das gesamte naturgeschichtliche Wissen seiner Zeit in einer 37 Bücher umfassenden „Naturalis historia" (Geschichte der Natur) zusammen.
um 1600	Der niederländische Wissenschaftler und Philosoph *van Helmont* (1577 bis 1644) gibt an, wie man aus Getreide, Lumpen und Unrat aller Art, die man in einem dunklen Keller ablagerte, Mäuse „erzeugen" könne.
1628	Der englische Arzt *W. Harvey* (1578 bis 1657) entdeckt den Blutkreislauf. Mittels exakter Berechnung gelingt ihm der Beweis, daß das Blut durch die Arterien aus dem Herzen hinaus und durch Venen wieder hineingelangt. Dabei nimmt er als Antrieb nicht einen dem Blut innewohnenden „Spiritus", sondern nur die mechanische Arbeit des Herzens an.
1667	Der englische Naturforscher *R. Hooke* (1635 bis 1703) erkennt mit Hilfe des Mikroskops, daß sich der Flaschenkork aus kleinen Kammern, die er Zellen nennt, aufbaut.
1680	Der niederländische Naturwissenschaftler *A. van Leeuwenhoek* (1632 bis 1733) stößt durch geschickte Ausnutzung des Mikroskops das Tor auf zu der bisher völlig unbekannten Welt der Mikroorganismen, die nun für viele bisher rätselhafte Vorgänge in der Natur eine natürliche Erklärung liefert.
1735	Der schwedische Naturforscher *K. v. Linné* (1707 bis 1778) veröffentlicht sein Werk „Systema naturae", in dem alle damals bekannten Pflanzenarten in vierundzwanzig, alle bekannten Tierarten in sechs Klassen eingeordnet und in der noch heute üblichen Weise benannt sind. Er hält die Arten für veränderlich: „Es gibt so viele Arten heute noch, als einst bei der Erschaffung der Welt von Gott ins Leben gerufen wurden."

1759 Der deutsche Physiologe *Caspar Friedrich Wolff* (1733 bis 1794) formuliert in seiner Dissertation „Theoria generationis", daß die Entstehung von neuen Lebewesen durch *Entwicklung* gekennzeichnet sei, nicht einfach durch Entfaltung (Auswicklung) eines bereits im Ei mit allen Einzelheiten vorgebildeten Miniaturlebewesens. Er weist nach, daß die Organe der fertigen Pflanzen und Tiere aus ganz anders gestalteten „Embryonalanlagen" hervorgehen und daß auch weiterhin, solange der Organismus lebt, ein ständiger Wechsel von Körperbestandteilen vor sich geht, „die beständig durch ähnliche ersetzt werden, so daß das Ganze immer sich selbst ähnlich bleibt". Begründer der Embryologie.

1780 Die französischen Gelehrten *A. L. Lavoisier* (1743 bis 1794) und *P. S. de Laplace* (1749 bis 1827) stellen als Quelle der tierischen Körperwärme die Verbrennungsvorgänge mit Sauerstoff im Blute fest.

1800 und 1804 Die Schweizer Naturforscher *Jean Senebier* und *Th. de Saussure* entdecken die Synthese organischer Substanzen aus Kohlendioxyd und Wasser durch die grüne Pflanze.

um 1809 Der französische Naturforscher *J. B. Lamarck* (1744 bis 1829) lehrt, daß sich die jetzt lebenden Organismen erst im Verlaufe sehr großer Zeiträume durch allmähliche Umbildung aus allereinfachsten Formen *entwickelt* haben. Das Wort „*Biologie*" wird von *Lamarck* in die Naturwissenschaft eingeführt.

1812 Das Dogma von der Unveränderlichkeit der Organismenwelt findet in der Katastrophentheorie des französischen Naturforschers *G. Cuvier* (1769 bis 1832) erneut eine Stütze. Dieser erklärt das Auftreten von Resten der verschiedenen ausgestorbenen Tiere in den verschiedensten Erdschichten durch die Annahme, daß von Zeit zu Zeit große, sintflutartige Katastrophen eingetreten seien, denen die gesamte jeweilige Tierwelt zum Opfer fiel, worauf dann jedesmal eine neue, andersartige Organismenwelt entstanden sei oder von anderem Ort einwanderte.

1828 Entgegen der herrschenden Ansicht, daß zur Bildung der für die Pflanzen und Tiere charakteristischen Stoffe eine besondere, an den lebenden Organismus gebundene „Lebenskraft" nötig sei, stellt der deutsche Chemiker *F. Wöhler* (1800 bis 1882) erstmalig einen solchen Stoff, den Harnstoff, künstlich aus anorganischen Stoffen her.

1830 Der englische Geologe *Ch. Lyell* (1797 bis 1875) zeigt, daß sich das Antlitz der Erde dauernd in kleinem Maßstab ändert. Die in der Vergangenheit wirksam gewesenen Änderungsfaktoren sind im wesentlichen die gleichen wie in der Gegenwart. Die Entwicklung der Organismen ist somit insgesamt ein kontinuierlicher Prozeß und kein Wechsel von zufälligen Katastrophen und Neuschöpfungen.

1839 Der Jenaer Botaniker *M. J. Schleiden* (1804 bis 1881) erkennt, daß die Zellen die Grundbausteine der Pflanzen sind. Begründer der Zellentheorie. Der deutsche Biologe *Th. Schwann* (1810 bis 1882) kann die Zellen bald darauf auch für den tierischen Organismus nachweisen. Damit ist für das Verständnis von Bau und Entwicklung der Lebewesen eine feste Grundlage geschaffen.

1846 Der Tübinger Botaniker *Hugo von Mohl* (1805 bis 1872) lehrt, daß bei der Zelle das Wesentliche nicht die (am ehesten ins Auge fallende) äußere Begrenzung ist, sondern der lebende Inhalt, den er *Protoplasma* nennt.

1855 Der deutsche Chemiker *Justus von Liebig* (1803 bis 1873) lehrt, daß die Pflanzen (obwohl sie ihre Substanz im wesentlichen aus Wasser und dem Kohlendioxyd der Luft aufbauen) dem Boden Stickstoff, Phosphorsäure und Kali entziehen, diese Stoffe also bei intensiver Bewirtschaftung wieder als künstliche Düngemittel eingebracht werden müssen, wenn die Erträge nicht abnehmen sollen.

1858 Durch die „Zellularpathologie" des deutschen Arztes und Gelehrten *Rudolf Virchow* wird die Lehre von den Zellen zu einer wichtigen Grundlage der Biologie und Medizin.

1858—1865 Der Augustinermönch *Gregor Mendel* (1822 bis 1884) führt in Brünn über 10000 Kreuzungsversuche an Erbsen durch und findet für die Verteilung der betrachteten Merkmale (gelbkernig — grünkernig; runde Samen — kantige Samen; hochwachsend — niedrigwachsend; rote Blütenfarbe — weiße Blütenfarbe u. a.) auf die folgenden Generationen die nach ihm benannten Gesetzmäßigkeiten („Mendelsche Regeln").

1859 In London erscheint das Werk von *Charles Darwin* (1809 bis 1882) „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl", das am Tage seines Erscheinens ausverkauft war.

1860 Die Lehre von der Urzeugung in der mittelalterlichen Form wird durch den französischen Bakteriologen *Louis Pasteur* (1822 bis 1895) endgültig widerlegt. Er zeigt eindeutig, daß auch die damals bekannten Mikroorganismen stets nur aus lebenden

Keimen entstehen, die von ihresgleichen stammen, wobei diese freilich oft sehr widerstandsfähig sind und völliges Austrocknen vertragen. Daraus ergab sich jedoch eine scheinbare Kluft zwischen belebter und unbelebter Materie (z. B. nach Virchow), die erst in der Gegenwart wieder überbrückt werden konnte.

1875 Der Berliner Anatom *Oskar Hertwig* (1849 bis 1922) entdeckt am Seeigel-Ei, daß die Befruchtung in der Verschmelzung von Ei und Samenzelle bzw. ihrer Kerne besteht.

1875 Der deutsche Botaniker *E. Strassburger* beschreibt die Chromosomen in der Pflanzenzelle.

1877 Der deutsche Botaniker *Wilhelm Pfeffer* veröffentlicht seine osmotischen Untersuchungen.

um 1880 Der russische Pflanzenphysiologe *K. A. Timirjasew* (1843 bis 1920) erforscht den grünen Farbstoff der Pflanzen, das Chlorophyll, und die Bedeutung des Lichtes für die Assimilation.

1882 Von dem Deutschen *Flemming* wird der Begriff „Mitose" geprägt.

1891 Der deutsche Philosoph und Biologe *H. Driesch* erhält aus einzelnen Furchungszellen des Seeigel-Eies harmonisch gebildete Zwerglarven.

1892 Der Russe *D. J. Iwanowski* entdeckt das Virus der Tabakmosaikkrankheit und begründet damit die Lehre von den filtrierbaren Viren.

1900 Der Holländer *H. de Vries* (1848 bis 1935), der Deutsche *C. Correns* (1864 bis 1933) und der Österreicher *E. Tschermak* (1871 bis 1962) entdecken die Mendelschen Regeln neu und begründen die klassische Vererbungslehre.

um 1900 Der deutsche Zoologe *A. Weismann* (1834 bis 1914) stellt die Hypothese von der Unveränderlichkeit des Keimplasmas auf, das in den Geschlechtszellen von Generation zu Generation ohne Beeinflussung durch die übrigen Körperzellen weitergegeben werden und weiterleben soll („Keimbahn"). In Wirklichkeit ist die Keimzelle eine Zelle des Körpers wie jede andere auch, die allein auf Grund der Arbeitsteilung im Zellenstaat ihre Sonderleistung der Arterhaltung übernimmt, und auch das nur, solange der Gesamtbestand des Organismus gewahrt bleibt. Wird er zerstört, so stellen sich spezialisierte Zellen und Gewebe oftmals wieder auf ganz selbständige Leistungen ein. So kann z. B. ein einzelnes Blatt der Begonie eine vollständige Pflanze neu bilden.

1904 Der russische Physiologe *I. P. Pawlow* (1849 bis 1936), der Schöpfer der modernen Physiologie der höheren Nerventätigkeit und Begründer der Lehre von den *bedingten Reflexen* (als den zeitweiligen Verbindungen der Großhirnrinde der höheren Tiere und des Menschen mit der Außenwelt), erhält den *Nobelpreis* für Medizin. In späterer Zeit stellt Pawlow den bedingten Reflexen, die er als erstes Signalsystem bezeichnet, ein nur dem Menschen zukommendes zweites Signalsystem gegenüber, die Sprache. Sie ist die materielle Hülle des Denkens. Pawlows Erkenntnisse bestätigen die materialistische Lehre vom Bewußtsein als Produkt der hochorganisierten Materie (Gehirn).

1910 Der amerikanische Zoologe *Th. H. Morgan* beginnt mit seinen genetischen Experimenten an der Taufliege Drosophila und begründet die Chromosomentheorie der Vererbung. (Kopplung der Gene, „Crossing-Over", Chromosomenkarten u. a.)

um 1910 Der sowjetische Pflanzenzüchter *I. W. Mitschurin* (1855 bis 1935) erörtert auf Grund von Pfropfungen und Kreuzungen mit Obstbäumen eine neue Theorie der Vererbung. Er gelangt zu folgenden Auffassungen:

1. Viele Grundregeln der Genetik versagen, sobald sich die Umwelt entscheidend ändert; 2. der Organismus formt Erbeigenschaften entsprechend seiner neuen Umwelt; 3. dabei ist es wesentlich, in welchem Entwicklungsstadium sich der Organismus befindet. So lassen sich junge Obstbaumhybriden durch aufgesetzte Pfropfreiser in ihrer Entwicklung dergestalt lenken, daß sie Eigenschaften des Pfropfreises annehmen. Mitschurin züchtete über 300 neue Obst- und Beerenobstsorten sowie 23 Rebensorten, die gegen bestimmte Krankheiten und Kälte weitgehend unempfindlich sind.

1912 Es werden zum erstenmal Kulturen von Geweben, die aus dem Organismus entnommen sind, angelegt (*A. Carrel*).

1924 Durch den deutschen Zoologen *H. Spemann* wird der Begriff „Organisator" auf Grund von entwicklungsphysiologischen Experimenten begründet.
Wichtige Fortschritte auf dem Gebiet der Entwicklungsphysiologie werden durch die Schweizer Forscher *E. Hadorn*, *Baltzer* und durch den deutschen Forscher *Holtfreter* erzielt.

1927 Der amerikanische Vererbungsforscher *H. J. Muller* weist nach, daß durch kurzwellige ionisierende Strahlung die Mutationsrate sich erheblich steigern läßt.

1932 Der deutsche Chemiker *H. Wieland* erkennt die Bedeutung der Wasserstoffabspaltung bei der Atmung und betrachtet diese als Dehydrierungsvorgang. Nobelpreis 1927.

1932 Der deutsche Physiologe *O. Warburg* entdeckt die sauerstoffübertragenden Atmungsfermente.

1933 Durch die deutschen Biologen *E. Heitz* und *H. Bauer* werden die Kernfäden bei der Gartenhaarmücke als Riesenchromosomen erkannt. Daran schließt sich eine starke Förderung der Zytogenetik und Chromosomenforschung.

ab 1934 Der sowjetische Agronom und Biologe *T. D. Lyssenko* (*1898) zeigt, daß die Pflanzen eine Reihe von Entwicklungsstadien durchlaufen, deren jedes ganz bestimmte Umweltbedingungen verlangt. Sind die Umweltbedingungen nicht entsprechend, so bleibt die sich entwickelnde Pflanze auf jenem Stadium stehen, für dessen Durchlaufen nun nicht mehr die nötigen Voraussetzungen gegeben sind. So kann die Pflanze zwar weiterwachsen, ist aber in ihrer Entwicklung zur Blühreife gehemmt. Lyssenko gelang die Umzüchtung von Winter- in Sommerweizen und umgekehrt. Er schuf außerdem frostbeständige Winterweizensorten für den Anbau in Nordsibirien und im Altaigebiet, ertragreiche Hirsesorten, nichtabbauende Kartoffelsorten für den Süden der UdSSR und förderte die Tierzucht.

1935 Durch den Schweizer Wissenschaftler *A. Frey-Wyssling* wird eine neue Theorie („Haftpunkttheorie") über die Ultrastruktur des Protoplasmas entwickelt.

1936 Der sowjetische Biochemiker *A. I. Oparin* entwickelt eine umfassende, auf reiches biologisches, geologisches und kosmologisches Tatsachenmaterial gestützte Theorie von der Entstehung des Lebens auf der Erde.

um 1942/43 *Ch. Auerbach* in England und *F. Oehlkers* in Deutschland entdecken die mutationssteigernde Wirkung verschiedener Chemikalien (z. B. Senfgas).

1953 Dem amerikanischen Chemiker *St. L. Miller* gelingt die künstliche Erzeugung von Aminosäuren durch elektrische Entladungen in einer „Uratmosphäre" (aus Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf). Hiermit fand die Theorie Oparins eine wichtige experimentelle Stütze.

1956 Die bekannten Zytologen *Tjio* (USA) und *A. Levan* (Schweden) konnten mit Hilfe einer neuen Untersuchungstechnik nachweisen, daß die Chromosomenzahl des Menschen nicht 48, sondern 46 beträgt. Dieser Befund wurde inzwischen von mehreren Forschern bestätigt.

1959 Nobelpreis für *Severo Ocha* und *Arthur Kornberg*. Diesen Forschern gelang es, die Biosynthese der Ribonukleinsäure (RNS) und der Desoxyribonukleinsäure (DNS) aufzuklären. Die in den Chromosomen vorhandene DNS stellt eine chemische Kode für die genetische Information dar und besitzt die Fähigkeit der identischen Reduplikation (Autoreproduktion). Die RNS steuert die Proteinsynthese.

1960 Nobelpreis für die englischen Zoologen *P. M. Medawar* und *F. M. Burnet*. Medawar erbrachte den experimentellen Beweis für die von Burnet aufgestellte Theorie, daß die Immunität eines Körpers gegenüber körperfremdem, transplantiertem Gewebe nicht vererbt, sondern erst nach der Geburt erworben wird. Während des Embryonalstadiums transplantiertes Fremdgewebe wird nicht abgestoßen.

PFLANZE

INHALTSÜBERSICHT

I. *Ordnung der Pflanzen* 607
Einteilung des Pflanzenreiches 608
Kuriositäten im Pflanzenreich 614
II. *Botanische Zeichen* 615
III. *Maße des Pflanzenkörpers* 615
Maßzahlen von Geweben 615
Größe einiger Blüten 616
Länge einiger Meeresalgen 616
Höhe und Stammdurchmesser einiger Bäume 617
IV. *Bau und Stoffwechsel der Pflanzen* .. 618
Gliederung der Pflanzen 618
Die Blüte 619
Die Frucht 621
Der Samen 623
Gallbildungen im Pflanzenreich ... 624
Chemische Bestandteile der Pflanzen 624
Bildung von Zucker und Stärke .. 625
Wasserhaushalt der Pflanzen 626
V. *Vom Leben der Pflanzen* 627
Fortpflanzung 627
Wachstum und Entwicklung 628
Blütezeit 630
Alter 632
Schlaf und Tod 633
VI. *Pflanze und Umwelt* 635
Pflanzengesellschaften 635
Bodenanzeigende Pflanzen 636
Ruderalpflanzen 638
VII. *Verbreitung der Pflanzen* 639
Florenreiche 639
Kosmopoliten 639
Endemiten 640
Adventivpflanzen 641
VIII. *Nutzpflanzen* 643
Nahrungsmittel 643
Genußmittel 648
Arzneipflanzen 649
Pilze 652
IX. *Zierpflanzen* 657
Der Blumengarten 657
Zimmerpflanzen 662
Balkonpflanzen 666
X. *Gartenbau* 666
Obstbau 666
Veredlung der Pflanzen 670
Gärtnerischer Arbeitskalender 671
Gemüseanbau 673
XI. *Aus Land- und Forstwirtschaft* 674
Der Boden 674
Zusammensetzung der wichtigsten Düngemittel 675
Saatmenge, Saattiefe, Ernteertrag 676
Ernteertrag und Nährstoffentzug .. 676
Luftfeuchtigkeit über dem Felde .. 677
Landwirtschaftlicher Arbeitskalender 677
Die forstwirtschaftlich wichtigsten Bäume 678
Licht-, Feuchtigkeits- und Nährstoffverhältnisse im Walde 678
Bodenerosion und ihre Bekämpfung 679
XII. *Wichtige Jahreszahlen* 680

I. Ordnung der Pflanzen

Ordnungsprinzipien. In der Natur sind die Pflanzen und die Tiere in Gestalt zahlloser verschiedener *Individuen* (Einzelwesen) vorhanden. Solche Individuen, die sich im äußeren und inneren Bau in den wesentlichen Merkmalen gleichen, werden als *Art* bezeichnet. Arten, die in einer Anzahl von Merkmalen übereinstimmen, die also einander ähnlich sind, bilden eine *Gattung*, so beispielsweise die verschiedenen Laucharten (Schnittlauch, Bärlauch, Knoblauch, Porree, Küchenzwiebel u. a.) die Gattung Lauch (Allium). Ähnliche Gattungen werden dann weiterhin zu einer *Familie* vereinigt, z. B. die Gattungen Lauch, Tulpe, Lilie, Hyazinthe, Maiglöckchen u. a. zur Familie der Liliengewächse. In gleicher Weise werden auf Grund von Ähnlichkeiten die Familien zu *Ordnungen*, die Ordnungen zu *Klassen* und die Klassen zu *Abteilungen* zusammengeschlossen, die in ihrer Gesamtheit schließlich das *Pflanzenreich* ergeben. Nach den gleichen Grundsätzen wird auch das Tierreich eingeteilt. Der Teil der Biologie, der sich mit der Einteilung des Pflanzen- und des Tierreiches befaßt, wird als *Systematik* oder *Taxonomie* bezeichnet. Seine Aufgabe ist es, die Lebewesen in ein übersichtliches *System* zu bringen, das aber nicht nur auf zufälligen Ähnlichkeiten beruht, sondern vor allem die von der Abstammungslehre festgestellten *verwandtschaftlichen Beziehungen* erkennen läßt. Das bedeutet z. B., daß die zu einer Gattung zusammengefaßten Arten miteinander nahe verwandt, mit den mit ihnen zu einer Familie vereinigten Arten anderer Gattungen dagegen entfernter verwandt sind.

Wissenschaftlich werden die Pflanzen wie auch die Tiere mit *lateinischen* oder *griechischen Namen* benannt. Dies ist notwendig, weil die meisten Pflanzen und Tiere überhaupt keinen deutschen Namen haben und weil die deutschen Namen vielfach für verschiedene Arten gebraucht werden („Flieder" sowohl für den Holunderstrauch als auch für den türkischen Gartenflieder, „Butter-

blume" für viele Arten). Die *Gattung* wird durch ein einzelnes Wort bezeichnet (z. B. Allium für die Gattung Lauch), die *Art* dadurch, daß dem Gattungsnamen ein zweites Wort, die Artbezeichnung, angefügt wird (Allium sativum, Knoblauch; Allium ursinum, Bärlauch; Allium schoenoprasum, Schnittlauch; Allium cepa, Küchenzwiebel). Die Bezeichnung der *Familien* ist an der Endung -aceae erkennbar (z. B. Violaceae die Familie der Veilchengewächse, Rosaceae die der Rosengewächse, Liliaceae die der Liliengewächse). Einige wenige Ausnahmen enden auf -ae (z. B. Cruciferae, die Familie der Kreuzblütler, Compositae, die der Korbblütler).
Die *höheren systematischen Gruppen* werden auf verschiedene andere Weise bezeichnet. In der folgenden Übersicht sind die Hauptgruppen des Systems (Abteilungen) durch Fettdruck hervorgehoben. Es folgen dann — jeweils nach rechts eingerückt — die niederen Einheiten des Systems.

EINTEILUNG DES PFLANZENREICHES

1. **Bakterien, Spaltpilze** (Bacteriophyta) mit etwa 1700 bis 1800 Arten
   z. B. Azotobacter chroococcum, Stickstoffbinder des Bodens
   Rhizobium leguminosarum, Knöllchenbakterien
   Salmonella typhosa, Erreger des Typhus
   Bacillus subtilis, Heubazillus
   Mycobacterium tuberculosis, Erreger der Tuberkulose
   Streptomyces griseus, Streptomycin-Bildner
2. **Blaualgen, Spaltalgen** (Cyanophyta) mit etwa 1400 Arten
   z. B. Aphanizomenon flos aquae, „Wasserblüte" bildend
3. **Schleimpilze** (Myxophyta) mit etwa 500 Arten
   z. B. Fuligo septica, „Lohblüte" auf Gerberlohe
4. **Euglenen** (Euglenophyta) mit etwa 400 Arten
   z. B. Euglena viridis, in verunreinigten Gewässern
5. **Pyrrophyten** (Pyrrophyta) mit etwa 1100 Arten
   z. B. Noctiluca miliaris, Ursache des Meeresleuchtens
6. **Chrysophyten** (Chrysophyta) mit etwa 10000 Arten
   z. B. Schlauchalgen (Vaucheria)
   Kieselalgen, Diatomeen (Bacillariophyceae)
7. **Grünalgen** (Chlorophyta) mit etwa 5000 Arten
   z. B. Kugelalge (Volvox)
   Wassernetz (Hydrodictyon reticulatum)
   Meersalat (Ulva lactuca)
   Schraubenalge (Spirogyra)
8. **Armleuchtergewächse** (Charophyta) mit etwa 200 Arten
   z. B. Armleuchteralge (Chara)
9. **Braunalgen** (Phaeophyta) mit etwa 1500 Arten
   z. B. Blasentang (Fucus vesiculosus)
   Riementang (Laminaria)
   Riesentang (Lessonia)
10. **Rotalgen** (Rhodophyta) mit etwa 4000 Arten
    z. B. Froschlaichalge (Batrachospermum)
    Knorpeltang, Irländisches „Moos" (Chondrus crispus)
11. **Pilze** (Fungi)
    Klasse Urpilze (Archimycetes) mit etwa 120 Arten
    z. B. Synchytrium endobioticum, Erreger des Kartoffelkrebses
    Klasse Algenpilze (Phycomycetes) mit etwa 1000 Arten
    z. B. Plasmopara viticola, Falscher Mehltau des Weins
    Köpfchenschimmel (Mucor)
    Klasse Schlauchpilze (Ascomycetes) mit etwa 15000 bis 20000 Arten
    z. B. Bierhefe, Bäckerhefe (Saccharomyces cerevisiae)
    Pinselschimmel (Penicillium), Erzeuger des Penicillins
    Mutterkorn (Claviceps purpurea)
    Morchel, Lorchel, Trüffel
    Klasse Ständerpilze (Basidiomycetes) mit etwa 15000 Arten
    Hymenomycetes
    z. B. Krause Glucke, Hausschwamm, Zunderschwamm, Steinpilz, Pfifferling, Fliegenpilz, Champignon, Täubling, Reizker
    Bauchpilze (Gastromycetales)
    z. B. Bovist, Stinkmorchel

Rostpilze (Uredinales)
z. B. Schwarzrost (Puccinia graminis)
Erbsenrost (Uromyces pisi)
Brandpilze (Ustilaginales)
z. B. Maisbeulenbrand (Ustilago zeae)
Anhang: Pilze, von denen nur Nebenfruchtformen bekannt sind (Fungi imperfecti) mit etwa 20000 Arten
z. B. Soorpilz (Oospora albicans)

12. Flechten (Lichenes) mit etwa 18000 bis 20000 Arten
z. B. Lackmusflechte (Roccella tinctoria)
Rentierflechte (Cladonia rangiferina)
Bartflechte (Usnea)

13. Moose (Bryophyta) mit etwa 25000 Arten
Klasse Lebermoose (Hepaticae)
z. B. Brunnenlebermoos (Marchantia polymorpha)
Klasse Laubmoose (Musci)
z. B. Torfmoos (Sphagnum)
Weißmoos (Leucobryum glaucum)
Leuchtmoos (Schistostega osmundacea)
Goldenes Frauenhaar (Polytrichum commune)

14. Farnpflanzen (Pteridophyta)
Klasse Bärlappartige (Lycopsida) mit etwa 1200 Arten
mit Bärlappgewächsen (Lycopodiales)
z. B. Keulenbärlapp (Lycopodium clavatum)
Moosfarnen (Selaginellales)
z. B. Auferstehungspflanze (Selaginella lepidophylla)
Brachsenkräutern (Isoëtales)
z. B. Sumpf-Brachsenkraut (Isoëtes lacustris)
Schachtelhalmgewächsen (Equisetales)
z. B. Ackerschachtelhalm (Equisetum arvense)
Klasse Farne (Filices) mit etwa 9400 Arten
z. B. Natternzunge (Ophioglossum vulgatum)
Adlerfarn (Pteridium aquilinum)
Hautfarn (Hymenophyllum)
Schwimmfarn (Salvinia)
Kleefarn (Marsilea)

15. Nacktsamer (Gymnospermae) mit etwa 700 Arten
Palmfarngewächse (Cycadaceae)
z. B. Cycas revoluta (Blätter werden als „Palmwedel" zu Grabschmuck verwendet)
Ginkgogewächse (Ginkgoaceae)
z. B. Ginkgobaum (Ginkgo biloba)
Kieferngewächse (Pinaceae)
z. B. Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche, Zeder, Douglasfichte (Pseudotsuga menziesii)
Sumpfzypressengewächse (Taxodiaceae)
z. B. Sumpfzypresse (Taxodium distichum)
Mammutbaum (Sequoia gigantea)
Zypressengewächse (Cupressaceae)
z. B. Zypresse (Cupressus)
Lebensbaum (Thuja)
Wacholder (Juniperus communis)
Araukariengewächse (Araucariaceae)
z. B. Zimmertanne (Araucaria excelsa)
Kaurifichte (Agathis australis)
Eibengewächse (Taxaceae)
z. B. Eibe (Taxus baccata)

16. Bedecktsamer (Angiospermae) mit etwa 170000 Arten
Klasse Zweikeimblättrige (Dicotyledoneae)
Pfeffergewächse (Piperaceae)
z. B. Echter Pfeffer
Weidengewächse (Salicaceae)
z. B. Weide, Pappel
Walnußgewächse (Juglandaceae)
z. B. Nußbaum, Hickory (Carya)

Haselgewächse (Corylaceae)
z. B. Haselnuß, Hainbuche
Birkengewächse (Betulaceae)
z. B. Birke, Erle
Buchengewächse (Fagaceae)
z. B. Buche, Eiche, Edelkastanie
Ulmengewächse (Ulmaceae)
z. B. Ulme, Zürgelbaum (Celtis)
Maulbeergewächse (Moraceae)
z. B. Maulbeerbaum, Feigenbaum, Gummibaum, Brotfruchtbaum (Artocarpus)
Hanfgewächse (Cannabaceae)
z. B. Hanf, Hopfen
Nesselgewächse (Urticaceae)
z. B. Brennessel, Ramiepflanze
Knöterichgewächse (Polygonaceae)
z. B. Knöterich, Ampfer, Rhabarber, Buchweizen
Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae)
z. B. Melde, Spinat, Rote Rübe, Futterrübe, Zuckerrübe
Nelkengewächse (Caryophyllaceae)
z. B. Gartennelke, Vogelmiere, Schleierkraut (Gypsophila paniculata)
Seerosengewächse (Nymphaeaceae)
z. B. Seerose, Lotosblume, Victoria amazonica
Pfingstrosengewächse (Paeoniaceae)
z. B. Pfingstrose
Hahnenfußgewächse (Ranunculaceae)
z. B. Hahnenfuß, Christrose, Leberblümchen, Akelei, Rittersporn, Eisenhut, Waldrebe (Clematis)
Magnoliengewächse (Magnoliaceae)
z. B. Magnolie, Tulpenbaum (Liriodendron tulipifera)
Muskatnußgewächse (Myristicaceae)
z. B. Muskatnußbaum
Lorbeergewächse (Lauraceae)
z. B. Lorbeerbaum, Zimtbaum, Kampferbaum
Mohngewächse (Papaveraceae)
z. B. Mohn, Tränendes Herz (Dicentra spectabilis), Goldmohn (Eschscholzia)
Kapergewächse (Capparidaceae)
z. B. Kapernstrauch (Capparis spinosa)
Kreuzblütler (Cruciferae, Brassicaceae)
z. B. Gemüsekohl, Raps, Rübsen, Kohlrübe, Senf, Rettich, Brunnenkresse, Meerrettich, Levkoje, Goldlack
Sonnentaugewächse (Droseraceae)
z. B. Sonnentau, Venusfliegenfalle (Dionaea muscipula)
Dickblattgewächse (Crassulaceae)
z. B. Fetthenne, Mauerpfeffer, Hauswurz (Sempervivum)
Steinbrechgewächse (Saxifragaceae)
z. B. Steinbrech, Stachelbeere, Johannisbeere, Pfeifenstrauch (Philadelphus), Hortensie
Platanengewächse (Platanaceae)
z. B. Platane
Rosengewächse (Rosaceae)
z. B. Rose, Quitte, Birne, Apfel, Weißdorn, Vogelbeere, Brombeere, Himbeere, Erdbeere, Pflaume, Kirsche, Pfirsich, Aprikose, Mandel
Mimosengewächse (Mimosaceae)
z. B. Mimose, Akazie
Johannisbrotbaumgewächse (Caesalpiniaceae)
z. B. Johannisbrotbaum, Gleditschie
Schmetterlingsblütler (Papilionaceae oder Fabaceae)
z. B. Lupine, Ginster, Klee, Luzerne, Robinie, Esparsette, Linse, Wicke, Erbse, Bohne, Sojabohne, Erdnuß
Sauerkleegewächse (Oxalidaceae)
z. B. Sauerklee
Storchschnabelgewächse (Geraniaceae)
z. B. Storchschnabel, Pelargonie
Leingewächse (Linaceae)
z. B. Flachs
Kokagewächse (Erythroxylaceae)
z. B. Kokainstrauch (Erythroxylum coca)

Rautengewächse (Rutaceae)
z. B. Weinraute, Diptam, Apfelsine, Zitrone, Pampelmuse, Mandarine
Bittereschengewächse (Simaroubaceae)
z. B. Götterbaum (Ailanthus altissima)
Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae)
z. B. Wolfsmilch, Wunderbaum (Ricinus communis)
Stechpalmengewächse (Aquifoliaceae)
z. B. Stechpalme, Matebaum (Ilex paraguariensis)
Sumachgewächse (Anacardiaceae)
z. B. Pistazie (Pistacia vera), Mangobaum, Essigbaum (Rhus typhina)
Ahorngewächse (Aceraceae)
z. B. Spitzahorn
Roßkastaniengewächse (Hippocastanaceae)
z. B. Roßkastanie
Seifenbaumgewächse (Sapindaceae)
z. B. Seifennußbaum (Sapindus)
Balsaminengewächse (Balsaminaceae)
z. B. Springkraut, Gartenbalsamine
Kreuzdorngewächse (Rhamnaceae)
z. B. Kreuzdorn, Faulbaum
Weinrebengewächse (Vitaceae)
z. B. Weinstock, Jungfernrebe (Parthenocissus)
Lindengewächse (Tiliaceae)
z. B. Linde, Zimmerlinde (Sparmannia)
Malvengewächse (Malvaceae)
z. B. Malve, Eibisch, Baumwolle (Gossypium)
Wollbaumgewächse (Bombacaceae)
z. B. Affenbrotbaum, Kapokbaum (Ceiba pentandra)
Kakaobaumgewächse (Sterculiaceae)
z. B. Kakaobaum, Kolanußbaum
Teegewächse (Theaceae)
z. B. Teestrauch, Kamelie
Hartheugewächse (Hypericaceae)
z. B. Tüpfel-Hartheu, Mangostane (Garcinia mangostana)
Veilchengewächse (Violaceae)
z. B. Veilchen, Stiefmütterchen
Melonenbaumgewächse (Caricaceae)
z. B. Melonenbaum (Carica papaya)
Begoniengewächse (Begoniaceae)
z. B. Begonie
Kakteen (Cactaceae)
z. B. Opuntie, Säulenkaktus, Königin der Nacht, Warzenkaktus
Granatapfelgewächse (Punicaceae)
z. B. Granatbaum (Punica granatum)
Myrtengewächse (Myrtaceae)
z. B. Myrte, Piment, Gewürznelkenbaum, Eukalyptusbaum
Topffruchtbaumgewächse (Lecythidaceae)
z. B. Paranuß
Nachtkerzengewächse (Oenotheraceae)
z. B. Nachtkerze, Weidenröschen, Godetie, Clarkie, Fuchsie
Araliengewächse (Araliaceae)
z. B. Efeu, Zimmeraralie (Fatsia japonica)
Doldengewächse (Umbelliferae oder Apiaceae)
z. B. Kerbel, Schierling, Sellerie, Petersilie, Kümmel, Fenchel, Dill, Möhre
Hartriegelgewächse (Cornaceae)
z. B. Kornelkirsche (Cornus mas)
Heidekrautgewächse (Ericaceae)
z. B. Alpenrose, Azalee, Heidelbeere, Preiselbeere, Heidekraut, Glockenheide, Erdbeerbaum (Arbutus unedo)
Primelgewächse (Primulaceae)
z. B. Primel, Aurikel, Alpenveilchen
Bleiwurzgewächse (Plumbaginaceae)
z. B. Strandnelke (Limonium), Grasnelke (Armeria)
Sapotillbaumgewächse (Sapotaceae)
z. B. Sapotillbaum (Achras sapota)
Ebenholzgewächse (Ebenaceae)
z. B. Kakipflaume (Diospyros kaki)

Ölbaumgewächse (Oleaceae)
z. B. Ölbaum, Esche, Flieder, Forsythie, Liguster, Jasmin
Brechnußgewächse (Loganiaceae)
z. B. Brechnuß (Strychnos nux-vomica), Sommerflieder (Buddleja)
Enziangewächse (Gentianaceae)
z. B. Enzian, Tausendgüldenkraut
Hundsgiftgewächse (Apocynaceae)
z. B. Immergrün, Oleander
Seidenpflanzengewächse (Asclepiadaceae)
z. B. Schwalbenwurz (Cynanchum vincetoxicum)
Wachsblume (Hoya carnosa)
Windengewächse (Convolvulaceae)
z. B. Winde, Batate
Borretschgewächse (Boraginaceae)
z. B. Borretsch, Vergißmeinnicht, Lungenkraut
Lippenblütler (Labiatae oder Lamiaceae)
z. B. Taubnessel, Pfefferminze, Salbei, Thymian, Rosmarin, Lavendel, Bohnenkraut, Melisse, Majoran
Nachtschattengewächse (Solanaceae)
z. B. Tollkirsche, Tomate, Kartoffel, Paprika, Tabak, Petunie
Rachenblütler (Scrophulariaceae)
z. B. Königskerze, Ehrenpreis, Fingerhut, Löwenmaul, Braunwurz (Scrophularia)
Sesamgewächse (Pedaliaceae)
z. B. Sesam
Gesneriengewächse (Gesneriaceae)
z. B. Gloxinie, Usambaraveilchen (Saintpaulia ionantha)
Wegerichgewächse (Plantaginaceae)
z. B. Spitzwegerich
Labkrautgewächse (Rubiaceae)
z. B. Labkraut, Waldmeister, Chinarindenbaum, Kaffeestrauch
Geißblattgewächse (Caprifoliaceae)
z. B. Holunder, Schneeball, Schneebeere, Weigelie
Baldriangewächse (Valerianaceae)
z. B. Baldrian, Rapünzchen
Kürbisgewächse (Cucurbitaceae)
z. B. Kürbis, Gurke, Melone
Glockenblumengewächse (Campanulaceae)
z. B. Glockenblume, Lobelie
Korbblütler (Compositae oder Asteraceae)
z. B. Aster, Gänseblümchen, Edelweiß, Sonnenblume, Dahlie, Kamille, Beifuß, Distel, Kornblume, Löwenzahn

Klasse Einkeimblättrige (Monocotyledoneae)
Laichkrautgewächse (Potamogetonaceae)
z. B. Laichkraut, Seegras (Zostera)
Froschlöffelgewächse (Alismataceae)
z. B. Froschlöffel, Pfeilkraut (Sagittaria)
Süßgräser (Gramineae oder Poaceae)
z. B. Schilf, Quecke, Weidelgras, Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Mais, Hirse, Bambus
Riedgräser (Cyperaceae)
z. B. Segge, Simse, Wollgras, Papyrusstaude (Cyperus papyrus)
Palmen (Palmae)
z. B. Dattelpalme, Kokospalme, Sagopalme, Ölpalme
Aronstabgewächse (Araceae)
z. B. Aronstab, Kalmus, Zimmer-Calla (Zantedeschia), Monstera
Ananasgewächse (Bromeliaceae)
z. B. Ananas
Binsengewächse (Juncaceae)
z. B. Binse, Hainsimse
Liliengewächse (Liliaceae)
z. B. Lilie, Herbstzeitlose, Aloe, Küchenzwiebel, Porree, Knoblauch, Tulpe, Hyazinthe, Palmlilie, Spargel, Maiglöckchen
Narzissengewächse (Amaryllidaceae)
z. B. Schneeglöckchen, Narzisse, Amaryllis, Clivie, Agave
Yamsgewächse (Dioscoreaceae)
z. B. Yams

Schwertliliengewächse (Iridaceae)
z. B. Schwertlilie, Krokus, Gladiole, Freesie
Bananengewächse (Musaceae)
z. B. Banane
Ingwergewächse (Zingiberaceae)
z. B. Ingwer, Kardamom
Pfeilwurzgewächse (Marantaceae)
z. B. Pfeilwurz (Maranta arundinacea)
Orchideengewächse (Orchidaceae)
z. B. Knabenkraut, Frauenschuh, Vanille

Die Einteilung des Pflanzenreichs ist nicht eindeutig gegeben, sondern führt je nach den Merkmalen, die ihr bevorzugt zugrunde gelegt werden, zu unterschiedlichen Ergebnissen in den Systemgruppen. Die in unserer Übersicht gegebene Einteilung in 16 Abteilungen entspricht der heute meist vertretenen Anschauung. Sie trägt der stammesgeschichtlich unterschiedlichen Entwicklung vor allem der Gruppen der niederen Pflanzen Rechnung. Vordem war meist eine Gliederung in 5 Abteilungen üblich, nämlich in

I. Spaltpflanzen (Schizophyta) = 1. und 2. Abt.
II. Lagerpflanzen (Thallophyta) = 3. bis 12. Abt.
III. Moospflanzen (Bryophyta) = 13. Abt.
IV. Farnpflanzen (Pteridophyta) = 14. Abt.
V. Samenpflanzen (Spermatophyta) = 15. und 16. Abt.

In den älteren Systemen sind nach den verschiedensten Gesichtspunkten übergeordnete Gruppen zusammengestellt worden. Man unterschied z. B.

nach der *Wuchsform* Lagerpflanzen (Thallophyta: Abt. 1 bis 12), das sind Pflanzen ohne Stengel und Blätter, und Sproßpflanzen (Cormophyta: Abt. 13 bis 16), das sind Pflanzen, die in Sproß und Wurzel gegliedert sind

nach der *Vermehrungsform* Sporenpflanzen (Sporophyta: Abt. 1 bis 14) und Samenpflanzen (Spermatophyta: Abt. 15 und 16)

nach der *Blüte* (die früher allein als Geschlechtsorgan bekannt war) blütenlose Pflanzen (Kryptogamae: Abt. 1 bis 14) und Blütenpflanzen (Phanerogamae: Abt. 15 und 16)

nach dem *Gewebeaufbau* Zellenpflanzen (Abt. 1 bis 13) und Gefäßpflanzen (Abt. 14 bis 16).

Pflanzen mit irreführendem Namen

Isländisches Moos (Cetraria islandica)	kein Moos auf Island	sondern eine in der kalten und der gemäßigten nördlichen Zone weitverbreitete Flechte
Rainfarn (Tanacetum vulgare)	keine Farnpflanze	sondern eine Blütenpflanze (Korbblütler)
Rainweide (Ligustrum vulgare)	keine Weide	sondern ein Ölbaumgewächs
Alpenveilchen (Cyclamen spec.)	kein Veilchen	sondern ein Primelgewächs
Fichtenspargel (Monotropa hypopitys)	keine Spargelart	sondern eine Verwandte der Heidekrautgewächse; blattgrünfreier Fäulnisbewohner
Frauenflachs (Linaria vulgaris)	kein Leingewächs	sondern ein Rachenblütler
Grasnelke (Armeria maritima)	keine echte Nelke	sondern ein Bleiwurzgewächs
Seegras (Zostera marina)	kein Gras	sondern ein Laichkrautgewächs; eine der wenigen Blütenpflanzen des Meeres
Buchweizen (Fagopyrum sagittatum)	kein Getreide	sondern ein Knöterichgewächs, dessen Früchte als Grieß, Grütze oder Mehl genossen werden
Wachtelweizen (Melampyrum)	kein Getreide	sondern eine Gattung der Rachenblütler
Tollkirsche (Atropa belladonna)	keine Obstsorte	sondern ein giftiges Nachtschattengewächs
Heckenkirsche (Lonicera xylosteum)	keine Obstsorte	sondern ein Geißblattgewächs mit ungenießbaren Früchten
Kornelkirsche (Cornus mas)	keine Kirschsorte	sondern ein Hartriegelgewächs mit eßbaren Früchten

Stechapfel (Datura stramonium)	keine Obstsorte	sondern ein einjähriges giftiges Nachtschattengewächs mit stachligen Früchten
Pfingstrose (Paeonia)	keine Rose	sondern eine Verwandte der Hahnenfußgewächse; beliebte Gartenstaude
Christrose (Helleborus niger)	keine Rose	sondern ein Hahnenfußgewächs, im Winter blühend
Alpenrose (Rhododendron)	keine Rose	sondern ein Heidekrautgewächs
Seerose (Nymphaea alba)	keine Rose	sondern zu einer nicht mit den Rosengewächsen verwandten eigenen Familie (Nymphaeaceae) gehörend
Stranddistel (Eryngium maritimum)	keine Distel	sondern ein Doldengewächs

KURIOSITÄTEN IM PFLANZENREICH

Eine Alge, die ihr „Laub" wechselt:	der *Zuckertang* (Laminaria saccharina) und alle anderen Lamina-riaarten. Das junge Blatt schiebt im Frühjahr das alte von seiner Ansatzstelle weg und trägt es dann noch eine Weile aufsitzend auf seiner Spitze, bis es schließlich abfällt
eine Blütenpflanze mit zeitlebens nur 2 Blättern:	die *Welwitschia bainesii*, ein Nacktsamer der Wüsten Südafrikas. Die Pflanze hat (abgesehen von den Keimblättern) nur 2 lederartige, meterlange Blätter, die einer 1 m dicken und 2 bis 3 m langen rübenartigen Wurzel entspringen und dem Boden aufliegen. Sie sterben an ihren Enden beständig ab, wachsen aber an ihren Ansatzstellen nach und können etwa 100 Jahre alt werden
eine Blütenpflanze, die unter dem Meeresspiegel blüht:	das *Seegras* (Zostera marina). Es ist eine der wenigen meeresbewohnenden Blütenpflanzen (aus der Familie der Laichkrautgewächse). Das Meerwasser trägt den langfädigen algenförmigen Pollen zur weiblichen Blüte, die nur aus einem ebenfalls langfädigen Stempel besteht
eine Blütenpflanze ohne jegliche Wurzeln und Blätter:	die *Hopfenseide* (Cuscuta europaea), ein stark rückgebildeter Vollschmarotzer, dessen farbloser, windender Stengel sämtliche Nährstoffe mit besonderen Saugorganen aus dem Stengel des Wirtes saugt und nur noch zahlreiche Blüten hervorbringt. Verwandte: *Klee-*, *Flachsseide*
eine Pflanze, die die Himmelsrichtungen anzeigt:	die „Kompaßpflanze" *Stachellattich* (Lactuca serriola). Sie stellt ihre oberen Blätter, um sich, besonders in der Mittagszeit, vor allzu starker Verdunstung zu schützen, auf die Kante und wendet sie dabei in die Nordsüdrichtung
eine Pflanze mit Wurzeln, die nach oben wachsen:	die *Sonneratia alba*, eine Pflanze aus der Familie der Myrtengewächse, die im luftarmen Küstenschlamm Kaliforniens wurzelt. Sie treibt zahlreiche sogenannte Luftwurzeln aus dem Erdreich senkrecht nach oben, welche durch Poren den nötigen Sauerstoff aufnehmen und durch lockermaschiges Gewebe den unterirdischen Teilen zuleiten
ein Pilz, der nach dem Licht schießt:	der Schimmelpilz *Pilobolus*, der als Fäulnis- (Dunkel-) Bewohner im Mist lebt. Er richtet seine Fruchtkörper genau auf eine Lichtquelle hin. Seine Sporen, die durch den Druck des explodierenden Sporenbehälters geradlinig fortgeschleudert werden, fliegen daher ausschließlich lichtwärts
eine Pflanze mit nachweisbarer Körperwärme:	der *Italienische Aronstab* (Arum italicum). Er weist bei einer Außentemperatur von 15 °C in seinem Blütenkessel 40 bis 44 °C Wärme auf. Auch beim einheimischen Aronstab (Arum maculatum) liegt die Temperatur im Blütenkessel 10 °C über der Außentemperatur. (Eigentlich müßte jede Pflanze merkliche Eigenwärme haben, da diese bei der Atmung entsteht. Die große Oberfläche der Pflanze verhindert aber die Ansammlung der Wärme. Nur in Blütenständen, die besonders lebhaft atmen und die zudem noch wie beim Aronstab durch ein umhüllendes Blatt abgeschlossen sind, wird die Atemwärme spürbar.)

Fleischfressende Pflanzen. Fleischfressende Pflanzen (Carnivoren oder Insektivoren) leben meist auf stickstoffarmen Böden (z. B. im Hochmoor). Durch den Fang von Fleisch verschaffen sie sich zusätzlichen Stickstoff. Sie können aber auch ohne ihre Beutetiere sehr gut gedeihen, wenn ihnen Stickstoff in Form von Ammoniumsalzen oder salpetersauren Salzen zugeführt wird.

Folgende *Fangarten* sind zu unterscheiden:

Das Tier bleibt kleben
beim einheimischen *Sonnentau* (Droseraarten) an den Drüsenhaaren der Blattoberfläche
beim einheimischen *Fettkraut* (Pinguicula) im eingerollten Blattrand;

Das Tier gerät in eine Falle
bei der in den Tropen der Alten Welt vorkommenden *Kannenpflanze* (Nepenthes), die an den Blattspitzen Kannen mit einem glatten Randwulst trägt, der die Tiere in die Tiefe der Kanne abstürzen läßt;

Das Tier wird von der Pflanze ergriffen
bei der amerikanischen *Venusfliegenfalle* (Dionaea), die durch Tastborsten von der Anwesenheit der Beute unterrichtet wird und daraufhin die beiden bewimperten Blatthälften zuklappt
beim einheimischen *Wasserschlauch* (Utricularia-Arten, Bewohner des Süßwassers), dessen Fangblasen bei Berührung eine Klappe nach innen schlagen lassen und die Beutetiere (Kleinkrebse) in sich hineinsaugen.

Zur *Verdauung* scheidet die Pflanze eiweißauflösende Säfte (proteolytische Fermente) aus, die den Körper des Beutetiers verflüssigen. Diese Nährflüssigkeit wird vom Blatt aufgesogen und nur der unverdauliche Chitinpanzer des Insekts übriggelassen.
Auch der *Gefleckte Aronstab* (Arum maculatum) fängt in seinem Blütenkessel Insekten (kleine Fliegen und Mücken), aber nicht, um sie zu verdauen, sondern nur, um sie zur Vornahme der Bestäubung zurückzuhalten. Sobald diese erfolgt ist, vertrocknen die Sperrhaare, und die Tiere werden wieder frei.

II. Botanische Zeichen

Zeichen	Erläuterung	Zeichen	Erläuterung
♂	männlich	◷ (◔)	im Frühjahr blühend
♀	weiblich	◑ (◕)	im Sommer blühend
☿	zwittrig, zweigeschlechtig	◶ (◵)	im Herbst blühend
×	Kreuzung (Hybride, Bastard)	◴ (◴)	im Winter blühend
+	Pfropfhybride, Chimäre	∞	Freilandpflanze
☩	ausgestorben, keine lebenden Vertreter mehr	∞̲	Freilandpflanze mit Winterschutz
☉	einjährige Pflanze	⌐	Kalthauspflanze
☉	zweijährige Pflanze (blüht erst im 2. Jahr)	⌐	Warmhauspflanze
		⌐	Topfpflanze
♃	Staude (Pflanze, deren unterirdische Teile mehrjährig überdauern)	⌇	kletternde Pflanze
		⌇	Ampelpflanze
♄	Halbstrauch (Pflanze, deren untere Stengelteile verholzt sind	○	Sonnenpflanze
		◐	Halbschattenpflanze
♄	Strauch (ausdauernde, verholzte Pflanze)	◯	Schattenpflanze
		⩔	Fels- oder Steingartenpflanze
♄	Baum (ausdauernde, verholzte Pflanze mit Stamm)	≋	Wasserpflanze
		≋	Moor- oder Sumpfpflanze

III. Maße des Pflanzenkörpers

MAßZAHLEN VON GEWEBEN

Zahl der Spaltöffnungen in Laubblättern: etwa 50 (manche Kakteen) bis 1 300 (Spiraea), im Durchschnitt 100 bis 400 auf 1 mm²; Spaltöffnungen auf einem Blatt der Sonnenblume: 13 Millionen; Zahl der Spaltöffnungen einer 115jährigen Buche: 120 Milliarden; Spaltöffnungen beim Weizen: 0,079 mm lang, 0,039 mm breit.

Durchmesser der größten Gefäße:
bei Linden 0,06 mm; bei Eichen bis 0,3 mm; bei Lianen bis 0,7 mm.

Länge der Bastfasern:
beim Flachs 2 bis 4 cm; bei der Brennessel 7,5 cm.

Zahl der Chlorophyllkörner (Blattgrünkörner) in jeder Zelle der Laubblätter: 20 bis 200;
Durchmesser der Stärkekörner in der Kartoffel: 0,09 mm
Länge der Wurzelhaare: 0,15 bis 8 mm
Zahl der Wurzelhaare auf 1 mm² Wurzelfläche beim Mais: 420
Länge der Milchsaftzellen bei Wolfsmilchgewächsen: mehrere Meter

Größe von Pollenkörnern (Blütenstaub)

(Durchmesser in µm; 1 µm = $^1/_{1\,000\,000}$ m = $^1/_{1\,000}$ mm)

Alpenvergißmeinnicht (Myosotis silvatica ssp. alpestris)	2,5···3,4	Feldulme	38
Natternkopf (Echium vulgare)	10···14	Roggen	50
Erle	20	Yucca	55···65
Eibe, Alpenveilchen	22	Kiefer	60
Kreuzdorn	22···32	Ackerstiefmütterchen	62···71
Flieder	24···34	Mais	70
Schwarzpappel, Edelkastanie	25	Zaunwinde	76···84
Hopfen	28	Ruprechtskraut (Geranium robertianum)	85···94
Birke, Stieleiche	30	Scheibenkaktus (Opuntia cynanchica)	150···200
Esche	33	Kürbis	190···240
Aloe	35···50	Melone	200···240
Fuchsschwanzgras	36	Wunderblume (Mirabilis jalapa)	220···240

Die Pollenkörner entstehen massenhaft im Innern der Staubbeutel. Ihre Kleinheit ist günstig für ihre Verbreitung durch den Wind und durch Insekten, die den Pollen an ihrem Körper mit sich forttragen. Die größten Pollenkörner kommen bei Pflanzen wärmerer Länder vor; dort sind auch die Insekten größer als bei uns.

GRÖßE EINIGER BLÜTEN

Kahles Bruchkraut (Tausendkorn; Herniaria glabra)	1 mm ⌀	
Hungerblümchen (Draba muralis)	2,5 mm lang	
Vogelknöterich (Polygonum aviculare)	3 mm lang	
Ackerspark (Spergula arvensis)	8 mm ⌀	
Wildes Alpenveilchen (Cyclamen purpurascens)	rd. 1,5 cm lang	(das Topfalpenveilchen hat dagegen 5 bis 6 cm große Blüten)
Schachbrettblume (Fritillaria meleagris)	3,7 cm lang	
Wilde Tulpe (Tulipa silvestris)	5 cm lang	
Herbstzeitlose (Colchicum autumnale) bis	25 cm lang	die Blüte ist nur in ihrem oberen Teil sichtbar; der Fruchtknoten sitzt unmittelbar der unterirdischen Knolle auf
Dickkolben (Amorphophallus)	150 cm lang	hohe, urnenförmige Blüte
Sumatranische Riesenblume (Rafflesia)	100 cm ⌀	große scheibenartige Blüte, die flach dem Boden aufliegt

Größe und Massewert einiger Samen und Früchte

Große Händelwurz (Gymnadenia conopsea; einheimische Orchidee)	⌀ 1 mm, 0,008 g
Grasfrucht des Windhalmes (Apera spica-venti)	1,2 mm lang, ⌀ 0,3 mm; 0,05 g
Kokosnuß	⌀ 11···22 cm; 800···1400 g
Seychellennuß (Latania seychellarum)	⌀ 22···45 cm; 4200···5500 g
Flaschenkürbis	1,50 m lang, ⌀ bis zu 30 cm
Riesenkürbis	⌀ 1 m; 75···100 kg

LÄNGE EINIGER MEERESALGEN

Art	Länge	Bemerkungen
Caulerpa, eine Grünalge wärmerer Meere	20···30 cm	einzellig-schlauchiger Sproß mit blattartigen Thalluslappen
Laminaria-Arten, Braunalgen der nördl. Meere sowie am Kap, auch in der Nordsee und westlichen Ostsee	5 m	tragen auf unterarmdickem Stiel einen blattartigen Thalluslappen
Meersaiten-Tang (Chorda filum), Braunalge der Küstenzonen der nördlichen Hemisphäre, auch in der Ostsee	8 m	peitschenförmiger, unverzweigter, einjähriger Sproß
Macrocystis pyrifera, eine Braunalge der Antarktis und des nordöstlichen Pazifik	60 m	wiegt einige hundert Kilogramm, soll stellenweise als Wellenbrecher wirken

HÖHE UND STAMMDURCHMESSER EINIGER BÄUME

Höhe (Höchstwert in m)

Baumfarn (Balantium antarcticum)	3	Roteiche	30
Zwergpalme (Chamaerops humilis)	4	Schwarzerle	30
Wacholder	15	Kokospalme	32
Eibe	15	Traubeneiche	35
Eberesche	16	Bergahorn	40
Affenbrotbaum	18	Sommerlinde	40
Lebensbaum	20	Zeder	40
Walnußbaum	20	Silber- und Zitterpappel	40
Hainbuche	20	Rotbuche	44
Feldahorn	20	Gleditschie (Gleditsia triacanthos)	45
Baumfarn (Alsophila excelsa)	22	Kiefer	48
Zirbelkiefer	23	Stieleiche	50
Winterlinde	25	Zypresse	52
Robinie	25	Lärche	53
Edelkastanie	25	Wachspalme (Ceroxylon andicola)	57
Birke	25	Fichte	60
Roßkastanie	30	Araukarie	60
Silberweide	30	Tülpenbaum	60
Palmyrapalme (Borassus flabelliformis)	30	Tanne	75
Esche	30	Douglasie (Douglastanne)	90
Platane	30	Mammutbaum	132
Feldulme	30	Rieseneukalyptus (Eucalyptus amygdalina)	152

Zum Vergleich. Höhe des Kölner Doms: 157 m

Stammdurchmesser (Höchstwert in m)

Feldahorn	0,7	Spitzahorn	3
Birke	0,8	Zypresse	3,2
Wacholder	0,9	Traubeneiche	4,2
Hainbuche	1	Silberpappel	4,5
Silberweide	1	Eibe	4,9
Kiefer	1	Stieleiche	7
Lärche	1,6	Edelkastanie	8
Esche	1,7	Rieseneukalyptus (Eucalyptus amygdalina)	8
Fichte	2	Sommerlinde	9
Rotbuche	2	Mammutbaum	11
Tanne	3	Affenbrotbaum	15
Ulme	3		

Bei den angegebenen Werten kann es sich z. T. um Stämme handeln, die durch Zusammenwachsen mehrerer Bäume entstanden sind.

Berühmte Bäume. Bäume sind langlebige höhere Pflanzen; einzelne Exemplare können unter besonders günstigen Umweltbedingungen ein sehr hohes Alter erreichen. Die zuverlässige Bestimmung ihres Alters ist schwierig und bleibt ungenau, solange man vom Umfang des lebenden Stammes ausgehen muß. Bei einigen Baumarten gilt es als erwiesen, daß ihre Stämme sehr oft durch Luftwurzeln verstärkt werden, die mit dem eigentlichen Stamm mehr oder weniger zu einer Einheit verwachsen (z. B. Feigenbaum), oder daß der Stockausschlag sehr rege ist, so daß Mutter- und Tochterstamm miteinander verwachsen (z. B. Eibe). In anderen Fällen sind 2 Samen dicht nebeneinander aufgegangen, so daß der daraus erwachsene Stamm nur halb so alt ist, wie man seiner Dicke nach annehmen müßte. Manche Forscher nehmen daher als *Höchstalter für Bäume* nur 1500 bis 2000 Jahre an. Das Dickenwachstum der Bäume hält länger an als die Längenzunahme. 150jährige Kiefern beispielsweise strecken sich nur noch 2 cm im Jahr, sind also in diesem Alter praktisch ausgewachsen. Eine verhältnismäßig exakte Altersangabe ergibt sich aus der Zählung der Jahresringe am Querschnitt gefällter Bäume, soweit deren Kernholz noch nicht verfault ist, sie also nicht hohl sind. Bei den folgenden Angaben handelt es sich um Zahlen für besonders alt gewordene Bäume. Sie sind als Ausnahmen zu bezeichnen. Im Durchschnitt erreichen Bäume dieses Alter nicht, sondern fallen meist viel früher den zahllosen pflanzlichen und tierischen Schädlingen oder den Naturgewalten zum Opfer.

Art	Standort	Maße	Geschätztes Alter (Jahre)
Efeu (Hedera helix)	Gignac bei Montpellier (Frankreich)	Stammumfang 1,8 m	440
Eiche (Quercus robur)	Newland (England)	Stammumfang 13 m Stammhöhe 4 m	—
Linde (Tilia platyphyllos)	Staffelstein (Franken)	Stammumfang 16 m	1100
Feldulme (Ulmus carpinifolia)	Schimsheim (Rheinhessen)	Höhe 15 m (früher höher) Stammumfang 13,2 m	1000
Platane (Platanus orientalis)	1. Stanchio (Insel Kos)	die Äste ruhen auf 50 Marmorsäulen	2000
	2. Böjük-Dereh am Bosporus	Höhe 30 m Stammumfang 47 m*	—
Edelkastanie (Castanea sativa)	am Ätna bei Catania	Stammumfang 20 m*	2000
Heiliger Feigenbaum (Ficus religiosa)	Insel im Nerbuddastrom (Vorderindien)	besteht aus 3000 größeren und 3000 kleineren Stämmen (in seinem Schatten sollen 7000 Menschen rasten können!) Höhe 60 m	2000···3000
Eibe (Taxus baccata)	Braburn (Kent, England)	Stammumfang 18 m	3000
Mammutbaum (Sequoia gigantea)	Wald von Mariposa (Kalifornien)	Höhe 86 m Stammumfang 37 m; in 30 m Höhe: 14 m	3000···4000
Affenbrotbaum (Adansonia digitata)	Tanganjika	Höhe 22 m Stammumfang 47 m Kronenumfang 145 m	5000
Sumpfzypresse (Taxodium mucronatum)	Friedhof von Santa Maria del Tule (Mexiko, einige Meilen von Oaxaca)	Höhe 40 m Stammumfang etwa 30 m	nach Humboldt 4000, nach De Candolle 6000

* Es handelt sich hierbei höchstwahrscheinlich nicht um Einzelbäume, sondern um engstehende Baumgruppen bzw. Wurzelstockausschläge.

IV. Bau und Stoffwechsel der Pflanzen

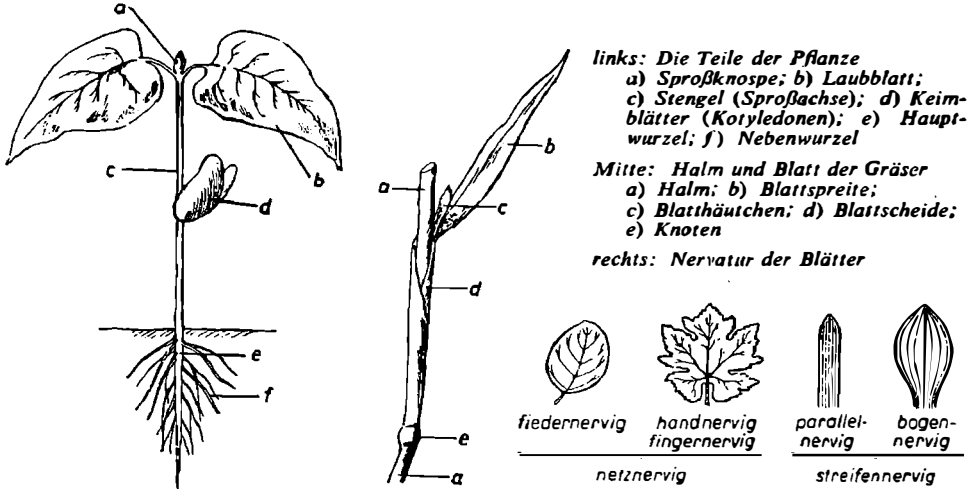
GLIEDERUNG DER PFLANZEN

Die Teile der Pflanzen. Die *niederen* Pflanzen sind überwiegend ungegliedert und entweder einzellig oder im Aufbau ihrer Zellverbände fadenförmig, flächig oder massig. Die wenigen gegliederten Arten der niederen Pflanzen ähneln nur äußerlich den höheren Pflanzen.

Die *höheren* Pflanzen gliedern sich in das Wurzelsystem und den Sproß mit den Sproßorganen.
Das *Wurzelsystem* dient der Befestigung der Pflanze im Boden. Feine Fortsätze der Oberflächen- (Epidermis-) Zellen der Wurzeln, die sogenannten Wurzelhaare, umwachsen die Bodenkrümel und nehmen das Bodenwasser mit den darin gelösten Mineralsalzen auf.
Die *Sproßachse* trägt Keimblätter, Sproßknospe, Laubblätter und Blüten. Die *Keimblätter* sind kurzlebige Gebilde, sie fallen nach dem Erscheinen der ersten grünen Laubblätter sehr bald ab. Die *Sproßknospe* ist im Samen und während der Keimung von den beiden Keimblättern umhüllt. Die zunächst kurze *Sproßachse* wächst stark in die Länge (Stengel, Stamm) und bringt die an ihr entstehenden *Laubblätter* in die günstigste Stellung zum Licht. Die Blätter assimilieren mit Hilfe des Sonnenlichtes, des Blattgrüns (Chlorophyll) und der in den Leitungsgefäßen der Sproßachse herangeführten Bodensalzlösung die Bau-, Betriebs- und Reservestoffe der Pflanzenkörpers. Ausgewachsene Sproßspitzen bilden *Blüten*, Organe der geschlechtlichen (generativen) Vermehrung der Pflanzen. In vielen Fällen ist der Sproß durch Ausbildung von Brutkörpern oder Ausläufern zur ungeschlechtlichen (vegetativen) Vermehrung befähigt.

Der Halm. Der Halm ist die hohle Sproßachse der Gräser. Er ist durch Knoten gegliedert und wird vom unteren Teile des Blattes, der sogenannten Blattscheide, gestützt und gefestigt.

Das Blatt. Das Blatt ist ein *Seitenorgan der Sproßachse.* Es gliedert sich in Ober- und Unterblatt. Aus dem *Oberblatt* gehen die *Blattspreite* (die eigentliche Blattfläche) und der *Blattstiel* — der auch fehlen kann — hervor. Aus dem *Unterblatt* entwickelt sich der *Blattgrund,* der die



Nebenblätter trägt (z. B. bei den Rosen) oder als Blattscheide entwickelt ist (z. B. bei den Gräsern). Er bleibt bei vielen Pflanzen jedoch recht klein. Man unterscheidet

Laubblätter: sie erfüllen die Hauptaufgabe der Blätter, nämlich die Assimilation des Kohlendioxyds, CO_2, mit Hilfe des Sonnenlichts und die Verdunstung des Wassers (Transpiration)

Niederblätter: sie schützen den jungen Sproß. Sie sind vorwiegend aus dem Unterblatt entstanden und stehen — meistens in Schuppenform — unterhalb der Laubblätter (Knospenschuppen)

Hochblätter: sie schützen die Blütenknospe oder den Blütenstand und locken oft durch bunte Färbung die Insekten an. Sie sind ebenfalls vorwiegend Gebilde des Blattgrundes und stehen oberhalb der Laubblätter.

DIE BLÜTE

Bau der Blüte. Die Blüte ist das *Fortpflanzungsorgan* der Samenpflanzen. Die Pollenkörner, die im Inneren der Staubbeutel entstanden sind, und die Samenanlagen im Inneren des Fruchtknotens enthalten Keimzellen, die auf geschlechtlichem Wege die neue Pflanze bilden. Diese wird entweder im Samen, der den Keimling (den Embryo der Pflanze) enthält, oder in der Frucht, die wiederum einen oder mehrere Samen enthält, von der Mutterpflanze verbreitet.
Die Blüte leitet sich von *Blättern* her, die zur Erfüllung ihrer besonderen Aufgaben umgestaltet sind. Es stehen in mehreren Kreisen — bei der Magnolie und anderen Pflanzen in spiraliger Anordnung — an der stark gestauchten Sproßachse, dem „Blütenboden", von außen nach innen

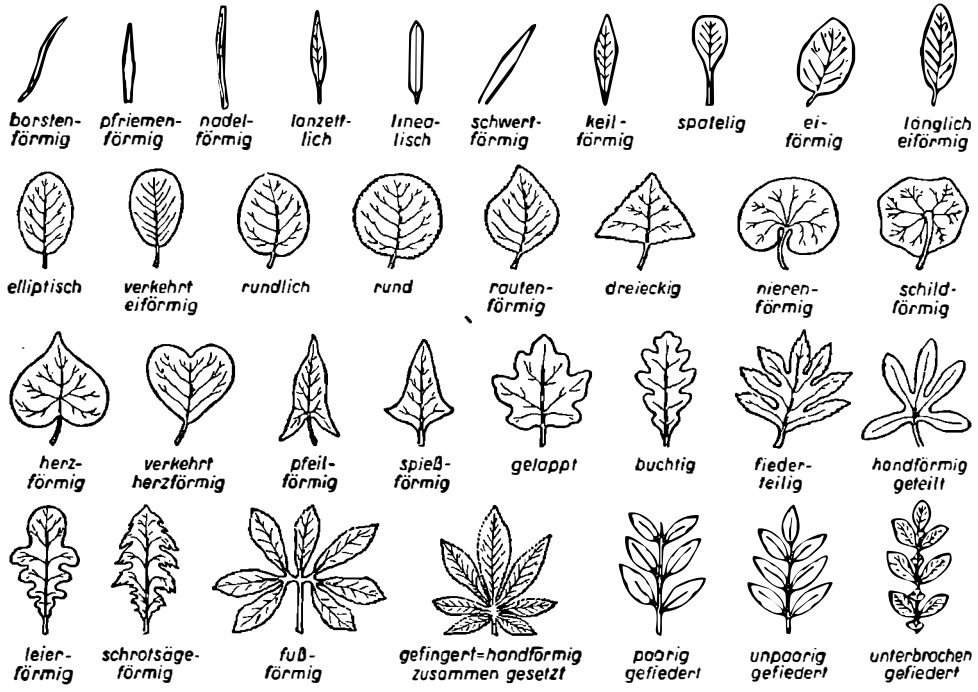
Kelchblätter: sie schützen die Blütenknospe. Bei vielen Arten schließen sie (bei Regen, abends) die Blüte

Kronblätter: sie locken Insekten zur Bestäubung an. Bei vielen Arten schützen sie die inneren Blütenteile

Staubblätter: sie bringen in den Staubbeuteln den Blütenstaub (*Pollen*) hervor

Fruchtblätter: sie verwachsen bei den *Bedecktsamern* entweder einzeln oder zu mehreren miteinander zum Fruchtknoten, der nach der Bestäubung und Befruchtung die Frucht bildet. Bei den *Nacktsamern* bleiben sie frei, lassen auf ihrer Fläche den Samen entstehen und fallen dann nach dessen Reife ab.

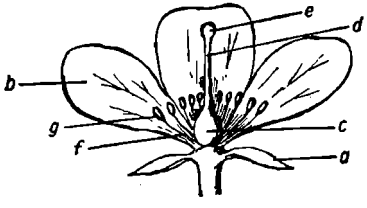
Die wichtigsten Blattformen (*Einfache und gegliederte Blattformen*)



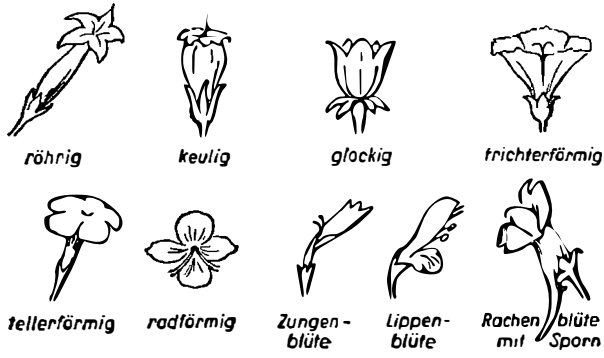
Anheftung des Blattes



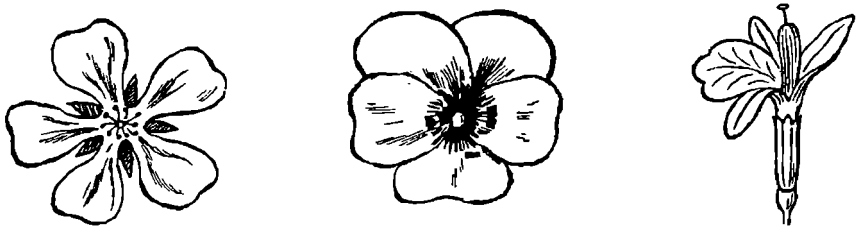
Blütenformen — *Formen der Einzelblüten*



Teile der Blüte
a) Kelchblatt; b) Kronblatt; c) Fruchtknoten; d) Griffel; e) Narbe; f) Staubfaden; g) Staubbeutel; c) bis e) Stempel

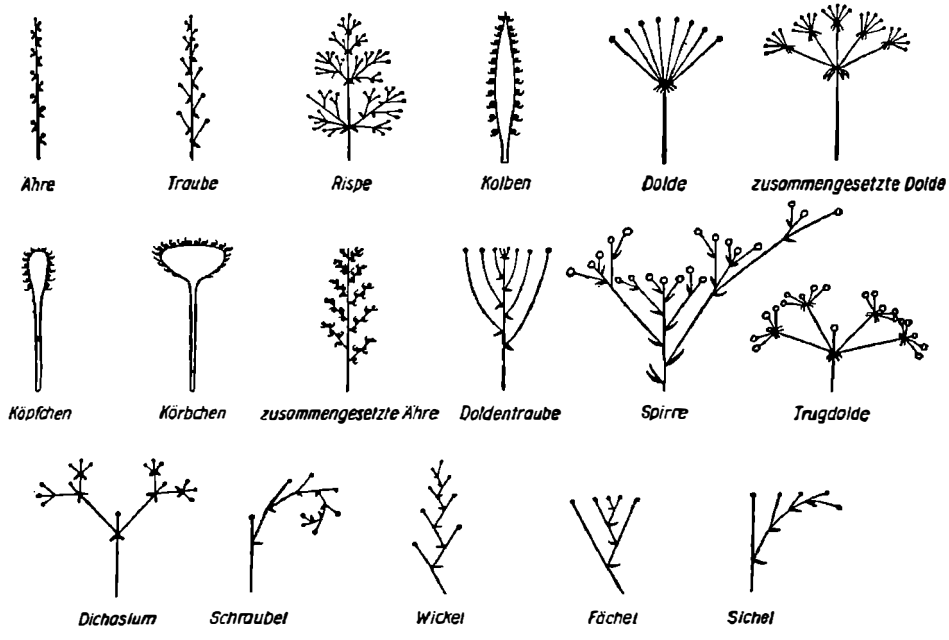


Symmetrieformen bei Blüten



radiär-strahlig (viele Symmetrieebenen) | dorsiventral (eine Symmetrieebene) | asymmetrisch (keine Symmetrieebene)

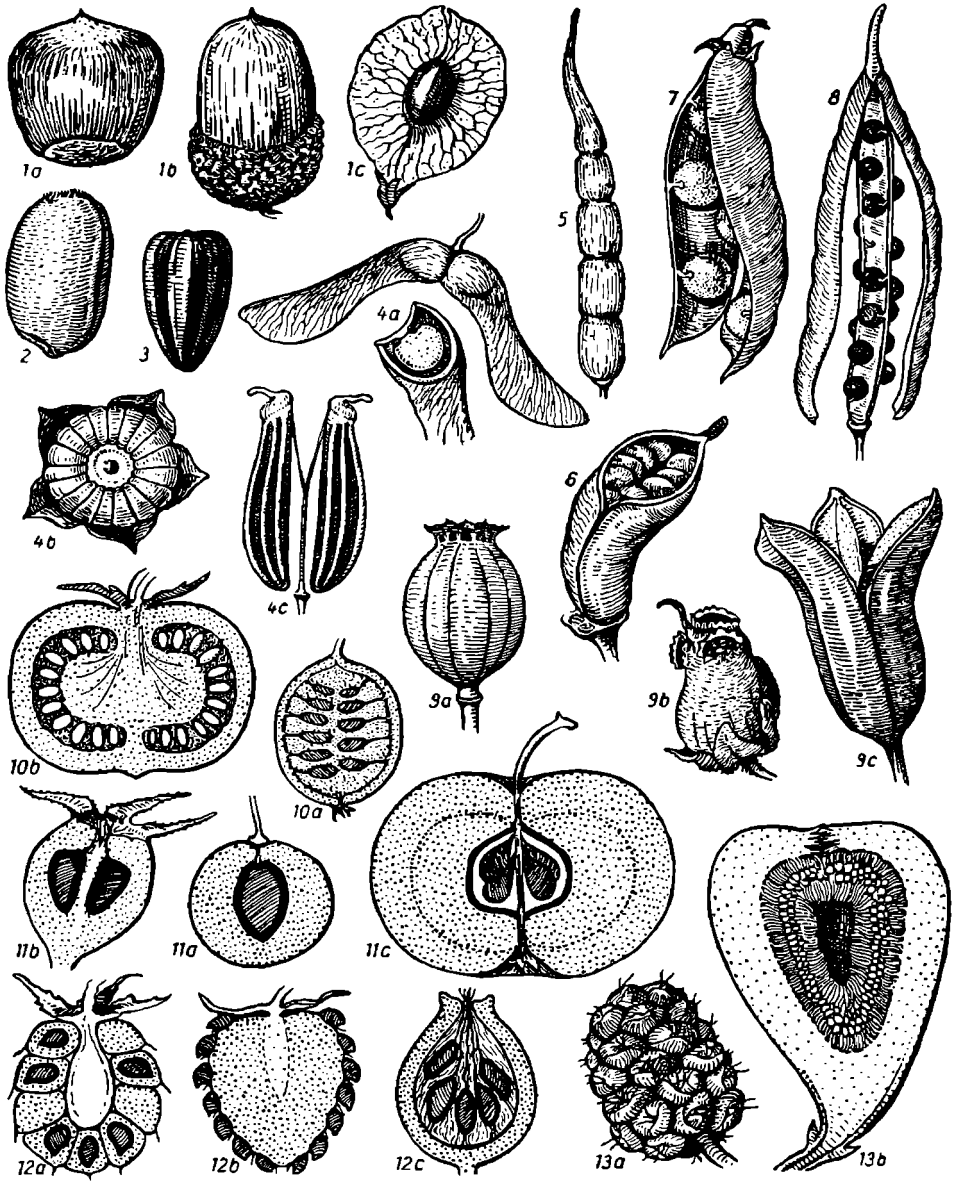
Formen der Blütenstände



Nach der Befruchtung werden die Blütenhülle (Kelchblätter und Blumenkronblätter) und die Staubblätter abgeworfen, der *Fruchtknoten* bildet die Frucht, aus der Hülle der Samenanlage entsteht die *Samenschale*, aus der Eizelle der *Keimling*.
Die Blüten werden nach *verschiedenen* Gesichtspunkten unterschieden, z. B. nach Symmetrieverhältnissen, nach der Ausbildung der Blütenhülle, nach der Verteilung der Geschlechter (*eingeschlechtige* Blüten, die als männliche Blüten nur Staubblätter, als weibliche nur Fruchtblätter enthalten, und *zwittrige* Blüten).

DIE FRUCHT

Als Frucht bezeichnet man das die Samen umschließende *Gehäuse*, das sich aus dem *Fruchtknoten* entwickelt. Sie besteht aus dem die *Fruchtwand* bildenden *Fruchtblättern* und enthält im Innern einen bis viele Samen, die an bestimmten Stellen der Fruchtwand ansitzen können. Je nach der Verbreitungsart der Samen ist die Fruchtwand unterschiedlich gebaut (fest, fleischig, mit



Fruchtformen

Nüsse: 1a Haselnuß, 1b Eichel, 1c Ulme; Karyopsen: 2 Weizen; Achänen: 3 Sonnenblume; Spaltfrüchte: 4a Ahorn 4b Gemeine Käsepappel, 4c Kümmel; Bruchfrüchte: 5 Hederich; Balgfrüchte: 6 Pfingstrose; Hülsen: 7 Erbse; Schoten: 8 Raps; Kapseln: 9a Schlafmohn, 9b Löwenmaul, 9c Schwertlilie; Beeren: 10a Stachelbeere, 10b Tomate; Steinfrüchte: 11a Kirsche, 11b Mispel, 11c Apfel; Sammelfrüchte: 12a Himbeere, 12b Erdbeere, 12c Hagebutte; Fruchtstände: 13a Maulbeere, 13b Feige

Kletteinrichtungen, Flügeln, Flughaaren oder verschiedenen Öffnungsmechanismen). Sind außerdem Fruchtknoten noch andere Pflanzenteile an der Fruchtbildung beteiligt (z. B. die Blütenboden), so spricht man von einer Scheinfrucht.

A Einzelfrüchte

1. Streufrüchte. Die Samen der Streufrüchte sind von einer derben Schale umschlossen, die sich bei der Reife öffnet und die Samen entläßt. Man unterscheidet

a) *Balgfrüchte.* Streufrüchte, die aus einem Fruchtblatt bestehen und sich an dessen Verwachsungsnaht öffnen und die Samen entlassen (Sumpfdotterblume, Pfingstrose).
b) *Hülsen.* Streufrüchte, die aus einem Fruchtblatt bestehen, sich aber an zwei Nähten öffnen (Schmetterlingsblütler).
c) *Schoten.* Streufrüchte, die aus zwei Fruchtblättern bestehen und durch eine Längsscheidewand in zwei Fächer geteilt sind (viele Kreuzblütler).
d) *Kapseln.* Streufrüchte, die aus mehreren verwachsenen Fruchtblättern bestehen, an deren Nähten die Samen ansitzen (Mohn, Nelkengewächse, Löwenmaul, Tulpe, Schwertlilie, Tabak, Flachs, Stiefmütterchen).

2. Schließfrüchte. Die Samen der Schließfrüchte sind von einer Schale umschlossen, die sich bei der Reife nicht öffnet.

Trockene Schließfrüchte sind z. B.

a) *Nüsse.* Früchte mit holziger, ledriger oder häutiger Schale und meist nur einem Samen (Haselnuß, Buchweizen, Eichel, Buchecker, Edelkastanie, Ulme [mit häutigen Flügeln]). Sehr kleine Nüsse bezeichnet man als Nüßchen (Hahnenfuß, Birke, Erle); Nüsse, bei denen Samenschale und Fruchtwand verwachsen sind, als Karyopse (Gräser) oder Achäne (Korbblütler).
b) *Spaltfrüchte.* Mehrsamige Schließfrüchte, die durch Längsteilung in meist einsamige Teilfrüchte zerfallen, die den Fruchtblättern entsprechen (Ahorn, Lippenblütler, Malve, Doldenblütler).
c) *Bruchfrüchte.* Mehrsamige Schließfrüchte, die durch Querteilung in einsamige Teilfrüchte zerfallen, die Teilen von Fruchtblättern entsprechen (Serradella, Hederich).

Saftige Schließfrüchte

Saftige Schließfrüchte haben eine ganz oder teilweise fleischige, saftige Fruchtwand.

a) *Beere.* Meist zahlreiche Samen sind vom saftigen Fruchtfleisch völlig umschlossen (Stachelbeere, Johannisbeere, Weinbeere, Heidelbeere, Tomate, Paprika, Gurke, Kürbis, Banane). Eine einsamige Beere ist die Dattel.
b) *Steinfrüchte.* Früchte, deren äußerer Teil der Fruchtwand fleischig, ihr innerer Teil dagegen hart wird (Kirsche, Pflaume, Pfirsich, Walnuß, Olive mit einem Samen; Mispel, Holunder-„Beere" mit mehreren Samen).
Eine Besonderheit sind die Apfelfrüchte, bei denen die Samen von einem kapselartigen Hohlraum umschlossen sind (Apfel, Birne, Vogelbeere).

B Zusammengesetzte Früchte

1. Sammelfrüchte. Mehrere Früchte sind mit ihren Fruchtwänden oder durch Gewebe der Blütenachsen untereinander verwachsen.
Sammelsteinfrüchte z. B. bei Himbeere, Brombeere.
Nüßchen auf oder in fleischiger Blütenachse z. B. bei Erdbeere, Hagebutte.

2. Fruchtstände. Vereinigung der Früchte eines Blütenstandes durch fleischige Achsengewebe oder durch Blütenteile.
Beerenfruchtstand z. B. bei Ananas (fleischige Achse und Deckblätter)
Nüßchenfruchtstand z. B. bei Maulbeere (fleischige Blütenblätter)
Steinfruchtfruchtstand z. B. bei Feige (fleischige Achsenhöhle)

DER SAMEN

Als Samen bezeichnet man einen in einem vorübergehenden Ruhezustand befindlichen Keimling (*Embryo*) einer Pflanze, der meist mit Reservestoffen (*Nährgewebe*) versehen und von einer schützenden Hülle (*Samenschale*) umgeben ist. Das Nährgewebe dient der keimenden Pflanze zur Ernährung. Als Reservestoffe sind fast stets Stärke, Eiweiß und Fette eingelagert und je nachdem, welcher Stoff vorherrscht, ist das Innere der Samen z. B. mehlig (Gräser) oder fettig (Mohn, Sonnenblume).
In den Samen mancher Pflanzen ist kein Nährgewebe vorhanden, dort werden die Nährstoffe in den Keimblättern gespeichert (Bohne, Walnuß, Roßkastanie).
Die Samenschale kann verschieden gestaltet sein. Sie kann Haare tragen (Weidenröschen, Baumwolle), es können Kork- oder Steinzellen eingelagert sein, die ihr eine besondere Festigkeit verleihen (Dattel) oder es können farbstoffhaltige Zellschichten vorhanden sein (manche Bohnensorten).

Samen einiger Pflanzen besitzen einen Samenmantel (Arillus), ein Gewebe, das die Samen umhüllt oder ihnen anhängt (Eibe, Pfaffenhütchen, Schöllkraut).
All diese Einrichtungen dienen zur Verbreitung der Samen.

GALLBILDUNGEN IM PFLANZENREICH

Unter *Gallen* versteht man krankhafte *Bildungen* am Pflanzenkörper. Sie unterscheiden sich in ihrer äußeren Gestalt und im Gewebsaufbau von den normalen Organen der Pflanze. Hervorgerufen werden sie durch schmarotzende (selten durch symbiotische) Pflanzen oder Tiere.

Gallen mit pflanzlichem Erreger sind:
die *Knöllchen* an den Wurzeln der Schmetterlingsblütler, verursacht durch Luftstickstoff bindende, anfangs parasitäre, später symbiotische Bakterien (Rhizobium);
die als *Hernien* bezeichneten Schwellungen an den Wurzeln der Kohlarten, die von dem Algenpilz Plasmodiophora brassicae erzeugt werden und der Pflanze schweren Schaden zufügen;
die Wurzelkröpfe, *Wurzelhalsgallen* (auch „Kronengallen" genannt) an vielen Pflanzen, z. B. Obstbäumen und Dahlien, verursacht durch Agrobacterium tumefaciens;
die Staubblätter der weiblichen Blüten der roten Lichtnelke (Melandrium rubrum) u. a. Nelkengewächse. Die Melandriumblüten sind eingeschlechtig, d. h., es werden entweder nur Staubblätter oder nur Fruchtknoten gebildet. Unter der Einwirkung des Brandpilzes Ustilago violacea werden aber auch bei weiblichen Blüten Staubblätter entwickelt. Sie enthalten dann statt Pollen die Sporen des Pilzes.

Gallen mit tierischem Erreger sind bei weitem häufiger. Sie dienen dem Schutze und der Ernährung des Tieres. Die Galle beherbergt nur Larvenformen (bei allen gallenerzeugenden Insekten mit vollkommener Verwandlung) oder zusätzlich geschlechtsreife Entwicklungsstadien (z. B. Gallmilben, Blattläuse). Soweit die Gallenhohlräume nicht von vornherein eine offene Verbindung nach außen haben, bohrt sich der Parasit selbst einen Weg ins Freie oder wird durch sich bildende Spalten, in einigen Fällen durch Aufspringen eines Deckels, entlassen.

Tierische Erreger von Gallen

Würmer: Älchen (Anguillulidae), z. B. Rübenälchen (Heterodera schachtii)
Roggenälchen (Ditylenchus dipsaci)
ein Rädertierchen (Notommata werneckii, an Algen)

Spinnentiere
Milben: Gallmilben (Eriophyidae)
einige Laufmilben (Tarsonemidae)

Insekten
Schnabelkerfe: viele Blattläuse (Aphidina)
manche Blattflöhe (Psyllina)
wenige Schildläuse (Coccina)
eine Zikade (die Schaumzikade Philaenus spumarius)
Hautflügler: Gallwespen (Cynipidae)
manche Blattwespen (Tenthredinidae)
einige Erzwespen (Chalcididae)
Käfer: einige Rüßler (Curculionidae), z. B. der Kohlgallenrüßler (Ceutorrhynchus pleurostigma)
Schmetterlinge: manche Glasflügler (Aegeriidae)
manche Wickler (Tortricidae)
Zweiflügler: Gallmücken (Itonidae)
einige Bohrfliegen (Trypetidae)

Bekannt sind die *Ananasgallen* der großen Fichtengall-Laus (Sacchiphantes abietis) sowie die wie mit Moos überzogenen *Schlafäpfel* der Heckenrose und die rotbackigen *Galläpfel* der Eichenblätter, die beide von Gallwespen herrühren.
Allein an Eichen kennt man gegen 200 verschiedene Gallenbildungen; insgesamt sind etwa 3000 beschrieben.

CHEMISCHE BESTANDTEILE DER PFLANZEN

In der Pflanze finden sich folgende *Elemente*, die mit dem Wasser, den im Wasser gelösten Nährsalzen und der Luft aufgenommen werden:

*Kohlenstoff	*Stickstoff	*Kalium	Natrium
*Wasserstoff	*Phosphor	*Calcium	Silizium
*Sauerstoff	*Schwefel	*Magnesium	Chlor
		*Eisen	

außerdem in Spuren (Spurenelemente):

Bor	Aluminium	Fluor	Kobalt
Mangan	Brom	Zink	Molybdän
Kupfer	Jod	Chrom	Vanadin

Die durch * hervorgehobenen Elemente sind zum Gedeihen der Pflanzen in verhältnismäßig großer Menge nötig. Ebenso sind die Spurenelemente zum größten Teil unentbehrliche Pflanzennährstoffe, die aber schon in außerordentlich geringer Menge ihre günstigste Wirkung entfalten.

Nährsalze der Pflanzen. Die von der Pflanze aus dem Boden aufgenommenen Nährsalze dienen zum Aufbau körpereigener Stoffe, insbesondere von Eiweißkörpern. Sie spielen auch eine wichtige Rolle als Regulatoren im Stoffwechsel. Werden Pflanzen verbrannt, dann finden sich in ihrer Asche fast alle Nährsalze wieder; nur der Stickstoff, der in den Eiweißstoffen enthalten ist, fehlt, da er bei der Verbrennung in flüchtige Stoffe übergeht. Von den Bodennährstoffen Phosphorsäure, Kali und Stickstoff benötigen die Pflanzen verhältnismäßig große Mengen (Mineraldüngung!).

Aschenanalysen

Reinasche (in % der Trockensubstanz)		Darin sind (in %) insbesondere enthalten:									
		*Schwefelsäure, SO_3	*Phosphorsäure, P_2O_5	Kieselsäure, SiO_2	Chlor, Cl	*Kali, K_2O	Natron, Na_2O	*Kalk, CaO	*Magnesia, MgO	*Eisenoxyd, Fe_2O_3
des Roggenkorns	2,1	1,3	47,7	1,4	0,5	32,0	1,5	2,9	11,2	1,2
des Roggenstrohs	4,5	4,3	6,5	49,3	2,2	22,5	1,7	8,2	3,1	1,9
des Erbsensamens	2,7	3,5	36,4	0,9	1.5	41,8	0,9	5,0	7,9	0,9
des Erbsenstrohs	5,1	6,3	8,0	6,7	5,6	22,8	4,1	36,8	8,0	1,7
des Weißkrauts	20,4	15,3	3,9	1,9	13,7	22,1	12,1	27,9	4,4	1,2
des Spinatblattes	16,5	6,8	10,2	4,5	6,2	16,2	32,0	11,5	6,3	3,3
der Kartoffel	3,8	6,4	16,8	2,0	3,5	60,0	2,8	2,6	4,8	1,1
des Apfels	1,4	6,1	13,6	4,3	—	35,7	26,0	4,1	8,7	1,4
des Eichenholzes	0,5	2,8	16,9	0,7	0,3	34,8	2,4	22,4	16,4	0,6
der Eichenrinde	5,9	0,3	0,4	0,5	—	4,3	0,3	92,7	1,2	0,3
des Schachtelhalms	26,7	2,8	1,3	70,0	5,5	8,0	0,6	8,6	1,8	1,4

Aus den mit * bezeichneten Aschensubstanzen (es handelt sich nur um die *Anhydride* der jeweiligen Säure bzw. Base!) setzen sich die für die Ernährung der Pflanzen notwendigen Nährsalze des Bodens zusammen. Die Ergebnisse der Analysen sind in großem Maße vom Entnahmeort abhängig und weisen deshalb nur eine begrenzte Genauigkeit auf.

Wassergehalt der Pflanzen

(in % der Frischmasse)

lufttrockene Samen	6,5···14
holzige Teile	50
saftige Kräuter	70···80
Saft- oder Fettpflanzen (z. B. Kakteen)	85···95
Früchte (mit fleischiger Fruchtwand)	85···95
Algen (Wasserpflanzen!)	95···98

BILDUNG VON ZUCKER UND STÄRKE

Bei voller Sonnenbestrahlung erzeugt in der Stunde:

je 1 m² Blattfläche	Zucker in g	je 1 m² Blattfläche	Stärke in g
Aronstab	1,004	Tabak	1,378
Lauch	1,193	Sonnenblume	1,823
Herbstzeitlose	1,217	Ampfer	2,215
Tulpe	1,267	Wasserrose	2,273

Die Energie für den Aufbau von Zucker aus Wasser und Kohlendioxyd liefert das Sonnenlicht. Der entstandene Zucker aber würde den weiteren Aufbau von Zucker hemmen, wenn er nicht Zug um Zug in (unlösliche) Stärke übergeführt würde.

Abhängigkeit der Assimilationstätigkeit von der Farbe des Lichtes. Die *Assimilation* findet statt im gesamten Lichtwellenbereich von etwa 400 bis 760 nm. Am stärksten ist sie im Rot, sehr gering im Grün und besonders gering im Ultrarot und im Ultraviolett. Von der Gesamtmenge des absorbierten Lichtes wird nur ein kleiner Anteil (1 bis 5%, höchstens 10%) für die Assimilation verwendet. Der Rest wird in Wärme verwandelt. Diese niedrige Ausnützung der Strahlungsenergie ist z. T. darin begründet, daß an der Zusammensetzung der gesamten vom Blatt empfangenen Strahlung viele ultrarote und ultraviolette Strahlen beteiligt sind, die für die Photosynthese fast nicht verwertet werden. Zum anderen aber sind es die inneren Eigenschaften des Assimilationsapparates der Blätter, die eine höhere Ausnützung nicht erlauben. Untersuchungen an der einzelligen Alge *Chlorella* ergaben einen beträchtlich höheren Ausnutzungskoeffizienten der Strahlungsenergie, besonders bei monochromatischem Licht, also bei Abwesenheit ultraroter und ultravioletter Strahlen.

Folgendes zeigte sich:

Bei einer Wellenlänge von	im	beträgt die Ausnützung der Strahlungsenergie
610···690 nm	Rot	59,0%
578 nm	Gelb	53,5%
546 nm	Grün	44,4%
436 nm	Blau	33,8%

Da das Meerwasser vor allem die langwelligen Strahlen (Rotlicht) absorbiert, gelangt fast nur kurzwelliges Licht (Blau und Grün) zu den in großer Meerestiefe lebenden Braun- und Rotalgen, deren braune und rote Farbe die Komplementärfarben zu Blau und Grün darstellen. Diese Komplementärfarben erhöhen die Absorption und damit die Assimilationsleistung.

WASSERHAUSHALT DER PFLANZEN

Wasserverbrauch. Der durchschnittliche Wasserverbrauch einer Pflanze während ihrer gesamten Vegetationsperiode ist sehr groß. Dabei werden 98% des aufgenommenen Wassers wieder verdunstet (*Transpiration*), und nur der Rest dient zum Aufbau der Pflanzenstoffe.

Es verbrauchen

eine Maispflanze	etwa 200 *l* Wasser	in der Vegetationsperiode
eine Birke	etwa 7000 *l* Wasser	
eine 100jährige Buche	etwa 9000 *l* Wasser	

Wasserbedarf einiger Nutzpflanzen. Zur Erzeugung von 1 g Trockensubstanz werden benötigt von

Hirse	293 g Wasser	Sonnenblume	569 g Wasser
Kolbenhirse	302 g Wasser	Pferdebohne	571 g Wasser
Mais	368 g Wasser	Hafer	597 g Wasser
Zuckerrübe	397 g Wasser	Kartoffel	636 g Wasser
Erbse	416 g Wasser	Roggen	685 g Wasser
Weizen	435 g Wasser	Rotklee	797 g Wasser
Baumwolle	462 g Wasser	Luzerne	844 g Wasser
Gerste	534 g Wasser	Flachs	905 g Wasser
Gartenbohne	538 g Wasser		

Geschwindigkeit der Wasserleitung in Baumstämmen. Die Geschwindigkeit des Saftaufstiegs ist von der sogenannten osmotischen Saugkraft der Blätter abhängig, die ihrerseits wieder eine Folge der Verdunstung ist. Im Frühjahr wirkt dazu noch der Druck in den Zellen der Wurzeln, der sogenannte Wurzeldruck, ein. Die Geschwindigkeit des Saftaufstiegs muß dabei stets mit der Verdunstung Schritt halten, weil sonst die Pflanze — besonders das junge Blattwerk — beim Austrieb vertrocknet. Den Werten der wassersparenden Nadelbäume stehen als Extrem die der stark verdunstenden Lianen gegenüber.

(Höchstgeschwindigkeit je Stunde, mittags in Brusthöhe an mittelstarken Stämmen gemessen)

Nadelhölzer	meist unter 1 m
Lärche	etwas über 1 m
zerstreutporige Laubhölzer (Buche, Platane, Hainbuche, Erle, Ahorn, Linde, Birke, Pappel, Weide, Apfel, Birne)	1···5 m
ringporige Laubhölzer (Eiche, Esche, Ulme, Robinie, Edelkastanie)	10···50 m
Lianen (Kletterpflanzen)	bis 150 m

Das Bluten der Pflanzen. Das „Bluten" der Pflanzen ist besonders im Frühjahr sichtbar, wenn treibende Sprosse abgeschnitten werden. Es treten dann erstaunlich große Saftmengen aus, die in

ihrer wässerigen Flüssigkeit neben den üblichen Mineralsalzen auch Zucker und andere organische Stoffe gelöst enthalten.

An Blutungssaft setzen täglich ab

die Weinrebe	1 *l*
die Birke (sog. Birkenwasser)	5,1 *l*
die Agave	7.5 *l*
die Dattelpalme	8···10 *l*

Harz, das aus Wunden ausfließt, ist ein Nebenprodukt des Stoffwechsels der Pflanze; *Gummi*, der bei Krankheiten des Steinobstes hervortritt („Gummifluß"), ist ein Umwandlungsprodukt der Zellwände. Der Blutungssaft dagegen enthält mobilisierte Speicherstoffe und ernährt die Pflanze bis zur Entfaltung der Blätter.

V. Vom Leben der Pflanze

FORTPFLANZUNG

Fruchtbarkeit einiger Kräuter

(Durchschnittszahlen jährlicher Samenerzeugung)

Frauenflachs (Linaria vulgaris)	31000	Berufkraut (Erigeron canadensis)	120000
Mädesüß (Filipendula ulmaria)	34000	Gefleckter Knabenkraut (Orchis maculata)	180000
Schöllkraut (Chelidonium majus)	36000	Geruchlose Kamille (Matricaria maritima)	210000
Färberkamille (Anthemis tinctoria)	40000	Knopfkraut (Galinsoga parviflora)	300000
Kratzdistel (Cirsium arvense)	40000	Tabak (Nicotiana tabacum)	360000
Kreuzkraut (Senecio vernalis)	40000	Beifuß (Artemisia vulgaris)	700000
Nachtschatten (Solanum nigrum)	40000	Sophienkraut (Descurainia sophia)	730000
Hirtentäschel (Capsella bursa-pastoris)	64000	Schwarzpappel (Populus nigra)	28000000

Wieviel Samen von einer Pflanze erzeugt werden, hängt von der Zahl der Blüten bzw. der Größe ihrer Blütenstände ab. Die Unterschiede innerhalb der einzelnen Arten und von Art zu Art sind daher ziemlich groß. Es wurden z. B. an einem Riesenexemplar des Bilsenkrautes (Hyoscyamus niger) rund 2800 Kapseln mit etwa 960000 Samen festgestellt, während die Durchschnittszahl nur gegen 150 Kapseln mit zusammen ungefähr 45000 Samen beträgt.

Wurfweite einiger Schleuderpflanzen. Im Verlaufe des Reifens treten in den Geweben vieler Früchte unterschiedliche Spannungen auf. Bei Wasserentzug (Austrocknen) oder Berührung springt plötzlich die Frucht an dafür vorbereiteten Stellen auf, und die Samen werden ausgeschleudert.

Pflanze	Heimat	Wurfweite in m	geschleuderter Samen in g
Springschaumkraut (Cardamine impatiens)	Asien, Europa	0,9	0,005
Spritzgurke (Ecballium elaterium)	Mittelmeergebiet	bis 12,7	—
Quellkraut (Montia fontana)	Europa, Asien	2	—
Sumpfstorchschnabel (Geranium palustre)	Osteuropa, Westasien	2,5	0,005
Kleines Springkraut (Impatiens parviflora)	Ostasien	3	0,008
Waldveilchen (Viola silvatica)	Europa, Asien	3,75	—
Zaubernuß (Zauberhasel; Hamamelis virginiana)	Nordamerika	4	—
Hundsveilchen (Viola canina)	Europa, Asien	4,75	0,008
Lupine (Lupinus digitatus)	Gebiet des Nils	7	0,08
Bärenklau (Acanthus mollis)	Südeuropa	9,5	0,4
Sandbüchsenbaum (Hura crepitans)	tropisches Amerika	14	0,7
Bauhinie (Bauhinia purpurea)	Tropen	15	2,5

Widerstandsfähigkeit des ruhenden Samens. Von Samen, denen man das Wasser entzogen und die man danach 3 Stunden hindurch einer Temperatur von 100 °C ausgesetzt hatte, keimten trotzdem noch:

Linsensamen	49 %	Weizenkörner	75 %
Wickensamen	50 %	Majoransamen	80 %
Knoblauchsamen	60 %	Melonenkerne	96 %

Wasseraufnahme keimender Samen

(in % der Eigenmasse des trockenen Samens)

Hirse	25	Roggen	58
Mais	44	Raps, Kohl, Hafer	60
Weizen	45	Erbse	130
Gerste	48		

Plasma und Zellwände des ruhenden Samens müssen erst mit Wasser aufquellen, ehe die Keimung einsetzen kann.

Beginn und Grenzen der Keimung einiger Nutzpflanzen. In Versuchsreihen wurde festgestellt, daß bei den nachstehend aufgeführten Pflanzen die Keimung, d. h. das Sichtbarwerden der ersten Würzelchen nach folgender Zeit (in Stunden gemessen) einsetzte:

Bei einer Temperatur von	5	10,5	15,5	18	25	31	37,5	43,5	50 °C
Weizen	144	84	48	42	33	48	—	—	bei keiner Pflanzenart
Roggen	102	54	30	24	32	80	—	—	
Gerste	144	72	48	42	72	144	—	—	
Hafer	168	90	66	48	48	80	—	—	
Mais	—	272	78	72	56	48	48	80	
Rispenhirse	—	318	78	72	24	24	24	72	
Buchweizen	192	108	84	72	24	24	48	—	
Lupine	—	—	—	—	56	48	48	56	
Luzerne	144	90	66	48	24	24	24	—	
Rotklee	180	72	42	24	24	24	24	—	
Raps	144	48	24	24	—	—	—	—	
Sonnenblume	—	600	72	48	32	24	48	—	
Mohn	240	114	60	48	48	152	—	—	
Möhre	—	162	102	78	56	216	—	—	
Erbse	120	72	42	42	—	—	—	—	
Linse	144	96	48	42	—	—	—	—	
Kürbis	—	—	258	96	52	48	32	72	
Gurke	—	—	—	108	96	32	48	120	

„Lebendgebärende" Pflanzen. Das „Lebendgebären" der Pflanzen — die jungen Pflanzen entwickeln sich an der Mutterpflanze — ist häufig ein Ausgleich für ausbleibende Frucht- und Samenbildung. Es ist daher bei manchen Polar-, Alpen- und Schattenpflanzen, sowie bei Pflanzen regenreicher Gebiete zu finden. Lebendgebärend sind auch viele Vertreter der als Mangrove bezeichneten tropischen Küstengehölze, deren Samen in den Früchten am Mutterbaum auskeimen. Die schweren, 30 bis 100 cm großen Keimpflanzen fallen mit ihrer langen Wurzel senkrecht in den Schlamm hinein, wo sie sofort weiterwachsen.

Knäuelgras (Dactylis glomerata var. vivipara) Alpenrispengras (Poa alpina var. vivipara)	an Stelle der Blüten bilden sich junge Sprosse
Knollenknöterich (Polygonum viviparum)	an Stelle der Blüten entstehen im Blütenstande kleine Knollen, die sich bereits auf der Mutterpflanze beblättern und nach dem Abfallen sogleich Wurzeln treiben
Laucharten (Allium scorodoprasum, A. sativum, A. vineale u. a.)	neben echten Blüten bilden sich im Blütenstand zwiebelartige Brutknospen
Schneesteinbrech (Saxifrage nivalis)	im Blütenstand entstehen Brutknospen
Zahnwurz (Dentaria bulbifera) Scharbockskraut (Ficaria verna)	in den Blattachseln bilden sich Brutknollen
Brutblatt (Bryophyllum pinnatum u. a.)	am Rande der Blätter bilden sich kleine Pflanzen

WACHSTUM UND ENTWICKLUNG

Höchstwerte des Wachstums

(auf 1 Minute berechnet)

Die meisten Pflanzen	0,005 mm	Blattscheide der Banane	1,1 mm
Kürbissproß	0,1 mm	Staubfäden von Gräsern	1,8 mm
Bambusschößling	0,5 mm	Dictyophora (ein Pilz)	5 mm

Zuwachs in % der Wachstumszone
(auf 1 Minute berechnet)

Sproß der Zaunrübe	0,58
Bambussproß	1,27
Staubfäden der Gräser	60
Hyphen (Zellfäden) des Pilzes Botrytis	83
Pollenschläuche der Gartenbalsamine (Impatiens balsamina)	100
Hyphen des Schimmelpilzes Rhizopus nigricans	118
Pollenschläuche von Impatiens hawkeri	220

Der Zuwachs geschieht sowohl durch *Zellteilung* als auch durch *Zellstreckung*. Die Wachstumszonen sind die sehr kleinen Gebiete des erwachsenen Pflanzenkörpers, in denen noch Zellteilung stattfindet; sie liegen z. B. im Innern der Knospen, unter der Rinde der Bäume (für das Dickenwachstum), an den Wurzelspitzen, am Grunde der jungen Blätter, am Ende der Pilzfäden. Pollenschläuche und Staubfäden wachsen nur durch Streckung ihrer Zellen.

Verdoppelung der Länge. Es verdoppeln ihre Länge zu Beginn des Wachstums:

Botrytis (ein Pilz)	nach 1 Minute
Staubfäden der Gräser	nach 2···3 Minuten
Bakterien	nach 20···30 Minuten
Wurzeln der Ackerbohne	nach 180 Minuten

Wachstumsgeschwindigkeit von Blüten
(auf 1 Stunde berechnet)

Als Zuwachs in der Blumenkrone wurde festgestellt

bei der Ringelrose (Calendula officinalis)	0,08 mm
bei der Sonnenblume (Helianthus annuus)	0,45 mm
beim Wiesenstorchschnabel (Geranium pratense)	1,2 mm
bei der Glockenwinde (Ipomoea purpurea)	1,6 mm

Temperatur (in °C) und Wachstum

Pflanzenart	niedrigste ertragbare Lebenstemperatur (Minimum)	günstigste Wachstumstemperatur (Optimum)	höchste ertragbare Lebenstemperatur (Maximum)
Weizen, Roggen, Hafer, Gerste	0···5	25···30	30···37
Buchweizen	0···5	25···31	37···44
Flachs	0···5	25···31	31···35
Hanf	1···5	32···37	40···45
Klee	1···5	31···37	37···44
Luzerne	1···5	31···37	37···40
Erbse	1···5	25···31	31···38
Sonnenblume	5···10,5	31···37	37···44
Mais, Hirse	8···10,5	32···35	40···45
Kürbis	10···15,5	32···37	40···45
Gurke	12···18,5	31···37	40···45
Tabak	13···15	28···30	31···35

Pflanzen aus verschiedenen Klimaten stellen verschiedene Ansprüche an die Temperatur ihrer Umgebung. Die gerade noch ertragbare höchste Temperatur liegt für die meisten Landpflanzen bei 30 bis 45 °C, für Sukkulenten (Fettpflanzen, z. B. Agave, Aloe, Kakteen) bei 50 bis 52 °C, für wärmeliebende Bakterien bei 70 °C, für Algen heißer Quellen bei 83 °C. Zwischen den Temperaturen, welche die Ausbildung von Blättern, also vegetatives *Wachstum* ermöglichen, und solchen, die außerdem auch die *Entwicklung* der Pflanze bis zur Blütenbildung bewirken, besteht meistens ein Unterschied. So kommt Wintergetreide, das — entgegen der Regel — erst im Frühjahr ausgesät wird, nicht über den Ansatz von Blättern hinaus, für das „Schossen" fehlen genügend niedrige Temperaturen zu Beginn der Entwicklung. Nach der Stadienlehre *Lyssenkos* muß die Pflanze eine Reihe von Entwicklungsstadien mit ganz bestimmten Umweltbedingungen durchlaufen. Sind diese Bedingungen *nicht* erfüllt, so kann die Pflanze nicht in das nächste Stadium eintreten. So muß z. B. das Wintergetreide je nach Art und Sorte verschieden lange Zeit niedrigen Temperaturen ausgesetzt sein (*Jarowisationsstadium*), ehe sie das nächste Stadium (*Lichtstadium*) beginnen können.

Tageslänge und Entwicklung. Die Entwicklungsdauer bis zur Blütezeit ist bei den einzelnen Pflanzenarten verschieden. Sie wird von vielen Faktoren bestimmt. Unter diesen ist die Tageslänge für viele Pflanzen sehr wichtig (Photoperiodismus, Photoperiodizität).

Kurztagspflanzen verlangen zur Entwicklung der Blüten weniger als 12 Stunden Tageslicht, aber täglich eine mindestens 8 bis 12 Stunden dauernde, ununterbrochene Dunkelheit. Eine Verlängerung der Tageslänge schiebt den Blühtermin hinaus.
Zu diesen Pflanzen gehören vor allem die *Frühjahrsblüher* und die *Herbstblüher*, z. B. Topinambur, Sojabohne, Dahlie, Chrysantheme (Chrysanthemum indicum), Weihnachtsstern (Eupohrbia pulcherrima), Tabakarten.

Langtagspflanzen verlangen zur Entwicklung der Blüte eine tägliche Beleuchtung von mindestens 12 Stunden; zunehmende Verlängerung der Belichtung fördert die Blütenbildung. Langtagspflanzen sind vor allem die *Winterannuellen*, d. h. Einjahrspflanzen, die im Herbst bereits keimen und Blätter treiben und dann erst im späten Frühjahr oder im Verlaufe des Sommers blühen, und die einjährigen Sommerblumen, z. B.

Mais	Lein	Getreidearten
Möhre	Spinat	Sommerastern
Salat	Zaunwinde	Löwenmaul u. a.

Tagneutrale Pflanzen blühen sowohl im Lang- wie im Kurztag; z. B. Vogelmiere (Stellaria media), Gemeines Kreuzkraut (Senecio vulgaris), einjähriges Rispengras (Poa annua).

Mittlerer jährlicher Höhenzuwachs einiger Bäume
(unter günstigsten Bedingungen, in cm)

	1. bis 20. Jahr	21. bis 40. Jahr	41. bis 60. Jahr	61. bis 80. Jahr	81. bis 100. Jahr	101. bis 120. Jahr
Tanne	12,5	54,0	48,0	27,5	20,0	11,0
Fichte	30,5	48,0	38,0	25,0	16,0	11,5
Kiefer	44,5	40,0	27,0	19,0	19,0	11,5
Buche	27,5	40,5	34,0	27,0	14,0	13,5
Eiche	46,5	45,0	29,5	19,5	17,0	10,0
Erle	72,5	32,0	16,0	7,0	—	—

BLÜTEZEIT

Eintagsblüher

Name der Pflanze	Heimat	Blühdauer (Stunden)	öffnet sich um (Uhr)	schließt sich um (Uhr)
Stundenblume (Hibiscus trionum)	Südeuropa	3	8···9	11···12
Sonnentau (Drosera longifolia)	Nordamerika, Europa	5	9···10	14···15
Ackerspark (Spörgel; Spergula arvensis)	Europa	5	10···11	15···16
Prinzessin der Nacht (Selenicereus pteranthus)	Mexiko	5	20···21	2···3
Königin der Nacht (Selenicereus grandiflorus)	Jamaika, Cuba	5	21···22	2···3
Sauerklee (Oxalis stricta)	Nordamerika, Europa	7	8···9	15···16
Reiherschnabel (Erodium cicutarium)	Europa, Asien	8	8···9	16···17
Gartenwinde (Convolvulus tricolor)	Südeuropa, Nordafrika	10	7···8	17···18
Portulak (Portulaca grandiflora)	Brasilien	10	8···9	18···19
Zistrose (Cistus creticus)	Kreta	12	5···6	17···18
Braunrote Taglilie (Hemerocallis fulva)	Südeuropa, China, Japan	14	6···7	20···21

Mehrtagsblüher

Name der Pflanze	Heimat	Blühdauer (Tage)
Wiesenstorchschnabel (Geranium pratense)	Asien, Europa, Mittelmeergebiet	2
Schlafmohn (Papaver somniferum)	?	2
Feldrose (Rosa arvensis)	Europa	2
Ackersenf (Sinapis arvensis)	?Mittelmeergebiet, Orient	2
Geißblatt (Lonicera caprifolium)	*Südeuropa	3
Odermennig (Agrimonia eupatoria)	große Teile der Nordhalbkugel	3
Rote Lichtnelke (Melandrium rubrum)	Europa, Asien	4
Kalifornischer Mohn (Eschscholtzia californica)	*Kalifornien	5
Schachbrettblume (Fritillaria meleagris)	West-, Mittel-, Südeuropa; Kaukasus	5
Roter Fingerhut (Digitalis purpurea)	West-, Südeuropa	6
Gelbe Taglilie (Hemerocallis flava)	*Südeuropa, Sibirien, Japan	6
Pelargonie (Pelargonium zonale)	*Südafrika	7
Leberblümchen (Hepatica nobilis)	Europa	8
Alpenveilchen (Cyclamen purpurascens)	Alpengebiet	10
Safrankrokus (Crocus sativus)	?Griechenland oder Orient	12
Moosbeere (Vaccinium oxycoccus)	nördl. Europa und Asien	18
Cattleya labiata (Orchidee)	*tropisches Amerika	30
Paphiopedilum insigne (Orchidee)	*Himalaja	40
Epidendrum lindleyanum (Orchidee)	*tropisches Amerika	50
Odontoglossum rossii (Orchidee)	*Mexiko	80
Phalaenopsis schilleriana (Orchidee)	*Philippinen	135

* In Deutschland Zierpflanze.

Die Blütezeit schwankt innerhalb bestimmter Grenzen; sie hängt von der Witterung und in starkem Maße von der Befruchtung ab. Die gegebenen Werte sind Mittelwerte.

Linnés Blumenuhr in Uppsala
(ermittelt für 60° nördl. Breite)

Es öffnen sich um

3···5 Uhr Wiesenbocksbart (Tragopogon pratensis)
4···5 Uhr Wegwarte (Cichorium intybus)
Bitterkraut (Picris hieracioides)
5 Uhr Braunrote Taglilie (Hemerocallis fulva)
Gänsedistel (Sonchus oleraceus)
Islandmohn (Papaver nudicaule)
5···6 Uhr Löwenzahn (Taraxacum officinale)
6 Uhr Doldiges Habichtskraut (Hieracium umbellatum)
Geflecktes Ferkelkraut (Hypochoeris maculata)
6···7 Uhr Blasenschötchen (Vesicaria utriculata)
Mauerhabichtskraut (Hieracium murorum)
Gemeines Habichtskraut (Hieracium pilosella)
Saudistel (Sonchus arvensis)
7 Uhr Ästige Graslilie (Anthericum ramosum)
Gartenlattich, Salat (Lactuca sativa)
Weiße Seerose (Nymphaea alba)
8 Uhr Ackergauchheil (Anagallis arvensis)
Felsnelke (Tunica prolifera)
9···10 Uhr Ackerringelblume (Calendula arvensis)
Rote Schuppenmiere (Spergularia rubra)

Es schließen sich um

8···10 Uhr Löwenzahn
9···10 Uhr Wiesenbocksbart
10 Uhr Wegwarte
Gartenlattich (Salat)
Saudistel
11···12 Uhr Gänsedistel
12 Uhr Ackerringelblume
13 Uhr Felsnelke
14 Uhr Mauerhabichtskraut
14···15 Uhr Rote Schuppenmiere

15···16 Uhr	Ästige Graslilie	17 Uhr	Doldiges Habichtskraut
	Gemeines Habichtskraut		Weiße Seerose
16 Uhr	Blasenschötchen	19 Uhr	Islandmohn
16···17 Uhr	Geflecktes Ferkelkraut	19···20 Uhr	Braunrote Taglilie

Da gewisse, insbesondere von den Tageszeiten abhängende Mindestmengen an Licht und Wärme als Reize für das Öffnen und Schließen der Blüten wirken, kam *Linné* auf den Gedanken, bestimmte Pflanzen nach den Tageszeiten, zu denen sie ihre Blüten öffnen und schließen, zu einer Blumenuhr zusammenzustellen. Jeder Ort hat natürlich entsprechend seiner geographischen Lage und seinen sonstigen Klimabedingungen seine eigene „Blumenuhr". So geht z. B. die für Uppsala berechnete Blumenuhr für Deutschland um mehrere Stunden vor. Ebenso hat jeder Monat seine eigenen zeitanzeigenden Blüten. Nicht übersehen werden darf ferner, daß auch das Wetter einen entscheidenden Einfluß auf das „Funktionieren" der Blumenuhr ausübt.

Das Stäuben des Getreides und anderer Gräser

Es stäuben um

4···5 Uhr	Rispengras (Poa)	7···8 Uhr	Lieschgras (Phleum)
	Schwaden (Glyceria)		Ruchgras (Anthoxanthum)
	Glatthafer (Arrhenatherum)	8···9 Uhr	Hirse (Panicum)
5···6 Uhr	Weizen (Triticum)		Mohrenhirse (Sorgum, Andropogon)
	Gerste (Hordeum)	9···10 Uhr	Kolbenhirse (Setaria italica)
	Zittergras (Briza)	11···12 Uhr	Straußgras (Agrostis)
	Rasenschmiele (Deschampsia caespitosa)	12···13 Uhr	Perlgras (Melica)
6···7 Uhr	Roggen (Secale)		Pfeifengras (Molinia)
	Knäulgras (Dactylis)		Borstgras (Nardus)
	Bartgras (Bothriochloa)	14···15 Uhr	Trespe (Bromus)
	Zwenke (Brachypodium)	15···16 Uhr	Hafer (Avena)
	Schwingel (Festuca)	16···17 Uhr	Quecke (Agropyron)
	Honiggras (Holcus) (zum 1. Mal)	17···18 Uhr	Drahtschmiele (Deschampsia flexuosa)
7···8 Uhr	Goldhafer (Trisetum)	19···20 Uhr	Honiggras (Holcus) (zum 2. Mal)
	Fuchsschwanz (Alopecurus)		

ALTER

Höchstalter einiger Pflanzen

Niedere Pflanzen

Gewisse Bakterien (z. B. Choleravibrio)	20···30 Minuten
Kieselalgen	5 Stunden bis 5 Tage
Hefepilze	3 Wochen bis 3 Monate (bis 4 Jahre)
Blaualge Nostoc (in trockener Erde eingekapselt)	70 Jahre

Moose und Farne (in Jahren)

Bärlapp	5···7
Haarmoos (Widertonmoos)	5···10
Eichenfarn	7

Kräuter und Sträucher (in Jahren)

Glockenheide	10	Roter Hartriegel	50···80
Berberitze	24	Alpenrose (Rhododendron hirsutum)	54
Sonnenröschen	24	Alpenveilchen	60
Seidelbast	26	Rauschbeere	93
Heidelbeere	28	Kreuzdorn	100
Geißblatt	38	Silberwurz	100
Waldrebe	41	Haselnuß	120
Heidekraut	42	Weinrebe	130
Schlehe	47		

Buchsbaum	150
Myrte	156
Kornelkirsche	300
Efeu	300···450
Hundsrose	400
Weißdorn	400
Wacholder	500

Bäume (in Jahren)

Vogelbeerbaum	80	Birne	300
Holunder	100	Esche	300
Magnolie	100	Schwarzpappel	300
Birke	120	Kirsche	400
Schwarzerle	120	Walnuß	400
Stechpalme	120	Gemeine Kiefer	500
Hainbuche	150	Silberpappel	500
Silberweide	150	Ulme	500
Zitterpappel	150	Lärche	600
Apfel	200	Schwarzkiefer	600
Bergahorn	200	Spitzahorn	600
Grauerle	300	Winterlinde	600

Edelkastanie	700
Ölbaum	700
Wintereiche	700
Tanne	800
Rotbuche	900
Sommerlinde	900···1 000
Fichte	1 000
Arve	1 200
Sommereiche	1 200
Libanonzeder	1 200···1 300
Platane	1 300

Einzelne Exemplare können auch ein wesentlich höheres Alter erreichen (s. Tabelle „Berühmte Bäume").

Lebensdauer von Blättern und Nadeln
(in Jahren)

Kirschlorbeer (Prunus laurocerasus)	$1^1/_4$···3
Efeu (Hedera helix)	1···$2^1/_4$
Japanischer Liguster (Ligustrum japonicum)	1···3
Oleander (Nerium oleander)	1···3
Preiselbeere (Vaccinium vitis-idaea)	2
Gemeine Kiefer (Pinus silvestris)	2···3
Stechpalme (Ilex aquifolium)	2···4
Mammutbaum (Sequoia gigantea)	2···4
Zirbelkiefer (Pinus cembra)	2···6
Abendländischer Lebensbaum (Thuja occidentalis)	3···4
Sadebaum (Juniperus sabina)	3···4
Fichte (Picea abies)	3···5
Douglasie (Douglastanne, Pseudotsuga menziesii)	$3^1/_2$···$5^1/_2$
Lorbeer (Laurus nobilis)	4
Wacholder (Juniperus communis)	4···5
Tanne (Abies alba)	5···10
Bergkiefer (Pinus mugo)	5···13
Eibe (Taxus baccata)	6···8
Andalusische Tanne (Abies pinsapo)	12
Zimmertanne (Araucaria excelsa)	15
Welwitschia bainesii	100

Welwitschia bainesii bildet außer den Keimblättern nur zwei breite, lange Blätter aus, die vom Grunde her ständig nachwachsen.

SCHLAF UND TOD

Das „Schlafen" der Pflanzen. Viele Pflanzen nehmen nachts eine andere Haltung ein als am Tage. Diese „Schlaf"stellung ist keine Entspannungsstellung wie bei den Tieren, denn die Pflanzen haben keine Muskeln. Vielfach vollbringen sie sogar Kraftleistungen, um die Schlafstellung herbeizuführen. Diese Schlafbewegungen werden entsprechend dem Wechsel von Tag und Nacht durch Schwankungen der osmotischen Zustände in den Geweben oder durch ungleiches Wachstum an der Blattober- und Blattunterseite hervorgerufen. Sie sind daher an wachsenden Pflanzen besonders deutlich zu erkennen.

Schlafstellungen der Blüten

die Blüten schließen sich:	Krokus, Ackergauchheil, Tulpe, Löwenzahn und viele andere
die Blüten nicken:	Buschwindröschen, Veilchen, Wiesenglockenblume, Möhre

Schlafstellungen der Früchte

die Früchte drücken sich rückwärts an den Zweig:	Stachelbeere (junge Früchte)

Schlafstellungen der Blätter

die Blätter senken sich:	Springkraut, Bohne, Goldregen, Kastanie u. a.
die Blätter heben sich aufwärts:	Flachs, Rübsen
die Blätter drehen und falten sich:	Wiesenklee (dreht die Außenblätter auf die Kante, klappt sie zusammen und deckt das Mittelblatt dachförmig darüber)

Kältetod bei Pflanzen

Es erfrieren:	bei °C
Gurke	+ 2···3
Bohne	+ 1,5
Myrte, Orangenbaum	− 2···4
Zypresse, Feigenbaum	− 7···9
Zentifolie(n-Rose)	− 18
Weinrebe	− 21
Eiche, Buche	− 25
Pflaume, Kirsche	− 31
Apfel, Birne	− 33
Löffelkraut (Cochlearia officinalis) in Sibirien	unter − 46
Kieselalgen (Diatomeae)	− 200
Bakteriensporen	− 200···250

Das Erfrieren der Pflanzen geht auf verschiedene Ursachen zurück:

Der *Wasserreichtum des Plasmas* führt bei großer Kälte zur Bildung von Eis; beim plötzlichen Auftauen wird das Gefüge des Plasmas ernstlich geschädigt;
die Pflanze geht durch *Verdorren* zugrunde, da bei großem Frost einerseits die Wurzeln ihre Tätigkeit einstellen und andererseits − besonders an windigen Standorten − die Verdunstung der oberirdischen Pflanzenteile zu stark wird. Durch niedrige Temperaturen wird die Geschwindigkeit vieler chemischer Reaktionen gehemmt, so daß der harmonische Ablauf der Stoffwechselprozesse in der Zelle gestört wird.
Erbliche Veranlagung läßt manche tropischen Gewächse (etwa einige Orchideen) schon bei + 10 °C „erfrieren" oder die Blaualge Lyngbya thermalis sogar bereits unterhalb + 50 °C ihre Lebensfunktionen einstellen, während andererseits das Löffelkraut (Cochlearia officinalis) in Sibirien mehrere Monate hindurch ungeschützt −30 bis −40 °C aushält und sogar eine Minimaltemperatur von − 46 °C ohne Schaden überstand.

Der Hitzetod bei Pflanzen

Es ertrugen	Höchsttemperaturen von
die Geißelalge Hydrurus in Quellen	+ 16 °C
Landpflanzen	+ 30···45 °C
wasserspeichernde Pflanzen (z. B. Kakteen, Agaven)	+ 50···52 °C
wärmeliebende Bakterien	+ 70 °C
die Mannaflechte (Lecanora esculenta)	+ 70 °C
die Blaualge Lyngbya thermalis in den heißen Quellen Islands	+ 83 °C
trockene Sporen des Milzbrandbazillus (Bacterium anthracis)	+ 140 °C

Der Hitzetod der Pflanzen beruht auf der Gerinnung des Plasmas. Er erfolgt meist bei Temperaturen von über + 50 °C; viele Pflanzen stellen jedoch schon vorher das Wachstum und die Assimilation ein. Nur die Bakteriensporen und einige wenige spezialisierte Pflanzen ertragen höhere Temperaturen.

VI. Pflanze und Umwelt

PFLANZENGESELLSCHAFTEN

Bei näherer Betrachtung der *Vegetation*, d. h. der Summe aller Pflanzen eines bestimmten Gebietes (im Gegensatz zur *Flora*, das ist die Summe aller Pflanzenarten eines bestimmten Gebietes) läßt sich eine fast gleichartig wiederkehrende Vergesellschaftung bestimmter Arten zu abgrenzbaren Einheiten erkennen. Diese Einheiten bezeichnet man als *Pflanzengesellschaften*. Das sind gesetzmäßig von ihrer Umwelt abhängige, konkurrenzbedingte Kombinationen von Pflanzenarten. Sie setzen in ihrer Vielzahl die Vegetation zusammen. Ähnlich dem Verfahren in der Taxonomie der Arten ist es hier auch möglich, eine Anzahl von Kategorien aufzustellen, die charakterisiert werden durch das Auftreten bestimmter Arten, sogenannter *Charakter-* oder *Kennarten*. Die wichtigste Einheit der Vergesellschaftung von Pflanzen ist die *Assoziation* (etwa mit der Art des Systems vergleichbar). Mehrere Assoziationen können zusammengefaßt werden zu Verbänden, Ordnungen, Klassen; sie können weiterhin untergegliedert werden, z. B. in Subassoziationen und Varianten. Die hier zusammengestellte Übersicht ist eine Auswahl der wichtigsten Pflanzengesellschaften Deutschlands.

1. *Felsspaltengesellschaften*

   Vorkommen: in Felsspalten und Mauerritzen, besonders artenreich entwickelt im Gebirge.

   Wichtige Arten:
   - Mauerraute (Asplenium ruta-muraria)
   - Brauner Streifenfarn (Asplenium trichomanes)
   - Milzfarn (Ceterach officinarum)

2. *Unkrautgesellschaften*

   Vorkommen: als Begleiter der menschlichen Kulturen auf offenen, nährstoffreichen Böden, auf Schlammböden der Ufersäume.

   Wichtige Arten:
   - Vogelmiere (Stellaria media)
   - Kornblume (Centaurea cyanus)
   - Beifuß (Artemisia vulgaris)

3. *Schwimmblatt- und Laichkrautgesellschaften*

   Vorkommen: Wasserpflanzen des Süß- und Salzwassers.

   Wichtige Arten:
   - Wasserpest (Elodea canadensis)
   - Weiße Seerose (Nymphaea alba)
   - Schwimmendes Laichkraut (Potamogeton natans)

4. *Röhrichte und Großseggengesellschaften*

   Vorkommen: im Verlandungsgürtel der stehenden und fließenden Gewässer.

   Wichtige Arten:
   - Schilf (Phragmites communis)
   - Kalmus (Acorus calamus)
   - Froschlöffel (Alisma plantago-aquatica)

5. *Wirtschaftswiesen und -weiden (Grünlandgesellschaften)*

   Vorkommen: auf nährstoffreichen, nassen bis frischen Standorten.

   Wichtige Arten:
   - Wiesenfuchsschwanz (Alopecurus pratensis)
   - Sauerampfer (Rumex acetosa)
   - Wiesenklee (Trifolium pratense)

6. *Trocken- und Steppenrasen*

   Vorkommen: auf meist basenreichen, trockenen Böden in wärmeren Gebieten.

   Wichtige Arten:
   - Schafschwingel (Festuca ovina)
   - Zypressenwolfsmilch (Euphorbia cyparissias)
   - Golddistel (Carlina vulgaris)

7. *Magerrasen und Heiden*

   Vorkommen: auf sauren, humosen Böden in Gebieten mit hohen Niederschlägen (Nord- und Westdeutschland, Mittelgebirge).

   Wichtige Arten:
   - Borstgras (Nardus stricta)
   - Heidekraut (Calluna vulgaris)
   - Arnika (Arnica montana)

8. *Hoch- und Heidemoore*
Vorkommen: auf nassen, nährstoffarmen, sauren Rohhumusböden in Gebieten mit hohen Niederschlägen.
Wichtige Arten:
Torfmoose (Sphagnum-Arten)
Rundblättriger Sonnentau (Drosera rotundifolia)
Glockenheide (Erica tetralix)

9. *Nadelwälder*
Vorkommen: auf rohhumusreichen Böden als Kiefernwald in der nordöstlichen Ebene, als Fichtenwald in den Mittelgebirgen.
Wichtige Arten:
Heidelbeere (Vaccinium myrtillus)
Preiselbeere (Vaccinium vitis-idaea)
Fichtenspargel (Monotropa hypopitys var. hirsuta)

10. *Eichen-Birken-Wälder*
Vorkommen: auf basenarmen, sandigen oder flachgründigen Böden, vorwiegend in der Ebene Nordwestdeutschlands.
Wichtige Arten:
Hängebirke (Betula pendula)
Adlerfarn (Pteridium aquilinum)
Wiesenwachtelweizen (Melampyrum pratense)

11. *Erlen-Bruchwälder*
Vorkommen: auf Torfböden mit stauender Nässe.
Wichtige Arten:
Schwarz- oder Roterle (Alnus glutinosa)
Grauweide (Salix cinerea)
Bittersüßer Nachtschatten (Solanum dulcamara)

12. *Wärmeliebende Eichenmischwälder (Trockenwälder)*
Vorkommen: auf basenreichen, trockenen Böden in warmen Klimalagen.
Wichtige Arten:
Flaumeiche (Quercus pubescens)
Kornelkirsche (Cornus mas)
Elsbeere (Sorbus torminalis)

13. *Buchen- und Edellaubholzmischwälder*
Vorkommen: auf humosen, frischen, meist tiefgründigen Böden.
Wichtige Arten:
Hainbuche (Carpinus betulus)
Rotbuche (Fagus silvatica)
Sommerlinde (Tilia platyphyllos)

14. *Auenwälder*
Vorkommen: auf meist tiefgründigen Schwemmböden, mit hohem Grundwasserstand und zeitweiliger Überschwemmung.
Wichtige Arten:
Silberweide (Salix alba)
Schwarzpappel (Populus nigra)
Traubenkirsche (Prunus padus)

BODENANZEIGENDE PFLANZEN

Da die einzelnen Pflanzenarten bestimmte Ansprüche an ihre Umwelt stellen und deshalb nur an ihnen zusagenden Standorten gedeihen können, kann man von ihrem Vorkommen bei Kenntnis ihrer Ansprüche auf die Verhältnisse des Standorts Rückschlüsse ziehen. Die Pflanze dient gewissermaßen als „Meßinstrument" für bestimmte Standortseigenschaften. Besonders die Reaktions-, Nährstoff- und Wasserverhältnisse des Bodens können mit Hilfe sogenannter Zeigerpflanzen bestimmt werden.

1. Ackerunkräuter

Kalkzeiger	*Säurezeiger*
(Pflanzen, deren Hauptverbreitung auf kalkreiche Böden beschränkt ist)	(Pflanzen, die saure, meist nährstoffarme Böden bevorzugen)
Sommer-Adonisröschen (Adonis aestivalis)	Kleiner Sauerampfer (Rumex acetosella)
Feldrittersporn (Delphinium consolida)	Acker-Spark (Spergula arvensis)
Möhren-Haftdolde (Caucalis lappula)	Lammkraut (Arnoseris minima)

Kalkbevorzugende
(Pflanzen, die mehr oder minder basen- und humusreiche Böden bevorzugen)
Acker-Senf (Sinapis arvensis)
Flughafer (Avena fatua)
Hundspetersilie (Aethusa cynapium)

Säurebevorzugende
(Pflanzen, die für kalkarme Böden kennzeichnend sind)
Hederich (Raphanus raphanistrum)
Windhalm (Apera spica-venti)
Echte Kamille (Matricaria chamomilla)

Stickstoffzeiger
(Pflanzen, die stickstoffreiche, gare Böden bevorzugen)
Vogelmiere (Stellaria media)
Weißer Gänsefuß (Chenopodium album)
Garten-Wolfsmilch (Euphorbia peplus)

Staunässezeiger
(Pflanzen, die Staunässe und fehlende Durchlüftung der Böden anzeigen können)
Acker-Minze (Mentha arvensis)
Sumpf-Ziest (Stachys palustris)
Huflattich (Tussilago farfara)

Krumenfeuchtezeiger
(Pflanzen, die zu ihrem Gedeihen eine ständig frische bis feuchte Bodenkrume benötigen
Sumpfruhrkraut (Gnaphalium uliginosum)
Niederliegendes Mastkraut (Sagina procumbens)
Kröten-Binse (Juncus bufonius)

2. Grünlandpflanzen

Kalkzeiger trockener Standorte
Taubenskabiose (Scabiosa columbaria)
Aufrechter Ziest (Stachys recta)
Silberdistel (Carlina acaulis)

Säurezeiger trockener Standorte
Borstgras (Nardus stricta)
Silbergras (Corynephorus canescens)
Heidekraut (Calluna vulgaris)

Kalkzeiger nasser Standorte
Schwarzes Kopfried (Schoenus nigricans)
Sumpfblättrige Binse (Juncus subnodulosus)
Davalls Segge (Carex davalliana)

Säurezeiger nasser Standorte
Graugrüne Segge (Carex canescens)
Igel-Segge (Carex echinata)
Sparrige Binse (Juncus squarrosus)

Stickstoffzeiger
Wiesen-Kerbel (Anthriscus silvestris)
Bärenklau (Heracleum sphondylium)
Kohl-Kratzdistel (Cirsium oleraceum)

Nässezeiger
(Pflanzen nasser Standorte, die niemals austrocknen)
Wasserschwaden (Glyceria maxima)
Scharfe Segge (Carex acutiformis)
Sumpfdotterblume (Caltha palustris)

Staunässezeiger
(Pflanzen meist nasser Standorte, die aber im Sommer oft austrocknen)
Rasenschmiele (Deschampsia caespitosa)
Flatterbinse (Juncus effusus)
Gilbweiderich (Lysimachia vulgaris)

3. Waldpflanzen

Kalkzeiger
Akelei (Aquilegia vulgaris)
Haselwurz (Asarum europaeum)
Frauenschuh (Cypripedium calceolus)

Säurezeiger
Preiselbeere (Vaccinium vitis-idaea)
Heidelbeere (Vaccinium myrtillus)
Wald-Wachtelweizen (Melampyrum silvaticum)

Kalkbevorzugende
Seidelbast (Daphne mezereum)
Leberblümchen (Hepatica nobilis)
Waldzwenke (Brachypodium silvaticum)

Säurebevorzugende
Geschlängelte Schmiele (Deschampsia flexuosa)
Adlerfarn (Pteridium aquilinum)
Wiesen-Wachtelweizen (Melampyrum pratense)

Stickstoffzeiger
Große Brennessel (Urtica dioica)
Tollkirsche (Atropa belladonna)
Schwarzer Holunder (Sambucus nigra)

Nässezeiger
Mädesüß (Filipendula ulmaria)
Wasser-Schwertlilie (Iris pseudacorus)
Schlangenwurz (Calla palustris)

Staunässezeiger
Pfeifengras (Molinia coerulea)
Knotige Braunwurz (Scrophularia nodosa)
Faulbaum (Rhamnus frangula)

RUDERALPFLANZEN

Hierher gehören Pflanzen, die besonders hohe Ansprüche an den Stickstoffgehalt des Bodens stellen. Die zusammengestellte Auswahl von 44 Arten entstammt 13 verschiedenen Familien, den Nesselgewächsen (2), Knöterichgewächsen (3), Gänsefußgewächsen (10), den mit diesen nahe-verwandten Amarantgewächsen (1), Kreuzblütlern (4), Schmetterlingsblütlern (2), Malvengewächsen (1), Nachtkerzengewächsen (1), Borretschgewächsen (1), Lippenblütlern (1), Nachtschattengewächsen (2), Korbblütlern (12), Süßgräsern (4).

Besonders im Bereich der Städte- und Industrieanlagen kommen vor:

Auf frischen Trümmern, Schutt- und Müllplätzen

Gestreifter Gänsefuß (Chenopodium strictum)
Weißer Gänsefuß (Chenopodium album)
Spreizende Melde (Atriplex patula)
Krummer Amarant (Amarantus retroflexus)
Wegerauke (Sisymbrium officinale)
Schwarzer Nachtschatten (Solanum nigrum)
Kohl-Gänsedistel (Sonchus oleraceus)

Diese Arten gehörten zur 1. Stufe der Trümmerbesiedlung in zerstörten Städten.

Auf gefestigten Trümmern, Schutt- und Müllplätzen

Glanz-Melde (Atriplex nitens)
Langblättrige Melde (Atriplex oblongifolia)
Besenrauke (Descurainia sophia)
Schmalblättriger Doppelsame (Diplotaxis tenuifolia)
Kompaßlattich (Lactuca serriola)
Kanadisches Berufkraut (Erigeron canadensis)

Diese Arten gehörten zur 2. Stufe der Trümmerbesiedlung in zerstörten Städten.

Auf älteren Trümmern, Schutt- und Müllplätzen

Große Brennessel (Urtica dioica)
Rainfarn (Tanacetum vulgare)
Gemeiner Beifuß (Artemisia vulgaris)
Lanzettblättrige Kratzdistel (Cirsium vulgare)
Krause Distel (Carduus crispus)

in wärmeren Gebieten treten hinzu

Bilsenkraut (Hyoscyamus niger)
Eselsdistel (Onopordon acanthium)
Stacheldistel (Carduus acanthoides)

Diese Arten gehören zur 3. Stufe der Trümmerbesiedlung in den Städten.

Auf Gleisschotter, in Steinbrüchen und Kiesgruben

Rispen-Ampfer (Rumex thyrsiflorus)
Weißer Steinklee (Melilotus albus)
Echter Steinklee (Melilotus officinalis)
Gemeine Nachtkerze (Oenothera biennis)
Natterkopf (Echium vulgare)
Huflattich (Tussilago farfara)

Auf Brachstellen, Bauplätzen, an Weg- und Straßenrändern

Mäusegerste (Hordeum murinum)
Taube Trespe (Bromus sterilis)
Dachtrespe (Bromus tectorum)
Italienisches Raygras (Lolium multiflorum)

Besonders im Bereich der Dörfer treten auf:

An Dorfstraßen und Bauernhöfen

Stumpfblättriger Ampfer (Rumex obtusifolius)
Guter Heinrich (Chenopodium bonus-henricus)
Schwarznessel (Ballota nigra)
Kleine Klette (Arctium minus)
Filzklette (Arctium tomentosum)

Auf Müllhaufen, an Gartenzäunen und Mauern

Kleine Brennessel (Urtica urens)
Mauer-Gänsefuß (Chenopodium murale)
Hirtentäschelkraut (Capsella bursa-pastoris)
Wegmalve (Malva neglecta)

An Dorfgräben, Jauchegruben und -rinnen
Ampferknöterich (Polygonum lapathifolium)
Roter Gänsefuß (Chenopodium rubrum)
Blaugrüner Gänsefuß (Chenopodium glaucum)
Sproß-Melde (Atriplex hastata)

VII. Verbreitung der Pflanzen

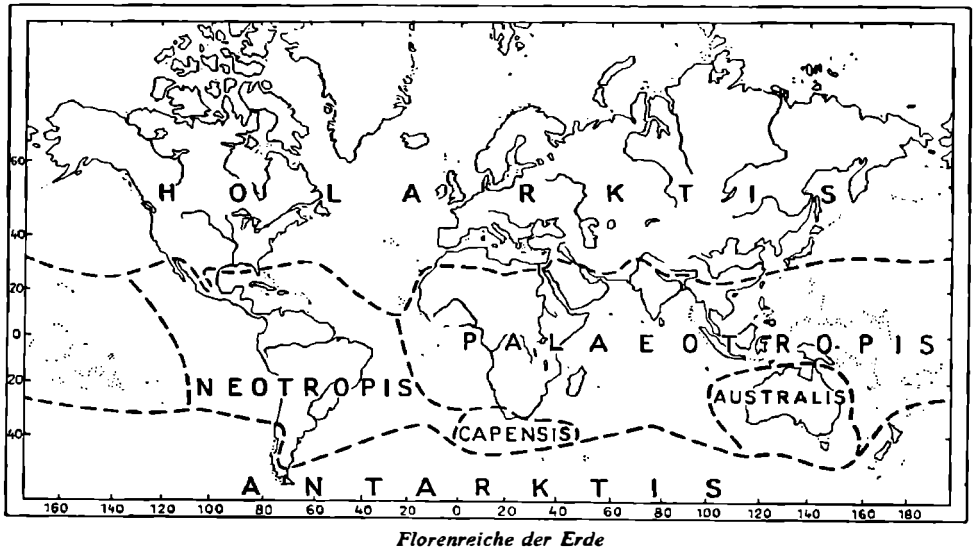
FLORENREICHE

Die Entwicklung der *Flora* ist auf den Kontinenten der Erde unterschiedlich gewesen, da natürliche Schranken (Ozeane, Hochgebirge, Wüsten) dem Austausch der Florenelemente hinderlich waren. Deshalb kann man bestimmte Räume abgrenzen, die sich durch nur ihnen eigene *Florenelemente* auszeichnen und eine relativ einheitliche Flora aufweisen. Es werden meist 6 *Florenreiche* unterschieden, die weiterhin in mehrere *Florengebiete* unterteilt werden können.

Florenreich	Verbreitungsgebiet	Charakteristische Florenelemente	Vegetationsformen
1. *Holarktis*	nördliche Hemisphäre mit Ausnahme tropischer und z. T. subtropischer Gebiete	Weidengewächse, Birkengewächse, Hahnenfußgewächse, viele Gattungen der Kreuzblütler, Rosengewächse, Doldenblütler, Primelgewächse, Glockenblumengewächse	sommergrüne Laubwälder, Tundren, Nadelwälder, Zwergstrauchheiden, Moore, Hartlaubgehölze, Steppen, Wüsten
2. *Paläotropis*	tropische und z. T. subtropische Zone der Alten Welt	Ingwergewächse, Bananen, Feigenbäume (Ficus) mit über 1000 Arten, Muskatnußgewächse	subtropische und tropische Regenwälder, Monsunwälder (in Trockenzeiten entlaubte Wälder), Trokkenwälder, Dornbüsche, Savannen (offenes Grasland mit einzelnen Bäumen), Mangroveformation (Ebbe und Flut ausgesetzte Küstenwälder)
3. *Neotropis*	tropische und z. T. subtropische Zone der Neuen Welt	Ananasgewächse, Kakteen, Agaven, Palmlilien (Yucca), Fuchsien	wie vor.
4. *Australis*	Australien, Tasmanien, z. T. Neuseeland	Eukalyptusbäume, Akazien mit Phyllodien (geflügelte, spreitenähnliche Blattstiele), Grasbäume (Xanthorrhoea, Kingia)	tropische Regenwälder, Hartlaubwälder und -gebüsche, parkartige Savannen, Trockenbüsche, Steppen, Wüsten
5. *Capensis*	Kapland	Mittagsblumengewächse, Pelargonien, viele Knollen- und Zwiebelpflanzen aus den Familien der Narzissengewächse, Schwertliliengewächse, Orchideen, z. B. Clivien, Freesien	Hartlaubgebüsche, Sukkulentenwüsten
6. *Antarktis*	südliches Südamerika, antarktische Inseln, z. T. Neuseeland	Südbuche (Nothofagus)	Gebirgswälder, Zwergstrauchheiden, Moore, Polsterpflanzenformationen

KOSMOPOLITEN

Mit diesem Begriff bezeichnet man Pflanzenarten, deren Verbreitungsgebiet (Areal) abgesehen von mehr oder minder großen Zwischenräumen sich über die gesamte Erde erstreckt. Es handelt sich meist um Pflanzen, die sich leicht über große Strecken verbreiten lassen, wie z. B. Mikroorganismen, Wasserpflanzen (Verschleppung durch Wasservögel), Unkraut- und Ruderalpflanzen.



Florenreiche der Erde

Beispiele:

Brunnenlebermoos (Marchantia polymorpha)
Adlerfarn (Pteridium aquilinum)
Schilfrohr (Phragmites communis), fehlt im Amazonasgebiet
Breitblättriger Rohrkolben (Typha latifolia), fehlt im mittleren und südlichen Afrika
Brunnenkresse (Nasturtium officinale)
Froschlöffel (Alisma plantago-aquatica)
Kleine Wasserlinse (Lemna minor)
Große Brennessel (Urtica dioica), fehlt in der Arktis und den Tropen
Vogelknöterich (Polygonum aviculare), fehlt in der Arktis und den Tropen
Hirtentäschel (Capsella bursa-pastoris), fehlt in der Arktis und den Tropen
Breitwegerich (Plantago major), fehlt in der Arktis und den Tropen
Löwenzahn (Taraxacum officinale), fehlt in der Arktis und den Tropen

Kosmopoliten sind nicht gleichzusetzen mit *Ubiquisten*. Unter Ubiquisten versteht man Arten, die an den verschiedensten Standorten vorkommen können, also ökologische Allerweltspflanzen, während die Kosmopoliten geographische Allerweltspflanzen sind. Ubiquisten im reinen Sinne gibt es eigentlich gar nicht, denn alle Pflanzen stellen doch irgendwelche Ansprüche an ihre Umwelt. Auch die Kosmopoliten wählen trotz ihrer weltweiten Verbreitung nur ihnen zusagende bestimmte Standorte aus.

ENDEMITEN

Unter diesem Begriff versteht man Pflanzen, deren Verbreitungsgebiet (Areal) sehr klein und eng begrenzt ist. Sie sind in dieser Hinsicht das Gegenteil der Kosmopoliten. Man unterscheidet zwischen *Paläo-* oder *Reliktendemismus* und *Neoendemismus*.
Im ersten Fall handelt es sich um Arten, die im Laufe ihrer Geschichte ein größeres Areal einnahmen, aber schließlich auf ein kleines Gebiet zurückgedrängt wurden. Im zweiten Fall sind es meist Arten aus Gattungen, die eine rege Artneubildung aufweisen, die sich aber, durch bestimmte Hindernisse beschränkt, nicht über große Gebiete ausbreiten konnten. Reich an Neoendemiten sind vor allem Gebirge und Inseln. Auf den Kanarischen Inseln sind z. B. 45 % aller Arten Endemiten, auf Hawaii sogar 90 %.

Beispiele für *Paläoendemiten*:

Name	Heutige Verbreitung	Frühere Verbreitung
Ginkgobaum (Ginkgo biloba)	China (Provinz Chekiang)	Nordhemisphäre
Mammutbaum (Sequoia gigantea)	Kalifornien (Sierra Nevada)	Nordhemisphäre

Beispiele für *Neoendemiten*:
Verschiedene Arten der Gattungen
Steinbrech (Saxifraga)
Rose (Rosa)
Primel (Primula)
Enzian (Gentiana)
Habichtskraut (Hieracium)

ADVENTIVPFLANZEN

Unter diesem Begriff versteht man Pflanzen, die ursprünglich in unserem Gebiet nicht einheimisch waren und in den meisten Fällen erst durch Menschen zu uns gelangten. Es lassen sich nach dem Grad ihrer Einbürgerung, dem Zeitpunkt ihres ersten Auftretens und der Art ihrer Einschleppung verschiedene Gruppen unterscheiden.

Ankömmlinge (Passanten). Pflanzen, die nur vereinzelt auftreten und meist schon im darauffolgenden Jahr wieder verschwunden sind. Sie kommen oft in der Nähe von Hafen- und Eisenbahnanlagen vor, auf Stapelplätzen, an industriellen Betrieben, die Rohstoffe aus dem Ausland beziehen (z. B. Wollkämmereien) und zwischen aus fremdem Saatgut angezogenen Kulturpflanzen.
Hierzu gehört eine sehr große Anzahl von Arten, z. B. Jungpflanzen mehrjähriger Pflanzen wärmerer Gebiete, die regelmäßig schon im ersten Winter zugrunde gehen, oder einjährige Arten tropischer Gebiete, deren Samen bei uns nicht ausreifen.

Kulturpflanzen. Sie werden absichtlich als Nutz- oder Zierpflanzen eingeführt und würden bei fehlender menschlicher Pflege wieder verschwinden.

Neubürger (Adventivpflanzen im engeren Sinn). Pflanzen, die als eingebürgert angesehen werden können. Dabei unterscheidet man Arten, die schon in prähistorischer und frühester historischer Zeit eingeschleppt wurden (*Archäophyten*) und Arten, deren Einbürgerung erst später erfolgte, und sich oft zeitlich genau festlegen läßt (*Neophyten*). Einige Beispiele aus verschiedenen Zeiten der Einschleppung sollen das veranschaulichen.

Archäophyten

Funde der Bronzezeit

Name	Heimat	Bemerkungen
Flughafer (Avena fatua)	Mittelmeergebiet	lästiges Ackerunkraut auf Wegen, Straßen und Äckern
Vogelknöterich (Polygonum aviculare)	Kosmopolit	
Klatschmohn (Papaver rhoeas)	Westasien?	Ackerunkraut auf neutralem und basischem Boden
Ackersenf (Sinapis arvensis)	Mittelmeergebiet	Ackerunkraut auf neutralem und basischem Boden
Sonnenwolfsmilch (Euphorbia helioscopia)	Mittelmeergebiet	Ackerunkraut auf neutralem und basischem Boden, besonders in Hackfrüchten
Ackergauchheil (Anagallis arvensis)	Mittelmeergebiet	weitverbreitetes Ackerunkraut

Funde der jüngeren Steinzeit

Name	Heimat	Bemerkungen
Kornrade (Agrostemma githago)	östliches Mittelmeergebiet	früher gemeines Getreideunkraut, heute durch Saatgutreinigung selten geworden
Vogelmiere (Stellaria media)	Kosmopolit	Acker- und Gartenunkraut
Weißer Gänsefuß (Chenopodium album)	Kosmopolit	Unkraut- und Schuttpflanze
Ackerhellerkraut (Thlaspi arvense)	Europa, Asien	Ackerunkraut auf neutralem und basischem Boden
Kornblume (Centaurea cyanus)	Mittelmeergebiet	Ackerunkraut

Funde der gallo-römischen Zeit

Name	Heimat	Bemerkungen
Schöllkraut (Chelidonium majus)	Europa, Asien	an stickstoffreichen Orten (Mauern, Gebüsche, Schutt)
Portulak (Portulaca oleracea)	Mittelmeergebiet	auf sandigem Boden in sommerwarmen Gebieten
Schwarznessel (Ballota nigra)	Mittelmeergebiet	auf Schutt, an Hecken und Zäunen
Ackerröte (Sherardia arvensis)	Mittelmeergebiet	Ackerunkraut auf neutralem und saurem Boden

Neophyten

Garten- und Kulturflüchtlinge (alte Zier- [Z] und Arzneipflanzen [A])

Name	Heimat	Bemerkungen
Doldiger Milchstern, Sachsenstern (Ornithogalum umbellatum)	Mittelmeergebiet	(Z) auf Wiesen
Traubenhyazinthe (Muscari racemosum)	Mittelmeergebiet	(Z) Weinberge
Osterluzei (Aristolochia clematitis)	Mittelmeergebiet	(A) an Zäunen, auf Weinbergen
Winterling (Eranthis hiemalis)	Südosteuropa	(Z) Gebüsche, Hecken
Echtes Herzgespann (Leonurus cardiaca)	Südeuropa, Asien	(A) in Dörfern an stickstoffreichen Stellen
Zymbelkraut (Cymbalaria vulgaris)	Mittelmeergebiet	(Z) an Mauern und Felsen

Eingeführte und eingeschleppte Pflanzen, deren erstes Auftreten nachzuweisen ist. Es handelt sich meist um unbeabsichtigt eingeschleppte Pflanzen, die sich entweder als Unkräuter einbürgerten oder offene Standorte besiedelten, an denen sie nicht so stark der Konkurrenz der einheimischen Arten ausgesetzt sind.

Name	Heimat	in Mitteleuropa aufgetreten seit etwa	Bemerkungen
Kalmus (Acorus calamus)	Ostasien	1544	als Arzneipflanze über Konstantinopel eingeführt; 1728 bei Ulm verwildert, jetzt verbreitet an Fluß- und Teichufern
Nachtkerze (Oenothera biennis)	Nordamerika	1614	als Gemüsepflanze eingeführt; wächst an Bahndämmen; wird von Nachtfaltern bestäubt
Berufkraut (Erigeron canadensis)	Nordamerika	1655	gedeiht auf dürrstem Boden
Franzosenkraut, Knopfkraut (Galinsoga parviflora)	Südamerika	1800	aus dem Botanischen Garten Berlin verwildert; heute lästiges Unkraut; eine Pflanze kann bis zu 300000 Früchte produzieren
Persischer Ehrenpreis (Veronica persica)	Vorderasien	1805	vom Botanischen Garten in Karlsruhe aus rasche Verbreitung über ganz Deutschland; jetzt Acker- und Gartenunkraut
Gauklerblume (Mimulus guttatus)	Nordwest- und Südamerika	1830	wächst an Bach- und Flußufern
Kleines Springkraut (Impatiens parviflora)	Mongolei, Ostsibirien	1837	aus botanischen Gärten verschleppt; wächst besonders in feuchten Laubwäldern; Samen werden fortgeschleudert

Name	Heimat	in Mitteleuroa aufgetreten seit etwa	Bemerkungen
Strahlenlose Kamille (Matricaria matricarioides)	Ostasien	1852	besonders durch die Eisenbahn verbreitet; bildet an Wegrändern dichte Bestände
Wasserpest (Elodea canadensis)	Nordamerika	1859	wurde zur Wasser„pest" wegen ihrer unheimlich starken ungeschlechtlichen Vermehrung (durch überlebende Seitensprosse des abgestorbenen Stengels). Nur die weibliche Pflanze des zweihäusigen Gewächses ist in Europa verbreitet
Vielblättrige Lupine (Lupinus polyphyllus)	Nordamerika	1896	Gartenstaude; im Forst bei Kultivierung nährstoffarmer Böden angesät (Stickstoffsammler!); auf Kahlschlägen oft verwildert

Beispiele aus anderen Gebieten sind die Agaven und Kakteen, besonders Opuntien, die aus ihrer mittel- und südamerikanischen Heimat in ähnliche Klimazonen anderer Erdteile gebracht wurden und sich vor allem im Mittelmeergebiet, in Südafrika und Australien so gut eingebürgert haben, daß sie mitbestimmend sind für den Charakter der Vegetation dieser Gebiete. In Neuseeland haben sich über 600 adventive Arten vollständig eingebürgert, so besonders gut Arten aus dem atlantischen Klimabereich, wie z. B. der Besenginster (Cytisus scoparius) und der Rote Fingerhut (Digitalis purpurea).

Diejenigen Arten, die meist unbeabsichtigt mit Kulturpflanzen eingeführt wurden und nur an den vom Menschen geschaffenen künstlichen Standorten gedeihen, bezeichnet man auch als Ansiedler oder Kolonisten. Dazu gehören die Ackerunkräuter (*Segetalpflanzen*) und die Pflanzen der stickstoffreichen Schutt- und Abfallstellen (*Ruderalpflanzen*). Die Mehrzahl der in Deutschland eingebürgerten Arten besteht aus dieser Gruppe. Nur etwa 40 bis 50 fremden Arten ist es bei uns gelungen, sich an natürlichen Standorten anzusiedeln und den Konkurrenzkampf mit den ursprünglich einheimischen Arten zu bestehen.

VIII. Nutzpflanzen

Nutzpflanzen sind Pflanzen, die vom Menschen in irgendeiner Form genutzt werden. Zu ihnen gehören die Kulturpflanzen (außer den Zierpflanzen) und wildwachsende Pflanzen mit wirtschaftlichem Wert. Pflanzen, die in Deutschland im Freien angebaut werden können oder wild vorkommen, sind durch * gekennzeichnet. Ist der Anbau nur bedingt unter günstigen klimatischen Verhältnissen möglich, steht das Zeichen in Klammer: (*).

NAHRUNGSMITTEL

Stärkepflanzen

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
(*)Sojabohne (Glycine max)	Schmetterlingsblütler	Ostasien	Samen
Maniok (Manihot esculenta)	Wolfsmilchgewächse	Brasilien	Knollen
Batate (Ipomoea batatas)	Windengewächse	Südamerika	Knollen
*Kartoffel (Solanum tuberosum)	Nachtschattengewächse	südamerikanische Anden	Knollen
*Einkorn (Triticum monococcum)	Süßgräser	Kleinasien	Körner
*Emmer (Triticum dicoccon)	Süßgräser	Äthiopien	Körner

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Hartweizen (Triticum durum)	Süßgräser	Äthiopien	Körner
*Weizen (Triticum aestivum)	Süßgräser	südliches Zentralasien	Körner
*Spelz, Dinkel (Triticum spelta)	Süßgräser	—	Körner
*Roggen (Secale cereale)	Süßgräser	Vorderasien	Körner
*Gerste (Hordeum vulgare, Hordeum distichon)	Süßgräser	Vorderasien	Körner
*Hafer (Avena sativa)	Süßgräser	südöstliches Asien	Körner
*Mais (Zea mays)	Süßgräser	Mexiko	Körner
*Hirse (Panicum miliaceum)	Süßgräser	Ostindien	Früchte
Durra, Mohrenhirse, Kafir (Sorgum-Arten)	Süßgräser	Ostindien	Früchte
Rohrkolbenhirse (Pennisetum spicatum)	Süßgräser	Afrika	Früchte
Reis (Oryza sativa)	Süßgräser	tropisches Asien und Australien	Körner
Sago (Metroxylon rumphii)	Palmen	Molukken	Mark des Stammes
Taro (Colocasia esculenta)	Aronstabgewächse	Indien	Rhizom
Yams (Dioscorea-Arten)	Yamsgewächse	Tropen	Knollen
Pfeilwurz (Maranta arundinacea)	Pfeilwurzgewächse	Westindien	knollenförmige Ausläufer

Zuckerpflanzen

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Zuckerrübe (Beta vulgaris var.)	Gänsefußgewächse	Mittelasien	Wurzel
Zuckerrohr (Saccharum officinarum)	Süßgräser	Südasien	Stengelmark

Ölpflanzen

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Mohn (Papaver somniferum)	Mohngewächse	östliches Mittelmeergebiet	Samen
*Raps (Brassica napus)	Kreuzblütler	Mittelmeergebiet	Samen
*Rübsen (Brassica rapa)	Kreuzblütler	Mittelmeergebiet	Samen
Erdnuß (Arachis hypogaea)	Schmetterlingsblütler	Südamerika	Samen
*Lein (Linum usitatissimum)	Leingewächse	Südwestasien, Mittelmeergebiet	Samen
Ölbaum (Olea europaea)	Ölbaumgewächse	Mittelmeergebiet	Früchte
Sesam (Sesamum indicum)	Sesamgewächse	Indien, Sundainseln	Samen
*Sonnenblume (Helianthus annuus)	Korbblütler	Nordamerika	Früchte
Kokospalme (Cocos nucifera)	Palmen	Tropen	Früchte
Ölpalme (Elaeis guineensis)	Palmen	Afrika	Früchte

Gemüsepflanzen

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Spinat (Spinacia oleracea)	Gänsefußgewächse	Mittelasien	Blätter
*Mangold (Beta vulgaris var.)	Gänsefußgewächse	Mittelmeergebiet	Blattstiele, Blätter
*Rote Rübe (Beta vulgaris var.)	Gänsefußgewächse	Mittelmeergebiet	Wurzel
*Kohl (Brassica oleracea) Stammpflanze von: Kohlrabi, Rosenkohl, Grünkohl, Krauskohl, Futterkohl, Weißkohl, Rotkohl, Wirsing, Blumenkohl	Kreuzblütler	Küsten des Mittelmeeres und Atlantischen Ozeans	z. T. Stengel z. T. Blätter z. T. Blüten
*Chinakohl (Brassica pekinensis)	Kreuzblütler	Ostasien	Blätter
*Meerrettich (Armoracia rusticana)	Kreuzblütler	Südosteuropa	Wurzel
*Rettich, Radieschen (Raphanus sativus var.)	Kreuzblütler	östliches Mittelmeergebiet	Wurzel
*Erbse (Pisum sativum)	Schmetterlingsblütler	östliches Mittelmeergebiet	Samen
*Gartenbohne (Phaseolus vulgaris)	Schmetterlingsblütler	Südamerika	Früchte
*Feuerbohne (Phaseolus coccineus)	Schmetterlingsblütler	Südamerika	Früchte
Mungobohne (Phaseolus mungo)	Schmetterlingsblütler	Indien, Afrika	Samen
Mondbohne (Phaseolus lunatus)	Schmetterlingsblütler	Südamerika	Samen
*Ackerbohne (Vicia faba)	Schmetterlingsblütler	westliches Mittelmeergebiet	Samen
Schwertbohne (Canavalia ensiformis)	Schmetterlingsblütler	tropisches Amerika	Samen
Mkunde (Vigna sinensis)	Schmetterlingsblütler	Vorderindien	Samen, Triebe
Kichererbse (Cicer arietinum)	Schmetterlingsblütler	Iran	Samen
*Linse (Lens culinaris)	Schmetterlingsblütler	östliches Mittelmeergebiet	Samen
Gombo (Hibiscus esculentus)	Malvengewächse	Ostindien	Früchte
*Sellerie (Apium graveolens)	Doldenblütler	Kosmopolit	Knollen
*Petersilie (Petroselinum crispum)	Doldenblütler	Mittelmeergebiet	Wurzel
*Fenchel (Foeniculum vulgare)	Doldenblütler	Mittelmeergebiet	knollenartige Blattscheiden
*Pastinak (Pastinaca sativa)	Doldenblütler	Europa, Asien	Wurzel
*Möhre (Daucus carota)	Doldenblütler	Europa, Asien	Wurzel
Batate (Ipomoea batatas)	Windengewächse	Südamerika	Knollen
*Kartoffel (Solanum tuberosum)	Nachtschattengewächse	südamerikanische Anden	Knollen
(*)Eierfrucht, Aubergine (Solanum melongena)	Nachtschattengewächse	Indien, Mittelmeergebiet	Früchte
*Tomate (Lycopersicon esculentum)	Nachtschattengewächse	Mittelamerika	Früchte
(*)Paprika (Capsicum annuum)	Nachtschattengewächse	Südamerika	Früchte
*Rapünzchen (Valerianella locusta)	Baldriangewächse	Europa	Blätter

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Gurke (Cucumis sativus)	Kürbisgewächse	Südasien	Früchte
*Kürbis (Cucurbita pepo)	Kürbisgewächse	Mittelamerika	Früchte
*Topinambur (Helianthus tuberosus)	Korbblütler	Nordamerika	Knollen
*Schikoree (Cichorium intybus var.)	Korbblütler	Mittelmeergebiet	junge Sprosse
*Endivie (Cichorium endivia)	Korbblütler	Mittelmeergebiet	Blätter
*Schwarzwurzel (Scorzonera hispanica)	Korbblütler	Mittelmeergebiet	Wurzel
*Salat (Lactuca sativa)	Korbblütler	Asien	Blätter
(*)Artischocke (Cynara scolymus)	Korbblütler	Mittelmeergebiet	Blütenboden
Bambus (Phyllostachys-Arten)	Süßgräser	Asien, Afrika	junge Sprosse
*Porree (Allium porrum)	Liliengewächse	Südeuropa	ganze Pflanze
*Küchenzwiebel (Allium cepa)	Liliengewächse	Südwestasien	Zwiebel
*Spargel (Asparagus officinalis)	Liliengewächse	östliches Mittelmeergebiet	junge Sprosse

Obst und Nüsse

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Zirbelnuß (Pinus cembra)	Kieferngewächse	Alpen, Karpaten, Nordsibirien	Samen
*Walnuß (Juglans regia)	Walnußgewächse	Südosteuropa	Früchte
Pekannuß (Carya illinoensis)	Walnußgewächse	USA	Früchte
*Haselnuß (Corylus-Arten)	Haselnußgewächse	Europa	Früchte
(*)Echte Kastanie (Castanea sativa)	Buchengewächse	östliches Mittelmeergebiet	Früchte
Feige (Ficus carica)	Maulbeergewächse	Vorderasien	Früchte
Brotfruchtbaum (Artocarpus communis)	Maulbeergewächse	Südasien	Früchte
Jackfruchtbaum (Artocarpus heterophylla)	Maulbeergewächse	Indien	Früchte
*Rhabarber (Rheum rhabarbarum)	Knöterichgewächse	Asien	Blattstiele
Abacate (Persea americana)	Lorbeergewächse	Mittelamerika	Früchte
*Stachelbeere (Ribes uva-crispa)	Steinbrechgewächse	Europa, Asien	Früchte
*Johannisbeere (Ribes rubrum, R. nigrum)	Steinbrechgewächse	Europa, Asien	Früchte
Loquate (Eriobotrya japonica)	Rosengewächse	Ostasien	Früchte
*Apfel (Malus domestica)	Rosengewächse	—	Früchte
*Birne (Pyrus domestica)	Rosengewächse	—	Früchte
*Quitte (Cydonia oblonga)	Rosengewächse	Südasien	Früchte
*Süßkirsche (Prunus avium)	Rosengewächse	Europa	Früchte
*Sauerkirsche (Prunus cerasus)	Rosengewächse	Südwestasien	Früchte

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Pfirsich (Prunus persica)	Rosengewächse	Ostasien	Früchte
(*)Mandel (Prunus amygdalus)	Rosengewächse	Vorderasien	Früchte
*Aprikose (Prunus armeniaca)	Rosengewächse	Mittelasien	Früchte
*Pflaume (Prunus domestica)	Rosengewächse	östliches Mittelmeergebiet	Früchte
*Erdbeere (Fragaria spec.)	Rosengewächse	Amerika	Früchte
*Himbeere (Rubus idaeus)	Rosengewächse	Europa, Amerika	Früchte
*Brombeere (Rubus fruticosus)	Rosengewächse	Europa, Amerika	Früchte
Tamarinde (Tamarindus indica)	Johannisbrotbaumgewächse	Ostafrika	Früchte
Erdnuß (Arachis hypogaea)	Schmetterlingsblütler	Südamerika	Früchte
Caramboia (Averrhoa carambola)	Sauerkleegewächse	tropisches Ostasien	Früchte
Apfelsine (Citrus sinensis)	Rautengewächse	Hinterindien, Südchina	Früchte
Zitrone (Citrus limon)	Rautengewächse	Hinterindien, Südchina	Früchte
Mandarine (Citrus reticulata)	Rautengewächse	China	Früchte
Pampelmuse (Citrus maxima)	Rautengewächse	China	Früchte
Mango (Mangifera indica)	Sumachgewächse	Südasien	Früchte
*Weinrebe (Vitis vinifera)	Weinrebengewächse	Südeuropa	Früchte
Affenbrotbaum (Adansonia digitata)	Wollbaumgewächse	tropisches Afrika	Früchte
Mangostane (Garcinia mangostana)	Hartheugewächse	Malaya, Djawa	Früchte
Melonenbaum (Carica papaya)	Melonenbaumgewächse	Süd- und Mittelamerika	Früchte
Paranuß (Bertholletia excelsa)	Topffruchtbaumgewächse	Südamerika	Früchte
*Heidelbeere (Vaccinium myrtillus)	Heidekrautgewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Früchte
*Preiselbeere (Vaccinium vitis-idaea)	Heidekrautgewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Früchte
Kakipflaume (Diospyros kaki)	Ebenholzgewächse	Japan, Korea, China	Früchte
(*)Zuckermelone (Cucumis melo)	Kürbisgewächse	Afrika	Früchte
Wassermelone (Citrullus lanatus)	Kürbisgewächse	Afrika	Früchte
Dattelpalme (Phoenix dactylifera)	Palmen	Nordafrika, Vorderasien	Früchte
Ananas (Ananas comosus)	Ananasgewächse	Südamerika	Früchte
Banane (Musa sapientum)	Bananengewächse	Vorderindien	Früchte
(Musa paradisiaca)		Vorderindien	
(Musa nana)		Südchina	

GENUßMITTEL

Anregende Stoffe enthaltende Pflanzen

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
Mate (Ilex paraguariensis)	Stechpalmengewächse	Südamerika	Blätter
Kakao (Theobroma cacao)	Kakaobaumgewächse	Südamerika	Samen
Kola (Cola spec.)	Kakaobaumgewächse	West- und Äquatorialafrika	Samen
Tee (Camellia sinensis)	Teegewächse	China	Blätter
Kaffee	Labkrautgewächse		Samen
(Coffea arabica)		Äthiopien	
(Coffea canephora)		Zentralafrika	
(Coffea liberica)		Westafrika	
*Tabak	Nachtschattengewächse		Blätter
(Nicotiana tabacum)		Südamerika	
(Nicotiana rustica)		Mittelamerika	

Gewürze

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Wacholder (Juniperus communis)	Zypressengewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Samen
Pfeffer (Piper nigrum)	Pfeffergewächse	Indien	Früchte
Muskatnuß (Myristica fragrans)	Muskatnußgewächse	Molukken	Samen
Lorbeer (Laurus nobilis)	Lorbeergewächse	Mittelmeergebiet	Blätter
Zimt (Cinnamomum ceylanicum)	Lorbeergewächse	Ceylon	Rinde
Kapern (Capparis spinosa)	Kaperngewächse	Mittelmeergebiet	Blütenknospen
*Senf (Sinapis alba)	Kreuzblütler	Mittelmeergebiet	Samen
Gewürznelken (Syzygium aromaticum)	Myrtengewächse	Molukken	Blütenknospen
Piment (Pimenta officinalis)	Myrtengewächse	Mittelamerika	unreife Früchte
*Anis (Pimpinella anisum)	Doldenblütler	östliches Mittelmeergebiet	Früchte
*Kerbel (Anthriscus cerefolium)	Doldenblütler	Südosteuropa	Blätter
*Koriander (Coriandrum sativum)	Doldenblütler	östliches Mittelmeergebiet	Früchte
*Petersilie (Petroselinum crispum)	Doldenblütler	Mittelmeergebiet	Blätter
*Kümmel (Carum carvi)	Doldenblütler	Europa, Asien	Früchte
*Dill (Anethum graveolens)	Doldenblütler	östliches Mittelmeergebiet	Pflanze vor der Blüte
*Liebstöckel (Levisticum officinale)	Doldenblütler	Westasien	Blätter
*Borretsch (Borago officinalis)	Borretschgewächse	westliches Mittelmeergebiet	Blätter
*Bohnenkraut (Satureja hortensis)	Lippenblütler	östliches Mittelmeergebiet	ganze Pflanze
*Majoran (Majorana hortensis)	Lippenblütler	östliches Mittelmeergebiet	Blätter, Blüten
*Thymian (Thymus vulgaris)	Lippenblütler	westliches Mittelmeergebiet	blühende Pflanze
*Ysop (Hyssopus officinalis)	Lippenblütler	Mittelmeergebiet	Blätter

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Basilikum (Ocimum basilicum)	Lippenblütler	Südasien	oberirdische Pflanzenteile
(*)Paprika (Capsicum annuum)	Nachtschattengewächse	Südamerika	Früchte
*Beifuß (Artemisia vulgaris)	Korbblütler	Europa, Nordasien, Nordamerika	Stengelspitzen mit Blüten
*Estragon (Artemisia dracunculus)	Korbblütler	Asien, Amerika	Stengelspitzen
(*)Knoblauch (Allium sativum)	Liliengewächse	Südwestasien	Zwiebeln
*Küchenzwiebel (Allium cepa)	Liliengewächse	Südwestasien	Zwiebeln
*Schnittlauch (Allium schoenoprasum)	Liliengewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Blätter
Kardamom (Elettaria cardamomum)	Ingwergewächse	Südindien	Früchte
Gelbwurz (Curcuma domestica)	Ingwergewächse	tropisches Asien	Wurzelstöcke
Ingwer (Zingiber officinale)	Ingwergewächse	Südasien	Wurzelstöcke
Vanille (Vanilla planifolia)	Orchideen	Mexiko	Früchte

ARZNEIPFLANZEN

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Kiefer (Pinus silvestris u. a.)	Kieferngewächse	Europa, Asien	Nadeln, Harz
*Wacholder (Juniperus communis u.a.)	Zypressengewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Samen, Nadeln, Harz
*Walnuß (Juglans regia)	Walnußgewächse	Südosteuropa	Blätter
*Birke (Betula pendula und Betula pubescens)	Birkengewächse	Europa	Harz
*Eiche (Quercus robur und Quercus petraea)	Buchengewächse	Europa, Asien Europa Mitteleuropa	Borke, Samen
*Hanf (Cannabis indica)	Hanfgewächse	Südasien	blühende Stengelspitzen weiblicher Pflanzen
*Medizinal-Rhabarber (Rheum palmatum var. tanguticum)	Knöterichgewächse	Asien	Wurzelstöcke
*Wohlriechender Gänsefuß (Chenopodium ambrosioides var. anthelminticum)	Gänsefußgewächse	Mittelamerika	oberirdische Pflanzenteile
*Seifenkraut (Saponaria officinalis)	Nelkengewächse	Europa, Asien	Wurzeln
Muskatnuß (Myristica fragrans)	Muskatnußgewächse	Südasien	Samen
Lorbeer (Laurus nobilis)	Lorbeergewächse	Mittelmeergebiet	Früchte, Blätter
Kampfer (Cinnamomum camphora)	Lorbeergewächse	Südasien	Blätter
Zimt (Cinnamomum ceylanicum)	Lorbeergewächse	Ceylon	Rinde
*Schlafmohn (Papaver somniferum)	Mohngewächse	Mittelmeergebiet	eingetrockneter Milchsaft der unreifen Kapseln, Samen
*Schwarzer Senf (Brassica nigra)	Kreuzblütler	östliches Mittelmeergebiet	Samen

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
*Blutwurz (Potentilla erecta)	Rosengewächse	Europa, Asien	Wurzelstöcke
*Odermennig (Agrimonia eupatoria)	Rosengewächse	Europa, Asien	oberirdische Pflanzenteile
Kassie (Cassia angustifolia) (Cassia senna)	Johannisbrotbaumgewächse	Ostafrika, Vorderindien	Blätter, Früchte
*Hauhechel (Ononis spinosa)	Schmetterlingsblütler	Europa	Wurzeln
*Steinklee (Melilotus officinalis)	Schmetterlingsblütler	Europa, Asien	Blätter, Blütenstände
(*)Süßholz (Glycyrrhiza glabra)	Schmetterlingsblütler	Mittelmeergebiet, Westasien	Wurzeln
*Flachs (Linum usitatissimum)	Leingewächse	östliches Mittelmeergebiet	Samen
*Weinraute (Ruta graveolens)	Rautengewächse	östliches Mittelmeergebiet	Blätter, Kraut
Kokainstrauch (Erythroxylum coca)	Kokainstrauchgewächse	Südamerika	Blätter
Krotonbaum (Croton tiglium)	Wolfsmilchgewächse	tropisches Asien	Blätter
*Rizinus (Ricinus communis)	Wolfsmilchgewächse	Indien, Afrika	Samen
*Faulbaum (Rhamnus frangula)	Kreuzdorngewächse	Europa	Rinde
*Kreuzdorn (Rhamnus cathartica)	Kreuzdorngewächse	Europa	Früchte
*Linde (Tilia cordata) (Tilia platyphyllos)	Lindengewächse	Europa	Blüten
*Eibisch (Althaea officinalis)	Malvengewächse	Südosteuropa	geschälte Haupt- und Nebenwurzeln
*Wegmalve (Malva neglecta)	Malvengewächse	östliches Mittelmeergebiet	Blätter, Blüten
*Wilde Malve (Malva silvestris)	Malvengewächse	östliches Mittelmeergebiet	Blätter, Blüten
*Stiefmütterchen (Viola tricolor)	Veilchengewächse	Europa, Asien	blühende Pflanze
Granatbaum (Punica granatum)	Granatbaumgewächse	Vorderasien	Rinde
Eukalyptus (Eucalyptus globulus)	Myrtengewächse	Australien	Blätter
Gewürznelkenbaum (Syzygium aromaticum)	Myrtengewächse	Molukken	Blüten
*Angelika (Angelica archangelica)	Doldenblütler	Europa, Asien	Wurzeln, Blattstiele, Blätter
*Bibernelle (Pimpinella major) (Pimpinella saxifraga)	Doldenblütler	Europa	Wurzeln
*Kümmel (Carum carvi)	Doldenblütler	Europa, Asien	Früchte
*Liebstöckel (Levisticum officinale)	Doldenblütler	Westasien	Wurzeln
*Anis (Pimpinella anisum)	Doldenblütler	östliches Mittelmeergebiet	Früchte
*Fenchel (Foeniculum vulgare)	Doldenblütler	Mittelmeergebiet	Früchte
*Bärentraube (Arctostaphylos uva-ursi)	Heidekrautgewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Blätter
*Gelber Enzian (Gentiana lutea)	Enziangewächse	Alpen	Wurzeln
*Tausendgüldenkraut (Centaurium umbellatum)	Enziangewächse	Mittel- und Südeuropa	blühende Pflanze
*Fieberklee (Menyanthes trifoliata)	Enziangewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Blätter

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
Strophanthus (Strophanthus gratus u. a.)	Hundsgiftgewächse	Westafrika	Samen
Brechnuß (Strychnos nux-vomica)	Brechnußgewächse	Südasien	Samen
(*)Lavendel (Lavandula angustifolia)	Lippenblütler	Mittelmeergebiet	Blüten
*Salbei (Salvia officinalis)	Lippenblütler	Mittelmeergebiet	Blätter
*Melisse (Melissa officinalis)	Lippenblütler	östliches Mittelmeergebiet	Blätter
(*)Rosmarin (Rosmarinus officinalis)	Lippenblütler	Mittelmeergebiet	Blätter, Blüten
*Thymian (Thymus vulgaris) (Thymus serpyllum)	Lippenblütler	westliches Mittelmeergebiet Europa, Asien	oberirdische Pflanzenteile
*Minze (Mentha piperita)	Lippenblütler	Europa, Asien	Blätter, blühendes Kraut
*Tollkirsche (Atropa belladonna)	Nachtschattengewächse	Mitteleuropa	ganze Pflanze
*Bilsenkraut (Hyoscyamus niger)	Nachtschattengewächse	Mittelmeergebiet	Blätter, blühende Pflanze
(*)Paprika (Capsicum annuum)	Nachtschattengewächse	Südamerika	Früchte
*Stechapfel (Datura stramonium)	Nachtschattengewächse	östliches Mittelmeergebiet	Blätter, Samen
*Königskerze (Verbascum thapsiforme) (Verbascum phlomoides)	Rachenblütler	Europa	Blüten, Kraut
*Fingerhut (Digitalis purpurea) (Digitalis lanata)	Rachenblütler	Europa, Nordasien, Nordamerika	Blätter, Samen
Chinarindenbaum (Cinchona succirubra)	Labkrautgewächse	Südamerika	Rinde
*Waldmeister (Asperula odorata)	Labkrautgewächse	Europa	oberirdische Pflanzenteile
*Holunder (Sambucus nigra)	Geißblattgewächse	Europa	Blüten
*Baldrian (Valeriana officinalis)	Baldriangewächse	Europa, Asien	Wurzeln
Koloquinthe (Citrullus colocynthis)	Kürbisgewächse	Nordafrika, Vorderasien	Früchte
*Lobelie (Lobelia inflata)	Glockenblumengewächse	Nordamerika	oberirdische Pflanzenteile
*Kamille (Matricaria chamomilla)	Korbblütler	östliches Mittelmeergebiet	Blütenköpfchen
*Wermut (Artemisia absinthium)	Korbblütler	östliches Mittelmeergebiet	Stengelspitzen mit Blüten
*Huflattich (Tussilago farfara)	Korbblütler	Europa, Asien	Blüten, Blätter
*Arnika (Arnica montana)	Korbblütler	Europa	Blüten, Wurzeln
*Benediktenkraut (Cnicus benedictus)	Korbblütler	Mittelmeergebiet	blühendes Kraut
*Mariendistel (Silybum marianum)	Korbblütler	Mittelmeergebiet	Früchte
Betelnußpalme (Areca catechu)	Palmen	Südasien	Samen
*Kalmus (Acorus calamus)	Aronstabgewächse	Ostasien	Wurzelstöcke
*Weißer Germer (Veratrum album)	Liliengewächse	Europa, Nordasien, Nordamerika	Wurzelstöcke
Aloe (Aloe-Arten)	Liliengewächse	Südafrika	Blätter
Meerzwiebel (Urginea maritima)	Liliengewächse	Mittelmeergebiet	Zwiebel

Name	Familie	Heimat	Verwendeter Pflanzenteil
(*)Krokus (Crocus sativus)	Schwertliliengewächse	Vorderasien	Narben der Blüten
*Schwertlilie (Iris florentina) (Iris germanica) (Iris pallida)	Schwertliliengewächse	Mittelmeergebiet	Wurzelstöcke
*Knabenkraut (Orchis morio u. a.)	Orchideengewächse	Europa, Asien	Knollen

PILZE

Charakteristik und Einteilung der Pilze. Die Pilze sind eine Abteilung der Lagerpflanzen (*Thallophyten*). Charakteristisch ist für sie das Fehlen von Blattgrün. Ihr Vegetationskörper (*Thallus*) besteht meist aus schlauchförmigen, septierten oder unseptierten Fäden (*Hyphen*), deren Gesamtheit als *Myzel* bezeichnet wird. Viele der als Fäulnisbewohner (Saprophyten), Parasiten oder Symbionten lebenden Pilze können sich sowohl ungeschlechtlich durch verschiedene Sporenformen als auch geschlechtlich fortpflanzen. Typisch für die höheren Pilze ist die Fruchtkörperbildung (Pilze im landläufigen Sinn).
Die Pilze werden in vier Klassen eingeteilt: 1. *Urpilze* (Archimyzeten), 2. *Algenpilze* (Phycomyzeten), 3. *Schlauchpilze* (Ascomyzeten), 4. *Ständerpilze* (Basidiomyzeten).
Die vor allem wegen ihres hohen Eiweißgehaltes wirtschaftlich wertvollen Speisepilze und die wegen der Verwechslungsmöglichkeiten wichtigen ungenießbaren und giftigen Pilze gehören den beiden letzten Klassen an.
Pilze können aber auch in ganz anderer Hinsicht wirtschaftliche Bedeutung besitzen, denn Vertreter aller vier Klassen können an Nutzpflanzen als Krankheitserreger große Schäden verursachen.

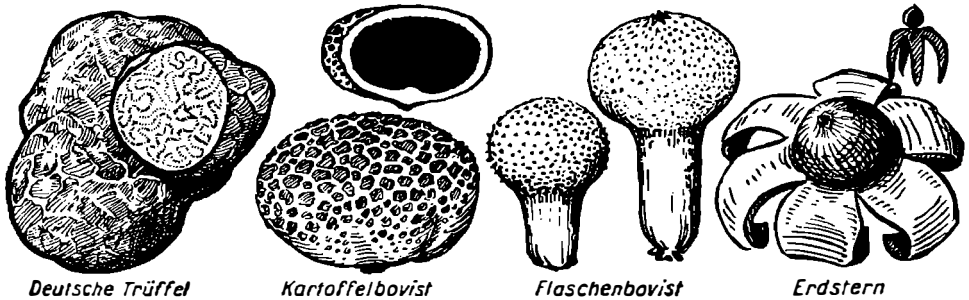
Das Sammeln von Pilzen. Allgemeine Merkmale für die Unterscheidung zwischen *genießbaren* und *ungenießbaren* (insbesondere giftigen) Pilzen gibt es nicht. Weder die Farbe des Hutes oder die Art des Futters noch das Blauanlaufen von Schnittflächen oder Druckstellen oder das Anlaufen eines dem Pilzgerichte während des Kochens beigegebenen silbernen Löffels sind eindeutig. Vor Schaden bewahrt nur *genaue Kenntnis*, die man sich am sichersten aneignen kann, wenn man sich zunächst einige wenige Arten genau einprägt. Dazu studiere man die Abbildungen und die gleich wichtigen Textausführungen guter Pilzbücher oder lasse sich noch besser in der Natur von einem Pilzkundigen anleiten. Pilze, die giftigen Arten ähneln, meide man so lange, bis man sie zuverlässig auseinanderhalten kann. Auch *überalterte* Pilze genießbarer Arten können giftig wirken (Pilzberatung!). Beim Pilzsammeln ist mit Rücksicht auf die weitere Vermehrung der Pilze Sorgfalt anzuwenden. Vorsichtiges Abtrennen des Fruchtkörpers von seinem Myzel durch Drehen um seine Achse ist erforderlich. Alte Pilze lasse man ungestört zum Aussporen im Walde an ihren Standorten, ebenso ganz junge Exemplare, weil bei ihrer Entfernung stets ein Teil des Myzels zerstört wird. Gesammelte Pilze befreie man noch im Walde vom alten Futter, das sporenhaltig ist und als „Saatgut" im Walde belassen werden sollte, und von madigen Teilen, damit Fäulnis und Maden die einwandfreien Teile der Ausbeute nicht angreifen können. Pilze sollten nur leicht aufeinandergelegt in Körben oder ähnlichen Behältnissen, nicht aber in Säcken oder Netzen, wo sie gedrückt werden, befördert werden.

Speise-, Gift- und ungenießbare Pilze

Schlauchpilze (Ascomycetes). Die durch geschlechtliche Vermehrung entstehenden Sporen (Ascosporen) werden im Innern von schlauchartigen Behältern (Asci) gebildet.
Hierzu gehören z. B.:

Name	Beschreibung	Vorkommen	Wert	Verwechslungsmöglichkeit
Speise-Morchel (Morchella esculenta)	Fruchtkörper mit hohlem, weißem Stiel und brauner, hutartiger Spitze mit wabenartiger Struktur	April bis Mai, lichte Laubwälder, Gebüsch, Parks, stellenweise	guter Speisepilz	evtl. mit Frühjahrs-Lorchel
Frühjahrs-Lorchel (Gyromitra esculenta)	Fruchtkörper weißlich gestielt, mit braunem, wulstig-faltigem Hut	März bis Mai, sandige Kiefernwälder, stellenweise häufig	tödlich wirkender Giftpilz, nach Abkochung bedingt eßbar (Kochwasser wegschütten, Pilze abspülen)	evtl. mit Morchel
Deutsche Trüffel (Choiromyces maeandriformis)	Fruchtkörper hell, kartoffelähnlich, mit rissig gefelderter Oberfläche	Juli bis Oktober, Laubwälder, unter der Erde, zerstreut	guter Würzpilz	evtl. mit Kartoffelbovist

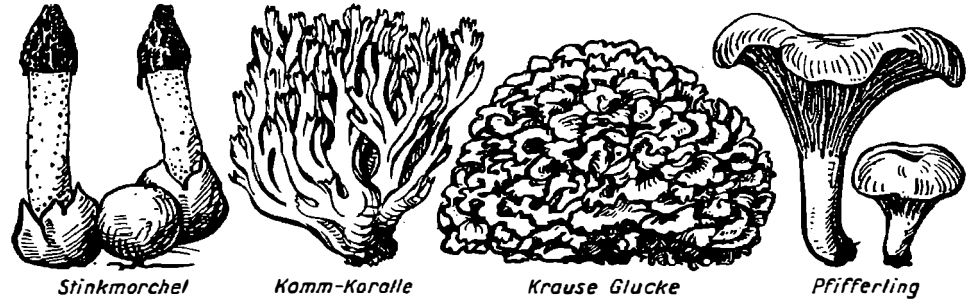
Ständerpilze (Basidiomycetes). Die durch geschlechtliche Vermehrung entstehenden Sporen (Basidiosporen) werden auf keulenartigen Zellen, den „Ständern" (Basidien) gebildet. Diese Ständer entstehen in großer Zahl. Sie überziehen als „Fruchtschicht" die Blätter, Röhren, Stacheln, Leisten oder das Innere der verschieden gestalteten Fruchtkörper.
Hierher gehören alle vom Laien als Pilze an sich bezeichneten Arten.



Deutsche Trüffel *Kartoffelbovist* *Flaschenbovist* *Erdstern*

Bauchpilze

Name	Beschreibung	Vorkommen	Wert	Verwechslungsmöglichkeit
Kartoffelbovist (Scleroderma aurantium)	Fruchtkörper kartoffelähnlich, fest, hart, Außenhaut feldrigwarzig aufgesprungen	Juli bis November, Wälder und Grasplätze, sehr häufig	giftig	evtl. mit Trüffeln
Flaschenbovist (Lycoperdon perlatum)	Fruchtkörper birnenförmig, weiß, außen mit warzenförmigen Stacheln, innen im reifen Zustand mit gelbbrauner Sporenmasse	Juni bis November, Wälder, sehr häufig	jung Speisepilz	—
Fransen-Erdstern (Geastrum fimbriatum)	äußere Hülle des Fruchtkörpers reißt sternartig auf und krümmt sich nach unten, innere Hülle umschließt kugelig die Sporenmasse	Juli bis Oktober, sandige Nadelwälder, zerstreut	wertlos	—
Stinkmorchel (Phallus impudicus)	Fruchtkörper zuerst unterirdisch (Hexenei); daraus entwickelt sich weißer, hohler Stiel mit glockenförmigem, von dunkelgrüner Sporenmasse bedecktem Hut (riecht nach Aas)	Juni bis Oktober, Wälder, Gebüsche, Parkanlagen, Gärten, häufig	als Hexenei eßbar, später ungenießbar	—



Stinkmorchel *Komm-Koralle* *Krause Glucke* *Pfifferling*

Nicht-Blätterpilze

Name	Beschreibung	Vorkommen	Wert	Verwechslungsmöglichkeit
Kamm-Koralle (Clavaria cristata)	Fruchtkörper klein weiß, mit kurzem Stiel und kammförmig eingeschnittenen Verzweigungen	August bis Oktober, Laub- und Nadelwälder, nicht selten	eßbar	—
Krause Glucke (Sparassis crispa)	Fruchtkörper badeschwammähnlich, blaßgelb, bis kohlkopfgroß	Juli bis November, an Kiefern	jung guter Speisepilz	—
Pfifferling (Cantharellus cibarius)	Fruchtkörper dottergelb, Hut wellig, unterseits mit netzig verbundenen Leisten	Juni bis November, Wälder, häufig	guter Speisepilz	—
Habichtspilz (Sarcodon imbricatus)	Fruchtkörper mit dichtschuppigem, schwarzbraunem Hut, weißlichgrauen Stacheln u. bräunlichem Stiel	August bis November, trockene Kiefernwälder, stellenweise häufig	jung guter Speise- und Würzpilz	—
Zunder-Porling (Fomes fomentarius)	Fruchtkörper mit konzentrischen Furchen, hart, rußiggrau, halbkreisförmig gewölbt	meist an Buchen, seltener an Birken, nur stellenweise häufig	ungenießbar	—

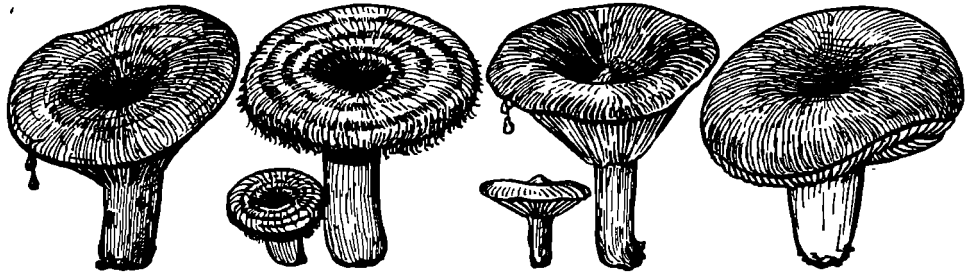


Habichtspilz — Zunder-Porling — Birkenpilz — Kahler Krempling

Röhrenpilze

Butterpilz (Suillus luteus)	Fruchtkörper mit brauner, schleimiger Huthaut, butterfarbenen Röhren und gelblichem Stiel	Juni bis Oktober, sandige Kiefernwälder, meist häufig	guter Speisepilz	—
Marone (Xerocomus badius)	Fruchtkörper mit kastanienbraunem Hut, grüngelben Röhren und hellbraunem Stiel	Juni bis November, Nadelwälder, häufig	guter Speisepilz	—
Gallenröhrling (Tylopilus felleus)	Fruchtkörper mit hellbraunem Hut, weißen bis rosa Röhren, grünlichem bis gelbbraunem Stiel	Juni bis Oktober, Nadelwälder meist häufig	ungenießbar	mit Steinpilz
Satanspilz (Boletus satanas)	Fruchtkörper mit blaßgrauem Hut, purpurroten Röhren und gelbem, unten rotem Stiel	August bis November, Laubwälder, nur auf Kalkboden, selten	giftig	evtl. mit Hexenröhrling
Flockenstieliger Hexenröhrling (Boletus miniatoporus)	Fruchtkörper mit dunkelbraunem, anfangs samtigem Hut, gelbgrünen Röhren, kräftigem, gelbem, rotfilzig punktiertem Stiel; läuft bei Verletzung sofort schwarzblau an	Juni bis November, Nadel- und Laubwälder, nicht selten	eßbar, roh giftig	evtl. mit Satanspilz
Steinpilz (Boletus edulis)	Fruchtkörper mit braunem Hut, weißen bis olivgrünen Röhren und hellem Stiel	Juni bis Oktober, Laub- und Nadelwälder, meist häufig	sehr guter Speisepilz	mit Gallenröhrling

Name	Beschreibung	Vorkommen	Wert	Verwechslungsmöglichkeit
Birkenpilz (Leccinum scabrum)	Fruchtkörper mit graubraunem Hut, grauen Röhren, hellem, grauschwarz geschupptem Stiel	Juni bis Oktober, Wälder, Gebüsche, Heiden, häufig	jung guter Speisepilz	—
Rotkappe (Leccinum aurantiacum)	Fruchtkörper mit orange- bis braunrotem Hut und weißem, schwarzgrau beschupptem Stiel	Juni bis Oktober, Wälder, Heiden, häufig	guter Speisepilz	—



Echter Reizker *Birken-Reizker* *Rotbrauner Milchling* *Speise-Täubling*

Blätterpilze

Kahler Krempling (Paxillus involutus)	Fruchtkörper mit gleichmäßig braunem Hut und Stiel und helleren Blättern, Hutrand eingerollt	Juli bis November, Wälder, sehr häufig	guter Speisepilz, roh giftig	—
Brätling (Lactarius volemus)	Fruchtkörper mit orangebraunem Hut, blaßgelben Blättern und Stiel, weißem Milchsaft	Juli bis November, Laub- und Nadelwälder, zerstreut	guter Speisepilz	—
Echter Reizker (Lactarius deliciosus)	Fruchtkörper mit ziegelrotem Hut, oberseits mit dunkleren, konzentrischen Ringen, orangeroten Blättern, Stiel und Milchsaft	Juli bis November, Nadelwälder stellenweise häufig	guter Speisepilz	evtl. mit Birkenreizker
Birkenreizker (Lactarius torminosus)	Fruchtkörper gelblichrosa, Hutoberseite mit dunkleren konzentrischen Ringen und dichtzottigem Rand, Milchsaft weiß, scharf	August bis Oktober, Wälder, meist unter Birken	roh giftig	evtl. mit echtem Reizker
Rotbrauner Milchling (Lactarius rufus)	Fruchtkörper mit blassem bis rotbraunem Hut und Blättern, hellerem Stiel und weißem Milchsaft	Juni bis November, Nadelwälder, sehr häufig	nur nach Wässern u. Abbrühen eßbar	—
Speise-Täubling (Russula vesca)	Fruchtkörper mit fleischrotem Hut, weißlichen Blättern und weißem Stiel; riecht nach Nüssen	Juli bis Oktober, Laubwälder, meist unter Eichen, ziemlich häufig	sehr guter Speisepilz	mit anderen roten Täublingen
Hallimasch (Armillariella mellea)	Fruchtkörper mit braunem, beschupptem Hut, weißlichen Blättern u. gelbbraunem Stiel mit Ring	September bis Oktober, an Baumstümpfen, häufig	Hüte gekocht eßbar, roh giftig	evtl. mit Stockschwämmchen
Echter Ritterling, Grünling (Tricholoma equestre)	Fruchtkörper mit olivgrünem Hut, gelben Blättern und Stiel	August bis November, sandige Kiefernwälder, stellenweise häufig	guter Speisepilz	—
Winterrübling (Flammulina velutipes)	Fruchtkörper mit schmierig glänzendem, honiggelbem Hut, gelblichweißen Blättern und dunklem ,samtfilzigem Stiel	November bis März, an Laubbäumen, meist Weiden, nicht selten	eßbar	evtl. mit Schwefelköpfen und Stockschwämmchen

Name	Beschreibung	Vorkommen	Wert	Verwechslungsmöglichkeit
Mousseron (Marasmius scorodonius)	kleine Fruchtkörper mit blassem Hut, hellen Blättern und dünnem, rotbraunem Stiel; riechen stark nach Knoblauch	Juni bis Oktober, Wälder, häufig	guter Gewürzpilz	–



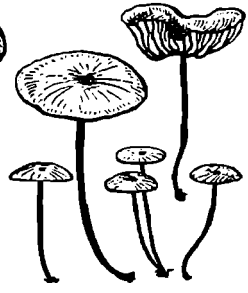
Hallimasch



Echter Ritterling



Winterrübling



Mousseron

Parasolpilz (Macrolepiota procera)	Fruchtkörper groß, schirmähnlich, Hut oberseits mit dachziegelartigen, bräunlichen Schuppen, Blätter weiß, Stiel schlank mit Ring	Juli bis November, lichte Wälder, Parks, Gärten, häufig	guter Speisepilz	–
Grüner Knollenblätterpilz (Amanita phalloides)	Fruchtkörper mit grünlichem Hut, weißen Blättern, weißlichem Stiel mit Ring und großer Knolle	Juli bis Oktober, Laubwälder, meist unter Eichen, stellenweise häufig	tödlich giftig!!	evtl. mit Champignon
Perlpilz (Amanita rubescens)	Fruchtkörper mit blaß- bis braunrotem Hut mit rötlichen oder grauen Flecken, weißen Blättern und Stiel mit Knolle; Fleisch wird an der Luft rötlich	Juni bis Oktober, Wälder, häufig	guter Speisepilz	evtl. mit Pantherpilz



Parasolpilz



Scheidenstreifling



Schopf-Tintling



Ziegelroter Rißpilz

Pantherpilz (Amanita pantherina)	Fruchtkörper mit bräunlichem Hut, weißen Hüllflocken, weißen Blättern und Stiel mit Manschette und Knolle; Fleisch bleibt weiß	Juli bis Oktober, Wälder, selten	giftig!	evtl. mit Perlpilz

Name	Beschreibung	Vorkommen	Wert	Verwechslungsmöglichkeit
Fliegenpilz (Amanita muscaria)	Fruchtkörper mit roter, weißgetüpfelter Hutoberfläche, weißen Blättern u. weißem Stiel mit Knolle	Juli bis November, unter Nadelbäumen u. Birken, sehr häufig	in bestimmten Mengen tödlich wirkender Giftpilz	evtl. mit Kaiserschwamm
Kaiserschwamm (Amanita caesarea)	Fruchtkörper mit rotem, selten weißgetupftem Hut, gelben Blättern und Stiel und weißer Scheide	Juli bis Oktober, Laubwälder, Heiden, meist Südeuropa, in Deutschland selten	guter Speisepilz	evtl. mit Fliegenpilz
Scheidenstreifling (Amanita vaginata)	Fruchtkörper mit bräunlichem, am Rande kammförmig gerieftem Hut, hellen Blättern und Stiel, mit Scheide	Juni bis Oktober, Wälder, Gebüsche, häufig	Speisepilz	—
Wiesen-Champignon (Agaricus campester)	Fruchtkörper weiß mit rosa Blättern, Hut anfangs halbkugelig gewölbt, Stiel meist mit Ring	Mai bis Oktober, gedüngten Wiesen, Gärten, Viehweiden, nicht immer häufig	sehr guter Speisepilz	evtl. mit Knollenblätterpilz
Grünblättriger Schwefelkopf (Nematoloma fasciculare)	Fruchtkörper mit schwefelgelbem Hut und Stiel, Blätter grün	April bis November, an Laub- und Nadelholzstümpfen, sehr häufig	ungenießbar	mit anderen Schwefelkopfarten
Schopf-Tintling (Coprinus comatus)	Fruchtkörper mit eiförmigem, hellem, später schwärzlich zerfließendem Hut und weißem, hohlem Stiel mit Ring	Mai bis November, Rasen, Schuttplätze, Wegränder, Wälder, häufig	jung eßbar	—
Ziegelroter Rißpilz (Inocybe patouillardi)	Fruchtkörper mit anfangs weißem, später rot anlaufendem, kegligbuckligem Hut, hellen Blättern und weißmehligem, später rötendem Stiel	Mai bis Juli, lichte Laubwälder, Parks, Gärten, stellenweise häufig, sonst selten	tödlich wirkender Giftpilz	jung mit Champignon
Stockschwämmchen (Kuehneromyces mutabilis)	Fruchtkörper mit gelbbräunlichem Hut, dessen Randzone dunkler ist, Blätter blaßbräunlich, Stiel bräunlich geschuppt mit Ring	April bis Dezember, in dichten Büscheln an Laubbäumen, überall häufig	guter Speisepilz	evtl. mit Winterrübling

IX. Zierpflanzen

DER BLUMENGARTEN

Zwiebel- und Knollengewächse

Name	Zeit des Blühens
Blaustern (Scilla)	Frühjahr
Hyazinthe (Hyacinthus)	Frühjahr
Krokus (Crocus)	Frühjahr
Narzisse (Narcissus)	Frühjahr
Schneeglöckchen (Galanthus)	Frühjahr
Tulpe (Tulipa)	Frühjahr
Dahlie, Georgine (Dahlia)	Sommer und Herbst
Schiefblatt (Begonia)	Sommer und Herbst
Siegwurz, Gladiole (Gladiolus)	Sommer und Herbst

Die Zwiebel- und Knollengewächse gehören wie die Stauden und alle übrigen im folgenden nicht ausdrücklich als „einjährig" bezeichneten Pflanzen zu den *ausdauernden* Gewächsen. Sie leiten im Frühjahr das Gartenjahr mit den ersten farbigen Blüten ein und erfreuen uns zum Teil auch noch im Spätsommer und Herbst durch ihre Blütenpracht. Die meisten Zwiebel- und Knollengewächse überwintern im Freien unter leichter Reisigdecke; nur Gladiolen- und Dahlienknollen werden nach den ersten Nachtfrösten aus dem Boden genommen und in frostfreien, trockenen Räumen aufbewahrt, ebenso Schiefblatt und Blumenrohr (Canna indica).

Einjährige Sommerblumen

Name	Aussaat	Blühbeginn	Standortansprüche
Chinesernelke (Dianthus chinensis)	April**	Juni	sonnig; keine Nässe; kein frischer Dung
Einjahrsskabiose (Scabiosa atropurpurea)	Mitte März**	Juni	sonnig; Boden kalkhaltig
Eisenkraut (Verbena hybrida)	Jan. bis Febr.**	Juli	sonnig; trocken
Feuerbusch, Sommerzypresse (Kochia scoparia var. trichophylla)	April**		sonnig; bei Trockenheit bewässern, aber Vorsicht bei Jungpflanzen
Hahnenkamm (Celosia argentea f. cristata)	Febr. bis April**	Juli	sonnig; nährstoffreicher Boden; wiederholt düngen
Jungfer im Grünen (Nigella damascena)	April bis Mai**	Juli	sonnig; Blüte leidet in längeren Regenzeiten
Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus, T. peltophorum)	April** bis Mai*	Juli	frostempfindlich; nicht zuviel Stickstoff, aber reichlich Phosphor
Klatschmohn (Papaver rheoas)	Okt. oder März*	Juni	kräftiger, kalkhaltiger Boden; sonnig
Kornblume (Centaurea cyanus, C. moschata)	April*	Juni	volle Sonne; aber Bodenfeuchtigkeit; bei Trockenheit wässern
Kokardenblume (Gaillardia pulchella var. picta)	März** bis April*	Juni	sonnig; keine Nässe; nährstoffreicher Boden
Leberbalsam (Ageratum houstonianum)	Jan. bis April**	Mai	frostempfindlich; sonnig; nicht zu stark düngen
Leinkraut (Linaria bipartita u. a.)	April bis Mai*	Juni	sonnig; leichterer bis lehmigsandiger Boden
Levkoje (Matthiola incana)	Febr. bis März**	Juni	nährstoffreicher Boden; Anzucht vorsichtig wässern
Lobelie (Lobelia erinus)	Febr. bis März**	Juni	frostempfindlich; nicht zu stark düngen
Löwenmaul (Antirrhinum majus)	Jan. bis April**	Juni	sonnig; nährstoffreicher Boden; hohe Sorten windgeschützt
Mandelröschen, Sommerfuchsie (Clarkia elegans, C. pulchella)	März** April bis Mai*	Juni	nicht zu nährstoffreicher Boden
Nemesie (Nemesia strumosa)	März** April bis Juni*	Juni Juli	sonnig; trocken; nährstoffreicher Boden; nach Rückschnitt etwas düngen
Petunie (Petunia hybrida)	Febr. bis April**	Mai	frostempfindlich; sonnig; vertragen Halbschatten; nährstoffreiche Erde
Reseda (Reseda odorata)	April*	Juni	sehr nährstoffreicher Boden
Ringelblume (Calendula officinalis)	Febr.** bis März*	Mai, Juni	bei früher Aussaat sehr geschützt auspflanzen
Schlafmohn (Papaver somniferum)	Oktober oder März*	Juni	sonnig; tiefgründiger, kalkhaltiger Boden
Rittersporn (Delphinium ajacis, D. consolida)	März bis April*	Juni	nährstoffreicher, tiefgelockerter feuchter Boden
Schleierkraut (Gypsophila elegans)	März bis April*	Juni	trocken; kalkhaltiger Boden
Schleifenblume (Iberis umbellata u. a.)	März bis April*	Mai	sonnig; sonst anspruchslos
Schmuckkörbchen (Cosmos bipinnatus)	April bis Mai*	Juli	sonnig; nicht zu stark düngen; braucht viel Platz
Schöngesicht (Coreopsis nuecensis)	April bis Mai**	Juli	nicht zu schwerer Boden
Sommeraster (Callistephus chinensis)	März bis Mai**	Juli	nicht zu trocken; kein frischer Dung

Name	Aussaat	Blühbeginn	Standortansprüche
Sommerazalee (Godetia grandiflora)	März bis April*	Juni	volle Sonne; feuchter Boden, aber keine Nässe
Sommerphlox (Phlox drummondii)	März**	Juni	sonnig; nährstoffreicher Boden
Sonnenblume (Helianthus annuus)	April bis Mai*	Juni	sehr nährstoffreicher Boden
Sonnenhut (Rudbeckia hirta)	März**	Juli	sonnig; humoser, nährstoffreicher Boden
Strohblume (Helichrysum bracteatum)	März bis April**	Juli	frostempfindlich; sonnig, warm; leichterer Boden
Studentenblume (Tagetes erecta u. a.)	März**	Juni	frostempfindlich; sonnig; nährstoffreicher Boden, nicht zu feucht
Trompetenzunge (Salpiglossis sinuata)	April bis Mai*	Juli	sonnig; gegen Feuchtigkeit und Dung empfindlich
Wucherblume (Chrysanthemum carinatum u. a.)	März bis Mai**	Juli	mineralreicher Boden; nicht zu feucht
Wunderblume (Mirabilis jalapa u. a.)	März**	Juli	tiefgründiger, lehmiger Boden; sonnig; bei Trockenheit wässern
Zinnie (Zinnia elegans)	April**	Juli	frostempfindlich; sonnig; nährstoffreicher Boden

Einjährige Sommerblumen (*Sommerannuelle*) werden im Frühjahr ausgesät und sterben im Herbst nach der Samenreife ab. Die mit ** bezeichneten Arten werden in Frühbeetkästen ausgesät und im Mai ausgepflanzt. Die mit * bezeichneten Arten können unmittelbar ins Freiland gesät werden. Die einfache, billige Anzucht aus Samen gestattet es, Lücken in Gärten und Anlagen zu füllen und die Art der Bepflanzung in jedem Jahr zu wechseln. Zu den Sommerannuellen werden auch Pflanzen gerechnet, die in ihrer Heimat mehrjährig sind (z. B. Löwenmaul, Wunderblume), bei uns aber nicht im Freien überwintern.

Halbstauden

Name	Aussaat	Blütezeit	Standortansprüche
Bartnelke (Dianthus barbatus)	Mai bis Juni	Mai bis Juli	sonnig; humoser, nährstoffreicher Boden
Glockenblume (Campanula medium)	Mai bis Juli	Juni bis August	nährstoffreicher Boden; keine Nässe; frostempfindlich
Goldlack (Cheiranthus cheiri)	Mai bis Juli	April bis Mai	geschützte Lage; nährstoffreicher Boden
Landnelke (Dianthus caryophyllus)	Mai bis Juni	Juni bis Juli	sonnig; nährstoffreicher Boden; nicht zu naß
Roter Fingerhut (Digitalis purpurea)	Mai bis Juli	Mai bis Juni	nährstoffreicher, tiefgelockerter Boden
Stiefmütterchen (Viola wittrockiana)	Juli bis August	März bis Juni	sonnig, auch Halbschatten möglich; nährstoffreicher Boden
Stockrose, Malve (Althaea rosea)	Mai bis Juni	Juni bis August	nährstoffreicher, tiefgelockerter Boden; volle Sonne; windgeschützt
Vergißmeinnicht (Myosotis alpestris u. a.)	Juni bis Juli	März bis Juli	nährstoffreicher, feuchter Boden

Als Halbstauden oder *Bienne* (Zweijährige) werden vom gärtnerischen Standpunkt viele *Winterannuelle* bezeichnet. Sie werden im Früh- oder Spätsommer ausgesät, im Herbst im Freiland ausgepflanzt. Im Winter bleiben die Pflanzen niedrig und werden durch die Schneedecke geschützt. In schneearmen, strengen Wintern sind die Auswinterungsschäden oft beträchtlich. Nach Blüte und Samenreife stirbt die Pflanze ab, bzw. ihre Weiterkultur lohnt nicht mehr, weil die Blüte im nächsten Jahr schwächer ist und die Auswinterungsgefahr wächst (z. B. Bart- und Landnelken).

Stauden

Name	Blütenfarbe	Blütezeit	Standortansprüche
Akelei (Aquilegia caerulea)**	alle Farben, auch bunt	Mai bis Juni	sonnig bis halbschattig
Alpenaster (Aster alpinus)**	blau, blauviolett	Mai bis Juli	sonnig; humoser, kalkhaltiger Boden
Astilbe, Prachtspiere (Astilbe arendsii)	rosa, weiß, rot	Juli	halbschattig bis sonnig
Bergflockenblume (Centaurea montana)	blau, rosa	Mai bis August	sonnig bis halbschattig; feuchter, nährstoffreicher Boden
Edeldistel (Eryngium alpinum, Eryngium giganteum)	blau, blaßlila graublau	Juli bis August	sonnig; durchlässig kalkhaltiger, nicht zu nasser Boden
Eisenhut (Aconitum carmichaelii, A. napellus)	blau violett	September bis Oktober Juli bis August	Halbschatten bis Schatten; nährstoffreicher, humoser Boden
Flammenblume (Phlox paniculata)	rot, weiß, rosa	Juni bis September	sonnig, aber nicht zu trocken
Frühlingsprimel (Primula veris, Primula vulgaris)	gelb, rot gelb, weiß, rot, violett	April bis Mai März bis April	sonnig bis halbschattig; lehmiger, humoser Boden; feuchter Standort
Gemswurz (Doronicum caucasicum)	gelb	April bis Mai	sonnig bis halbschattig; nährstoffreicher Boden
Goldrute (Solidago canadensis, Solidago drummondii)	gelb	Juli bis September Sept. bis Okt.	sonnig bis halbschattig; nährstoffreicher Boden
Kokardenblume (Gaillardia aristata)	gelb bis braun	Juni bis Oktober	sonnig; keine Nässe
Lupine (Lupinus polyphyllus)	bunt	Juni bis August	trockener, kalkhaltiger Boden; geschützte Lage
Maiglöckchen (Convallaria majalis)	weiß	Mai	halbschattig bis schattig
Mohn (Papaver orientale)	rot	Mai bis Sept.	sonnig
Nelkenwurz (Geum montanum)	gelb	Juni bis August	sonnig
Nieswurz, Christrose (Helleborus niger)	weiß	Januar bis Februar	Halbschatten bis Schatten; kalkhaltiger, nährstoffreicher Boden
Pfingstrose (Paeonia peregrina)	weiß, rosa, rot	Juni	sonnig; tiefgründiger, nährstoffreicher Boden
Rittersporn (Delphinium cultorum)	blau, weiß, violett, rosa	Juni bis September	frei, sonnig; nährstoffreicher, nicht zu feuchter Boden
Schleierkraut (Gypsophila paniculata)	weiß	Juni bis August	sonnig; kalkhaltiger, trockener Boden
Schwertlilie (Iris germanica)	bunt	Mai bis Juli	sonnig; nährstoffreicher humoser Boden
Sonnenauge (Heliopsis scabra)	gelb	Juni bis August	sonnig bis halbschattig
Sonnenbraut (Helenium hybridum)	gelb, braun	Juli bis September	sonnig, nährstoffreicher humoser Boden
Sonnenhut (Rudbeckia laciniata, Rudbeckia purpurea)	gelb rot	Juli bis September	sonnig; humoser, nährstoffreicher Boden
Strandflieder (Limonium tataricum)	weiß rosa	Juli bis August	sonnig; sandig-lehmiger Boden
Tränendes Herz (Dicentra spectabilis)	rosa	Mai bis Juli	sonnig bis halbschattig
Trollblume (Trollius europaeus)	gelb	Mai	sonnig bis halbschattig; humoser, lehmiger Boden
Winteraster (Chrysanthemum indicum)	verschieden	Herbst	sonnig; nährstoffreicher, humoser Boden
Wucherblume, Margerite (C. leucanthemum, C. coccineum)	weiß rosa, rot	Mai bis September Mai bis Juni	sonnig, anspruchslos sonnig; nährstoffreicher, humoser Lehmboden

Stauden sind mehrjährige (*perennierende*) Pflanzen. Die unterirdischen Organe überwintern, auch bodennahe oberirdische Teile bleiben oft erhalten. Winterschutz aus Reisig oder Laub ist oft nötig, Auswinterungsschäden entstehen aber vor allem im Frühjahr, wenn durch den Wechsel von Nachtfrösten und hohen Tagestemperaturen die oberste Bodenschicht auffriert und die Wurzeln reißen.
Stauden pflanzt man im Herbst oder Frühjahr auf unkrautfreies, gut vorbereitetes Land in alter Dungkraft. Sie werden vegetativ durch Teilen der Wurzelstöcke oder Wurzelballen, z. T. auch durch Stecklinge (Winteraster) vermehrt. Die Anzucht aus Samen ist oft langwierig und bei vielen Kulturformen nicht möglich, weil die Sämlinge nicht sortenecht sind. Ausgesät wird ab März in Frühbeete, Frostkeimer schon im Oktober oder November; auf diese Aussaaten werden im Februar Fenster gelegt.
Da Stauden in Gärten und Anlagen mehrere Jahre stehenbleiben, müssen sie sorgfältig nach Höhe, Blütenfarbe und Blütezeit ausgewählt werden. Sie können als Einzelpflanze oder in Gruppen verwendet werden und liefern auch gute Schnittblumen.

Rosen

Einheimische Wildrosen

Alpenrose (Rosa pendulina syn. R. alpina)
Apfelrose (Rosa villosa syn. R. pomifera)
Bibernellrose, Dünenrose (Rosa pimpinellifolia syn. R. spinosissima)
Heckenrose, Heideröschen, Hagedorn, Hundsrose (Rosa canina)
Weinrose (R. rubiginosa)
Zimtrose, Mairose (Rosa majalis syn. R. cinnamomea)
und viele andere Arten

Park- und Gartenrosen

Ausgangsformen sind u. a.
Chinarose, Bengalrose (Rosa chinensis syn. R. indica)
Teerose (Rosa odorata syn. R. indica fragrans)
Damaszener Rose (Rosa damascena)
Hundertblättrige Rose, Zentifolie (Rosa centifolia)
Wachsrose, Gelbe Rose (Rosa foetida syn. R. lutea)
*Essigrose, Gallische Rose (Rosa gallica)
Moschusrose (Rosa moschata)
Vielblumige Büschelrose (Rosa multiflora)
Borsten- oder Prärierose (Rosa setigera syn. R. rubifolia)
*Bibernellrose, Dünenrose (Rosa pimpinellifolia syn. R. spinosissima)
Kartoffelrose (Rosa rugosa)
Wichuras Rose (Rosa wichuraiana)
Immergrüne Rose (Rosa sempervirens)

* einheimisch

Die Rosen umfassen eine große Anzahl von Arten mit zahlreichen Ab- und Unterarten; die angeführten Beispiele geben daraus nur eine kleine Auswahl. In Park und Garten begegnen uns sowohl einheimische wie ausländische Wildrosen — beide vor allem als weitergezüchtete Ziersträucher — als auch die aus ihnen durch Kreuzung und in langjähriger, sorgfältiger Auswahl gezüchteten Edelrosen (Teehybriden, Remontantrosen, Luteahybriden, Polyanthahybriden u. a.).
Die Rosen werden als Kletterrosen, Buschrosen und Hochstammrosen gezogen. Die *Kletterrosen* bilden besonders lange Triebe, die angeheftet werden müssen; sie schmücken frei stehende oder an den Hauswänden aufgerichtete Spaliere.
Die *Buschrosen* pflanzt man gern in Gruppen an und verwendet sie als Schnittrosen.
Die *Hochstammrosen* sind auf Rosa canina als Stammbildner okulierte Edelrosen. Sie werden, um sie wirksam zur Geltung kommen zu lassen, einzeln gepflanzt und besonders sorgfältig gepflegt.
Alle Rosen brauchen reichlich Kali, bei Trockenheit viel Wasser und in strengen Wintern Schutz durch Reisigdecken. Busch- und Kletterrosen werden angehäufelt, um die Veredlungsstelle vor Frost zu schützen; Hochstämme legt man um.

Gewächse für Steingarten und Einfassung

Name	Zeit des Blühens
Blaukissen (Aubrieta)	April bis Mai
Hornkraut (Cerastium)	Mai
Mauerpfeffer (Sedum)	Juni bis Juli
Glockenblume (Campanula)	Juli
Federnelke (Dianthus plumarius)	Juli bis August
Hauswurz (Sempervivum)	Juli bis August

Für den Steingarten und zur Einfassung eignen sich insbesondere *Stauden*, die eine starke Besonnung und vorübergehende Trockenheit vertragen. Daneben werden aber auch einige Halbschatten und Feuchtigkeit liebende Pflanzen verwendet. Je nach Art haben sie tiefreichende Wurzeln oder ein flach hinstreichendes Wurzelnetz. Deshalb muß bei der Anlage des Steingartens durch erdgefüllte tiefe Steinritzen und durch flache Erdmulden beiden Ansprüchen entsprochen werden.

Schling- und Kletterpflanzen

Name	Zeit des Blühens
ausdauernd	
Geißblatt (Lonicera)	Mai bis Juni
Wisterie (Wisteria; früher Wistaria oder Glycine)	Mai bis Juni
Aristolochie, Pfeifenwinde; Osterluzei (Aristolochia durior syn. A. sipho)	Mai bis Juni
Waldrebe (Clematis)	Juni bis Juli
Kletterrosen (z. B. Setigera-Hybriden)	Juni bis August
Jungfernrebe, „Wilder Wein" (Parthenocissus)	Juli bis August
Efeu (Hedera helix)	August bis September
einjährig	
Feuerbohne (Phaseolus multiflorus)	Mai bis Juli
Kletternde Kapuzinerkresse (Tropaeolum)	Juni bis November
Wohlriechende Wicke (Lathyrus)	Juni bis Oktober
Trichterwinde (Ipomoea)	Juli bis Oktober

Schling- und Kletterpflanzen brauchen bei der Anpflanzung besonders guten Boden, um sich üppig entwickeln zu können. Zu vieles Anbinden beeinträchtigt ihren natürlichen Wuchs. Sie bilden grüne Kulissen an Lauben und Gittern, verdecken Hausfassaden oder gliedern sie auf.

Immergrüne Gewächse
(außer Nadelhölzern)

Name	Zeit des Blühens
Buchsbaum (Buxus)	März bis April
Immergrün (Vinca minor)	April bis Mai
Liguster (Ligustrum)	April bis Mai
Mahonie (Mahonia)	April bis Mai
Stechpalme (Ilex)	Mai bis Juni
Alpenrose (Rhododendron)	Juni bis August

Immergrüne Sträucher eignen sich zum Besetzen schattiger Stellen des Gartens. Sie dienen einzelnen Pflanzen oder blühenden Pflanzengruppen als wirksamer Hintergrund und erfreuen auch im Winter durch ihr unentwegtes Grünen. Eine Torfmulldecke auf dem Boden verhindert das tiefere Eindringen des Frostes. Im Sommer und Herbst sind die immergrünen Gewächse regelmäßig zu wässern, damit sie nicht vertrocknen.

Ziersträucher. Farne und Gräser, Ziersträucher und Zierbäume vervollständigen den Blumengarten. Außerdem werden im Sommer auch Pflanzen aus den Gewächshäusern und Wintergärten ins Freie gebracht; es seien hier als Beispiel nur Oleander, Myrten, Lorbeer- und Feigenbäume genannt.

ZIMMERPFLANZEN

Name	Heimat	Behandlung
Aloe, besonders Tigeraloe (Aloe variegata) und Zimmerdistel, Brandbaum (A. arborescens)	Südafrika	durchlässige Erde; im Sommer reichlicher, im Winter weniger gießen; heller bis sonniger Stand; bei 8 bis 15 °C überwintern
Alpenveilchen (Cyclamen persicum)	Griechenland, Zypern, Palästina, Südkilikien	sonnig und kühl (10 bis 15 °C) halten (am besten Doppelfenster); Knollen nicht benetzen. Abgeblühte Knollen im Topf in halbschattigen Garten stellen, Ruheperiode bis Juni. Nach Neuaustrieb umtopfen. Man kann auch ohne Ruhezeit durchkultivieren

Name	Heimat	Behandlung
Ananasgewächse (Bromeliaceae)	Mittel- und Südamerika	humusreiche, grobe Erde, guter Wasserabzug der Töpfe, Dunggüsse, im Sommer reichlich spritzen; bei +12 bis 15 °C überwintern dabei trockener halten, hell und luftig, im Sommer leichter Schatten
Aralie (Fatsia japonica, früher Aralia sieboldii)	Japan	regelmäßig gießen, im Sommer schwach düngen, bei 6 bis 10 °C überwintern
Aschenblume, Cinerarie (Senecio cruentus)	Kanaren	kühl und luftig, dürfen nie trocken werden, sonst leicht Blattläuse
Azalee (Rhododendron simsii, früher Azalea indica)	Ostasien	mit kalkfreiem Wasser regelmäßig gießen, aber nicht zu naß halten. Im Winter bei 5 bis 10 °C hell stellen; im Sommer Halbschatten, ab August wieder Licht zum Ausreifen nötig
Bogensehnenhanf (Sansevieria trifasciata)	tropisches Afrika	vorsichtig gießen, besser etwas zu trocken halten als zu feucht; hell und warm stellen, im Winter nicht unter 14 °C
Buntlippe, Buntnessel (Coleus hybridus)	tropisches Afrika und Asien	hell und luftig halten, reichlich gießen; bei zu warmem Standort und zu wenig Wasser leicht Schmierläuse, nährstoffreiche, lehmige Erde, im Sommer einige Male düngen. Überwinterung schwierig, lohnt kaum.
Calla (Zantedeschia aethiopica)	Südafrika	im Winter bei 10 bis 15 °C möglichst hell und luftig, nach der Blüte trocken halten
Dieffenbachie (Dieffenbachia picta u. a.)	tropisches Amerika	vorsichtig spritzen, Blätter müssen bald wieder abtrocknen, Halbschatten, 15 bis 20 °C
Drachenbaum (Dracaena fragrans)	tropisches Afrika	selten düngen, sonst vergrünen die bunten Streifen; humose Erde, etwas Schatten; im Sommer mindestens zweimal täglich sprühen
Federiger Zierspargel (Asparagus plumosus)	Südafrika	im Sommer regelmäßig düngen, feucht halten; Halbschatten; humose, durchlässige Erde
Fensterblatt (Monstera deliciosa var. borsigiana)	tropisches Amerika	lockere, humus- und nährstoffreiche Erde; im Sommer reichlich wässern, mehrfach düngen; im Winter gleichmäßige Wärme um 18 °C, regelmäßig gießen
Fleißiges Lieschen, Balsamine (Impatiens sultani u. a.)	Sansibar	hell, aber nicht der vollen Sonne aussetzen; reichlich gießen, wenig düngen, nicht zu nährstoffreiche Erde; bei sparrigem Wuchs zurückschneiden; im Winter 12 °C
Gloxinie (Sinningia hybrida)	Brasilien	lockere, nährstoffreiche Erde, Halbschatten; vorsichtig gießen, aber nicht austrocknen lassen; nicht auf die Blätter spritzen, keine Zugluft, 15 bis 18 °C; abgeblühte Pflanzen einziehen lassen, Knollen bei 12 °C überwintern
Grünlilie, Graslilie (Chlorophytum comosum)	Südafrika	heller oder halbschattiger Standort, nährstoffreiche Erde, reichlich gießen und düngen
Gummibaum (Ficus elastica)	Ostindien, Malaiischer Archipel	im Winter heller, im Sommer halbschattiger Standort; regelmäßig und ausreichend gießen, häufig düngen; alljährlich — möglichst im Frühjahr — umtopfen; günstige Wintertemperatur 12 bis 15 °C; Standort möglichst wenig verändern
Hyazinthe (Hyacinthus orientalis)	Orient	Wasserkultur auf Hyazinthengläsern, Wasser darf Zwiebelboden nicht berühren; erst hell und etwas wärmer stellen (Doppelfenster), wenn genügend Wurzeln gebildet, mit Tüten bedecken, bis Knospen deutlich sichtbar sind; in der Blütezeit kühl halten

Name	Heimat	Behandlung
Kakteen (Cactaceae)	besonders Amerika	wie Aloe; Scherbeneinlage im Topf
Kamellie (Camellia japonica)	Japan	Wald- und Heideerde; im Sommer halbschattig im Freien, im Winter hell und kühl (10 bis 15 °C), möglichst kein Platzwechsel, sonst Knospenfall, ebenso durch zu warme und zu trockene Zimmerluft
Klimme (Cissus discolor)	Djawa	halbschattig, 16 bis 18 °C, nicht zu trokkene Luft, häufig spritzen
(Cissus antarctica)	Australien	wächst noch bei 3 bis 5 °C, aber auch bei 15 bis 18 °C, hell luftig, im Winter vorsichtig gießen
Knollenbegonie (Begonia tuberhybrida)	Stammarten aus Südamerika	oft im Freien ausgepflanzt; bei Topfkultur lockere nährstoffreiche Erde, im Sommer regelmäßig gießen, schwach düngen, zum Herbst einziehen lassen, Knollen trocken überwintern
Lorraine-Begonie (Begonia ‚Gloire de Lorraine')	Stammarten aus Südamerika und Socotra	Temperatur gleichmäßig, 12 bis 14 °C, bei Temperaturschwankungen oder Zugluft Abwerfen der Blüten; vorsichtig gießen, aber Töpfe nie austrocknen lassen; feuchte Luft, aber Blätter nicht benetzen
Myrte (Myrtus communis)	Mittelmeerländer	mittelschwere Erde, reichlich gießen, mehrmals beschneiden; im Sommer nicht in die grelle Sonne stellen; kühl (5 bis 10 °C) und hell überwintern, nie ballentrocken werden lassen
Oleander (Nerium oleander)	Südeuropa, Orient	mittelschwere Erde, viel gießen und düngen; hell und frostfrei überwintern, Giftpflanze!
Palmen (Palmae)	Tropen, Subtropen	kleine Töpfe, schwere, durchlässige, nährstoffreiche Erde; im Sommer oft abspritzen; Phoenix sonnig im Freien, Howea (Kentie) im lichten Schatten; nicht austrocknen lassen; empfindlich gegen Sonnenbrand; bei nicht zu trockener Luft und 12 bis 18 °C überwintern
Becherprimel (Primula obconica)	China	Dauerblüher; abgelagerte, nährstoffreiche lockere Erde, keine Düngesalze; Ballentrockenheit und stehende Nässe vermeiden. Sommer: hell und luftig, Schutz vor Mittagssonne. Winter: hell und kühl, nicht nahe Zentralheizung
Chinesische Primel (Primula sinensis)	China	Pflege wie Primel obconica. Blüht bei sachgemäßer Pflege monatelang. Weiterpflege nach Blüte zwecklos
Fliederprimel, Babyprimel (Primula malacoides)	China	geht in warmem Zimmer bald zugrunde; unbedingt ins Doppelfenster! — Schutz vor starker Frühjahrssonne *Anmerkung.* Die Blätter der Primula obconica tragen Drüsenhaare, deren Sekret *Primin* bei hierfür besonders empfindlichen Personen Hautausschläge (*Primeldermatitis*) hervorrufen kann. Pr. sinensis enthält weit weniger Primin, und es sind nur ganz vereinzelt durch Pr. sinensis verursachte Dermatitisfälle bekannt geworden. Pr. malacoides ist eine völlig priminfreie, nicht hautreizende Art
Riemenblatt, Klivie (Clivia miniata)	Südafrika	hell und luftig halten, an heißen Tagen mehrmals leicht spritzen; ab Mitte oder Ende August 6 bis 8 Wochen Ruhezeit; wenig gießen, volle Sonne; dann verpflanzen, ältere Pflanzen nur alle 2 bis 3 Jahre; Töpfe nicht zu groß, damit sichere Blüte, dafür häufiger düngen

Name	Heimat	Behandlung
Ritterstern (Hippeastrum vittatum), der Name Zimmeramaryllis ist falsch	Südamerika	während des Wachstums häufig düngen, ab Mitte August Ruhezeit bei 15 bis 18 °C halten, bis Knospenhülle erscheint, dann gießen und Temperatur auf 20 bis 25 °C erhöhen; Erde nährstoffreich, aber nicht überdüngen
Schusterpalme, Erdstern, Schildblume (Aspidistra elatior)	Japan	regelmäßig, aber nicht zu reichlich gießen, im Sommer häufig düngen; Blätter öfter abwaschen; im Winter genügt frostfreier Raum, aber auch warmer Standort möglich, ebenso volle Sonne oder Schatten
Usambaraveilchen (Saintpaulia ionantha)	Ostafrika	halbschattig; regelmäßig, aber nicht zu stark gießen; im Winter etwas heller stellen bei 18 °C; Töpfe verhältnismäßig klein, Erde locker und humusreich
Weihnachtsstern (Euphorbia pulcherrima)	Mexiko	voll erblühte Pflanzen brauchen 15 °C und feuchte Luft, sonst Blattfall; nicht auf die Blätter sprühen
Wunderstrauch (Codiaeum variegatum)	Malaiischer Archipel	im Sommer leichter Schatten, mäßige Luftfeuchtigkeit, im Winter hell und luftig; 18 bis 25 °C, auch nachts nicht unter 18 bis 20 °C
Zierspargel (Asparagus sprengeri)	Südafrika	im Winter bei 12 bis 15 °C hell stellen; nicht überbrausen, da sonst Wedel stocken; im Sommer häufig düngen, regelmäßig und reichlich gießen; nährstoffreiche lehmige Erde
Zimmerefeu (Hedera helix in verschiedenen Unterarten)	Europa bis Japan, Südafrika	luftiger, sonniger oder schattiger Standort; nicht zu warm halten
Zimmerlinde (Sparmannia africana)		8 bis 10 °C am besten, häufig umpflanzen, nährstoffreiche Erde, große Töpfe; reichlich gießen und düngen; im Winter kühl (10 °C) und hell halten, keine direkte Sonneneinstrahlung
Zimmertanne (Araucaria excelsa)	Norfolk-Inseln	heller Standort, aber luftig, im Winter kühl bei 6 bis 10 °C, wenig gießen, im Sommer halbschattig, stärker wässern, auch übersprühen

Für Zimmerpflanzen geeignete Erden

Komposterde	Zusammensetzung und Wert unterschiedlich, neutral mittelschwere mineralische Erde, Zusatz zu Kultur- und Aussaaterden, Bodenverbesserung
Lauberde	leichte, brockige Erde mit geringem Nährstoffgehalt, schwach sauer, trocknet leicht aus; für Aussaaten, Topfpflanzen
Misterde	lockere, nährstoffreiche Humuserde, neutral; für starkwüchsige, humusliebende Pflanzen
Moorerde	leichte, nährstoffarme Humuserde, stark sauer bis sauer; für Hortensien
Nadelerde	nährstoffarme Humuserde, locker, durchlässig, stark sauer; für Azaleen, Farne, Erdorchideen
Rasenerde	schwere, nährstoffreiche, mineralische Erde, brockig-krümelig, alkalisch; für anspruchsvolle Schnittblumen- und Topfkulturen

Aus diesen Erdarten werden die Kulturerden für die wichtigsten Zierpflanzen zusammengestellt. Dazu kommen noch *Erdzusätze*: Sand (größere Durchlässigkeit der Erde); Lehm (größere Sorptionskraft der Erde); Torf (Verbesserung der Struktur, der wasserhaltenden Kraft und der Sorptionseigenschaften). Bauschutt und Ziegelbrocken werden den Erden zugesetzt, die sehr durchlässig sein müssen (z. B. bei Bromelien). Während noch vor wenigen Jahrzehnten komplizierte Erdmischungen für die einzelnen Kulturen üblich waren, bemüht man sich heute um Vereinheitlichung. Die *Einheitserde* nach Fruhstorfer (50% Schwarz- und Weißtorf, 50% grob-krümeliger Lehm, Ton oder Schlick mit einem Mineraldüngerzusatz von 4 bis 8 kg/m, NPK-Verhältnis 1 : 2 : 1,5) ist für zahlreiche Zimmerpflanzen geeignet.

Hydrokultur bei Zimmerpflanzen. In verstärktem Maße werden Zimmerpflanzen (Dieffenbachien, Sansevierien, Begonien, Zimmerefeu u. a.) in Hydro-Ziertöpfen herangezogen. Die mit Kies gefüllten Einsatztöpfe gleichen normalen Blumentöpfen. Die Nährlösung kann durch Auflösen einer Tablette Wopil in 1 l Wasser hergestellt werden. Der Hydro-Ziertopf darf nur bis zur Hälfte mit Nährlösung gefüllt werden, damit die Wurzeln nicht unter Sauerstoffmangel leiden. Die Nährlösung muß nach 8 bis 14 Tagen ergänzt und nach etwa 8 Wochen völlig erneuert werden. Dabei müssen die am Einsatztopf, am Kies und an den Pflanzenwurzeln auskristallisierten Salze fortgespült werden.

BALKONPFLANZEN

Sommerbepflanzung

sonnige Lage, vor allem Südseite	Pflanzenabstand
Begonie, Eisblume (Begonia semperflorens)	15 bis 20 cm
Buntnessel, niedrige Sorten (Coleus hybridus)	20 bis 25 cm
Hahnenkamm (Celosia argentea f. cristata	20 bis 25 cm
Lobelie (Lobelia erinus)	15 cm
Nemesia (Nemesia strumosa u. a.)	8 bis 10 cm
Pelargonie (Pelargonium hybridum, P. peltatum)	30 cm
Petunie (Petunia hybrida)	15 bis 20 cm
Halbschatten, auch Nordseite, feuchte Luft günstig	
Fleißiges Lieschen (Impatiens sultani u. a.)	20 bis 30 cm
Fuchsie (Fuchsia hybrida)	25 bis 30 cm
Knollenbegonie (Begonia tuberhybrida)	25 bis 30 cm
Strauchige Pantoffelblume (Calceolaria rugosa)	20 bis 25 cm

Kletterpflanzen

Efeu (Hedera helix)	Knöterich (Polygonum aubertii)
Feuerbohne (Phaseolus multiflorus)	Trichterwinde (Ipomoea coerulea)
Glockenrebe (Cobaea scandens)	Wicke (Lathyrus odoratus)
Japanischer Hopfen (Humulus japonicus)	Wilder Wein (Parthenocissus)

Fast alle für Balkon- und Fensterkästen geeigneten Pflanzen brauchen nährstoffreiche, nicht zu leichte Erde. Nicht zu eng pflanzen, damit die Pflanzen sich nicht gegenseitig behindern und vergeilen. Regelmäßig und gründlich gießen, bis Mitte August häufig düngen. Da viele Arten frostempfindlich sind, Sommerpflanzung erst nach dem 20. Mai. Im Herbst kann Glockenheide (Erica gracilis) gepflanzt werden, im Winter kleine Fichten und im Frühjahr Stiefmütterchen und Tausendschön.

X. Gartenbau

OBSTBAU

Apfelsorten

Name	Pflückreife	Genußreife ab	Haltbarkeit bis
(+) Albrechtsapfel	September	Anfang November	Anfang Januar
(+) Baumann	Oktober	Anfang Dezember	Ende März
(+) Berlepsch*	Ende Oktober	Ende November	Ende März
(−) Bohnapfel	Ende Oktober	Ende Januar	Juni
(−) Boskoop	Mitte bis Ende Oktober	Ende Dezember	Anfang April
(+) Cox*	Anfang Oktober	Anfang November	Mitte Februar
(+) Croncels	Ende August bis Anfang September	September	Ende Oktober
(+) Goldparmäne	September bis Oktober	Anfang November	Anfang März
(−) Jakob Lebel	September	Oktober	Mitte Dezember
(+) James Grieve*	Anfang September	September	Mitte Oktober
(+) Klarapfel	Mitte Juli bis Anfang August	Mitte Juli	Anfang August
(+) Landsberger	Ende September	Anfang November	Mitte Februar
(+) Nordhausen	Oktober	Ende Dezember	Anfang April
(+) Oldenburg	September	Mitte Oktober	Mitte Dezember
(+) Ontario	Oktober	Ende Dezember	Mai
(−) Wilhelmapfel	Anfang Oktober	Ende November	Ende Februar
(+) Zuccalmaglio*	Oktober	Anfang Dezember	Ende März

Die vorstehend genannten Apfelsorten gelten als ertragssicher für die meisten deutschen Gebiete; die mit einem Stern (*) versehenen Sorten stellen höhere Ansprüche an Standort und Pflege. Die Sortenliste der in der DDR zugelassenen Sorten enthält weitere Apfelsorten. Daneben gibt es wertvolle Lokalsorten, die den besonderen örtlichen klimatischen Verhältnissen angepaßt sind. Im Interesse einer einheitlichen Marktversorgung ist man heute bestrebt, die früher sehr große Zahl von Apfelsorten stark zu verringern.
Alle unsere Apfelsorten sind „selbstunverträglich" („selbstunfruchtbar"). Sie müssen deshalb durch den Pollen (Blütenstaub) gleichzeitig blühender anderer Sorten bestäubt werden. Einige Sorten sind pollensteril (−); um die Befruchtung zu sichern, müssen für einen schlechten Pollenspender (−) stets mindestens 2 gute (+) in der Nähe vorhanden sein. Die Pollen werden vor allem durch die Honigbiene übertragen.

Birnensorten

Name	Pflückreife	Genußreife ab	Haltbarkeit bis
(−) Alexander Lucas	Oktober	Ende Oktober	Dezember
(+) Bosco Flaschenbirne	Ende September	Anfang Oktober	Anfang Dezember
(+) Clapps Liebling	Mitte August	Ende August	Anfang September
(+) Gellert	Anfang September	Ende September	Anfang Oktober
(+) Gute Graue	Ende August	Anfang September	Ende September
(+) Gute Luise	Anfang September	Mitte September	Oktober
(+) Köstliche von Charneu	Mitte bis Ende September	Anfang Oktober	Mitte November
(+) Williams Christ	Ende August	Anfang September	Ende September

Die für die Apfelsorten gegebene Erläuterung gilt sinngemäß auch für die Birnensorten.

Kirschensorten

Süßkirschen

	Reifezeit in „Kirschwochen"		Reifezeit in „Kirschwochen"
Braunauer	2···3	Große Prinzessin	3
Büttners Rote Knorpel	5	Große Schwarze Knorpel	4···5
Dönissens Gelbe Knorpel	5	Hedelfinger	4
Fromms Herzkirsche	3	Kassins Frühe	2
Früheste der Mark	1	Maibigarreau	2···3
Große Germersdorfer	4···5	Schneiders späte Knorpel	5
		Weiße Spanische	4

Sauerkirschen

Diemitzer Amarelle	3	Schattenmorelle[1]	5···6
Rote Maikirsche	3···4	Spanische Glaskirsche	3···4

[1] selbstunfruchtbar

Die Reifezeit der Kirschen wird nach „Kirschwochen" angegeben, beginnend mit der Sorte „Früheste der Mark" (1. Kirschwoche ist in normalen Jahren durchschnittlich die 1. Juniwoche).

Untereinander nicht befruchtungsfähige Kirschensorten
(Unverträglichkeitsgruppen, Intersterilitätsgruppen)

Mitteldeutsche Sorten

Gruppe 1: Badeborner
Büttners Rote Knorpel
Dankelmann
Große Prinzessin
Ochsenherzkirsche

Gruppe 2: Ampfurter Knorpel
Kunzes Kirsche
Maibiggarreau

Gruppe 3: Kassins Frühe
Weiße Spanische

Gruppe 4: Braunauer
Dönissens Gelbe Knorpel

Rheinpfälzische Sorten	*Rheinländische Sorten*
Napoleonskirsche	Bopparder Hängische
Schneiders Späte Knorpel	Braune Spanische Knorpel

Auch alle Süß- und einige Sauerkirschensorten sind „selbstunverträglich" („selbstunfruchtbar"), d. h. mit dem eigenen Blütenstaub nicht befruchtbar. Die bei Kernobst häufige Pollenunfruchtbarkeit tritt zwar nicht auf, doch wurden die oben angeführten „Unverträglichkeitsgruppen" festgestellt. Die zu einer Gruppe gehörenden Sorten vermögen sich gegenseitig *nicht* zu befruchten, können aber von allen anderen Sorten befruchtet werden.

Pflaumensorten

	Reifezeit		Reifezeit
Althans*	Anfang September	Hauszwetsche	September
Anna Späth	Ende September	Lützelsachser[1]	Mitte Juli bis August
Bühler Frühzwetsche	Mitte August	Nancymirabelle	August bis September
Czar	Anfang August	Ontariopflaume	August
Große Grüne Reneklode[1]	September	Viktoriapflaume	Ende August bis September
		Wangenheim	September

[1] selbstunfruchtbar

Pfirsichsorten

	Reifezeit		Reifezeit
Alexander	Mitte bis Ende Juli	Proskauer*	Anfang August bis Anfang September
Amsden	Anfang bis Ende Juli		
Mayflower	Anfang Juli	Sieger	Mitte bis Ende Juli
Naundorfer Kernechter*	Anfang bis Mitte September	Vorgebirge*	Anfang bis Mitte September

Alle Pfirsichsorten sind „selbstfruchtbar". Die Sorten mit * sind „kernecht". Diese sind im allgemeinen frostwiderstandsfähiger als veredelte und sollten in weniger günstigen Lagen vorgezogen werden.

Aprikosensorten

	Reifezeit
Ambrosia	Mitte bis Ende Juli
Frühe Deutsche Aprikose	Ende Juli bis Anfang August
Nancyaprikose	Ende Juli bis Anfang August

Alle Aprikosenarten sind selbstfruchtbar.

Johannisbeersorten

	Fruchtfarbe	Reifezeit
Fays Fruchtbare	rot	Mitte Juni
Vierländer	rot	Ende Juni
Heros	rot	Ende Juni
Rote Holländische	rot	Mitte Juli
Weiße Versailler	weiß	Ende Juni, Anfang Juli
Holländische Weiße	weiß	Mitte Juli
Goliath	schwarz	Mitte Juli
Rosenthals Schwarze	schwarz	Anfang bis Mitte Juli

Johannisbeeren sind selbstfruchtbar. Sie reifen je nach Sorte von Ende Juni bis Anfang August, können aber nach Erreichen der Pflückreife ohne Verluste noch 2 bis 3 Wochen am Strauch bleiben.

Himbeersorten

Winklers Sämling	dunkelrot	Berlin	hellrot
George	dunkelrot	Deutschland	hellrot

Brombeersorten

Wilsons Frühe	aufrecht	Theodor Reimers	rankend

Himbeeren und Brombeeren sind selbstfruchtbar. Himbeeren können von Mitte Juni bis Ende Juli geerntet werden, Brombeeren von Mitte August bis Oktober.

Stachelbeersorten

	Fruchtfarbe	Reifezeit
Hönings Früheste	gelb	Ende Juni
Gelbe Triumphbeere	gelb	Mitte Juli
Rote Triumphbeere	rot	Mitte Juli
Rote Preisbeere	dunkelrot	Ende Juli
Delamere	grün	Mitte Juli

Stachelbeeren sind im allgemeinen selbstfruchtbar. Fremdbefruchtung scheint aber die Fruchtgröße günstig zu beeinflussen.

Erdbeersorten

	Geschlechterverteilung	Reifezeit
Sieger	zwittrig	Anfang Juni
Große Fruchtbare	vorwiegend zwittrig	Mitte Juni
Mieze Schindler	rein weiblich	Mitte Juni

Erdbeeren sind im allgemeinen selbstfruchtbar. Einige Sorten tragen aber ausschließlich weibliche Blüten, die durch den Blütenstaub anderer Sorten befruchtet werden müssen.
Im Selbstversorgerobstbau spielen neben den bekannten einmaltragenden Sorten auch *zweimaltragende* Sorten (z. B. Machern, Herzbergs Triumph) und *Monatserdbeeren* eine Rolle (z. B. Rügen, Weiße Solemacher).

Ertrag und Lebensdauer der Obstgehölze

Obstart	ertragslose Zeit in Jahren	jährlicher Ertrag in kg	Lebensdauer in Jahren
Äpfel auf Sämlingsunterlagen			
robuste Sorten	7···12	50···60	70···100
im allgemeinen	7···12	30···45	60
Äpfel auf starkwüchsigen Typunterlagen*	5···7	20···30	35···45
Äpfel auf mittelstarkwüchsigen Typunterlagen*	3···5	10···15	25···35
Äpfel auf Malus IX			
Gelber Metzer Paradies	2···3	8···12	18···20
Birnen auf Sämlingsunterlagen			
robuste Sorte	8···10	70···90	65···85
im allgemeinen	6···10	35···45	55···70
Birne auf Quitte	3···5	15···25	25···35
Süßkirsche	5···7	40···50	45···60
Sauerkirsche auf Vogelkirsche	4···6	25···30	30···40
Sauerkirsche auf Prunus mahaleb	4···5	15···20	20···25
Pflaumen	4···6	25···30	30···40
Pfirsiche	3···4	20	15···18
Aprikose	3···5	20···30	20···30
Walnuß	12···16	40···60	80···100
Haselnuß	4···5	2,5···3	35···45
Johannisbeere, rot, weiß	2···3	3,5···4,5	15···20
Stachelbeere	2···3	3···4	15···20
Himbeere	1···2	0,4	14···16

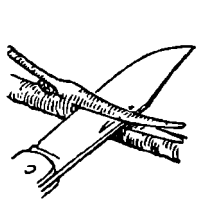
Die angegebenen Zahlen sind Durchschnittszahlen, die genannten Ertragswerte Durchschnittswerte während der Hauptertragszeit. Sie können in Einzelfällen, besonders in guten Obstjahren, wesentlich höher liegen.

* *Typunterlagen* (Klonunterlagen) werden ungeschlechtlich (vegetativ) vermehrt. Wie jede Unterlage beeinflussen sie Wuchsstärke, Lebensdauer und Ertrag der aufgepfropften Edelsorten. So verleiht die Typunterlage Malus XI der aufgepfropften Sorte ein starkes Triebwachstum, Malus IX ein schwaches, Malus II zum Teil ein mittelstarkes Triebwachstum. Die Einflüsse der Unterlage schwanken jedoch je nach Boden und aufgepfropfter Edelsorte, so daß für bestimmte Zwecke die Wahl der Unterlage sorgfältig erfolgen muß.

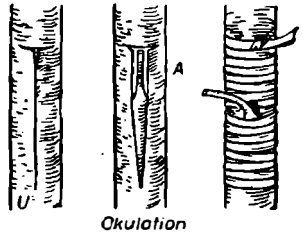
VEREDELUNG DER PFLANZEN

Veredeluogsmethoden

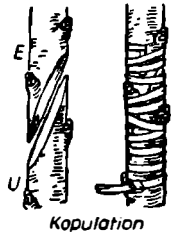
Name	Art der Operation	Anwendung
Okulation	ein sogenanntes „Auge" des Edelreises, d. i. eine Knospe mit einem schildförmigen Stück Rinde, wird in einen T-förmig eingeschnittenen Rindenspalt des Wildstämmchens eingeschoben. Dicht bei dicht verbinden	Sommer; Rosen, Obstbäume
Kopulation	zwei gleich starke Reiser werden, ohne die Rinden zu lösen, mit ihren Schnittflächen aufeinandergesetzt und fest miteinander verbunden	vor dem Austrieb, Obstbäume, Johannisbeer- und Stachelbeerstämmchen
Pfropfen hinter die Rinde	nachdem das Edelreis mit einem Kopulationsschnitt versehen ist, wird es unter die Rinde der Unterlage gebracht	vor dem Austrieb, sobald die Rinde sich löst; Umveredeln schlecht tragender Obstbäume
Geißfußveredelung (Triangulation)	das Edelreis wird mit zwei schräg zueinanderliegenden Schnitten keilförmig zugeschnitten und in einen entsprechenden keilförmigen Ausschnitt der Unterlage eingeschoben, so daß sich die Wundränder berühren	vor dem Austrieb; Obstbäume, wenn die Unterlage stärker ist als das Edelreis



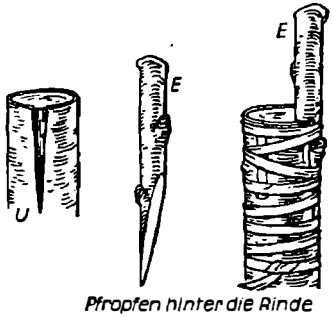
Schneiden des Auges



Okulation

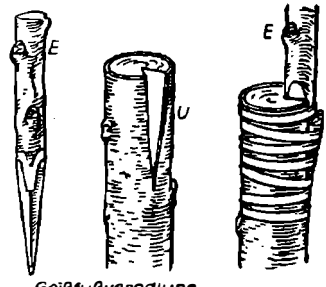


Kopulation



Pfropfen hinter die Rinde

A: Auge
E: Edelreis
U: Unterlage



Geißfußveredlung

Veredelungsmethoden

Das *Veredeln* der Pflanzen ist eine Operation, die das Verwachsen zweier Pflanzen zu einer Lebenseinheit bewirken soll. Beim *Okulieren* wird nur ein Knospenansatz der Edelsorte unter die Rinde des Wildlings eingesetzt, beim *Kopulieren*, Pfropfen hinter die Rinde und *Triangulieren* dagegen ein Trieb (oder auch mehrere Triebe) der Unterlage gekürzt und das sorgsam zugeschnittene Edelreis auf die Unterlage aufgesetzt. Stets werden also die wachstumsfähigen Schichten beider Pflanzen miteinander in Berührung gebracht, so daß sie miteinander verwachsen können. Beim Okulieren wird nur dicht bei dicht verbunden; bei den anderen hier genannten Veredelungsarten kann der Bastfaden lückig angelegt werden, es muß jedoch unbedingt mit Baumwachs verstrichen werden. Der veredelte Baum (Strauch) baut sich dann nach einigen Jahren wie folgt auf. Es stammen von der *Unterlage*: die Wurzel und ein mehr oder weniger großer Teil des Stammes; vom *Edelreis*: der übrige Teil des Stammes und die Krone.

An der „Nahtstelle" beider Pflanzen liegt oft eine Verdickung, der *Veredelungswulst*, der aus dem überwallenden Wundgewebe entstanden ist.

Bedeutung des Pfropfens. Das Pfropfen ist seit alter Zeit im Obstbau üblich, um die *Sortenechtheit* zu erhalten, da diese durch Sämlinge nicht gewährleistet wird. Die Sämlinge einer bestimmten Edelsorte unterscheiden sich nämlich nicht allein sehr wesentlich untereinander, sondern auch von ihren Eltern. Neuerdings hat das Pfropfen für die *Neuzüchtung* von Sorten große Bedeutung gewonnen. Der sowjetische Pflanzenzüchter Iwan Wladimirowitsch *Mitschurin* (1855 bis 1935) gelangte zu der Anschauung, daß bei Hybridensämlingen die endgültige Ausgestaltung der Eigenschaften nicht nur durch die Erbanlagen, sondern meist auch sehr stark durch die Einwirkung äußerer Einflüsse während ihrer Entwicklung von der Keimung des Samens bis zu den ersten Jahren des Fruchtens bestimmt wird. Dieser Einfluß äußerer Faktoren, zu denen auch die Einwirkung der Unterlage auf das Edelreis gehört, kann sich erblich festigen, also im weiteren Lebensablauf des Sämlings erhalten bleiben. Darauf beruhen zwei von Mitschurin erdachte Methoden:

1. Das Verfahren der vorbereitenden *vegetativen Annäherung*.

   Weg: Edelreiser eines einjährigen Hybridensämlings werden in die Krone einer anderen Art oder Gattung gepfropft. Die Struktur des angewachsenen Edelreises läßt sich bis zum Eintritt ins blühfähige Alter beeinflussen.

   Ergebnis: Ermöglichung der Kreuzung (Pollenübertragung) des aufgepfropften Hybridensämlings mit der betreffenden anderen Art.

2. Das *Mentorverfahren*.

   Weg: In die Krone des Hybridensämlings werden vorübergehend für 2–3 Jahre Reiser einer Sorte eingepfropft, die dem Sämling die gewünschten Eigenschaften übermitteln sollen. Diese Reiser sollen also gewissermaßen als „Erzieher" (Mentor) wirken. Es können auch Reiser des Hybridensämlings in die Krone des Mentors veredelt werden.

   Ergebnisse:
   a) Es entstehen auf ungeschlechtlichem Wege Mischlinge (sogenannte „vegetative Hybriden") zwischen der Unterlage und der aufgepfropften Sorte, die z. B. Verbesserung der Haltbarkeit oder Färbung der Früchte oder Verbesserung der Frosthärte aufweisen;
   b) rascherer Eintritt der Ertragsfähigkeit, wenn die Mentorisierung an über 10jährigen Hybridensämlingen durchgeführt wird.

Die Ergebnisse der Mitschurinschen Züchtungen

Zu den über 300 Pflanzensorten, die der bedeutende sowjetische Züchter *Mitschurin* entwickelt hat, gehören:

47 Apfelsorten	4 Himbeersorten
20 Birnensorten	4 Brombeersorten
2 Quittensorten	1 Erdbeersorte
6 Süßkirschensorten	2 Maulbeersorten
13 Sauerkirschsorten	6 Aktinidiensorten[1]
15 Pflaumensorten	4 Ebereschensorten
9 Aprikosensorten	1 Robiniensorte
2 Mandelsorten	1 Tomatensorte
1 Haselnußsorte	1 Zuckermelonensorte
8 Weintraubensorten	1 Rosensorte (zur Rosenölgewinnung)
6 Johannisbeersorten	1 Tabaksorte
1 Stachelbeersorte	1 Liliensorte

[1] Äußerst frostharte schlingende Sträucher mit schmackhaften Früchten von ungefähr Stachelbeergröße.

GÄRTNERISCHER ARBEITSKALENDER

Januar

Bei mildem Wetter umgraben, Komposthaufen umsetzen. — Schlechte Obstbäume entfernen, kranke und störende Äste aussägen, Raupennester vernichten. Edelreiser schneiden und zum Aufbewahren frostfrei einschlagen. Gartengeräte instand setzen. Samenvorräte durchsehen, Keimproben machen. Samen bestellen, Fachbücher lesen.

Februar

Wenn möglich, Gartenland umgraben, Rasen mit Komposterde düngen. Mistbeete für Melonen, Porree, Sellerie, Tomaten und Frühgemüse anlegen. Möhren, Petersilie und Puffbohnen können bei günstigem Wetter schon ins Freiland gesät werden. — Begonien, Petunien, Verbenen (Eisenkraut) in Töpfe säen und diese ans Zimmerfenster stellen. — Schnitt und Auslichten der Obstbäume und Beerenobststräucher fortsetzen und beenden, bei frostfreiem Wetter Winterspritzung durchführen. — Stecklinge von Fuchsien und Pelargonien schneiden. — Nistkästen aufhängen.

März

Freilandbeete säubern, düngen, neue Spargelbeete anlegen, ältere anhäufeln. Kohl, Zwiebeln, Porree, Salat zur Pflanzenanzucht ins Frühbeet säen. Rhabarber auspflanzen; Puffbohnen, Früherbsen legen, Möhren, Petersilie, Radieschen, Spinat, Zwiebeln säen. — Sommerblumen ins Frühbeet säen, Stauden und Rosen pflanzen. — Obstbäume und Beerensträucher pflanzen, veredeln und umpfropfen, Rosen schneiden. Bäume mit vielen Blütenknospen flüssig düngen. Erdbeerbeete säubern und düngen.

April

Vorgekeimte Frühkartoffeln auslegen; nicht vorgekeimte Kartoffeln werden ebenfalls gelegt. Gurkenbeete vorbereiten, Spargel auspflanzen, weitere Erbsen, Möhren, Radieschen sowie Buschbohnen, Kohlarten, Küchenkräuter, Mangold, Rettiche, Rote Rüben säen. — Gladiolenknollen auslegen, Sommerblumen ins Freie säen, Rosen und Reben hochbinden. Bei Trockenheit frisch gepflanzte Bäume wässern, Vorblütenspritzung vornehmen.

Mai

Alle Beete regelmäßig jäten und hacken, bei Trockenheit vor allem Saatbeete feucht halten. Grünkohl und Rosenkohl aussäen, Erbsenbeete mit Reisern versehen. Bohnen, Gurken und Kürbis legen, Rotkraut, Sellerie, Spätkartoffeln, Tomaten und Zwiebeln auspflanzen. — Blumenbeete anlegen; Dahlienknollen auslegen, Glockenblumen, Goldlack, Kapuzinerkresse säen. Begonien, Heliotrop (Sonnenwende), Pelargonien auspflanzen. — Triebe der Formobstbäume auskneifen; Obstbäume und Beerensträucher, die angesetzt haben, flüssig düngen, ebenso Erdbeeren. — Rasen schneiden. — Holzwolle oder dgl. zum Unterlegen unter Erdbeerfrüchte besorgen.

Juni

Bei Trockenheit morgens oder abends gründlich gießen oder sprengen. Gemüsebeete, Sommerblumen, Stauden und Rosen düngen, flüssig düngen, hacken, Unkraut bekämpfen. Bohnen, Erbsen, Grünkohl, Kohlrüben, Kopfsalat, Möhren säen; Blumenkohl, Kohlrabi, Sellerie, Rote Rüben, Rosenkohl, Weißkohl auspflanzen. Kartoffeln anhäufeln. Tomaten anbinden und ausgeizen. — Abgeblühte Blumenbeete neu herrichten. Im Frühjahr gepflanzte Bäume gründlich wässern, Baumscheiben abdecken. Hecken schneiden.

Juli

Beete unkrautrein und offen halten, gründlich gießen und sprengen. Erdbeerausläufer entfernen. Tomaten ausgeizen, düngen und wässern. Buschbohnen, Futterrüben, Radieschen, Salat säen; Grünkohl, Kohlrabi, Salat pflanzen. — Stiefmütterchen und Vergißmeinnicht säen. Rosen okulieren. — An Obstbäumen Wurzel- und Stammschößlinge entfernen. Gurken und Melonen entspitzen. Abgeblühte Ziersträucher zurückschneiden.

August

Geiltriebe der Tomaten weiterhin ausbrechen; Radieschen, Spinat für Herbstverbrauch säen, Teltower Rübchen und Feldsalat (Rapünzchen) aussäen. — Stauden teilen und verpflanzen. — Schwerbeladene Äste der Obstbäume stützen. Erdbeeren pflanzen.

September

Nur bei Trockenheit gießen; Komposthaufen umsetzen; Erdbeerbeete säubern und düngen. Endtrieb (Gipfelsproß) der Tomaten ausbrechen, Endivien binden. Feldsalat (Rapünzchen), Spinat für Frühjahrsbedarf säen. — Blumenzwiebeln und Frühjahrsblumen auspflanzen. Blumenkohl, Rotkohl, Weißkohl („Erstling") in Kästen zum Durchwintern aussäen.

Oktober

Ernte einwintern. — Dahlien- und Gladiolenknollen nach dem ersten Frost aus dem Boden nehmen, Blumenbeete umgraben und in groben Schollen liegenlassen; zwischen Stauden und Sträuchern Dünger eingraben. Rhabarber pflanzen, Sellerie ernten, Spargelbeete säubern, einebnen und mit Dung abdecken. — Obstbäume Stämme abkratzen, Kalkanstrich, Leimgürtel anlegen. Anbauplan für das nächste Jahr aufstellen, um entsprechend düngen zu können.

November

Komposthaufen umsetzen, umgraben; Rosen niederlegen, Reben beschneiden und niederlegen; empfindliche Pflanzen mit Frostschutzdecke versehen. — Obstbäume pflanzen (Pfirsiche, Aprikosen erst im Frühjahr!).

Dezember

Bis zum Frost umgraben. — Singvögel füttern. — Obstbäume vor Wildverbiß schützen.

Gemüseart	Aussaat	Saat-ort	Auspflanzen	Abstand der Pflanzen in cm in der Reihe	Abstand der Pflanzen in cm von Reihe zu Reihe	Bewässerung	Erntebeginn
Blumenkohl	Februar	G	Ende April	50	50	reichlich	Ende Juni
Buschbohne	ab 10. Mai			5	40···50	während der Blüte gründlich	Juli
Erbse	ab 10. April	F		5	30···40	wenig	Juni
Grünkohl	ab Juni	F	Juli	40···50	40···50	wenig	Oktober
Gurke	April	G	Ende Juni	15···30	100	reichlich	Juli
	Mitte Mai	F					
Kohlrabi, früh	Februar/März	G	Anfang April	20	40	bei Trockenheit gründlich	Mai
Sommer	April/Mai	F	Mai	20	40		Juli
spät	April/Mai	F	Juli	20	40		Oktober
Kürbis	Ende April	G	ab 20. Mai	100	100	durchdringend	September/Oktober
Möhre, früh	Februar/März	F		3···5	25	nur bei großer Trockenheit	Juni
spät	April	F		3···5	30···35		Oktober
Petersilie (Wurzel)	März/April	F		5···10	25···30	bis zum Auflaufen feucht	November
Porree	März/April	F		5···10	30···40	reichlich	Herbst
Radieschen	ab Ende März bis Anfang September	F		3···5	15···20	feucht halten	Mai bis Oktober
Rettich, früh	ab Ende März	F		5···10	15···20	bei Trockenheit reichlich	Mai
Sommer	ab April	F		5···10	15···20		Juni
Herbst	ab Ende Juni	F		10···15	20···30		Oktober
Rosenkohl	Mai	F	Juni	50···60	50···60	bei Trockenheit gründlich	November bis Januar
Rote Rübe	Juni/Juli	F		10···15	30···40	nur b. anhaltender Trockenheit	Oktober
Rotkohl, früh	Februar/März	G	April	50	50	bei Trockenheit	Juni/Juli
Dauer	März	F	Mai	60	60	gründlich	Oktober
Salat	ab März	G	ab April	25···30	25···30	mäßig, aber regelmäßig	ab Mai
Sellerie	Februar	G	Mai	30···40	40···50	gründlich	Oktober
Schwarzwurzel	ab Ende Febr.	F		3···5	30	wenig	Herbst
Spinat, früh	März/April	F		3···5	25···30	bei Trockenheit	Mai
Herbst	August	F				beregnen	Oktober
Winter	September	F					April
Tomate	März	G	ab 20. Mai	50···80	80···100	reichlich	Ende Juli
Weißkohl, früh	Februar/März	G	April	50	50	wie Rotkohl	Juni/Juli
Dauer	März/April	F	Mai	60	60		Oktober
Wirsing, früh	Februar/März	G	April	50	50	wie Rotkohl	Juni/Juli
Dauer	März/April	F	Mai	60	60		Oktober
Zwiebel	März	F		5···8	25···30	mäßig	September

F Freilandaussaat G Aussaat unter Glas

Keimfähigkeit von Gemüsesamen

Gemüse	Keimzeit in Tagen	Mindest-keimfähigkeit in %	Keimfähigkeit bleibt erhalten (Jahre)
Bohnen	5···8	85	3···4
Erbsen	6···10	85	2···6
Gurken	5···8	80	4···8
Kohl aller Art	4···6	80	4···5
Kohlrabi	4···6	85	4···5
Kürbis	6···8	80	5···8
Mangold	10···14	70	4···6
Möhren	10···30	65	3···4
Petersilie	14···20	70	2···3
Porree	8···14	70	2···3
Radieschen	4···14	85	4···5
Rettich	4···14	85	4···5
Rote Rüben (Salatrübe)	8···14	70	5···6
Salat	6···12	80	4
Schwarzwurzel	10···12	80	1···2
Sellerie	14···26	75	3···4
Spinat	6···20	80	4···5
Tomaten	8···18	80	3···6
Zwiebeln	10···20	80	2

Da für das *Aufgehen der Saat* verschiedene Faktoren maßgebend sind, wie die Qualität des Samens und der Erde, die Witterung, regelmäßiges Gießen u. a., läßt sich die Zahl der Tage zwischen Aussaat und Aufgehen der Saat nur annähernd angeben.
Zur Beurteilung der *Güte des Samens* gehört die Probe auf seine *Keimfähigkeit*. Diese erreicht bei keiner Art 100%; sie bleibt auch verschieden lange Zeit erhalten. Von entscheidender Bedeutung ist aber in jedem Falle eine kühle, luftige und trockene Aufbewahrung des Samens.

XI. Aus Land- und Forstwirtschaft

DER BODEN

Einteilung der Bodenarten. Die Bodenarten werden häufig eingeteilt nach ihrem Gehalt an *abschlämmbaren* Teilchen (mit einer Größe von unter 0,02 mm Durchmesser), weil dadurch die chemisch-physikalischen Verhältnisse im Boden weitgehend bestimmt werden.

Bodenart	Gehalt an abschlämmbaren Teilchen in %
Sand	bis 10
anlehmiger Sand	10···20
lehmiger Sand	20···25
stark sandiger Lehm	25···30
sandiger Lehm	30···35
Lehmboden	35···65
lehmiger Ton	65···75
Tonboden	über 75

Eine *andere Einteilung* lautet wie folgt:

Steinböden	bei 80% Steinen
Sandböden	bei 80% Sand
Tonböden	bei über 50% Ton
Mergelböden	bei über 20% Ton und 20···40% kohlensaurem Kalk
Kalkböden	bei über 40% kohlensaurem Kalk

Einteilung nach dem Humusgehalt

schwach humoser Boden	2···5 % Humus
humoser Boden	5···10% Humus
anmooriger Boden	10···20% Humus
Torf- oder Moorboden	über 20% Humus

Einteilung der mineralischen Bodenbestandteile nach der Korngröße in mm

Ton	kleiner als 0,002	Grobsand	0,2···2
Schluff	0,002···0,02	Kies, Grus	2···20
Feinsand	0,02···0,2	Steine	größer als 20

Zusammensetzung des Ackerbodens

Mineralische und organische Bestandteile	47···50 %	luftgefüllte Poren	25 %
		wassergefüllte Poren	25 %

Zusammensetzung der Bodenluft

Stickstoff	79 %	Kohlendioxyd	0,3···2 %
Sauerstoff	20 %		

Bodenreaktion: chemischer Zustand des Bodens hinsichtlich seines Säure- und Alkaligehaltes, ausgedrückt durch die *Wasserstoffionenkonzentration* pH. Neutrale Reaktion bei pH = 6,5 bis 7,4; darunter: sauer; darüber: alkalisch.

Es gedeihen am besten:

Kartoffel	bei pH 5,0···6,5	Rübe	bei pH 6,0···7,5
Hafer	bei pH 5,0···7,0	Luzerne	bei pH 6,5···8,0
Roggen	bei pH 5,0···7,0	Gartenpflanzen	meist bei pH 6,0···7,0
Weizen	bei pH 6,5···7,5	Heidekrautgewächse	bei pH 3,5···4,5
Gerste	bei pH 6,0···7,5		

ZUSAMMENSETZUNG DER WICHTIGSTEN DÜNGEMITTEL

Düngemittel	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk	organische Substanz
Leunasalpeter	26 %	—	—	—	—
schwefelsaures Ammoniak	21 %	—	—	—	—
Kalkstickstoff	20···21,5 %	—	—	55···60 %	—
Kalkammonsalpeter	20,5 %	—	—	33···38 %	—
Kalksalpeter	15,5 %	—	—	28 %	—
Hakaphos	13 %	9 %	13 %	—	—
Nitrophoska	12 %	12 %	21,5 %	8···10 %	—
Ammoniumsuperphosphat	5···9 %	9···12 %	—	10···18 %	—
Magnesiumphosphat	—	18···22 %	—	26···28 % CaO 12···14 % MgO	—
Superphosphat	—	16···18 %	—	23 % ($CaSO_4$!)	—
Thomasmehl	—	12···18 %	—	20···50 %	—
Sylvinit	—	—	16···22 %	—	—
Kainit	—	—	12···15 %	—	—
40er Kalidüngesalz	—	—	38···42 %	—	—
schwefelsaures Kali	—	—	48···52 %	—	—
Kalimagnesia	—	—	26···30 %	(26 % $MgSO_4$)	—
Emgekali	—	—	33···37 %	(15 % $MgSO_4$)	—
Reformkali	—	—	26 %	(26 % $MgSO_4$)	—
Branntkalk	—	—	—	70···95 %	—
Löschkalk (Bunakalk)	—	—	—	60···70 %	—
kohlensaurer Kalk	—	—	—	80···95 % ($CaCO_3$!)	—
Leunakalk	0,3 %	—	—	75 %	—
Mergel	—	—	—	etwa 45 %	—
Fischguano	8···9 %	12···14 %	0,5 %	16 %	55 %
Knochenmehl	4 %	20 %	0,2 %	25···30 %	30 %
frischer Tauben- und Hühnermist	12‰	12‰	10‰	15‰	300‰
Frischer Pferdemist	5,8‰	2,5‰	5,3‰	3,0‰	250‰
Frischer Rindermist mit Streu	4,5‰	2,5‰	5,5‰	4,5‰	200‰
Abortdünger aus Gruben	3,5‰	1,5‰	1,5‰	1,0‰	50‰
Mistjauche	2,0‰	0,1‰	5,5‰	0,3‰	80‰

SAATMENGE, SAATTIEFE, ERNTEERTRAG

Pflanzenart	je ha bei Drillsaat in kg	Saattiefe in cm	Reihenabstand in cm	Ernteertrag je ha in dt
Bastardklee	8···12	1	—	100···220*
Bohne: großkörnig	180···220	4···8	35···50	16···32
kleinkörnig	160···180	4···5	25···40	12···30
Buschbohne	120···160	2···3	40···45	60···80
Erbse	180···220	5···6	25···40	20···30
Esparsette	130···180	1,5···3	15···20	120···240*
Flachs: zu Faser	100···120	2	10···12	25···40
zu Samen	80···100	2	15···20	5···10
Futterrübe	18···24	1···2	30···50	400···650*
Gelbklee	20···24	1···2	15···20	120···180*
Gerste: Sommergerste	120···160	2···4	10···25	16···36
Wintergerste	140···180	2···4	10···25	29···38
Hafer	120···160	2···5	10···25	27···38
Inkarnatklee	24···32	1···3	10···20	120···180*
Kartoffel	2000···2400	5···15	45···60	100···300*
Kohlrübe	4···6	1···3	40···55	200···500*
Linse	80···120	2···5	20···25	8···14
Lupine, gelbe	110···160	3···6	15···30	7···17
Mais, Grünmais	120···200	4···5	25···50	280···600*
Körnermais	12···30	2···3	50···60	30···40
Möhre	4···6	0,5···1	20···40	240···600*
Mohn	3···6	0,5	25···45	7···12
Raps: Sommerraps	8···12	1···2	25···50	8···16
Winterraps	6···10	1···2	25···50	12···26
Roggen: Sommerroggen	160···190	1···3	10···20	16···24
Winterroggen	160···190	1···3	10···20	26···33
Rotklee	10···18	0,5···1	15···20	120···300
Rübsen: Sommerrübsen	12···14	1···2	25···30	7···12
Winterrübsen	7···9	1···2	30···40	11···22
Senf	8···12	1···3	15···20	9···16
Serradella	30···40	1,5···2,5	15···20	170···300*
Weißklee	8···10	1	—	60···100*
Weizen: Sommerweizen	100···140	2,5···5	12···25	26···34
Winterweizen	100···160	2,5···5	12···25	29···36
Zuckerrübe	24···36	1···3	36···50	200···400
Zwiebel	9	0,5···1	20···25	200···300*

* Knollen-, Wurzel- oder Grünfuttererträge

ERNTEERTRAG UND NÄHRSTOFFENTZUG

(im Durchschnitt)

Pflanzenart	Ertrag je ha: Körner Knollen Rüben in dt	Ertrag je ha: Stroh Kraut Blätter, Heu in dt	dem Boden werden entzogen je ha: Stickstoff in kg	Phosphorsäure in kg	Kali in kg	Kalk in kg
Gerste: Sommer-G.	16···36	15···55	50	25	55	50
Winter-G.	29···38	39···48				
Futterrübe	400···650	150	110	50	300	80
Hafer	27···38	24···56	60	25	75	15
Heu und Grumt		50	80	40	120	60
Kartoffel: Früh-K.	100···160	150···300	90	40	160	50
Spät-K.	150···300					
Mais: Grün-M.		280···600	85	32	86	23
Körner-M.	30···40	40···70				
Roggen: Sommer-R.	16···24	41···48	50	30	60	15
Winter-R.	26···33	61···70				
Weizen: Sommer-W.	26···34	56···64	70	40	65	12
Winter-W.	29···36	58···66				
Zuckerrübe	200···400	150···350	150	60	150	120

LUFTFEUCHTIGKEIT ÜBER DEM FELDE

Die *relative* Luftfeuchtigkeit beträgt bei heiterem *Wetter* im Mai etwa

über einem	in 10 cm Höhe über dem Boden in %	an der Oberfläche der Pflanzendecke in %	in 60 cm Höhe über dem Boden in %	in 200 cm Höhe über dem Boden in %
Roggenfeld	72	54	52	44
Kleefeld	95	71	68	59

LANDWIRTSCHAFTLICHER ARBEITSKALENDER

Januar

Mist ausfahren und ausbreiten, in schneefreien Lagen Thomasmehl, Kali, Kalk streuen, Maschinen und Geräte in Ordnung bringen. Getreide jarowisieren; Dünger granulieren.

Februar

Stickstoffdünger auf abgetrocknete Wintersaaten bringen. Ent- und Bewässerungsanlagen prüfen. Frühbruten ansetzen, Klee aussäen.

März

Wiesen und Weiden düngen. Letzte Pflugarbeiten erledigen. Aufgefrorene Wintersaaten anwalzen. Kartoffelfelder mit letztem Dünger beschicken und vorbereiten. Frühkartoffeln vorkeimen. Mit der Aussaat von Sommergetreide, Futtergemenge, Hafer beginnen; Frühkartoffeln legen.

April

Wiesen und Weiden walzen. Wintersaaten hacken; Unkraut bekämpfen (Eggen usw.). Sommerweizen, Sommergerste, Hafer, Rüben drillen; Luzerne säen, Kartoffeln legen.

Mai

Vieh auf die Weide treiben. Rüben und Getreide hacken, Unkraut (besonders Hederich) bekämpfen. Kartoffelfelder mit Häufelpflug usw. bearbeiten. Flachs, Hanf, Mais säen. Feldgemüse auspflanzen.

Juni

Weiden pflegen; erster Schnitt der Wiesen und Kleefelder. Kartoffeln, Rüben, Mais hacken und anhäufeln; Unkraut bekämpfen.

Juli

Ernte und Ablieferung von Wintergerste, Raps, Rübsen, Flachs, Roggen, Weizen, Frühkartoffeln. Drusch des Getreides, Stoppeln schälen, Brachschläge für die Herbstbestellung pflügen. Zwischenfrüchte säen.

August

Ernte von Roggen, Weizen, Hafer, Sommergerste, Hülsenfrüchten, Frühkartoffeln beenden. Gedroschenes Getreide umschaufeln. Ablieferung fortsetzen. Zwischenfrüchte und Raps säen.

September

Zweiter Schnitt der Wiesen (Grumt) und Kleeschläge. Beginn der Wintersaat; diese düngen, Saatbeet herrichten. Kartoffel- und Rübenernte beginnen. Mais silieren.

Oktober

Kartoffeln, Zucker- und Futterrüben ernten und einmieten, Rübenblätter einsäuern. Herbstbestellung beenden.

November

Zuckerrübenernte beenden, Schnitzel und Blätter einsäuern. Weidevieh einstallen. Grünland düngen, Feld- und Futterschläge kalken, Stalldung ausfahren und unterpflügen, Winterfurche pflügen.

Dezember

Dung weiterhin ausfahren, Pflügen der Winterfurche beenden. Keller, Mieten, Speicher überwachen, Mäuse bekämpfen. Maschinen, Geräte usw. instand setzen.

DIE FORSTWIRTSCHAFTLICH WICHTIGSTEN BÄUME

Baum	Blütezeit	Reifezeit	Samenabfall	Ernte der Samen	Keimfähigkeit der Samen	beste Saatzeit
Kiefer	Mai	November des 2. Jahres	März/April	von Dez. an	5 Jahre	April
Fichte	Mai	Oktober	April	von Sept. an	5 Jahre	Frühjahr
Lärche	April	Oktober	April	im Nachwinter	5 Jahre	Herbst
Tanne	Mai	Sept./Okt.	Oktober	September	1/3 Jahr	Herbst
Birke	April	Juli/August	Aug./Winter	Juli/Sept.	1 3/4 Jahr	November
Rotbuche	Mai	Sept./Okt.	Oktober	Okt./Nov.	1/2 Jahr	Herbst
Hainbuche	Mai	Oktober	im Winter	nach Laubabfall	1 1/2 Jahr	Herbst
Eiche	Mai	Oktober	Oktober	Oktober	1/3 Jahr	Herbst
Erle	März/April	Sept./Okt.	im Winter	Nov./Dez.	2 Jahre	Winter
Esche	Mai	Aug./Sept.	im Winter	nach Laubabfall	1 1/2 Jahr	Herbst
Ulme	März/April	Mai/Juni	Mai/Juni	Juni	wenige Tage	sofort nach Reife
Ahorn	Mai/Juni	September	Oktober	nach Laubabfall	1 1/2 Jahr	Herbst
Pappel	März/April	Mai/Juni	Mai/Juni	Mai/Juni	wenige Tage	sofort nach Reife

Forstsamen

Baum	1 hl Samen wiegt in kg	1 kg Samen enthält (Stückzahl)	Keimfähigkeit in %
Kiefer	50···55	170000	90
Fichte	40···60	135000	90
Lärche	46···52	170000	45
Tanne	24···32	16000	50
Rotbuche	40···50	4000···5000	65
Hainbuche	42···50	31000	60···70
Stieleiche	65···67	200···300	70
Traubeneiche	55···65	300···400	70
Schwarzerle	30···35	550000	20
Esche	14···16	14000	60···90
Ulme	4···6	125000	40
Ahorn	12···14	10500	60···90

Benennung der Forstpflanzen

Die forstlich angebauten und in Forstgärten herangezogenen Bäume (Forstpflanzen) haben je nach ihrer Größe besondere Bezeichnungen:

unter 20 cm Länge	Kleinpflanzen
21···50 cm Länge	Halbloden
51···100 cm Länge	Loden
101···150 cm Länge	Starkloden
151···200 cm Länge	Halbheister
201···250 cm Länge	Heister
über 250 cm Länge	Starkheister

LICHT-, FEUCHTIGKEITS- UND NÄHRSTOFFVERHÄLTNISSE IM WALDE

Helligkeit im Walde. Wird die Helligkeit über einer Wiese gleich 100% gesetzt, dann beträgt die Helligkeit bei heiterem Wetter in

unbelaubtem Buschwald	58%
halbbelaubtem Buschwald	29%
vollbelaubtem Buschwald	13%

Luftfeuchtigkeit im Walde. Der Wald stellt einen Raum mit hoher Luftfeuchtigkeit dar. Bei einem 12jährigen, 1,5 m hohen Eichenjungwald beträgt die relative Luftfeuchtigkeit bei heiterem Wetter im Juni

in und zwischen den Kronen	71 %
an der Kronenoberfläche	53 %
in 20 cm Höhe über den Kronen	52 %
in 2 m Höhe über den Kronen	40 %

Wie aus der Tabelle hervorgeht, werden für die Erzeugung des Holzes zwar wesentlich weniger Nährstoffe verbraucht als für die Erzeugung der jährlich wechselnden Blätter und Nadeln; sie sind aber dann dem Boden endgültig entzogen. Nach einem Abholzen des Waldes muß daher — ähnlich wie beim Acker — gedüngt oder dem Boden eine längere Ruhepause gegönnt werden.

Nährstoffhaushalt des Waldes

Nährstoffe	1 ha Kiefernwald			1 ha Buchenwald		
	jährl. Bedarf in kg	Rückgabe durch Nadelstreu in kg	Entzug in kg	jährl. Bedarf in kg	Rückgabe durch Laubstreu in kg	Entzug in kg
Kalk	29	19	10	96	82	14
Kali	7	5	2	15	10	5
Phosphorsäure	5	4	1	13	10	3
Stickstoff	45	35	10	50	40	10

BODENEROSION UND IHRE BEKÄMPFUNG

Unter *Bodenerosion* versteht man die Abtragung des Bodens durch Wasser und Wind in einem nicht mehr zur natürlichen Bodenbildung im Gleichgewicht stehenden Verhältnis. Diese Bodenzerstörung hängt von folgenden Faktoren ab:

1. von der Pflanzendecke,
2. von der Hangneigung,
3. von der Bodenart,
4. von der Stärke der Niederschläge und des Windes.

Wie wichtig die Erhaltung der natürlichen Pflanzendecke ist, zeigt ein Beispiel einer Untersuchung in Nordamerika. Eine aus sandigem Lehm bestehende 18 cm tiefe Bodenschicht (entspricht der Ackerkrume) würde bei 10° Neigung in folgenden Zeiträumen abgetragen werden:

unter natürlichem Laubwald	in 575000 Jahren
unter Grasland	in 82000 Jahren
bei Fruchtwechsel	in 110 Jahren
bei Baumwollanbau	in 46 Jahren
bei nackter Bodenoberfläche	in 18 Jahren

Die schweren Erosionsschäden in den alten Kulturländern (Orient, Nordafrika, Griechenland, Italien) sind vor allem aus der Vernichtung der natürlichen Pflanzendecke und unsachgemäßer Pflege des Bodens zu erklären.

Aufforstung ungenützter Flächen, Einschränkung der Brache, gute Bestellung der Felder (Schaffung dichter Pflanzenbestände) und sachgemäße Beweidung des Grünlandes sind Möglichkeiten der Verhinderung und Einschränkung der Erosion.

Bei starker Hangneigung kann durch Terrassieren des Geländes, Konturpflügen, Anlage von horizontalen Feldrainen, Begrünung der Abflußgräben, Ableitung des Wassers in erosionssicheres Gelände (Feldgehölze) viel zur Verminderung der Erosion getan werden.

Von den verschiedenen Bodenarten sind die *Schluffböden* (z. B. *Löß*) am meisten durch Erosion gefährdet. Sande sind infolge ihrer Durchlässigkeit und Tone infolge ihrer Bindigkeit nicht so stark der Erosion ausgesetzt. Durch Schaffung einer guten *Krümelstruktur* durch Düngung und Bodenpflegemaßnahmen kann man der Erosion vorbeugen.

Die Stärke der Niederschläge kann der Mensch nicht verändern, aber die Einwirkung des Windes kann durch bestimmte Maßnahmen abgeschwächt werden. Hierzu dienen vor allem die *Windschutzstreifen*, die in den USA, in Nordwestdeutschland und vor allem in der Sowjetunion angelegt wurden. Der 1948 in der Sowjetunion beschlossene Plan sieht die Errichtung von 8 großen Schutzwaldgürteln in einer Gesamtlänge von 5320 km und einer Gesamtfläche von 117900 ha vor.

Diese Windschutzstreifen in den kontinentalen Teilen der Sowjetunion dienen aber nicht nur zur Abschwächung der Winderosion, sondern sind auch ein Mittel gegen Dürre, da sie die Verdunstung herabsetzen, die relative Luftfeuchtigkeit erhöhen und im Winter eine gleichmäßige Schneedecke schaffen, womit eine bessere Speicherung der Winterfeuchtigkeit erreicht wird.

XII. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
um 2800	In *China* werden als die fünf wichtigsten *Kulturpflanzen* Sojabohne, Reis, Weizen, Hirse und Gerste angebaut.
um 1100	Der Mumie einer *ägyptischen* Prinzessin aus dieser Zeit (21. Dynastie) wurden *Mohnblumen* als Schmuck beigegeben.
um 450	Der griechische Geschichtsschreiber *Herodot* gibt die erste Kunde von der indischen *Baumwolle*.
um 300	Der griechische Philosoph *Theophrast* beschreibt in seiner „Naturgeschichte der Pflanzen" etwa 500 Pflanzenarten, darunter zum ersten Male das indische *Zuckerrohr* und die *Kokospalme*.
u. Z.	
um 60	Der römische Schriftsteller *Plinius* zählt gegen 1000 Pflanzenarten auf.
9. Jh.	Ein dem Abt von *St. Gallen* zugesandter Klosterplan zeigt einen Garten mit 16 Beeten, die als *Heilpflanzen* Rosen, Lilien, Salbei, Schwertlilien, Rosmarin, Raute, Lauch, Diptam und Liebstöckl enthalten
11. Jh.	In Spanien und Sizilien wird der *Zitronenstrauch* durch die *Araber* eingeführt.
1333	In *Venedig* wird der erste öffentliche *botanische Garten* eingerichtet.
1497	Der Mönch *Romano Pane*, ein Begleiter des Kolumbus, gibt die erste Beschreibung der *Tabakpflanze* und der Rauchsitten der Indianer.
1520	Die *Maispflanze* wird aus *Amerika* (Westindien) nach Spanien gebracht.
1520	Der *Süßorangen-* (*Apfelsinen-*) *Baum* wird von den Portugiesen aus *Südchina* in Portugal eingeführt und auch in den anderen Mittelmeerländern angepflanzt.
1542	Gründung eines *botanischen Gartens* in *Leipzig*.
um 1550	In *Spanien* werden die ersten *Tabakpflanzen* gezogen.
1553	In der „Chronik von Peru" des Pedro de Cieza de León (1518 bis 1560) wird erstmalig die *Kartoffel* beschrieben.
1554	Der kaiserliche Gesandte in *Konstantinopel O. Busbecq* (1522 bis 1592) berichtet als erster über die dort gezogenen *Tulpen*.
1559	Der Züricher Naturforscher *Konrad Gesner* (1516 bis 1565) sieht im Garten des *Augsburger* Ratsherrn Herwarth die ersten in Deutschland blühenden *Tulpen* und beschreibt sie.
1565	Die *Tabakpflanze* wird erstmalig in *Deutschland* — und zwar in Augsburg — als Heilpflanze angepflanzt.
um 1565	Die ersten *Kartoffeln* gelangen aus Amerika nach *Spanien*.
1569	Die *Sonnenblume* wird aus *Amerika* nach Spanien eingeführt.
um 1570	Durch Wallonen wird die *Luzerne* nach der *Rheinpfalz* gebracht.
1582	Der Augsburger Arzt Rauwolf berichtet in seiner „Reiß in die Morgenländer" zum ersten Male vom *Kaffee*.
1583	Der italienische Botaniker *A. Cesalpino* (Caesalpinus; 1519 bis 1603) unternimmt den ersten bedeutenden Versuch („De plantis libri") einer *Systembildung* (geordnet nach der Zahl der Fruchtblätter).
1586	Der Engländer *W. Raleigh* bringt die Sitte des *Tabakrauchens* aus Virginien nach *England*.
1588	In *Deutschland* werden die ersten *Kartoffeln* als *Zierpflanzen* in den kaiserlichen Gärten von Wien und Frankfurt a. M. angepflanzt.
1613	In Basel erscheint der „Hortus Eychstettensis" von *Basilius Besler*, das grundlegende Werk der Pflanzenabbildungen. Als beliebte Blumen werden erwähnt: mehrere Sorten „*Löwenmäuler*", einfach und gefüllt blühende *Levkojen*, *Goldlack*, einjähriger *Rittersporn*, *Karthäusernelken*, *Kapuzinerkresse* und sogar aus China stammende *Malven*.
1616	Erster *Tabakanbau* in *Holland*.
um 1635	Die *Tulpenliebhaberei* nimmt in *Holland*, das schon damals in Tulpenzucht und -handel führte, spekulative Ausmaße an (für eine Tulpenzwiebel wurden bis zu 13000 Gulden gezahlt).
um 1650	Die *Kartoffel* wird in Baden, Franken, Sachsen, Braunschweig, Westfalen und im Elsaß angebaut. Sie kann sich aber nur schwer einbürgern und gelangt erst in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts zu wirtschaftlicher Bedeutung für Europa.

1655 Mit einem Vogelbalg werden aus Nordamerika die Samen des *Kanadischen Berufkrautes* (Erigeron canadensis) eingeschleppt, das im Laufe der Zeit zu einem der verbreitetsten europäischen Unkräuter geworden ist.

1667 Der englische Physiker *R. Hooke* (1635 bis 1703) entdeckt den *zelligen* Aufbau der Pflanze.

1678 Die ersten *Chrysanthemen* kommen aus *Japan* nach Holland.

1679 Die Sitte des Kaffeetrinkens kommt auf; das erste deutsche *Kaffeehaus* wird in *Hamburg* eröffnet.

um 1680 Der englische Botaniker *N. Grew* (1641 bis 1711; Erscheinen seiner Werke 1673 und 1682) und der Italiener *H. Malpighi* (1628 bis 1694; Erscheinen seiner „Anatomes plantarum idea" 1675 bis 1679) begründen die *Pflanzenanatomie*.

1685 Die Hugenotten bringen den *Weinbau* zum *Kap der Guten Hoffnung*.

1690 Die ersten *Pelargonien* kommen vom *Kapland* nach Europa.

1694 Der Münchner Botaniker *J. Camerarius* (1634 bis 1698) beschreibt in seiner Schrift „Epistolae de sexu plantarum" den Bau der Blüten und weist darin an Hand der zweihäusigen Pflanzen die *Geschlechtlichkeit der Pflanzen* nach.

1727 Der englische Pfarrer *Hales* untersucht in seinem Werke „Vegetable-Statics" das Aufsteigen des Saftes in den Pflanzen und begründet damit die *Pflanzenphysiologie*.

um 1730 Die *Luzerne* wird von der Rheinpfalz aus über *ganz Deutschland* verbreitet.

1735 Der schwedische Naturforscher *Karl v. Linné* (1707 bis 1778) stellt in seinem Werke „Systema naturae" auf Grund der Blütenteile ein künstliches System der Pflanzen auf und begründet die *botanische Fachsprache*.

1739 Die erste *Kamelie* gelangt aus *Ostasien* nach Europa. Sie scheint aber erst durch weitere Einfuhren nach 1792 eingebürgert worden zu sein.

1747 Der Berliner Chemiker *A. Marggraf* (1709 bis 1782) entdeckt den Zuckergehalt der Runkelrübe, aus der dann später die *Zuckerrübe* gezüchtet wird.

1753 Linné veröffentlicht seine „Species plantarum", mit der er die *binäre Nomenklatur* (lateinische Doppelbezeichnung durch Gattungs- und Artnamen) in die Botanik einführt.
Der englische Naturforscher *John Ellis* berichtet als erster von einer *insektenfressenden Pflanze*, der „Venusfliegenfalle" (Dionaea muscipula) Nordkarolinas (USA).

1779 Der niederländische Arzt *I. Ingenhousz* (1730 bis 1799) entdeckt die Kohlensäure-(Kohlendioxyd-) Assimilation und die Atmung der Pflanzen.

1783 *J. Chr. Schubart* (1734 bis 1784) führt den Anbau von *Klee* und *Futterrüben* auf der *Brache* ein. Mit seinem Werk „Die verschiedensten Eigenschaften und der vorteilhafteste Anbau der Futterpflanzen" fördert er die Futterwirtschaft.

1784 Die erste *Dahlie* kommt aus *Mexiko* nach Spanien.

1788 Die erste *Fuchsie* kommt aus *Perú* nach Europa.

1788 Die *Hortensie* wird aus China nach England eingeführt.

1790 *Goethe* erkennt im *Blatt* das gemeinsame Urorgan aller Pflanzenteile und führt den Begriff „Metamorphose" in die Botanik ein.

1793 Der deutsche Botaniker *Chr. K. Sprengel* (1750 bis 1816) entdeckt die *Bestäubung* der Blüte durch die Insekten.

um 1800 Die *Azalee* (Rhododendron simsii) gelangt aus China nach Europa.

1801 Der böhmische Botaniker *Th. Haenke* (1761 bis 1817) entdeckt die *Victoria amazonica*, ein Seerosengewächs des tropischen Südamerikas.

1802 Der deutsche Chemiker *Achard* gründet die erste Rübenzuckerfabrik.

1804 Der deutsche Naturforscher *A. v. Humboldt* schickt die erste *Dahlie* nach *Berlin*.

1809 Der deutsche Arzt *A. D. Thaer* (1752 bis 1828) begründet mit seinem Werk „Grundsätze der rationellen Landwirtschaft" eine weitgehende Intensivierung der Landwirtschaft. Er führt u. a. die *Fruchtwechsel-Wirtschaft* ein.

1824 Die erste *Petunie* wird aus *Brasilien* nach Europa eingeführt.

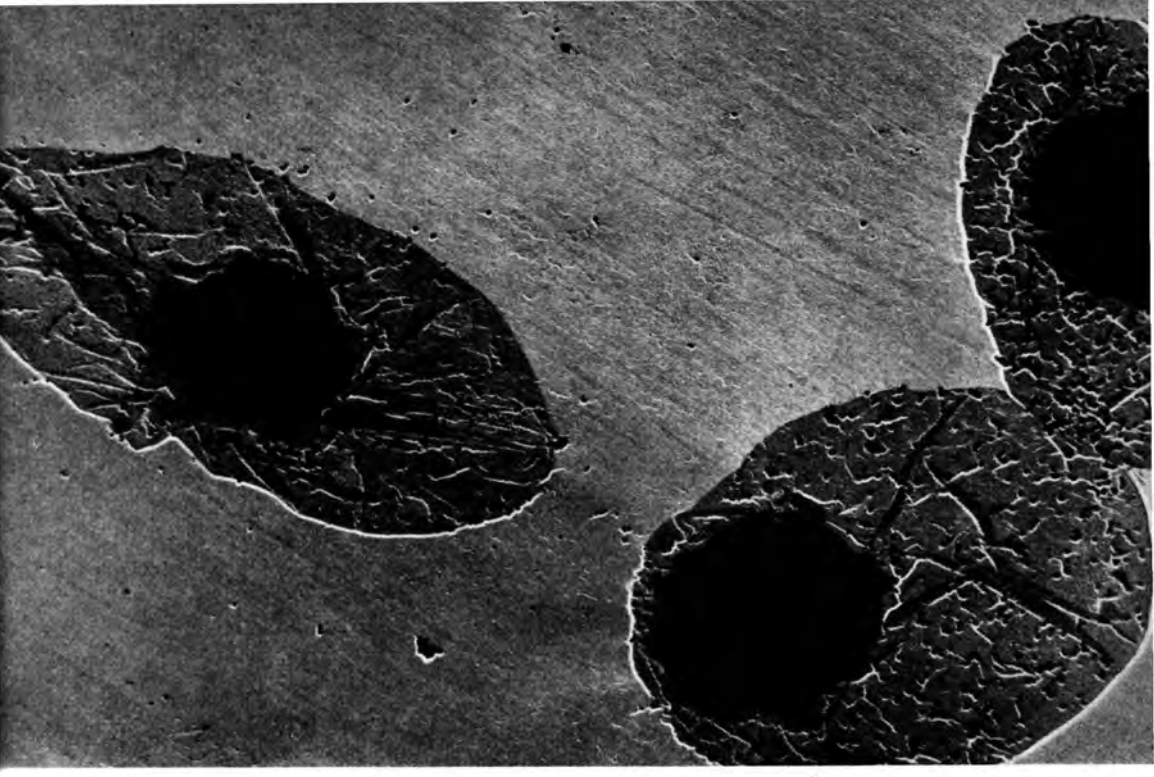
1825 Die *Teerose* gelangt aus *China* nach Europa.

1831 Der englische Botaniker *R. Brown* (1773 bis 1858) entdeckt den *Zellkern*.

1836 Die *Kanadische Wasserpest* (Elodea canadensis) tritt in Irland auf und verseucht im Laufe der Zeit alle europäischen Binnengewässer.

1840 Der deutsche Chemiker *Justus v. Liebig* (1803 bis 1873) schafft mit seinem Buch „Chemie und ihre Anwendung auf Landwirtschaft und Physiologie" die Grundlagen für die Anwendung von *Mineraldüngern* in der Pflanzenkultur.

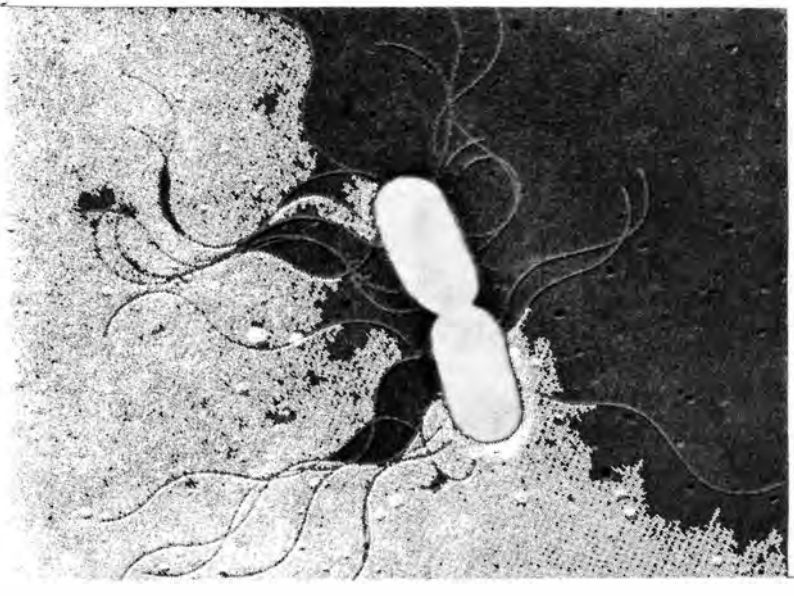
1840	Die aus dem Mittelmeergebiet stammende *Gelbe Lupine* wird in der Altmark auf Sandboden kultiviert. Der Lupinenanbau breitet sich aus. Vor 1840 wurde die Gelbe Lupine nur im kleinen angebaut.
1853	Der Breslauer Botaniker *F. Cohn* (1828 bis 1898) weist nach, daß die Bakterien Pflanzen sind.
1854	Die *Klivie* wird aus *Südafrika* nach Europa gebracht.
1857—1863	Der französische Chemiker und Bakteriologe *Louis Pasteur* (1822 bis 1895) weist nach, daß alle Gärungs- und Fäulnisvorgänge von Mikroorganismen (Bakterien) verursacht werden, die von außen her in vorher keimfreie Stoffe gelangt sind, und führt die *Sterilisations*technik des Pasteurisierens ein.
1860	Der Schweizer Botaniker *S. Schwendener* (1829 bis 1919) erkennt am Beispiel der Flechten als einer Lebensgemeinschaft von Algen und Pilzen das Wesen der *Symbiose* im Pflanzenreich.
1860—1865	Der deutsche Pflanzenphysiologe *J. Sachs* (1832 bis 1897) veröffentlicht seine grundlegenden Untersuchungen über die Assimilation der Pflanzen.
1866/67	Der Augustinermönch *Gregor Mendel* (1822 bis 1884) veröffentlicht seine Schriften, in denen er die heute nach ihm benannten *Vererbungsregeln* aufstellt. Er findet aber zu seiner Zeit keine Beachtung.
um 1875	Die *Tomate* gilt in Deutschland noch als Seltenheit.
1880	Der sowjetische Biologe *J. W. Mitschurin* (1855 bis 1935) beginnt mit der *Züchtung* zahlreicher neuer, wertvoller Pflanzensorten, insbesondere frostharter Obstsorten. Erst nach 1917 gelangen die Ergebnisse seiner Versuche dank großzügiger Förderung durch die Sowjetregierung zu breitester Entfaltung in der Praxis. M. entwickelte die Lehre von der Einheit, die Organismus und Umwelt bilden. Er lehrt, daß der Mensch durch die Wahl entsprechender Umweltbedingungen die Pflanze verändern kann.
um 1890	Der Anbau des *Rhabarbers*, der schon im Altertum bekannt war (Medizinalrhabarber), beginnt sich von England her in *Deutschland* einzubürgern. (In den Vierlanden schon seit 1840 gebaut.)
1900	Der Niederländer *H. de Vries*, der Deutsche *C. Correns* und der Österreicher *E. Tschermak* entdecken unabhängig voneinander die Mendelschen Regeln neu und begründen damit die sogenannte „klassische Genetik".
1907	*Gassner* erkennt die Abhängigkeit des Schossens von Wintergetreide vom Durchlaufen einer Zeit mit niederen Temperaturen (Keimstimmung, Vernalisation).
1920	Der Amerikaner *Garner* und *Allard* erkennen den Einfluß der Tageslängen auf die Pflanzenentwicklung (Photoperiodizität).
ab 1925	Der sowjetische Agronom und Biologe *T. D. Lyssenko* formuliert die Theorie von der Entwicklung der Pflanzen in „Entwicklungsstadien" (Jarowisationsstadium, Lichtstadium). Wachstum und Entwicklung vollziehen sich in dem Maße, in dem die der Natur der Pflanze entsprechenden Lebensbedingungen erfüllt sind.
um 1930	Die deutschen Botaniker *Baur* und *v. Sengbusch* züchten die *Süßlupine* (bitterstofffreie Lupine).
um 1935	In Deutschland werden etwa 1200 Dahliensorten angebaut.
1953	In der Kulturschicht eines jungsteinzeitlichen Pfahldorfes in Süddeutschland wird die bisher älteste Kulturbirne gefunden. Damit ist erwiesen, daß die Kulturbirne nicht erst durch die Römer nach Deutschland kam, sondern daß die Menschen der Jungsteinzeit hier bereits eine Art von Obstkultur betrieben.



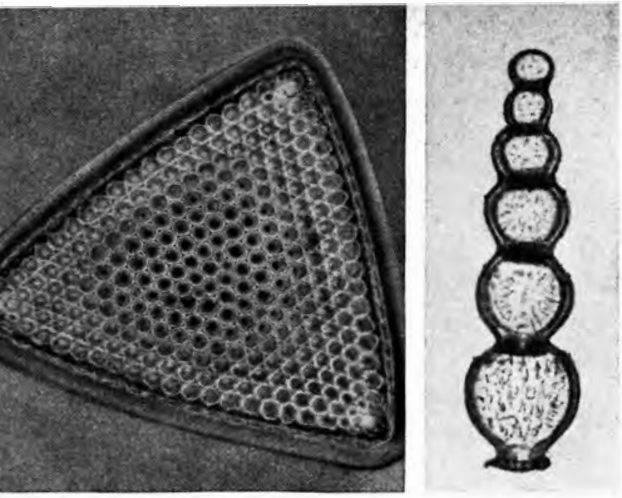
Grippeviren an Hühnererythrocyten; elektronenmikroskopische Aufnahme eines mit Wolframoxyd beschatteten Präparates aus dem Hygiene-Institut Jena

Viren und Bakterien

links Aerobacter herbicola. Obwohl durch zahlreiche morphologische Feinheiten (z. B. Geißeln) gekennzeichnet, ist der Bakterienleib noch keine Zelle im eigentlichen Sinne, weil ein deutlich abgegrenzter Kern im Inneren fehlt; *rechts* Bacillus polymyxa Prazmowski. Mittels besonderer Färbemethoden werden körnchen- oder gerüstartige Strukturen sichtbar, die in ihrer chemisch-physiologischen Wirkung dem Zellkern gleichen



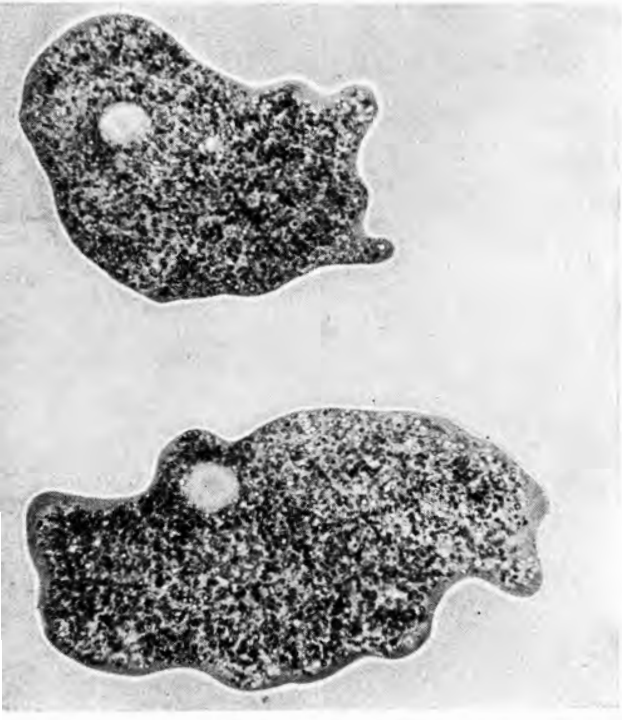




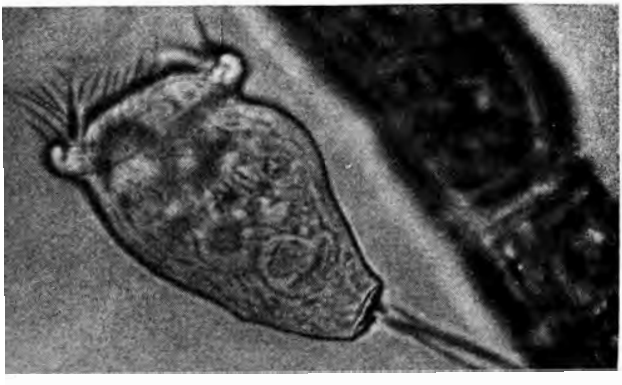
links Kieselalge (Triceratium favus), *rechts* ein Foraminifer oder Kammerling (Nodosaria spec.)

Einzellige Lebewesen

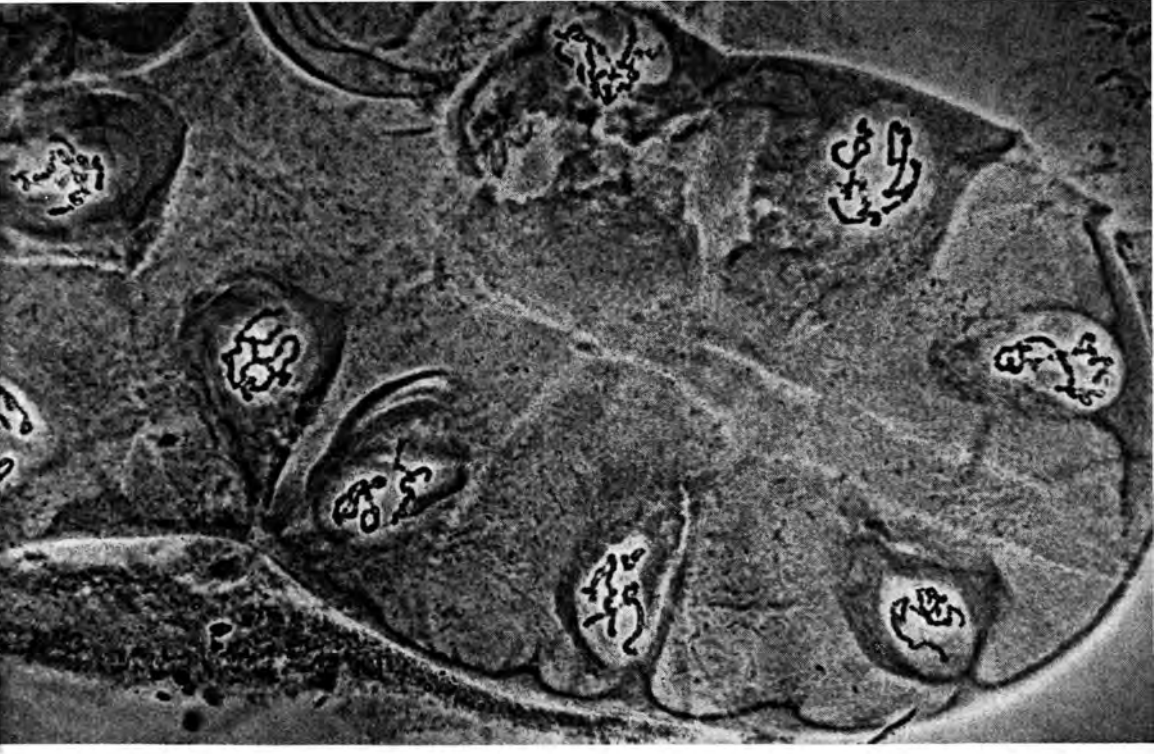
Der Formenreichtum der einzelligen Pflanzen und Tiere ist durch eine eigenartige, vielfältige Gestalt gekennzeichnet. Der ganze Körper besteht aus einer einzigen Zelle (Protoplasmaklümpchen, in dessen Mitte ein Kern liegt)



Wechseltierchen. Phasenkontrastaufnahme nach dem Leben



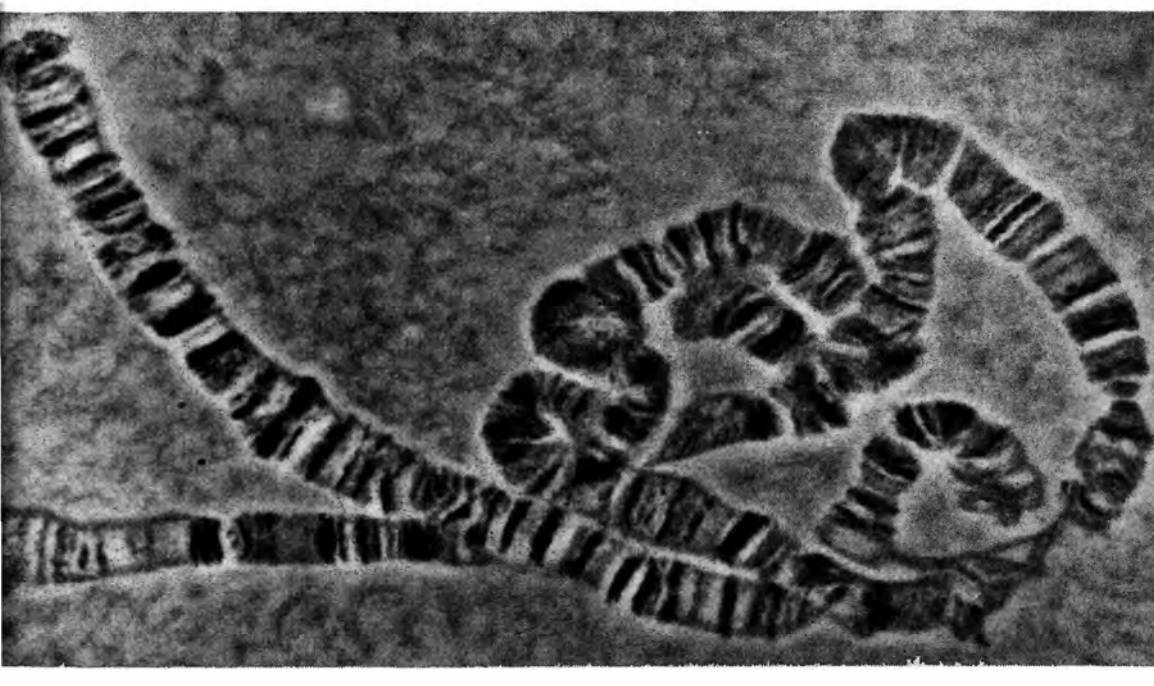
Glockentierchen (Vorticella spec.)

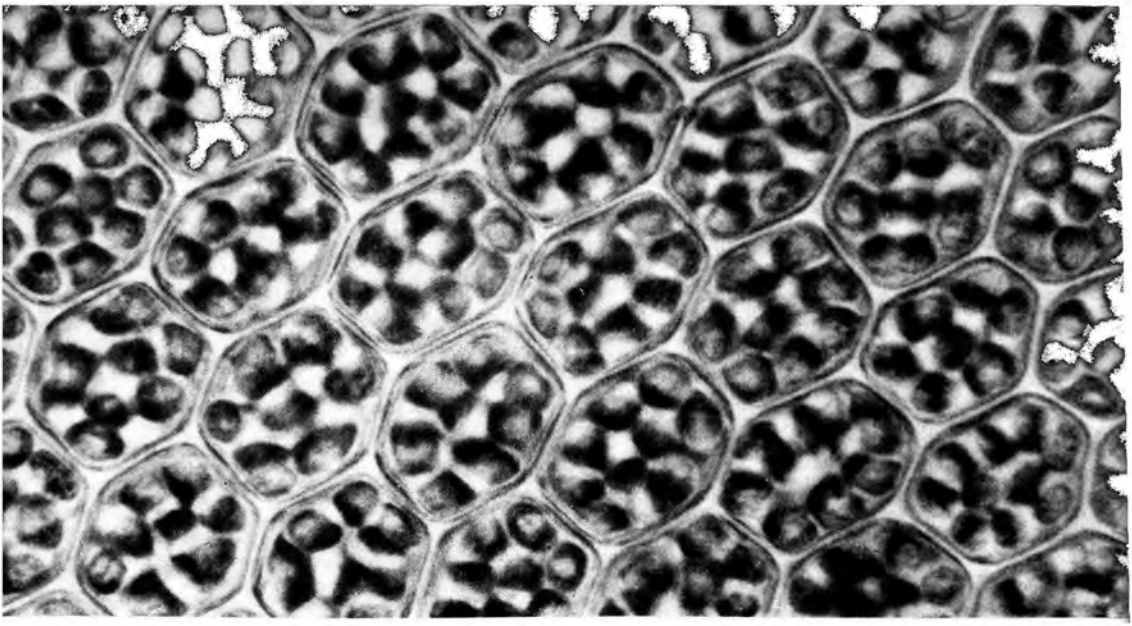


Speicheldrüse einer Mückenlarve. Phasenkontrast-Mikrophotographie eines Lebendpräparates

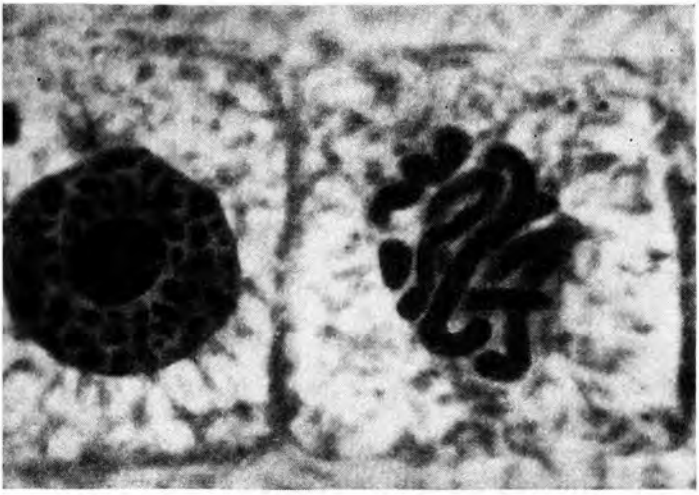
Chromosom

Riesenchromosomen in der Speicheldrüse einer Mückenlarve; Phasenkontrast-Mikrophotographie eines Quetschpräparates

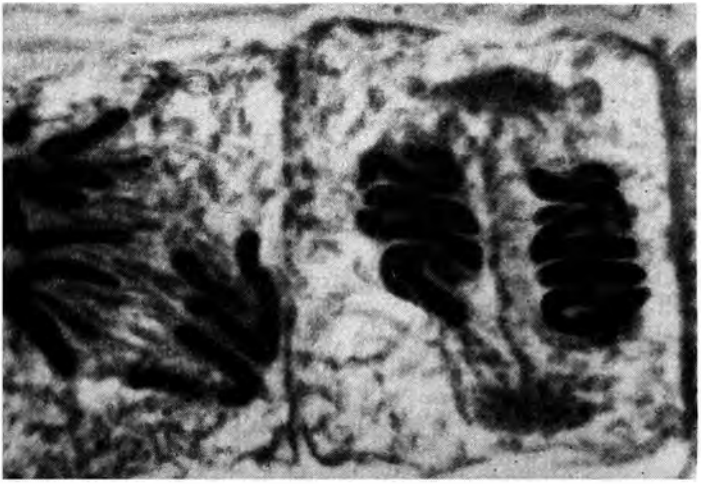




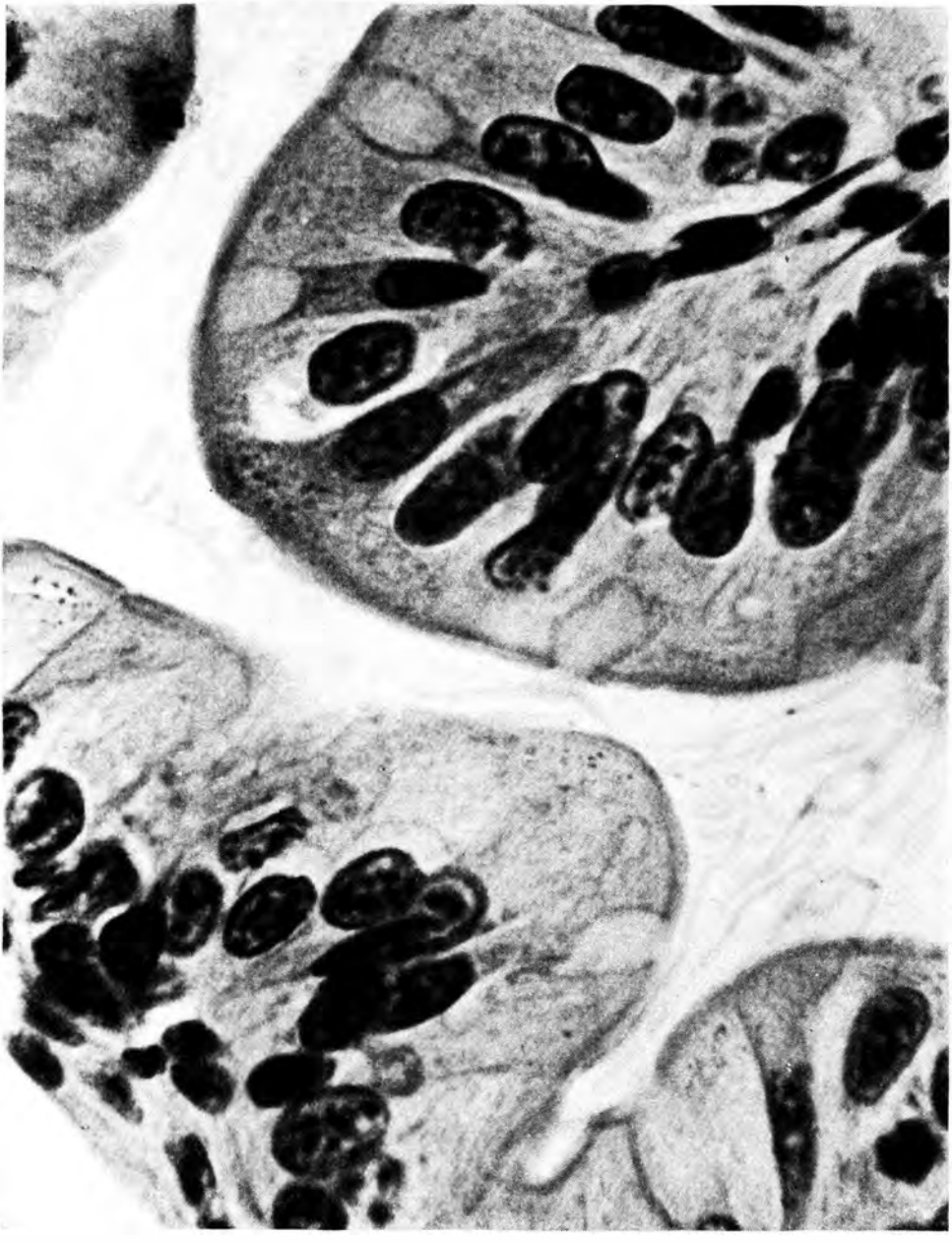
Blattzellen eines Laubmooses; Mikrophotographie eines Lebendpräparates



Pflanzliche Zelle

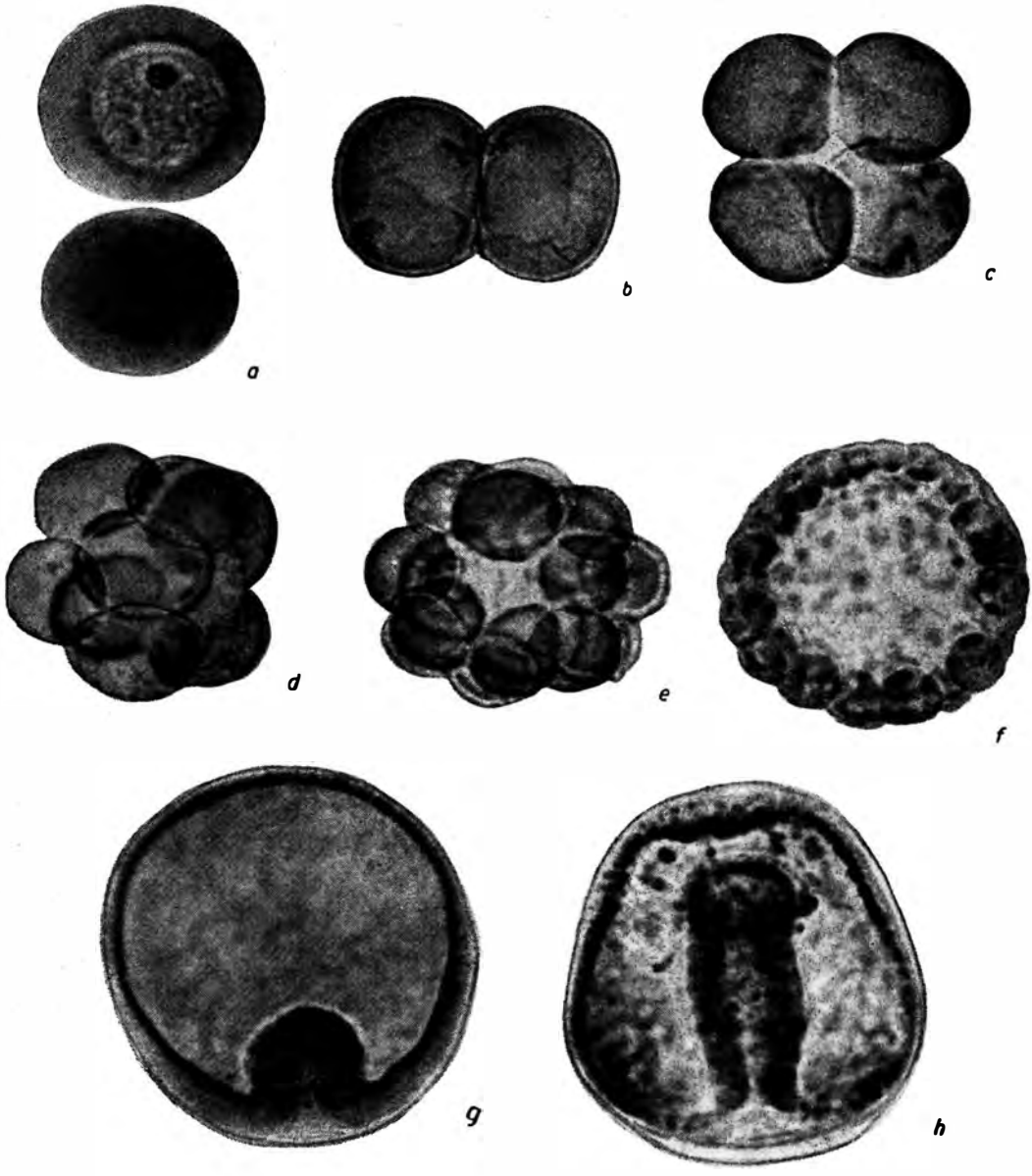


Zellteilungsstadien in der Wurzelspitze der Küchenzwiebel; Mikrophotographie eines gefärbten Schnittpräparates



Tierische Zelle

Darmzellen vom Streifenmolch; Mikrophotographie eines gefärbten Querschnittpräparates

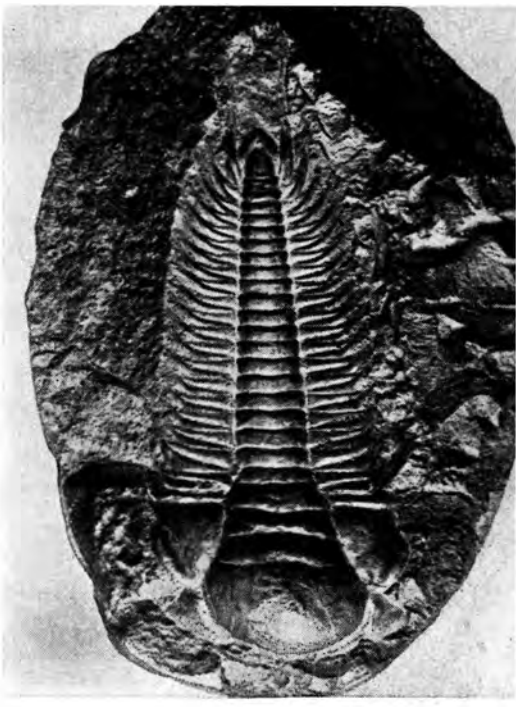


Keimesentwicklung

Entwicklungsstadien des Seesternes Astarias rubens a) Eizellen: *oben* eine unreife Eizelle mit großem, bläschenförmigem Zellkern (Keimbläschen) und dunklen Kernkörperchen, *unten* eine reife Eizelle mit kleinem, kaum sichtbarem Zellkern b) Zweizellen-Furchungsstadium c) Vierzellen-Furchungsstadium d) Achtzellen-Furchungsstadium e) Sechzehnzellen-Furchungsstadium, junger Maulbeerkeim (Morula) mit angedeutetem, zentralem Hohlraum (Blastocoel) f) junger Blasenkeim (Blastula) mit dunklem Blastocoel und unterschiedlicher Zellgröße: kleinere animale Zellen *oben*, größere vegetative Zellen *unten* g) beginnende Urdarmeinstülpung (Gastrulation) h) Becherkeim (Gastrula) mit beendeter Urdarmeinstülpung

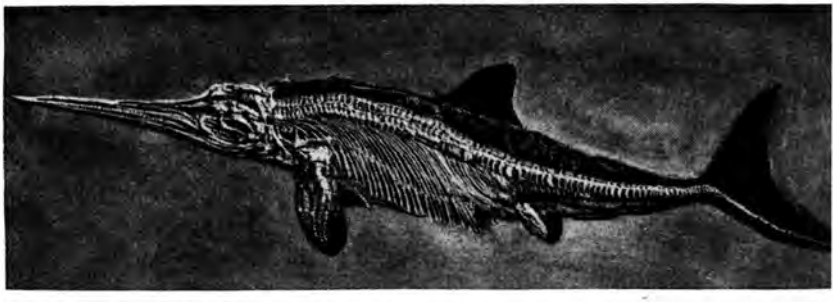


Ammonshorn

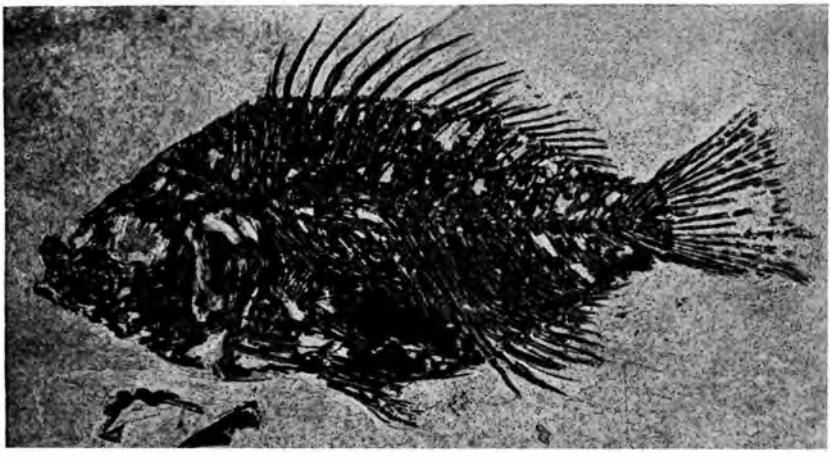


Trilobit aus dem
Kambrium Böhmens

Fossile Tiere

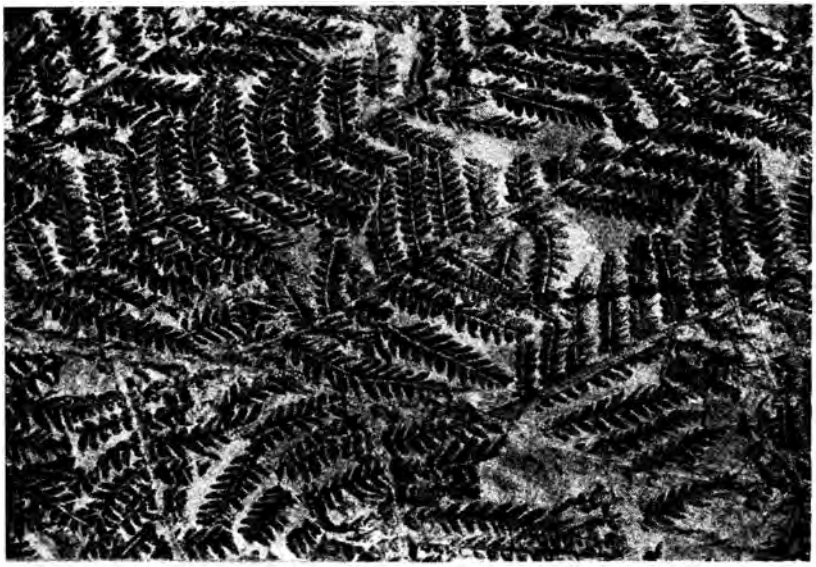


Fischechse

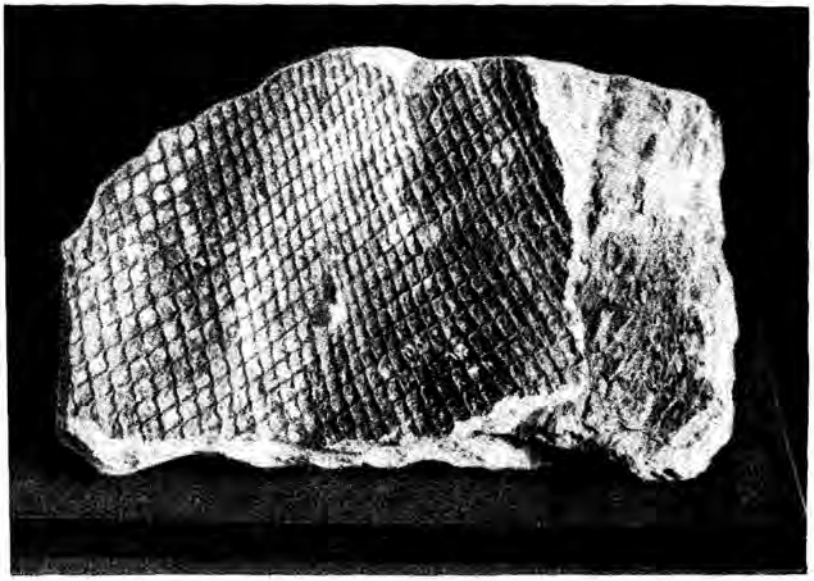


Fischabdruck

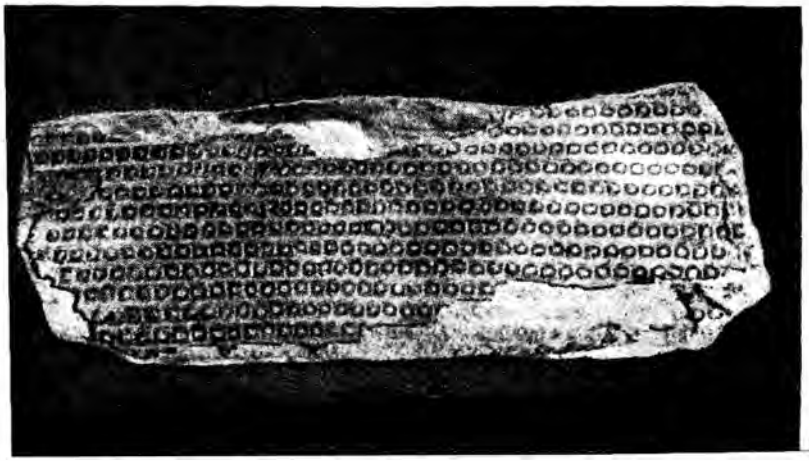
Fossile Pflanzen I



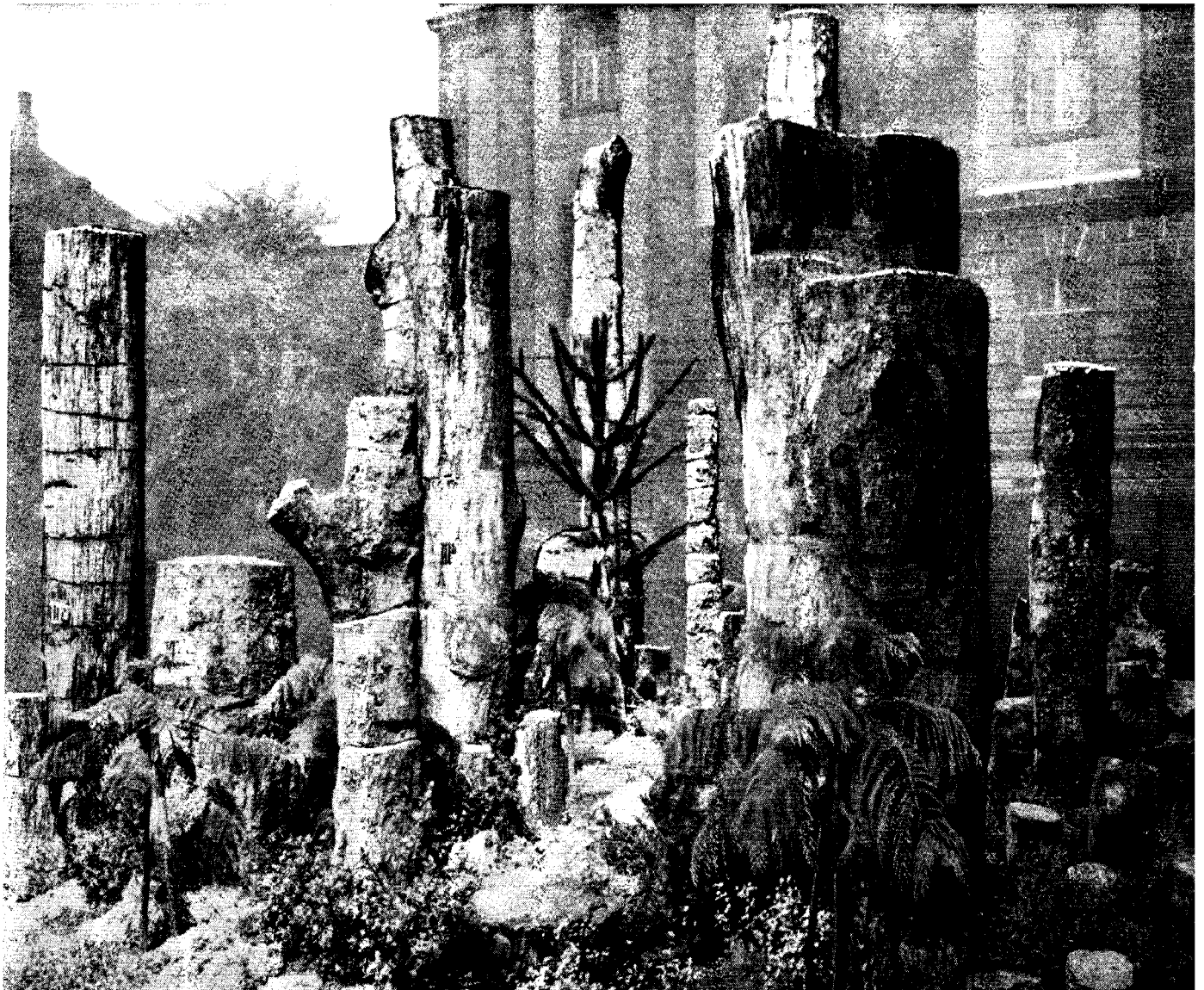
Farnabdruck



Schuppenbaum



Siegelbaum



„Steinerner Wald", verkieselte Araukarienstämme



Edelkastanie



Sommereiche

Einheimische Laubbäume



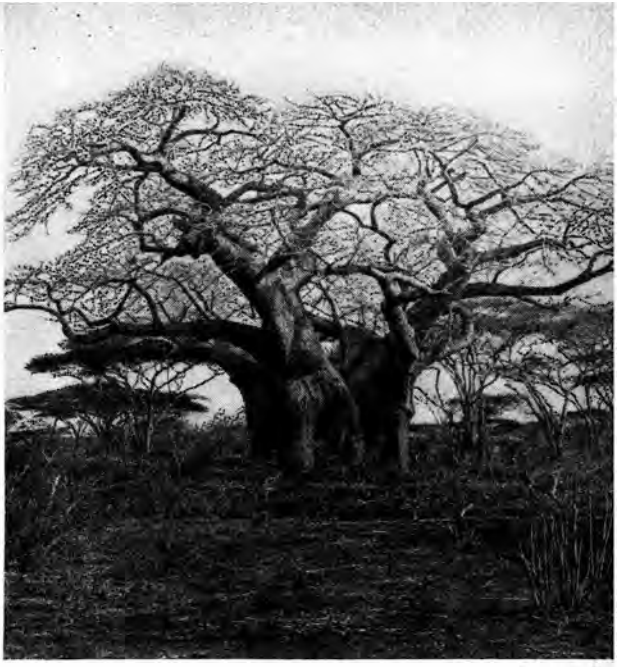
Winterlinde



Birke im Winter



Dattelpalme



Affenbrotbaum

Ausländische Laubbäume

Eukalyptus

Korkeichenwald







Wacholder



Zirbelkiefer

Einheimische Nadelbäume

Tabakskiefer

Lärche







Genußmittelpflanzen 1 Tabak (Nicotiana tabacum) 2 Kakaobaum (Theobroma cacao), a) aufgeschnittene Frucht, b) Kakaobohne (geschält) 3 Kaffeebaum (Coffea arabica), a) reife Früchte, b) aufgeschnittene Frucht 4 Kolabaum (Cola acuminata), a) reifer Fruchtstand, b) geöffnete Einzelfrucht, c) Same (geschält) 5 Kokastrauch (Erythroxylon coca) 6 Teestrauch (Camellia sinensis)



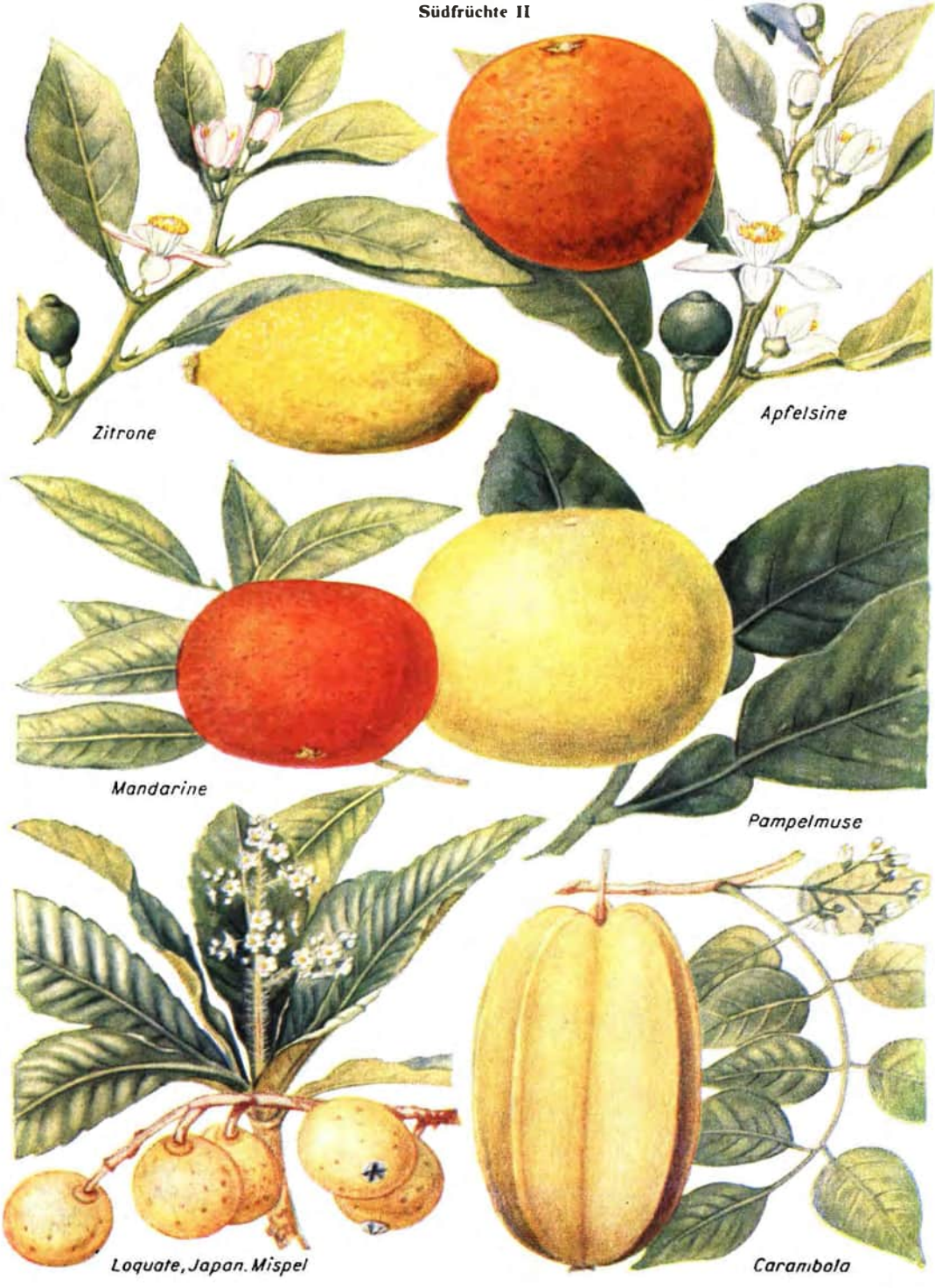
Tropische Gewürzpflanzen 1 Pfefferstrauch (Piper nigrum) mit Blüten- und Fruchttrauben 2 Zimtbaum (Cinnamomum ceylanicum), a) geschältes Zweigstück, b) Zimtrinde 3 Pimentbaum (Pimenta officinalis), a) Fruchtstand, b) Einzelfrucht 4 Vanille (Vanilla planifolia) 5 Ingwer (Zingiber officinalis) mit Rhizom, a) geschältes Rhizomstück 6 Gewürznelkenbaum (Syzygium aromaticum), a) Gewürznelke



Ölpflanzen 1 Erdnußpflanze, a) Erdnuß 2 Olivenzweig, a) Olive 3 Ölpalme, a) Fruchtstand, b) Einzelfrucht 4 Raps, a) aufgesprungene Schote mit Samen 5 Sesam, a) aufgesprungene Kapselfrucht mit Samen 6 Rhizinus, weibliche Blüten, b) männliche Blüten, c) zerfallende Frucht und Samen

Südfrüchte I




Zitrone
Apfelsine
Mandarine
Pampelmuse
Loquate, Japan. Mispel
Carambola



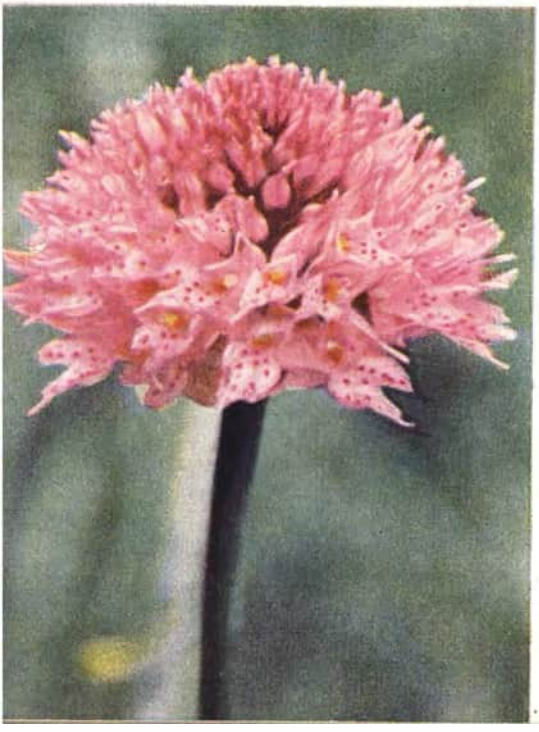
Frauenschuh



Nestwurz

Geschützte Pflanzen I

Kugelknabenkraut



Bleiches Knabenkraut





Arnika



Feuerlilie

Geschützte Pflanzen II

Silberdistel



Diptam





Pilze 1 Knollenblätterschwamm 2 Wiesenchampignon 3 Pantherpilz 4 Perlpilz 5 Gallenröhrling 6 Steinpilz 7 Grünblättriger Schwefelkopf 8 Stockschwämmchen 9 Frühlingslorchel 10 Speisemorchel

Farbige Punkte: *blau* eßbar, *grau* ungenießbar, *rot* giftig

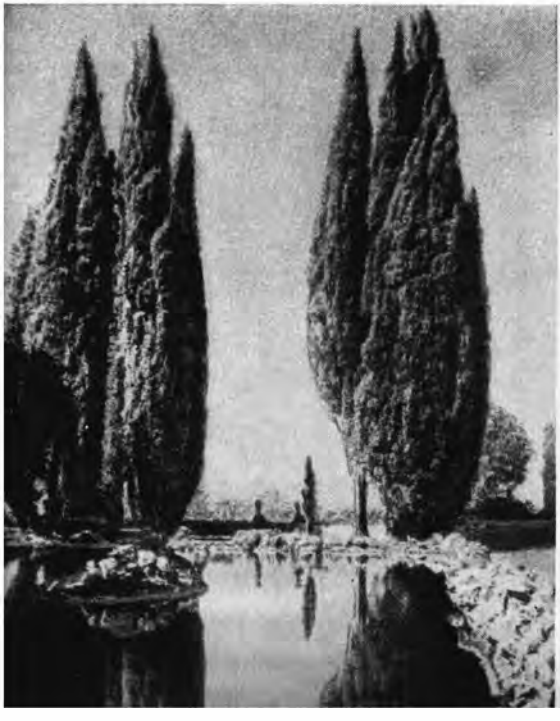


Pinie



Araukarie

Ausländische Nadelbäume



Zypresse



Libanonzeder

TIER

INHALTSÜBERSICHT

I. *Einteilung der Tiere* 683
System des Tierreiches 683
Artenzahl der wichtigsten lebenden deutschen Tiergruppen ... 684
Ursprünglich in Deutschland nicht beheimatete Tiere 686
Tiere mit irreführenden Namen ... 687
Kuriositäten im Tierreich 689

II. *Zoologische Zeichen* 690

III. *Maße des Tierkörpers* 691
Größe einiger Tiere 691
Riesen der Tierwelt 692
Spannweite einiger Flugtiere 694
Körpermasse einiger Säugetiere ... 694

IV. *Bau und Leistungen des Tierkörpers* 695
Skelett, Schädel und Gebiß 695
Wassergehalt und Blut 698
Körpertemperatur 699
Magen und Darm 701
Der Grundumsatz 702
Gehirn und Sinne 703
Bewegungsleistungen 705

V. *Fortpflanzung, Wachstum, Alter* 706
Entwicklung von der Eizelle bis zur Geschlechtsreife 706
Ungefähres Höchstalter einiger Tierarten 710
Geologisches Alter einiger Tierformen 710

VI. *Einzelne Tiergruppen und ihre wichtigsten Arten* 710
Säugetiere 710
Vögel 716
Kriechtiere 728
Lurche 731
Fische 733
Insekten 736

VII. *Haustiere* 737
Haustier und Mensch 737
Die wichtigsten Haustiere und ihre Abstammung 739
Daten über Leistungen, Trächtigkeit und Futtermittel 748

VIII. *Wild, Naturschutz* 750
Wild 750
Naturschutz 754
Geschützte Tiere und Pflanzen ... 757
Naturschutz in anderen Ländern .. 759

IX. *Wichtige Jahreszahlen* 761

I. Einteilung der Tiere

Artenzahl. Das Tierreich umfaßt über 1 Million bekannter Arten, darunter rund 750000 Insektenarten, ferner 6000 Säugetier-, 8600 Vogel- und 20000 Fischarten. Um 1780 kannte man nur 210 Säugetiere, 2090 Vögel, 10300 Insekten und 2025 Arten „Gewürm". Die Anzahl der Arten erhöht sich durch Neuentdeckungen. Besonders bei Insekten werden noch ständig neue Arten beschrieben. Andererseits geschieht es auch, daß mehrere verwandte Arten als geographische Rassen erkannt und deshalb zu einer Einheit (Rassenkreis oder Art) zusammengefaßt werden. Dann verringert sich in einer Tiergruppe die Artenzahl. Schwierigkeiten in der Bewertung einer Einheit als Art oder Rasse ergeben sich daraus, daß die Arten keine starren Gebilde sind, sondern sich verändern.

SYSTEM DES TIERREICHES

(vereinfacht)

Unterreich: Einzeller oder Urtierchen (Protozoa)

Stamm: Geißeltierchen (Flagellata)

Stamm: Wurzelfüßer (Rhizopoda)

Stamm: Sporentierchen (Sporozoa)

Stamm: Wimpertierchen (Ciliata)

Unterreich: Vielzeller oder Gewebetiere (Metazoa)

Stamm: Schwämme (Porifera)

Stamm: Hohltiere (Coelenterata)

Unterstamm: Nesselzelltiere (Cnidaria)
Klasse: Quallenpolypen (Hydrozoa)
Klasse: Schirmquallen (Scyphozoa)
Klasse: Korallentiere (Anthozoa)

Unterstamm: Nesselzellenfreie (Acnidaria)
Klasse: Rippenquallen (Ctenophora)

Stamm: Plattwürmer (Plathelminthes)
Klasse: Strudelwürmer (Turbellaria)
Klasse: Saugwürmer (Trematodes)
Klasse: Bandwürmer (Cestodes)

Stamm: Schnurwürmer (Nemertini)

Stamm: Schlauchwürmer (Nemathelminthes)

Stamm: Gliedertiere (Articulata)
Unterstamm: Ringelwürmer (Annelida)
Unterstamm: Gliederfüßer (Arthropoda)
Klasse: Krebse (Crustacea)
Klasse: Spinnentiere (Arachnoidea)
Klasse: Tausendfüßer (Myriapoda)
Klasse: Insekten (Hexapoda)
1. Ordnungsgruppe: Urinsekten (Apterygota)
2. Ordnungsgruppe: Geflügelte Insekten (Pterygota)

Stamm: Weichtiere (Mollusca)
Klasse: Urmollusken (Amphineura)
Klasse: Schnecken (Gastropoda)
Klasse: Muscheln (Bivalvia)
Klasse: Tintenfische (Cephalopoda)

Stamm: Stachelhäuter (Echinodermata)
Klasse: Haarsterne (Crinoidea)
Klasse: Seesterne (Asteroidea)
Klasse: Schlangensterne (Ophiuroidea)
Klasse: Seeigel (Echinoidea)
Klasse: Seewalzen (Holothurioidea

Stamm: Chordatiere (Chordata)
Unterstamm: Manteltiere (Tunicata)
Unterstamm: Schädellose (Acrania)
Unterstamm: Wirbeltiere (Vertebrata)
Überklasse: Fische (Pisces)
Klasse: Rundmäuler (Cyclostomata) } ohne Amnion (Anamnia)
Klasse: Knorpelfische (Chondrichthyes) }
Klasse: Knochenfische (Osteichthyes) }
Überklasse: Vierfüßer (Tetrapoda)
Klasse: Lurche (Amphibia) } ohne Amnion (Anamnia)
Klasse: Kriechtiere (Reptilia) } Sauropsida } mit Amnion (Amniota)
Klasse: Vögel (Aves) } Sauropsida } mit Amnion (Amniota)
Klasse: Säugetiere (Mammalia) } mit Amnion (Amniota)

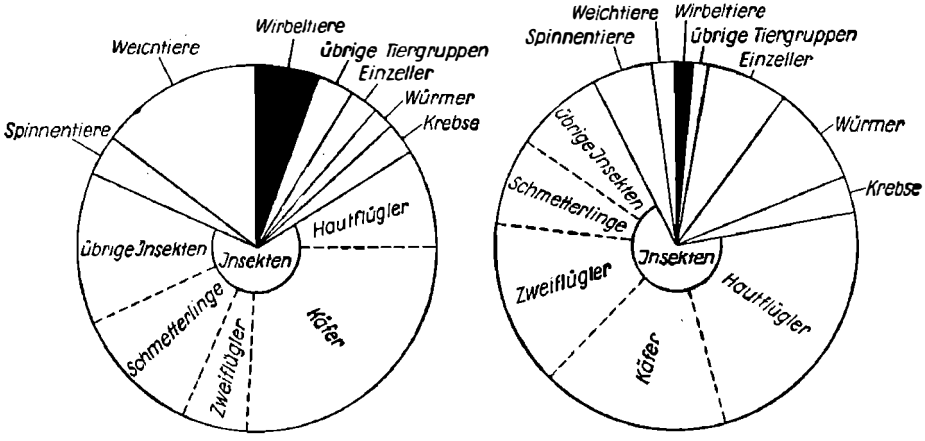
ARTENZAHL DER WICHTIGSTEN LEBENDEN DEUTSCHEN TIERGRUPPEN

Tiergruppe	Zahl der einheimischen Arten (rund)	% der Gesamtzahl der einheimischen Arten
Landtiere und Meerestiere insgesamt	40300	100
davon		
Wirbellose	39 600	98,1
Einzeller	3200	7,9
Schwämme	28	0,07
Hohltiere	130	0,3
„Würmer"	3300	8,2
Strudelwürmer	215	0,5
Saugwürmer	400	1
Bandwürmer	450	1,1
Rädertiere	550	1,3
Fadenwürmer	1140	2,8

Tiergruppe	Zahl der einheimischen Arten (rund)	% der Gesamtzahl der einheimischen Arten
Gliederfüßer	32300	80,1
Krebse	900	2,2
Spinnentiere	2280	5,7
Spinnen	750	1,9
Milben	1400	3,4
Tausendfüßer	200	0,5
Insekten	28900	71,7
Springschwänze	178	0,4
Geradflügler	97	0,2
Haarlinge, Federlinge	200	0,5
Schnabelkerfe	1800	4,5
Köcherfliegen	263	0,65
Schmetterlinge	3000	7,4
Zweiflügler	6000	14,9
Käfer	6800	16,9
Hautflügler	10000	24,8
Weichtiere	500	1,2
Schnecken	380	0,9
Muscheln	100	0,25
Tintenfische	15	0,04
Stachelhäuter	34	0,1
Manteltiere	21	0,05
Wirbeltiere	750	1,9
Fische	195	0,5
Lurche	19	0,05
Kriechtiere	12	0,04
Vögel*	400	1
Säugetiere	121	0,3

* Aber nur 245 Arten als Brutvögel; 75 Arten regelmäßige Durchzügler; 75 Arten selten, z. T. nur Irrgäste

Die angegebenen Zahlen und Prozentzahlen entsprechen einander nicht immer bis in die letzten Stellen, weil unbedeutendere Gruppen in der Tabelle nicht mit aufgeführt sind.



Verhältnis der Artenzahl wichtiger Tiergruppen zueinander
links: Gesamte Tierwelt rechts: Deutsche Tierwelt

URSPRÜNGLICH IN DEUTSCHLAND NICHTBEHEIMATETE TIERE

Tierart	Heimat	in Deutschland bekannt seit etwa	Bemerkungen
Kaninchen	Spanien und Nordwestafrika	1500	als Gehegekaninchen nach Mitteleuropa gebracht und verwildert
Jagdfasan	Asien	1500	seit Mittelalter mehrere Fasanenrassen eingebürgert, aus deren Vermischung heutiger „Jagdfasan" entstand
Girlitz[1]	westliches Mittelmeergebiet	1815	brütet in Obst-, Friedhofs- und Alleebäumen
Wandermuschel	Südosteuropa	1825	Ausgangsgebiet: Ostseeküste; haftet an Schiffswänden
Messingkäfer	nördliches Kleinasien	1840	mit eingeführten Rhabarberwurzeln eingeschleppt; frißt Lederwaren, Holzwerk, Isoliermaterial der elektrischen Leitung usw.
Reblaus	Nordamerika	1860	mit Reben eingeschleppt
Kartoffelkäfer	Nordamerika (Colorado)	1877	mit Schiffsgut nach Westeuropa verschleppt; seit dem ersten Weltkrieg in Frankreich heimisch; in Deutschland früher nur vereinzelt
Amerikanischer Krebs (Cambarus affinis)	Nordamerika	1880	in den Berliner Raum eingeführt; heute wichtiges Wirtschaftsobjekt, auch in Frankreich und Polen
Grubenwurm	Italien	1880	Ausgang: Bau des Gotthardtunnels; Darmschmarotzer; durch Tunnel- und Grubenarbeiter weiterverbreitet
Mufflon	Korsika und Sardinien	1900	z. B. in Harz und Taunus als Jagdwild eingeführt
Bisamratte	Nordamerika zwischen 30 und 69° nördl. Breite	1910	1905 als nutzbares Pelztier nach Böhmen eingeführt, jetzt über ganz Mitteleuropa verbreitet. Vernichtet Feldfrüchte, unterwühlt Dämme
Wollhandkrabbe	China	1910	Ausgangsgebiet: Unterweser, Unterelbe. In Ballastwassertanks der Ostasienfahrer eingeschleppt. Unterhöhlt Uferdämme; Fischereischädling
Waschbär	Nordamerika	1930	in der Eifel, der Lüneburger Heide und im hessischen Bergland Standwild, auch bei Berlin; gehen auf ausgebrochene Farmtiere zurück
San-José-Schildlaus	Nordchina	1946	gefährlicher Obst- und Beerenschädling; mit Importware eingeschleppt
Türkentaube	Vorderindien	1947	Ausbreitung über Mitteleuropa stürmisch; Besiedlung sprungweise

[1] Verschiebungen der Verbreitungsgrenzen lassen sich während der letzten 150 Jahre bei etwa 1/6 aller mitteleuropäischen Vogelarten feststellen.

Zahl der Tierarten in verschiedener Meerestiefe
(Challengerexpedition 1872 bis 1876)

Tiefe in m	Arten	Tiefe in m	Arten
0···183	4400	2744···3658	500
183···915	2050	3658···4573	340
915···1829	710	über 4573	235
1829···2744	600		

Zahl der Fischarten wichtiger Ströme

Strom	Länge in km	Fläche des entwässerten Gebietes in km²	Zahl der Fischarten
Donau	2860	817000	68
Rhein	1360	224400	49
Weser	440	45250	43
Elbe	1112	144050	46
Oder	861	118390	45
Wisła (Weichsel)	1070	191000	48
Wolga	3688	1426000	64
Ob	3640	3000000	45
Amur	4480	2050000	73
Indus	3190	965000	113
Ganges mit Brahmaputra	3000	1750000	170
Niger	4160	2100000	96
Kongo	4650	3700000	380
Mississippi	4616	3300000	256
Amazonas	6280	7000000	700
Uruguay mit La Plata	1900	3100000	359

Zahl der Lurch- und Kriechtierarten verschieden großer Inseln

	Größe in km²	Lurcharten	Kriechtierarten
Kalimantan	715100	79	207
Madagaskar	591563	88	181
Sumatera	443234	48	166
Sulawesi	200132	26	83
Djawa	131733	37	122
Ceylon	65690	37	97
Neuseeland	268461	1	15
Cuba	118833		63
Haiti	77253		55
Jamaica	10859		33
Puerto Rico	9314		26

TIERE MIT IRREFÜHRENDEN NAMEN

Drehwurm	kein Wurm, sondern	die Finne (Larvenstadium) eines Hundebandwurms (Polycephalus multiceps) im Gehirn der Schafe (Drehkrankheit)
Hülsenwurm	kein Wurm, sondern	die (bis kopfgroße) Finne eines Hundebandwurms (Echinococcus granulosus); lebenbedrohender Parasit in Lunge, Leber von Mensch, Rind, Schaf, Schwein
Holzwurm	kein Wurm, sondern	ein Klopfkäfer (die „Totenuhr") (Anobium pertinax); Holzschädling (z. B. Bewohner „wurmstichiger" Möbel)
Mehlwurm	kein Wurm, sondern	die Larve des Mehlkäfers (Tenebrio molitor)
Wurm im Apfel	kein Wurm, sondern	die Raupe („Obstmade") des Apfelwicklers (Carpocapsa pomonella)
Heerwurm	kein Wurm, sondern	eine oft mehrere Tausend umfassende Gemeinschaft wandernder Maden der Heerwurmtrauermücke (Lycoria militaris)

Weißwurm	kein Wurm, sondern	eine massenhaft auftretende Eintagsfliege (Polymitarcis virgo); getrocknet als Fischfutter verwendet
Pfahlwurm	kein Wurm, sondern	eine holzbohrende Muschel (Teredo navalis); Schädling an Deichbauten und Brücken
Seespinne, Meeresspinne	keine Spinne, sondern	ein kiemenatmender, kurzschwänziger Krebs nördlicher Meere (Hyas araneus), der sich mit Tangen tarnt
Grasmücke	kein Insekt, sondern	(vom althochdeutschen grasasmucka, Grasschlüpfer) ein zarter, graubraun gefärbter Singvogel (Sylvia), der in Gebüschen lebt
Biberlaus	keine Laus, sondern	ein an Bibern schmarotzender Käfer
Karpfenlaus	keine Laus, sondern	ein an Fischen, besonders an deren Kiemen schmarotzender Kleinkrebs
Silberfischchen	kein Fisch, sondern	ein flügelloses Insekt (Urinsekt, Lepisma saccharina) von 1 cm Länge; lebt versteckt hinter alten Tapeten, in alten Möbeln usw., flieht, seiner nächtlichen Lebensweise entsprechend, rasch mit fischartigen Bewegungen ins Dunkle, frißt Kleister, auch Nahrungsmittel, „Zuckergast"
Braunfisch (auch Meerschwein)	kein Fisch, sondern	ein Zahnwal (Säugetier) der nördlichen Meere (Phocaena phocaena) von etwa 2 m Länge, auch in der Nord- und Ostsee häufig
Walfische	keine Fische, sondern	volkstümliche Bezeichnung für Wale (Cetacea), eine Ordnung der Säugetiere von fischähnlicher Gestalt (sind sekundär ins Wasser zurückgegangen)
Eulen	nicht nur Vögel, sondern auch	eine Familie (Noctuidae) der Nachtfalter
Seeigel	keine Säugetiere (Igel), sondern	eine Klasse der fünfstrahlig gebauten Stachelhäuter (Echinodermata), von Kugelgestalt: Bewohner des Meeresgrundes
Stachelschwein	kein Huftier (Schwein), sondern	ein Nagetier der Mittelmeerländer und Afrikas (Hystrix cristata); Pflanzenfresser mit nächtlicher Lebensweise
Meerschweinchen	kein Huftier, sondern	ein Nagetier aus Südamerika (Cavia porcellus), als Haustier gehalten
Seekühe	keine Paarhufer (Rind), sondern	eine Ordnung der Säugetiere von walartigem Äußern (Sirenia), jedoch im Bau auf Verwandtschaft mit den Elefanten hinweisend; ausgesprochene Pflanzenfresser
Flußpferd	kein Unpaarhufer (Pferd), sondern	ein nichtwiederkäuender Paarhufer Afrikas (Hippopotamus amphibius), mit den Schweinen verwandt; ausgesprochener Wasserbewohner, Pflanzenfresser, bis 4 m lang
Seepferdchen	kein Huftier, sondern	ein etwa 10 cm großer Knochenfisch mit pferdeähnlichem Kopf und Wickelschwanz (Hippocampus); bewohnt die Tangwiesen des Mittelmeeres und des Atlantischen Ozeans. Das Männchen verwahrt die Eier in einer Bruttasche am Bauch

Walroß	kein Huftier, sondern	eine Robbe des Nordpolargebietes (Odobenus rosmarus), bis $4^1/_2$ m lang, mit bärtigem Maul, dessen obere Eckzähne in Form mächtiger Hauer Muscheln und andere niedere Tiere vom Meeresgrund loslösen
See-Elefant	kein Rüsseltier, sondern	eine Robbe (Macrorhinus), bis 5 m lang, im männlichen Geschlecht mit kurzem, dickem Rüssel; Bewohner beider Polargewässer
Spitzmäuse	keine Nagetiere (Mäuse), sondern	Vertreter der Säugetierordnung der Insektenfresser, zu denen auch Igel und Maulwurf gehören
Ameisenlöwe	kein Raubtier, sondern	die Larve der Ameisenjungfer (Myrmeleon formicarius), eines Netzflüglers; baut im Kiefernsande Trichter und saugt ihre Beute — zum Abrutschen gebrachte Ameisen — auf dem Trichtergrunde aus
Füchse	nicht nur Raubtiere, sondern auch	Schmetterlinge aus der Familie der Fleckenfalter (Nymphalidae)
Blattlauslöwe	kein Raubtier, sondern	die Larve der Florfliege (Chrysopa perla), eines Netzflüglers; saugt Blattläuse aus
Seelöwe	kein Löwe, sondern	eine Robbe (Ohrenrobbe) Kaliforniens (Zalophus californianus)
Meerkatze	keine Katze, sondern	Schmalnasenaffe Afrikas (Cercopithecus) von schmaler muskulöser Gestalt mit langem, quastenlosem Schwanz
Seehund	kein Hund, sondern	eine Robbe (Phoca) mit nach hinten gerichteten Füßen, die das Tier auf dem Lande zu sprungartigen Bewegungen des ganzen Rumpfes zwingen
Seebär	kein Bär, sondern	eine Ohrenrobbe (Arctocephalus ursinus), Bewohner des Beringmeeres; liefert die Sealpelze
Brauner Bär	nicht nur ein Säugetier, sondern auch	ein einheimischer, prächtig gefärbter Schmetterling (Arctia caja) aus der Familie der Bärenspinner (Arctiidae), dessen Raupe einen zottigen Pelz hat
Seelilien	keine Blumen, sondern	(nahezu ausgestorbene) Stachelhäuter (Echinodermata); ihre wenigen noch lebenden Vertreter werden auch als „Haarsterne" (Crinoidea) bezeichnet
Seeanemonen Seemoos Seenelken Seerosen	keine Blumen, sondern	Hohltiere (Coelenterata)

KURIOSITÄTEN IM TIERREICH

Säugetiere ohne Fell und Hinterbeine	die Wale, die ausschließlich im Meere leben und dort auch ihre Jungen zur Welt bringen
Säugetiere, die keine lebenden Jungen zur Welt bringen, sondern Eier legen	die Kloakentiere (z. B. Ameisenigel und Schnabeltier); leben in Australien und Neuseeland. Sie besitzen eine Kloake, in die der Enddarm und die Harn- und Geschlechtswege gemeinsam einmünden
Vögel, die nicht fliegen können	z. B. der afrikanische Strauß, ein Laufvogel der Steppe, größter der heute lebenden Vögel Pinguine; Küstenbewohner des antarktischen Meeres, deren Flügel als Flossen ausgebildet sind
ein Vogel ohne Schwung- und Steuerfedern	der neuseeländische Kiwi (Schnepfenstrauß), der nur haarähnliche Federn besitzt und in bewohnten Gegenden heute bereits ausgerottet ist

ein Vogel, der seine Eier weder selbst bebrütet noch von anderen Vögeln erbrüten läßt	das australische Talegallahuhn, das seine Eier in Laubhaufen durch die Gärungswärme ausbrüten läßt und sich nicht um die Jungen kümmert
Fische, die im Wasser ertrinken können	die Labyrinthfische, z. B. der Kletterfisch (Anabas scandens) und die Makropoden (Großflosser), die neben der Kiemenatmung auf zusätzliche Luftatmung angewiesen sind. Verhindert man diese Tiere am Luftschnappen, so gehen sie ein
eine Eidechse ohne Beine	die Blindschleiche (Anguis fragilis), eine völlig harmlose Eidechsenform, die wegen ihrer Schlangenähnlichkeit ungerechtfertigten Verfolgungen durch den Menschen ausgesetzt ist
eine Schildkröte ohne festen Panzer	die Lederschildkröte (Dermochelys coriacea), ein Bewohner tropischer Meere
eine Larve, die Eier legt	der Axolotl, die Larve des mexikanischen Kiemenmolches (Ambystoma mexicanum), die als solche geschlechtsreif wird und sich fortpflanzt
eine Larve, die sich ungeschlechtlich vermehrt	die Larve des Leberegels (Fasciola hepatica). Sie bringt im Inneren eines Zwischenwirtes, einer Schnecke, auf ungeschlechtlichem Wege „Keimschläuche", d. h. längliche Larven mit wenig Organen, aber mit einem Darm, hervor. Diese Larven erzeugen — ebenfalls wieder auf ungeschlechtlichem Wege — „Schwanzlarven", die die Schnecke verlassen und sich an Gräsern einkapseln. Schafe und Rinder, die dieses Gras abweiden, infizieren sich mit dem Leberegel
ein Krebs ohne Scheren, Beinpaare, Panzer und eigentlichen Rumpf	der Wurzelkrebs (Rhizocephala), der in Strandkrabben schmarotzt. Sein Körper gleicht einem Wurzelgeflecht und durchzieht den Wirt
eine Fliege ohne Flügel	die Fliege Calycopteryx moseleyi, die auf den sturmumbrausten Kergueleninseln im südlichen Indischen Ozean lebt und sich springend vorwärts bewegt; die Flügel sind rückgebildet
ein Bandwurm ohne Glieder	der etwa 5 cm lange Nelkenwurm (Caryophyllaeus mutabilis), der im Darm von Karpfenfischen lebt. Seine Finne benutzt den Süßwasserringelwurm Tubifex als Zwischenwirt und gelangt als dessen „blinder Passagier" in den Darm der Fische
eine Schnecke, die nicht kriechen kann	die Flügelschnecke (Clione limacina), die flossenartige Fortsätze am Fuße hat, mit denen sie sich schwimmend als Plankton im Wasser aufhält. Sie bildet die Hauptnahrung der Wale
ungleiche Paare	Männchen und Weibchen des Sternwurms (Bonellia viridis). Das Weibchen wird einschließlich seines den weitaus größten Teil der Körperlänge einnehmenden Rüssels fast 1 m lang, während das Männchen nur 1 bis 3 mm mißt. Dieses entwickelt sich im Rüssel, später im Vorderdarm des Weibchens und lebt nach seiner Reife in dessen Uterus
	Männchen und Weibchen des Tiefseefisches Edriolychnus schmidti. Das Weibchen wird 1 m lang, während das Männchen nur 10 cm mißt und oft in der Nasengegend oder an den Flossen des Weibchens angewachsen ist. Männchen und Weibchen der auf Madagaskar lebenden Seidenspinne (Nephila). Das Männchen (5 Häutungen) erreicht kaum $^1/_{10}$ der Größe des Weibchens (11 Häutungen bis zur Geschlechtsreife)

II. Zoologische Zeichen

Die in Botanik und Zoologie in gleicher Weise gebräuchlichen Zeichen für die Begriffe „männlich", „weiblich", „zwittrig" usw. sind in der Tabelle „Botanische Zeichen" auf S. 615 zu finden.

III. Maße des Tierkörpers

GRÖßE EINIGER TIERE

(ausgewachsene Stücke)

Spulwurm	20	cm	lang	Pinguin	1	m	hoch
Schweinebandwurm	3	m	lang	Emu	1,70	m	hoch
Fischbandwurm	10	m	lang	Strauß	2,75	m	hoch
Rinderbandwurm	8	m	lang	Zwergspitzmaus	55	mm	lang
Miesmuschel	8	cm	lang	Biber	1	m	lang
Auster	10	cm	lang	Afrikanischer Elefant	3,50	m	hoch
Teichmuschel	15	cm	lang	Pottwal	23	m	lang
Gemeiner Tintenfisch (Sepia)	60	cm	lang	Finnwal	25	m	lang
Menschenfloh	2···3,5	mm	lang	Blauwal	30	m	lang
Gemeiner Wasserfloh (Krebs)	2	mm	lang	Dachs	75	cm	lang
Roßameise	18	mm	lang	Wildkatze	75	cm	lang
Vogelspinne	9	cm	lang	Fuchs	90	cm	lang
Flußkrebs	11	cm	lang	Jaguar	1	m	lang
Herkuleskäfer	15	cm	lang	Wolf	1,15	m	lang
Totenkopfraupe	15	cm	lang	Tüpfelhyäne	1,30	m	lang
Skorpion	bis 22	cm	lang	Leopard	1,30	m	lang
Riesentausendfuß	27	cm	lang	Löwe	1,80	m	lang
Gespenstheuschrecke	bis 30	cm	lang	Sibirischer Tiger	2	m	lang
Hummer	35	cm	lang	Gemeiner Seehund	2	m	lang
Karpfen	70	cm	lang	Braunbär	2,10	m	lang
Lachs	1,20	m	lang	Eisbär	2,70	m	lang
Sonnenfisch	3	m	lang	Walroß	4,50	m	lang
Wels	4	m	lang	Wildschwein	1,50	m	lang
Stör	4	m	lang	Flußpferd	4	m	lang
Heringshai	3	m	lang	Stumpfnashorn	5	m	lang
Riesenhai	15	m	lang	Puduhirsch	25	cm	hoch
Rauhai	20	m	lang	Reh	1,30	m	lang
Blattsteigerfrosch	1,15	cm	lang	Rothirsch	2	m	lang
Ochsenfrosch	20	cm	lang	Rentier	2	m	lang
Goliathfrosch	25	cm	lang	Moschusochse	2,50	m	lang
Smaragdeidechse	40	cm	lang	Elch	2,80	m	lang
Grüner Leguan	1	m	lang	Wisent	3,50	m	lang
Riesensalamander	1,60	m	lang	Elenantilope	4	m	lang
Riesenschildkröte	2,30	m	lang	Lamantin (Seekuh)	4	m	lang
Riesenwaran	4	m	lang	Giraffe	6	m	hoch
Königshutschlange	4,50	m	lang	Schimpanse	1,50	m	hoch
Leistenkrokodil	8,50	m	lang	Orang-Utan	1,70	m	hoch
Netzschlange	10	m	lang	Gorilla	2	m	hoch
Rohrdommel	70	cm	hoch				

Größe einiger Ameisenarten

(Soweit nichts anderes vermerkt ist, in Deutschland lebend)

Art	Körperlänge der Arbeiterinnen in mm
Pharaoameise (Monomorium pharaonis), aus Asien eingeschleppt; in Häusern	1,5
Diebsameise (Solenopsis fuga), schmarotzt in anderen Ameisennestern	2
Gelbe Wiesenameise (Lasius flavus)	2···4
Braunschwarze Wiesenameise (Lasius niger)	3···4
Blattschneiderameise (Atta cephalotes), Brasilien	3···15
Schwarze Holzameise (Lasius fuliginosus)	4···5
Rote Waldameise (Formica rufa)	4···9
Blutrote Raubameise (Formica sanguinea)	6···9
Knotenameise (Myrmica rubida)	7···8,5
Riesenameise (Camponotus herculeanus)	14···18
Rote Bulldoggameise (Myrmecia pyriformis), Europa, Asien, Nordamerika	20···25

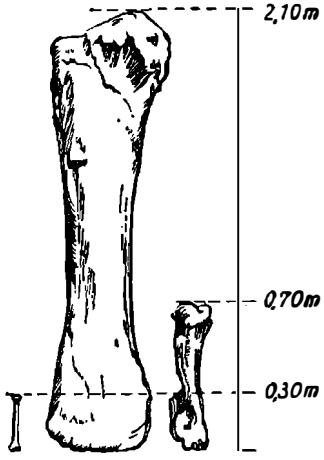
RIESEN DER TIERWELT

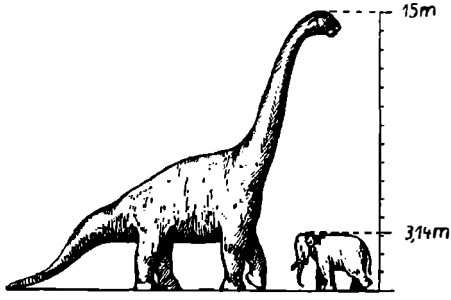
Ausgestorbene Riesen aus dem Altertum der Erde

Im *Devon* der Riesenkrebs Pterygotus	Länge:	1,8	m
Im *Devon* der Panzerfisch Pterichtys	Länge:	5	m
Im *Karbon* die Riesenlibelle Meganeura	Flügelspannweite:	0,7	m
In der *Trias* der Panzerlurch Archegosaurus	Länge:	1,5	m
Im *Jura* die Riesenqualle Rhizostomites admirandus	Durchmesser:	0,5	m

Riesen der Jura- und Kreidezeit

Die Muschel Inoceramus	Durchmesser: bis	0,5	m
Die Ammoniten (beschalte Tintenfische)	Durchmesser: bis	3	m
Die Seelilie Pentacrinus briareus (ein festsitzender Stachelhäuter)	Länge:	18	m
	davon Stiellänge:	17	m





Links: *Größenvergleich der Oberarmknochen von Mensch (0,3 m), Dinosaurier (2,1 m) und Elefant (0,7 m) (nach R. Hunger)*

Rechts: *Größenvergleich zwischen einem Riesensaurier und einem Elefanten (nach R. Hunger)*

Die *Saurier* (heutige Verwandte: Eidechsen)

Landsaurier:				
Räuberische Formen	Ceratosaurus	Länge:	5	m
	Allosaurus	Länge:	7	m
	Tyrannosaurus	Länge:	10	m
Pflanzenfresser	Triceratops	Länge:	8	m
	Iguanodon	Länge:	10	m
	Stegosaurus	Länge:	10	m
Küstenbewohnende Saurier: (kleine Wassertiere und Wasserpflanzen fressend)	Nothosaurus	Länge:	3	m
	Diplodocus	Länge:	22	m
	Brachiosaurus	Länge:	22···30	m
Wasserbewohnende Saurier:				
Fischsaurier (wie die Wale unter den Säugetieren)	Stenopterygius	Länge:	2,10	m
	Leptopterygius	Länge:	12···16	m
Meerechsen (mit schlangenförmigem Hals und kleinem Kopf)	Plesiosaurus	Länge:	3···5	m
	Elasmosaurus	Länge:	13	m
Flugsaurier:	Rhamphorhynchus	Flügelspannweite:	1,13	m
	Pteranodon	Flügelspannweite:	7	m
aber:	Pterodactylus	Flügelspannweite:	nur etwa wie Krähe	
Der *Vogel* Hesperornis		Höhe:	1	m

Riesen des Tertiärs und der Eiszeit

Auf den *nördlichen Kontinenten*:

Der Höhlenbär Ursus spelaeus	Länge: 2,80 m
Der Riesenhirsch Megaceros hiternicus	Spannweite des 37 kg schweren Geweihes: 3,50 m
Das Wollhaarnashorn Tichorhinus antiquitatis	Höhe: 1,50 m, Länge: 3,50 m
Das sibirische Mammut Elephas primigenius	Höhe: 2,75 m, Länge: 3,50 m
Das Kolumbusmammut	Höhe: 3,20 m, Länge: 5,40 m, Stoßzähne: 3,45 m
Das europäische Mammut	Höhe: 3,50–4,50 m
Das Bluchitherium (ein Verwandter des Nashorns)	Höhe: 5,30 m

außerdem Riesenelche, Riesenflußpferde u. a.

In *Südamerika*:

Das Nagetier Megamys	von der Größe eines Flußpferdes
Die Riesengürteltiere	
Glyptodon	Länge: 2 m
Doedicurus	Länge: 4 m
Chlamydotherium	von der Größe eines Nashorns
Das Riesenfaultier Megatherium	von der Größe eines Elefanten

In *Australien*:

Der Riesenwombat (ein Beuteltier)	von der Größe eines Nashorn
Der kasuarähnliche Riesenvogel Diatryma	Höhe: 2,50 m
Der Riesenmoa Dinornis, ein Laufvogel Neuseelands	Höhe: 3,50 m

außerdem Riesenkänguruhs u. a.

Auf *Madagaskar*:

Der Halbaffe Megaladapis	von der Größe eines Schimpansen Höhe: 1,50 m
Der Riesenstrauß Aepyornis maximus	Höhe: bis 3 m, Länge des Eies: bis 35 cm (1 Riesenstraußei wiegt soviel wie 180 Hühnereier)

In *Ostindien*:

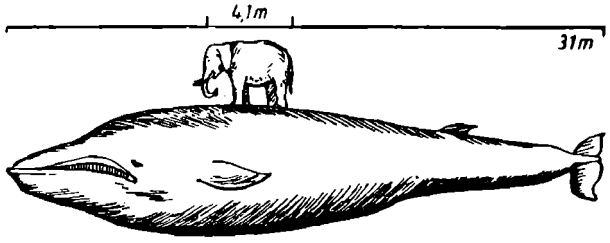
Das Riesenkrokodil Rhamphosuchus	Länge: 15 m

„Riesen" sind diese Tiere im Verhältnis zu ihren heute lebenden Verwandten.

In der Gegenwart lebende Riesen

Lochschalentierchen (Nummulites gizehensis), ein Einzeller	Länge: 3,2 cm
Armfüßer (Magellanea venosa)	Breite der Schale: 7 cm, Länge der Schale: 8 cm, Höhe der Schale: 45 cm
Trompetenschnecke (Triton)	Durchmesser: 60 cm
Seestern (Asterias glacialis)	Durchmesser: 2 m
Qualle (Cyanea arctica)	Länge: 2 m, Durchmesser: 5 cm
Seewalze (Synapta maculata)	Länge der Schale: 2 m
Riesenmuschel (Tridacna)	Spannweite der Scherenbeine: 3 m und mehr
Riesenkrabbe (Macrocheira kaempfferi)	Länge mit Armen: 18 m
Tintenfisch (Architeuthis)	Länge bis: 16 m
Riesenhai (Selache maxima)	Körperbreite bis: 6 m
Teufelsrochen (Manta)	Länge bis: 10 m
Hausen (Huso huso)	Länge: 1,5 m und mehr
Riesensalamander (Megalobatrachus maximus)	Länge: 2 m
Lederschildkröte (Dermochelys coriacea)	Länge: 8,5 m
Leistenkrokodil (Crocodilus porosus)	Länge: 10 m
Riesenschlange (Python reticulatus)	Höhe: 2,5 m
Strauß (Struthio camelus)	Rumpflänge von Scheitel bis Schwanz: 4,2 m, Höhe über: 3 m
Afrikanischer Elefant (Loxodonta africana)	Länge bis: 34 m
Blauwal (Balaenoptera musculus)	

Die „Riesen" sind nicht nach absoluten Meßwerten zu beurteilen, sondern nach der Größe der ihnen verwandtschaftlich nahestehenden Formen.



Größenvergleich zwischen Elefant und Blauwal, dem größten Land- und dem größten Wassertier der Gegenwart

Masseanteile der Organe eines Blauwals
(von 27 m Länge)

Fleisch	56450 kg
Speck	25650 kg
Knochen	22650 kg
größter Rückenwirbel	240 kg
Zunge mit Zungenwurzel	3150 kg
Magen	420 kg
Därme	1550 kg
Herz	630 kg
Lungen	610 kg
Leber	930 kg
Nieren	950 kg
Sonstiges	9150 kg

Der weibliche Blauwal, der das männliche Tier an Größe noch übertrifft, ist das größte tierische Lebewesen, das in Vergangenheit und Gegenwart auf unserem Planeten gelebt hat. Das größte gemessene Stück hatte eine Körperlänge von 34,5 m und wog fast 170 Tonnen.

SPANNWEITE EINIGER FLUGTIERE

Große Teufelsnadel (Libelle)	10 cm
Wiener Nachtpfauenauge	15 cm
Der am weitesten spannende Schmetterling, die brasilianische Eulenart Thysania agrippina	27 cm
Mauersegler	40 cm
Archaeopteryx (ausgestorbener Urvogel)	50 cm
Urlibelle (ausgestorben)	70 cm
Pterodactylus (ausgestorbene Flugechse)	75 cm
Sperber	80 cm
Flughund (Pteropus)	1,5 m
Lämmergeier	2,5 m
Kondor	2,75 m
Albatros	4,25 m
Pelikan	5 m
Pteranodon (ausgestorbene Flugechse)	7 m

KÖRPERMASSE EINIGER SÄUGETIERE

Maximalwerte in kg

Zwergspitzmaus	0,003	Braunbär	250	Wisent	700
Fuchs	7	Rothirsch	270	Eisbär	800
Dachs	20	Wels	300	Walroß	1000
Reh	20	Elch	400	Indisches Nashorn	2000
Biber	30	Lamantin (Seekuh)	400	Flußpferd	2500
Rentier	150	Elenantilope	500	Elefant	3100
Königstiger	160	Pferd	400···1000	Blauwal	bis 170000
Wildschwein	200	Grislybär	450		

Die kleinsten Warmblüter Deutschlands

Tierart	Körpermasse in g	Tierart	Körpermasse in g
Zwergspitzmaus	3···5	Fitislaubsänger	7,5···8
Goldhähnchen	4···6	Weidenlaubsänger	7,5···8
Zwergmaus	5···8	Zaunkönig	5···8
Schwanzmeise	7,5		

IV. Bau und Leistungen des Tierkörpers

SKELETT, SCHÄDEL UND GEBISS

Außen- und Innenskelett. Man unterscheidet zwischen *Außenskelett* und *Innenskelett*. Gliederfüßer (z. B. Krebse, Spinnen, Insekten) besitzen ein gut entwickeltes Außenskelett, das aus *Chitin* besteht. An den Gelenken ist der Chitinpanzer dünn. Der Chitinpanzer, der auch gegenüber chemischen Stoffen sehr widerstandsfähig ist, schützt den Organismus zugleich gegen Außeneinflüsse. Das vollkommenste Innenskelett findet sich bei Wirbeltieren. Es besteht aus Knorpel- und Knochengewebe. Embryonal wird es zunächst als Knorpelskelett angelegt. Später wird der Knorpel in wechselndem Umfang durch Knochen ersetzt (*Ersatzknochen*). Ein Teil der Knochen (z. B. die Plattenknochen der Schädeloberseite) bildet sich ohne knorpelige Vorstufe (*Deckknochen*). Bei den Knorpelfischen (z. B. Haie) bleibt das Gesamtskelett zeitlebens knorpelig; der Knorpel verkalkt aber und erlangt auf diesem Wege ebenfalls erhebliche Festigkeit.

Masse des Skeletts
im Vergleich zur Gesamtmasse des Körpers (in %)

Zaunkönig	7,1	Hausmaus	8,4	Schwein	18
Haushuhn	11,7	Kaninchen	9	Schaf	20
Gans	13,4	Katze	11,5	Rind	20
Spitzmaus	7,9	Hund	14	Mensch	17···18

Zahl der Wirbel

Hering	rund 55	manche Schildkröten	34	Singvögel	35
Aal	rund 200	Blindschleiche	110	Schwan	56
Haifische	rund 400	Blindwühlen	bis 275	Haussäugetiere	50—60
Frösche	9	Riesenschlangen	400	Mensch	32—34

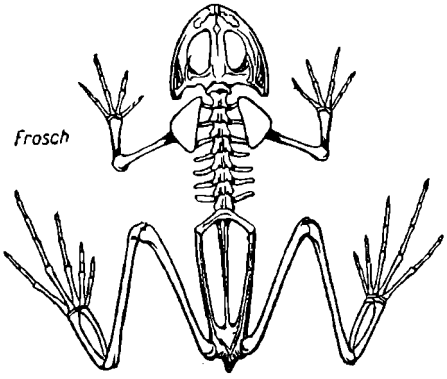
Zahl der Beine einiger Tiere

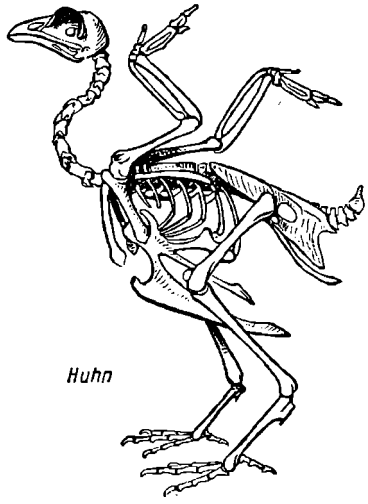
Insekten	6	höhere Krebse	
Spinnentiere	8	(Hummer, Flußkrebse)	10
niedere Krebse	6···12	Tausendfüßer	34···278

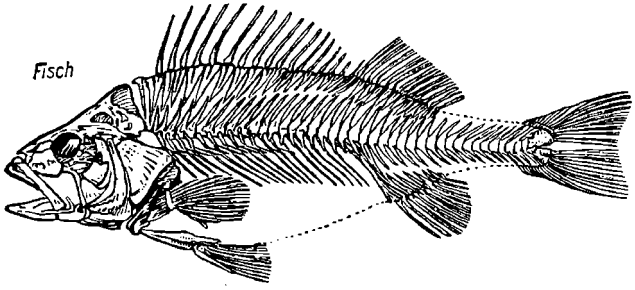
Schädel. Der Schädel der Wirbeltiere besteht aus dem *Hirnschädel* und dem *Kieferapparat*. Der Hirnschädel dient vor allem dem Schutz des Kopfhirns und der Sinnesorgane. Der Kieferapparat entsteht stammesgeschichtlich unabhängig vom Hirnschädel. Bei primitiven Wirbeltieren (z. B. Haie) sind beide Schädelanteile noch nicht fest miteinander verbunden. Oberkiefer und Unterkiefer sowie Zungenbein und Kehlkopfknorpel leiten sich stammesgeschichtlich von Stützelementen der Kiemenbögen ab.

Die Außenfläche des Schädels dient der Muskulatur als Ansatzfläche. Zur Vergrößerung der Ansatzfläche, insbesondere für die Kaumuskulatur, sind häufig Knochenleisten oder Knochenkämme ausgebildet. Große Individuen besitzen stets stärkere Knochenkämme als kleine.

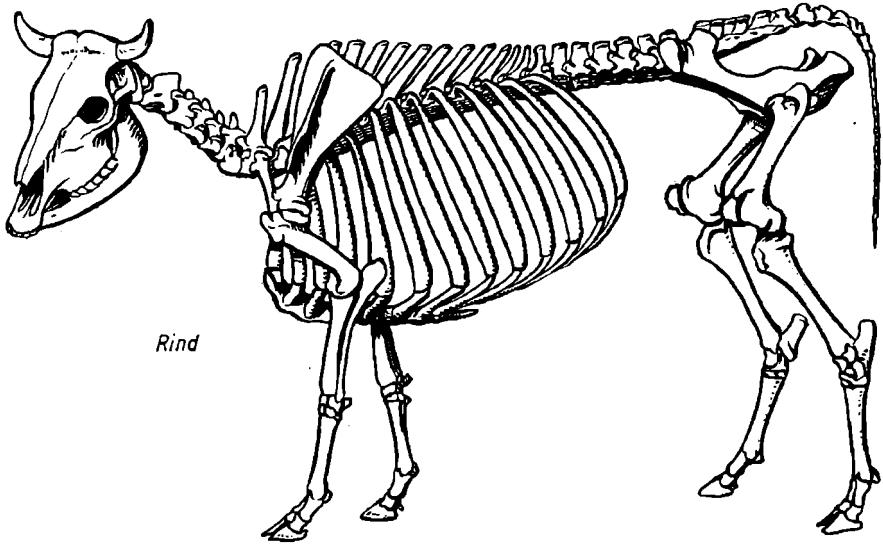
Das *Kiefergelenk* liegt bei primitiven Säugern in gleicher Höhe mit der Zahnreihe. Dieser Zustand wird von den meisten Fleischfressern beibehalten, während bei Pflanzenfressern das Kiefergelenk nach oben verlagert wird. Der Gelenkfortsatz des Unterkiefers ist bei Raubtieren als Querrolle ausgebildet, die in einer Querrinne des Oberschädels liegt, so daß im wesentlichen nur eine Scharnierbewegung ausgeführt werden kann. Bei Pflanzenfressern besitzt das Kiefergelenk dagegen größere Bewegungsfreiheit, so daß der Unterkiefer sowohl seitlich als auch von hinten nach vorn und zurück bewegt werden kann. Dies bildet die Voraussetzung für die Mahlbewegung der Kiefer bei der Zerkleinerung pflanzlicher Nahrung.



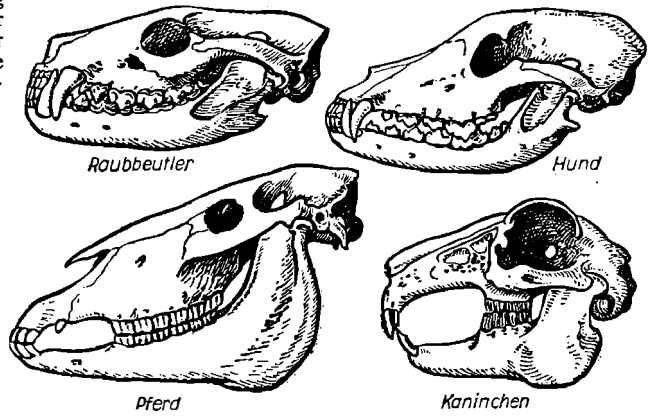




Skelettformen der Wirbeltiere



Gebiß der Säugetiere. Das Gebiß besteht aus Schneide-, Eck- und Backzähnen. Die *Schneidezähne* stehen vorn und dienen dem Abbeißen, zuweilen auch anderen Zwecken (so ist z. B. der Stoßzahn des Elefanten ein Schneidezahn). Mit den *Eckzähnen* ergreift das Raubtier die Beute, mit den *Backzähnen* wird die Nahrung zerkleinert, zerschnitten oder zerkaut. Die Backzähne der Pflanzenfresser haben breite *Mahlflächen, die der Fleischfresser scharfe Scherenschneiden*. Bei den Backzähnen unterscheidet man die auf den Eckzahn folgenden *Lückzähne (Prämolaren)* und die hinten im Kiefer stehenden *echten Backzähne* (Molaren). Die echten Backzähne werden nur als eine Zahngeneration gebildet. Bei erwachsenen Raubtieren sind der obere vierte Prämolar und der untere erste Molar besonders kräftig entwickelt. Beide bilden zusammen die *Brechschere*.



Schädel- und Gebißformen der Säugetiere

Für die Unterscheidung der Säugetiere spielt die Zusammensetzung des Gebisses, die man in einer Zahnformel darstellt, eine große Rolle. Die *Zahnformel* wird in Form eines Bruches geschrieben, der die Zähne einer Ober- und einer Unterkieferhälfte angibt; fehlt eine Zahnform, so wird dies durch 0 angegeben. Für den Igel beispielsweise lautet die Zahnformel $\frac{2\ 1\ 3\ 3}{3\ 1\ 2\ 3}$, d. h. in jeder *Oberkieferhälfte* sind vorhanden 2 Schneidezähne, 1 Eckzahn, 3 Lück- und 3 Backzähne, in jeder *Unterkieferhälfte* 3 Schneidezähne, 1 Eckzahn, 2 Lück- und 3 Backzähne. Im ganzen hat der Igel also 36 Zähne.

Zahnformeln einiger Säugetiere

Beutelmarder	$\frac{4\ 1\ 2\ 4}{3\ 1\ 2\ 4}$	Seehund	$\frac{3\ 1\ 4\ 1}{2\ 1\ 4\ 1}$
Känguruh	$\frac{3\ 0\ 2\ 4}{1\ 0\ 2\ 4}$	Nashorn	$\frac{1\ 0\ 4\ 3}{1\ 1\ 4\ 3}$
Maulwurf	$\frac{3\ 1\ 4\ 3}{3\ 1\ 4\ 3}$	Pferd[1]	$\frac{3\ (1)\ 3\ 3}{3\ (1)\ 3\ 3}$
Spitzmaus	$\frac{2\ 1\ 1\ 3}{2\ 1\ 1\ 3}$	Wildschwein	$\frac{3\ 1\ 4\ 3}{3\ 1\ 4\ 3}$
Igel	$\frac{2\ 1\ 3\ 3}{3\ 1\ 2\ 3}$	Kamel	$\frac{1\ 1\ 3\ 3}{3\ 1\ 2\ 3}$
Große Hufeisennase (Fledermaus)	$\frac{2\ 1\ 3\ 3}{3\ 1\ 3\ 3}$	Hirsch, Reh	$\frac{0\ 1\ 3\ 3}{3\ 1\ 3\ 3}$
Hase, Kaninchen	$\frac{2\ 0\ 3\ 3}{1\ 0\ 2\ 3}$	Rind	$\frac{0\ 0\ 3\ 3}{3\ 1\ 3\ 3}$
Eichhörnchen	$\frac{1\ 0\ 2\ 3}{1\ 0\ 1\ 3}$	Maki (Halbaffe)	$\frac{2\ 1\ 3\ 3}{2\ 1\ 3\ 3}$
Mäuse	$\frac{1\ 0\ 0\ 3}{1\ 0\ 0\ 3}$	Hyäne	$\frac{3\ 1\ 4\ 1}{3\ 1\ 3\ 1}$
Wolf, Hund	$\frac{3\ 1\ 4\ 2}{3\ 1\ 4\ 3}$	Katze, Löwe	$\frac{3\ 1\ 3\ 1}{3\ 1\ 2\ 1}$
Bär	$\frac{3\ 1\ 4\ 2}{3\ 1\ 4\ 3}$	Walroß	$\frac{1\ 1\ 3\ 0}{0\ 1\ 3\ 0}$

[1] Nur das männliche Pferd hat Eckzähne

Fingertier (Halbaffe)	$\frac{1\,0\,1\,3}{1\,0\,0\,3}$	Altweltaffen	$\frac{2\,1\,2\,3}{2\,1\,2\,3}$
Krallenaffe	$\frac{2\,1\,3\,2}{2\,1\,3\,2}$	Mensch	$\frac{2\,1\,2\,3}{2\,1\,2\,3}$
Kapuziner, Wollaffe	$\frac{2\,1\,3\,3}{2\,1\,3\,3}$	Mensch (Milchgebiß)	$\frac{2\,1\,2}{2\,1\,2}$

WASSERGEHALT UND BLUT

Wassergehalt des Tierkörpers

Wirbeltiere	66···75 % der Körpermasse	Weinbergschnecke	84 % der Körpermasse
Spulwurm	79 % der Körpermasse	Quallen	98,2 % der Körpermasse

Blutfarbstoff und Blutzellen. Die meisten Wirbellosen haben noch keine besonderen Blutzellen, sondern der Blutfarbstoff (Hämoglobin, Hämozyan u. a.) ist im Blutplasma gelöst. Bei den Wirbeltieren dagegen werden drei Arten von Blutzellen unterschieden: rote Blutkörperchen (Erythrozyten), weiße Blutkörperchen (Leukozyten, Lymphzellen) und farblose Blutplättchen (Thrombozyten). Die Erythrozyten der Säugetiere sind napf- oder glockenförmig (bei Lama und Kamel oval) und haben keinen Kern, die der übrigen Wirbeltiere sind oval und kernhaltig. Hämoglobin vermag Sauerstoff locker zu binden (*Oxyhämoglobin*).

Menge des Blutes

bei Fischen	$^1/_{40}$ der Körpermasse	bei Vögeln	$^1/_{12}$ der Körpermasse
bei Lurchen	$^1/_{21}$ der Körpermasse	bei Säugetieren	$^1/_{18}$ der Körpermasse
bei Kriechtieren	$^1/_{17}$ der Körpermasse		

Farbe des Blutes

Rot durch eisenhaltiges Hämoglobin bei
Wirbeltieren, manchen Muscheln, Schnurwürmern, Regenwürmern, Egeln, Stubenfliegen, Zuckmückenlarven, Tellerschnecken

Blau durch kupferhaltiges Chromoproteid (Hämozyanin) bei
Skorpionen, Weinbergschnecke, Kreuzspinne, Flußkrebs, Hummer, Sumpfschnecke, Tintenfischen, Teich- und Flußmuschel

Grün durch eisenhaltiges Chlorocruorin bei
Borstenwürmern, z. B. beim Röhrenwurm (Spirographis)

Rötlichgelb durch Echinochrom bei
Seeigeln

Zahl der roten Blutkörperchen (Erythrozyten)

in 1 mm^3 Blut

Grottenolm	etwa 36000	Haushund	etwa 6650000
Zauneidechse	etwa 1420000	Mensch: Mann	etwa 5500000
Aal	etwa 1100000	Frau	etwa 4450000
Haustaube	etwa 2400000		

Oberfläche eines roten Blutkörperchens

(1 µm = $^1/_{1\,000000}$ m)

Ziege	25,1 μm^2	Pferd	55,4 μm^2	Hund	82,7 μm^2
Schaf	33,3 μm^2	Schwein	68,4 μm^2	Mensch	98,4 μm^2

Durchmesser eines roten Blutkörperchens

Grottenolm	58,2; 33,7 µm	Haustaube	14; 7 µm	Haushund	8 µm
Zauneidechse	15,8; 9,9 µm	Moschustier	2,5 µm	Lama	7,6 µm
Grasfrosch	23,2; 16,1 µm	Ziege	3,5 µm	Elefant	9,4 µm
Buchfink	12,4; 7,5 µm	Siebenschläfer	6,2 µm	Mensch	6,6; 9,2 µm

Bei ovalen Blutkörperchen mit starkem Unterschied zwischen größtem und kleinstem Durchmesser sind beide Maße angegeben.

Menge des roten Blutfarbstoffes (Hämoglobin)
in 100 ml Blut

Tellerschnecke	1,5 g	Kriechtiere	6,9 g	Hund	15,8 g
Regenwurm	3,77 g	Haushuhn	12,4 g	Mensch: Mann	14,5···17,6 g
Fische	5,7 g	Rind	10,8 g	Frau	12,8···16,0 g
Lurche	6,3 g	Pferd	12,4 g		

Zahl der weißen Blutkörperchen (Leukozyten)
in 1 µl Blut

Pferd	8000	Schwein	15000
Rind	8000	Hund	9000
Schaf	10000	Huhn	28000
Ziege	12000	Mensch	6000

Gerinnungszeit ausgetretenen Blutes
bei 25 °C

Dorsch	3 Minuten	Taube	1,5 Minuten
Wasserfrosch	5 Minuten	Haushund	2,5 Minuten
Ringelnatter	27 Minuten	Pferd	11,5 Minuten
Haushuhn	4,5 Minuten	Mensch	5···7 Minuten

Höhe des Blutdrucks
(mittlere Werte in Torr oder mm Quecksilbersäule)

Hummer	8	Kaninchen	100
Tintenfisch	40	Katze	150
Haifisch	40	Pferd	180
Fledermaus	50	Mäusebussard	200
Meerschweinchen	75	Mensch (etwa 20jährig)	120

KÖRPERTEMPERATUR

Gleichwarme und wechselwarme Tiere. Nur die Vögel und Säugetiere sind in der Lage, unabhängig von der Außentemperatur eine annähernd konstante Eigentemperatur des Körpers zu erhalten. Sie werden deshalb als *gleichwarme* (*homoiotherme*) Tiere bezeichnet. Bei den niederen Säugetieren (Kloakentieren) ist das Vermögen der Temperaturregulation noch mangelhaft ausgebildet. Eine Sonderstellung nehmen Arten mit echtem *Winterschlaf* (z. B. Siebenschläfer, Igel, Hamster) ein, die zeitweise die Körpertemperatur erheblich herabsetzen können und dabei die Stoffwechselintensität stark verringern. Gleichwarme Tiere müssen gegen zu hohen Wärmeverlust durch eine Hülle aus schlecht wärmeleitendem Material geschützt sein: *Haarkleid* der Säugetiere, *Federkleid* der Vögel. Eine starke *Fettschicht* (Meeressäuger, Polarvögel) wirkt in gleichem Sinne.
Alle übrigen Tiere sind *wechselwarm* (*poikilotherm*). Bei diesen ist der Nahrungsbedarf nicht so hoch wie bei den gleichwarmen Tieren, die einen regeren Stoffwechsel haben und viel Nahrung zur Wärmeerzeugung brauchen. Den wechselwarmen Landtieren sind die kühleren Breitengrade verschlossen geblieben, während die gleichwarmen Tiere auch Kältegebiete besiedeln konnten.

Mittlere Körpertemperatur einiger Tiere
in °C

Wal	36,7	Rind	38,5	Ente	42,0
Pferd	37,8	Kaninchen	39,9	Taube	42,0
Hund	38,3	Gans	40,5	Schwalbe	44,0

Honigbiene

bei 5,5 Lufttemperatur 10,2 Körpertemperatur
bei 21,4 Lufttemperatur 25,8 Körpertemperatur
bei 27,0 Lufttemperatur 29,1 Körpertemperatur
bei 35,0 Lufttemperatur 35,0 Körpertemperatur
bei 52,0 Lufttemperatur 46,0 Körpertemperatur

Körper- und Außentemperaturen bei Polartieren
in °C

Tierart	Körper-temperatur	Außen-temperatur	Unterschied
Polarhase	38,3	−29,4	67,7
Polarfuchs	39,6	−35,0	74,6
Wolf	40,5	−32,8	73,3
Schneehuhn	43,3	−37,3	80,6

Schwankungen der Körpertemperatur bei einigen Säugetieren

in °C

Säugetierart	Schwankungen
Schnabeltier	entsprechend den Außentemperaturen um 9,2° (zwischen
Faultier	28,4° und 37,6° Körpertemperatur bei Außentemperaturen zwischen 20° und 38°)
Kugelgürteltier	um 13° (bei Außentemperaturen von 6° bis 42°)
Igel in den ersten Lebenstagen	entsprechend Außentemperatur (verhalten sich also wie wechselwarme Tiere)
Fledermäuse	während des Tagesschlafes Absinken der Körpertemperatur auf Temperatur der Umgebung, während des Fluges Anstieg auf 40°
Mensch (gesund)	um 0,8° täglich (4^h: 36,5°, 18^h: 37,3°)

Die Körpertemperatur zeigt bei niederen Säugetieren geringere Konstanz als bei höheren Säugetieren, aber auch bei diesen sind im Laufe des Tages kleine, regelmäßige Schwankungen festzustellen.

Winterschlaf und Winterruhe. Während des Winterschlafs sind der gesamte Stoffwechsel, die Herzfrequenz, die Nervenfunktion stark gemindert. Bei sehr tiefen Außentemperaturen schaltet sich die Wärmeregulation wieder ein (Schutzfunktion gegen Erfrieren). Der Winterschlaf wird durch äußere und innere Faktoren (Hormone) ausgelöst und gesteuert. Mit dem „echten" *Winterschlaf* als einem besonderen physiologischen Zustand ist die *Winterruhe* nicht zu verwechseln. Winterruhe halten z. B. Dachs, Bär, Eichhörnchen. Während der Winterruhe ist lediglich das Ruhebedürfnis erhöht und die Aktivität eingeschränkt. Zu einer starken Senkung der Körpertemperatur und zur Körperstarre wie beim Winterschlaf kommt es dabei nicht.

Winterschlaf haltende heimische Säugetiere

Tierarten	Dauer in Monaten
Hamster	2···$3^1/_2$
Igel	3···4
Ziesel	3···4
Murmeltier	5···6
Fledermäuse	5···6
Haselmaus	6···7
Siebenschläfer	6···7

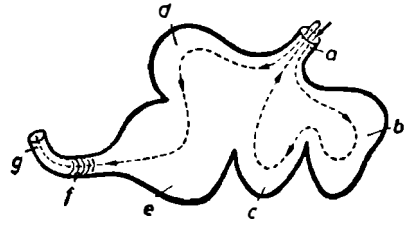
Vorzugstemperaturen einiger Tiere

Tierart	Vorzugstemperatur (Mittelwerte) in °C	Aufenthaltsort
Feldgrille	37	Erdlöcher auf trockenem Gelände
Sandlaufkäfer	44	trockenes Gelände
Gelbrandkäfer	25	Gewässer
Frostspanner	6	im Winter an Bäumen
Erdkröte	27,9	Wälder, Gärten
Mauergecko	37	Häuser, Höhlen
Blindschleiche	28,4	Wälder
Bergeidechse	37,4	feuchte Wiesen, Moore
Zauneidechse	38,6	trockene Wiesen, Dämme, Heiden
Teichfledermaus	42	hohle Bäume zum Tagesschlaf
Feldmaus	35	Felder, Wiesen
Hausmaus	37,4	Gebäude

Die Vorzugstemperatur einer Tierart umfaßt den mehr oder weniger großen Temperaturbereich, der bei Wahlmöglichkeit bevorzugt wird.

MAGEN UND DARM

Wiederkäuermagen. Der Wiederkäuermagen besteht aus 3 Vormägen (*Pansen, Netzmagen* und *Blättermagen*) und dem eigentlichen Magen (*Labmagen*).
Aus der Speiseröhre gelangt die erstmalig zerkaute Nahrung zunächst in den Pansen und in den Netzmagen, wo sie gründlich durchgemischt wird. Nach einer halben bis dreiviertel Stunde gelangt der Nahrungsbrei zum Wiederkauen portionsweise durch Gegenbewegung (Antiperistaltik) aus dem Pansen durch die Speiseröhre ins Maul zurück. Auch nach dem zweiten Abschlucken wird der Futterbrei wieder in den Pansen geleitet, um nach erneuter Durchmischung noch mehrmals ins Maul und wieder zurückbefördert zu werden. Das Wiederkauen setzt sich so lange fort, bis der gesamte Vormageninhalt ausreichend zerkleinert ist, so daß er schließlich nach letztmaligem Abschlucken in den Blättermagen und von dort in den Labmagen gelangt, wo er mit Verdauungsfermenten vermischt wird. Dann öffnet sich der Schließmuskel des *Pförtners* und läßt den Futterbrei in den Darm eintreten.



Wiederkäuermagen (schematisch)
a Schlund, b Pansen, c Netzmagen, d Blättermagen, e Labmagen, f Pförtner, g Zwölffingerdarm

Abhängigkeit der relativen Darmlänge von der Nahrung. Die Darmlänge, bezogen auf die Körperlänge, variiert in weiten Grenzen. In der Regel haben Fleischfresser einen kürzeren Darm als Pflanzenfresser, da sich die Fleischnahrung besser als die Pflanzennahrung ausnützen läßt, also nur in geringerem Umfang aufgenommen zu werden braucht.

Darmlänge

Tierart	Minimum in m	Maximum in m	Mittel in m
Rind	51	63	57
Pferd	27	40	30
Schaf, Ziege	20	41	33
Schwein	19	26	23
Hund	2,3	7,3	4,8
Katze	1,6	2,3	2,1
Mensch	3,6	5	4,3

Länge und Fassungsvermögen von Dick- (Grimm-) und Blinddarm

Tierart	Darmteil	Länge in m	Fassungsvermögen in *l*
Pferd	großer Grimmdarm	2,9···4,0	55···128
	kleiner Grimmdarm	2,35···3,44	10···19
	Blinddarm	0,80···1,23	16···68
Rind	Grimmdarm	6···9	28
	Blinddarm	0,5···0,6	9
Schaf	Grimmdarm	3,5···5,5	4···6
	Blinddarm	0,25···0,36	1

Gelbrandkäfer (Fleischfresser) ..... die 1 fache Körperlänge
Maikäfer (Pflanzenfresser) ..... die 7 fache Körperlänge
Mistkäfer (frißt Kot von Pflanzenfressern) ..... die 13,3fache Körperlänge
Katze (Fleischfresser) ..... die 4,5fache Körperlänge
Hund (Fleischfresser) ..... die 5 fache Körperlänge
Schwein (Allesfresser) ..... die 14 fache Körperlänge
Rind (Pflanzenfresser) ..... die 21 fache Körperlänge
Pferd (Pflanzenfresser) ..... die 10 fache Körperlänge
Schaf (Pflanzenfresser) ..... die 25 fache Körperlänge
Mensch (nährt sich von gemischter Kost) ..... die 2,5fache Körperlänge

Darmlänge von Kaulquappen bei verschiedener Fütterung

bei gemischter Nahrung (normal) ..... 5,4- bis 7,6fache Körperlänge
bei reiner Fleischnahrung (normal) ..... 3,5- bis 4,5fache Körperlänge
bei reiner Pflanzennahrung ..... 5,7- bis 8,4fache Körperlänge

Rhythmische Zusammenziehung des Darmes

bei der Ratte 44- bis 48mal in der Minute — beim Hund 12···22mal in der Minute
bei der Katze 28- bis 30mal in der Minute — beim Menschen 7mal in der Minute

DER GRUNDUMSATZ

Grundumsatz verschieden großer Hunde. Der Grundumsatz ist der *Energieumsatz* des Körpers, der nötig ist, um das Leben gerade noch zu erhalten. Der Energieumsatz je Kilogramm Körpergewicht ist um so größer, je kleiner das Tier ist. Bezieht man den Grundumsatz auf die Körperoberfläche, dann wird er durch weitere Faktoren, wie Behaarung, Temperament u. a., abgewandelt.

Gewicht in kg	Grundumsatz in Kalorien, je kg und Stunde	Grundumsatz in Kalorien, je m² Körperfläche innerhalb von 24 Stunden
31,2	1,48	1036
24,0	1,70	1112
19,8	1,91	1207
18,2	1,92	1097
9,6	2,71	1183
6,5	2,75	1153
3,2	3,67	1212

Energieverbrauch bei Steigarbeit

	Körpermasse in kg	Energieverbrauch für 1 m Steighöhe in kpm
Hund	26,9	3,10
Pferd	456,8	2,91
Mensch	76,0	2,80

Es wird rund dreimal soviel Energie umgesetzt wie in der geleisteten Steigarbeit zum Vorschein kommt. Der Wirkungsgrad der „Muskelmaschine" beträgt mithin etwa 30%, der der Dampfmaschine 10···15% und der der Dieselmaschine 35···40%.

Zahl der Atemzüge
in der Minute

Grille	10···36
Eidechse	4···60
Huhn	40···50
Taube	50···70
Pferd	8···16
Schwein	8···18
Rind	10···30
Schaf, Ziege	12···20
Ratte, Meerschweinchen	100···150
Maus	200
Mensch	16···20

Die Zahl der Atemzüge sinkt mit dem Alter der Tiere. Nach dem Füttern und bei Bewegung atmet das Tier rascher als sonst.

Ein- und ausgeatmete Luftmenge beim Pferd

In der Ruhe	40···50	Liter in der Minute
in der Bewegung	80···90	Liter in der Minute
schwer arbeitend	300···450	Liter in der Minute

GEHIRN UND SINNE

Mittlere Hirnmasse einiger Vögel und Säugetiere

in Gramm

Haussperling	0,9	Feldmaus	0,4	Rind	450
Amsel	1,8	Gelbhalsmaus	0,7	Pferd	500
Turmfalk	3,5	Hund	100	Mensch	1360
Kolkrabe	20,0	Hausschwein	130		

Hirnmasse und Körpermasse. Die Beziehung zwischen Hirnmasse und Körpermasse ist nur bedingt ein Kennzeichen für die Entwicklungshöhe einer Tierart. Es müssen gleichzeitig die Körpergröße und vor allem der Anteil des Vorderhirns, der Furchungsgrad seiner Rinde und Unterschiede im Feinbau des Hirns berücksichtigt werden. Ferner besteht die Regel, daß innerhalb einer Verwandtschaftsgruppe die kleinen Arten im Verhältnis zur Körpermasse stets schwerere Hirne haben als große Arten. Der kleinere Tierkörper ist proportional anders zusammengesetzt als der größere: Augen und Hirn sind im Verhältnis zur Körpermasse bei kleinen Tieren größer.

Hirnmasse einiger Wirbeltiere

in ‰ der Körpermasse

Karpfen	1,2	Finnwal	0,07	Orang-Utan	4
Frosch	2,5	Igel	3,5···4,5	Schimpanse	5
Haushund	2,5···9,6	Ratte	6···8	Mensch	25
Indischer Elefant	2,3	Gorilla	2		

Die Sehkraft

Die Sehkraft eines Auges ist abhängig

1. von der *linearen Verkleinerung*. Die Gegenstände der Umgebung werden auf der Netzhaut je nach der Augengröße verkleinert abgebildet. Diese lineare Verkleinerung beträgt für einen Gegenstand im Abstande von 1 m beim:

Finnwal	1:25	Kaninchen	1:112
Löwen	1:42	Frosch	1:202
Schwein	1:76	Borstenwurm	1:3370
Menschen	1:62		

2. vom *Auflösungsvermögen*. Je mehr Sehzellen auf 1 mm² der Netzhaut entfallen, um so schärfer wird der Gegenstand abgebildet:

Wolfsspinne (Lycosa)	16000 Sehzellen je mm²
Karpfen	50000 Sehzellen je mm²
Frosch	95000 Sehzellen je mm²
Tintenfisch (Loligo)	160000 Sehzellen je mm²
Huhn	265000 Sehzellen je mm²
Rind	385000 Sehzellen je mm²
Katze	397000 Sehzellen je mm²
Waldkautz	680000 Sehzellen je mm²
Mensch	400000 Sehzellen je mm²

3. von der *Anzahl der Nervenfasern*, die gesondert voneinander Lichteindrücke zum Gehirn bringen. Es kommt beim

Finnwal auf	5000 Sehzellen	1 Nervenfaser
Tiger auf	2500 Sehzellen	1 Nervenfaser
Menschen am Augenrand auf	130 Sehzellen	1 Nervenfaser
Menschen in der Augenmitte auf	1 Sehzelle	1 Nervenfaser

Wellenlängenbereich, der als Licht wahrgenommen wird

(1 nm = $^1/_{1000\,000\,000}$ m = 0,000001 mm)

Wasserfloh	600···220 nm (Gelb, Grün, Blau, Violett, Ultraviolett)
Honigbiene	650···300 nm (Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Ultraviolett)
Fisch	700···370 nm (Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett)
Mensch	760···380 nm (Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett)

Hörvermögen

Die obere Grenze des Hörvermögens liegt für

Raupen des Trauermantels (Tagfalter)	bei 1024 Hz	Zwergwels	bei 13000 Hz
Elritze	bei 7000 Hz	Heuschrecken	bei 27840 Hz
Eidechsen	bei 8000 Hz	Schimpanse	bei 33600 Hz
Frösche	bei 10000 Hz	Hund und Katze	bei 40000 Hz
		Fledermaus	bei 75000 Hz
		Mensch	bei 20000 Hz

Schärfe des Geschmackssinnes

Ein Teil Zucker wird gerade noch wahrgenommen

vom Menschen	in 200 Teilen Wasser
vom Fisch	in 20000 Teilen Wasser
von der Fliege	in 40000 Teilen Wasser
vom Schmetterling	in 300000 Teilen Wasser

Geschwindigkeit der Erregungsleitung in den Nerven

	Nerv	cm/s
Hecht	Riechnerv	7···20
Weinbergschnecke	Fußnerv	40
Blutegel	Bauchmark	40
Regenwurm	Bauchmark	60
Hummer	Scherennerv	600···1000
Frosch	Hüftnerv	1500···3000
Pferd	marklose Nervenfasern	800
Pferd	markhaltige Nervenfasern	3000
Mensch	Armnerv	7000

Ein Schnelltriebwagen mit einer Geschwindigkeit von 150 km/h legt in der Sekunde rund 4000 cm zurück.

Dauer einer Muskelzuckung

	Fliege: quergestreifter Rumpfmuskel in s	Frosch: quergestreifter Muskel in s	Frosch: glatter Muskel in s	Mensch: quergestreifter Muskel in s
Latenzphase	0,0001	0,008	5	0,01
Kontraktionsphase	0,0015	0,05	15	0,04
Expansionsphase	0,0015	0,075	75	0,03
ganze Zuckung	0,0031	0,133	95	0,08

Wird ein Muskel von einem kurz dauernden Reiz, etwa einem elektrischen Schlag, getroffen, so löst dies eine Zuckung aus, bei der 3 Phasen zu unterscheiden sind: *Latenzphase* (Zeit zwischen Reizmoment und Beginn der Zusammenziehung), *Kontraktionsphase* (Zeit des Zusammenziehens) und *Expansionsphase* (Zeit der Wiederausdehnung des Muskels). Entsprechend arbeitet jeder Muskel im Körper, solange ihm das Nervensystem bestimmte Reize zuleitet. Quergestreifte Muskeln (z. B. Flug-, Herzmuskeln) dienen den höchsten Beanspruchungen, treten daher bei höheren Tieren immer mehr hervor. Die Skelettmuskulatur der Wirbeltiere gehört zum quergestreiften Typ. Glatte Muskeln arbeiten langsam, verbrauchen aber sehr wenig Energie. Glatte Muskulatur findet sich z. B. in der Darmwand.

Der Schlaf. Der Schlaf ist eine komplexe physiologische Erscheinung (Verringerung der nervösen Erregbarkeit, der Atemfrequenz und Herztätigkeit, Absinken des Blutdruckes usw.), die zur Erholung des gesamten Zentralnervensystems und Körpers führt. Schlaf ist nur bei Vögeln und Säugetieren, d. h. Tieren mit einem hochentwickelten Zentralnervensystem, sicher erwiesen. Inwieweit auch die niederen Tiere richtig schlafen, läßt sich nicht genau beurteilen.

Schlafdauer und Schlafstellung

Tiere	Schlafzeit	Schlafdauer	Schlafstellung
Kleinvögel	nachts	kurz	sitzend, Kopf unter den Flügeln
Fledermaussittich	nachts	—	Kopf abwärts hängend
Ziegenmelker	am Tage	—	liegend-hockend
Eulen	am Tage	oft unterbrochen	sitzend
Raubvögel	nachts	lang	sitzend, Kopf unter den Flügeln
Fledermäuse	am Tage	bis zur Dämmerung	Kopf abwärts hängend
Meerschweinchen	am Tage oder nachts	sehr kurz	liegend
Rinder	am Tage oder nachts	oft unterbrochen	liegend
Pferde	am Tage oder nachts	oft unterbrochen	stehend oder liegend
Elefant	nachts	—	stehend oder liegend
Raubtiere	meist am Tage	bis zur Dämmerung	liegend
Hauskatze	am Tage	oft unterbrochen	liegend
Haushund	am Tage oder nachts	oft unterbrochen	liegend
Halbaffen	am Tage	den ganzen Tag	zusammengerollt
Affen	nachts	die ganze Nacht	an Ästen angeklammert, hockend oder im Schlafnest

BEWEGUNGSLEISTUNGEN

Fortbewegungsgeschwindigkeiten

in der Sekunde

Pantoffeltierchen	2···3 mm	Brieftaube	18···19 m
Seestern	0,16 mm	Schwalbe	50···60 m
Weinbergschnecke	0,9 mm	Mauersegler	80 m
Ackerschnecke	2 mm	Lachs (auf der Wanderung)	5 m
Libelle	4···15 m	Grönlandwal	2 m
Maikäfer	2,2···3 m	Finnwal	5 m
Honigbiene	6,5 m	Pferd im Schritt	2 m
Hummel	3···5 m	Pferd im Trab	3,75 m
Stubenfliege	1,5···2 m	Pferd im Galopp	10 m
Weißling	1,8···2,3 m	Mensch im Schritt	1,40 m
Abendpfauenauge	6 m	Mensch im schnellsten Lauf	8···10 m
Schwärmer	bis 15 m		

Zahl der Flügelschläge

in der Sekunde

Marienkäfer	75···91	Taubenschwanz (Schmetterling)	72
Honigbiene	180···200	Pelikan	$1^1/_4$
Hummel	240	Storch	$1^3/_4$
Stechmücke	295	Taube	9
Stubenfliege	200···330	Kolibri	bis 50
Kohlweißling	9	Haussperling	13
Bläuling (Schmetterling)	11	Rabenkrähe	3···4

Sprungweiten

Löwe	4···5 m,	d. i. das	3fache der Körperlänge
Tiger	5 m,	d. i. das	3fache der Körperlänge
Känguruh	6···10 m,	d. i. das	5fache der Körperlänge
Ochsenfrosch	2 m,	d. i. das	10fache der Körperlänge
Springmaus	2,5 m,	d. i. das	15fache der Körperlänge
Heuschrecke	2 m,	d. i. das	30fache der Körperlänge
Floh	0,6···1 m,	d. i. das	200fache der Körperlänge

V. Fortpflanzung, Wachstum, Alter

ENTWICKLUNG VON DER EIZELLE BIS ZUR GESCHLECHTSREIFE

Zahl der im Jahr gelegten Eier

Spulwurm	64 Millionen	Grasfrosch	4000
Auster	1 Million	Ringelnatter	15···40
Flußkrebs	100···300	Kreuzotter	5···16
Kriegerische Termite	10 Millionen	Strauß	30
Nonne	150	Lumme, Pinguin	1
Forelle	500···2000	Steinadler	2
Maräne	10000	Haushuhn	50···300
Karpfen	200000···700000	Sperling	20
Stichling	80···100	Saatkrähe	3···5
Kabeljau	4···5 Millionen	Blaumeise	25
Laubfrosch	1000	Schnabeltier	1

Entwicklungszeiten der Ameise

Art	Entwicklungszeit von			Gesamtdauer
	Ei zu Larve in Tagen	Larve zu Puppe in Tagen	Puppe zu fertigem Insekt in Tagen	in Tagen
Roßameise (Camponotus ligniperdus)	16···27	8···15	14···50	38···92
Braunschwarze Wiesenameise (Lasius niger)	13···30	6···13	16···36	35···79
Sklavenameise (Formica fusca)	11···45	5···20	18···45	34···110
Blattschneiderameise (Atta cephalotes)	18	30···35	?	mindestens 60

Entwicklungszeiten der Biene

Kaste	Entwicklungszeit von			Gesamtdauer
	Ei zu Larve in Tagen	Larve zu Puppe in Tagen	Puppe zu fertigem Insekt in Tagen	in Tagen
Königin	3	6	9	18
Arbeiterin	3	6	12	21
Drohn	3	7	14	24

Brutdauer einiger Vögel

Es brüten	Tage	Es brüten	Tage
Mönchsgrasmücke	10	Grünfink	13···14
Zaungrasmücke	$10^1/_2$	Haussperling	13···14
Dorngrasmücke	11···12	Heidelerche	$13^1/_2$···15
Gartengrasmücke	11···13	Rotkehlchen	14···15
Feldlerche	11	Pirol	14···15
Hänfling	11···12	Neuntöter	14···15
Kuckuck (durch Pflegeeltern)	11···13	Rauchschwalbe	14···16
Buchfink	12···13	Zaunkönig	14···17
Bachstelze	12···14	Fitislaubsänger	15
Singdrossel	12···14	Wasseramsel	15···17
Amsel	12···17	Eichelhäher	16···19
Stieglitz	13	Elster	17···18
Blaukehlchen	13	Saatkrähe	17···20
Garten- und Hausrotschwanz	13	Kolkrabe	20···21

Larvenzeit einiger Lurche

Art	Dauer des Larvenlebens (Tage)	Vorkommen bis zu einer Höhe von (m)
Laubfrosch	80···98	2200
Grasfrosch	85···95	2600
Erdkröte	110···120	2100
Geburtshelferkröte	120···130[1]	1650
Unke	124···134	1500

[1] Bei dieser Art erfolgt die Umwandlung der Larve oft erst im nächsten Jahr

Größe einiger Vogeleier

in mm

Goldhähnchen	14 × 10	Haushuhn	etwa 57 × 38
Zaunkönig	16 × 12	Habicht	57 × 45
Buchfink	19 × 15	Steinadler	70 × 60
Rauchschwalbe	20 × 13	Kranich	90 × 65
Neuntöter	22 × 17	Höckerschwan	110 × 70
Amsel	29 × 22	Afrikanischer Strauß	160 × 130

Kleinere Vögel legen auch kleinere Eier, die aber im Verhältnis zu ihrer Körpergröße größer sind als die der großen Vögel.

Eigröße im Verhältnis zum Entwicklungstyp der Brut

Vogel	durchschnittliche Körperlänge in cm	Eigröße in mm	Entwicklungstyp
Baumfalke	32	41,8 × 32,7	Nesthocker
Mornellregenpfeifer	22	41,2 × 28,7	Nestflüchter
Steinwälzer	20	39,8 × 31,1	Nestflüchter
Alpenstrandläufer	18	34,4 × 24,5	Nestflüchter
Flußuferläufer	22	36,1 × 26,1	Nestflüchter
Kuckuck	35	22,3 × 16,5	Nesthocker
Sumpfohreule	38	40,6 × 29,3	Nesthocker
Schwarzspecht	45	36,5 × 25,5	Nesthocker
Dohle	31	34,0 × 25,0	Nesthocker
Sperling	15	22,0 × 16,5	Nesthocker

Die Größe eines Vogeleies richtet sich nicht nur nach der Körpergröße des betreffenden Vogels. *Nestflüchter* (deren Junge schon befiedert aus dem Ei schlüpfen und gleich laufen und sehen können) haben verhältnismäßig viel größere Eier als die *Nesthocker* (deren Junge blind und fast nackt aus dem Ei fallen und pflegebedürftig sind). Noch beträchtlich kleiner — gemessen am Elterntier — ist das Ei des Brutschmarotzers *Kuckuck*. Es entspricht etwa der Eigröße der Singvögel, in deren Nest es eingeschmuggelt wird.

Tragzeit einiger Säugetiere

Dauer der Trächtigkeit

Kaninchen	durchschnittlich 29 Tage	Pferd	durchschnittlich 340 Tage
Hund	durchschnittlich 64 Tage	Esel	durchschnittlich 360 Tage
Schwein	durchschnittlich 116 Tage	Kamel	durchschnittlich 360 Tage
Schaf	durchschnittlich 152 Tage	Giraffe	durchschnittlich 450 Tage
Rind	durchschnittlich 284 Tage	Elefant	durchschnittlich 630 Tage

(s. a. Tabelle Trächtigkeitsdauer bei einigen Haustieren, S. 749).

Masseverhältnisse der Bestandteile des Eies einiger Vögel

Vogelart	Mittlerer Massewert des Eies g	Schale		Inhalt		Dotter			Eiklar		
		g	% des Eies	g	% des Eies	g	% des Eies	% des Eiinhaltes	g	% des Eies	% des Eiinhaltes
Hausgans	161,0	12,9	8,0	148,1	92,0	57,3	35,6	38,7	90,8	56,4	61,3
Hausente	70,4	7,2	10,2	63,2	89,8	25,3	35,9	40,0	37,9	53,8	60,0
Haushuhn	58,6	5,9	10,1	52,7	89,9	18,6	31,7	35,3	34,1	58,2	64,7
Perlhuhn	42,7	6,4	15,0	36,3	85,0	16,0	37,4	44,1	20,3	47,6	55,9
Truthuhn	85,9	9,6	11,2	76,3	88,8	28,3	32,9	37,1	48,0	55,9	62,9
Fasan	27,1	2,7	10,0	24,4	90,0	10,1	37,3	41,4	14,3	52,7	58,6
Möwe	40,1	3,6	9,0	36,5	91,0	10,8	26,9	29,6	25,7	64,1	70,4
Kiebitz	25,4	2,6	10,2	22,8	89,8	9,3	36,6	40,8	13,5	53,1	59,2
Taube	19,4	2,0	10,3	17,4	89,7	3,6	18,6	20,7	13,8	71,1	79,3
Rabe	19,8	2,3	11,6	17,5	88,4	3,6	18,0	20,6	13,9	70,4	79,4
Kanarienvogel	1,71	0,10	5,8	1,61	94,2	0,56	32,8	34,8	1,05	61,4	65,2
Sperling	2,90	0,37	12,8	2,53	87,2	0,57	19,6	22,5	1,96	67,6	77,5
Drossel	6,12	0,69	11,3	5,43	88,7	1,68	27,5	30,9	3,75	61,2	69,1
Amsel	6,98	0,59	8,5	6,39	91,5	2,24	32,1	35,1	4,15	59,4	64,9
Gartenrotschwanz	2,04	0,17	8,3	1,87	91,7	0,43	21,1	23,0	1,44	70,6	77,0
Nachtigall	2,06	0,22	10,7	1,84	89,3	0,45	21,8	24,5	1,39	67,5	75,5
Rotkehlchen	3,09	0,13	4,2	2,96	95,8	0,73	23,6	24,7	2,23	72,2	75,3
Uferschwalbe	1,53	0,13	8,5	1,40	91,5	0,32	20,9	22,9	1,08	70,6	77,1

Lebendgebärende Tiere außerhalb der Säugetierklasse

Schwämme	
	Schwärmlarven verlassen freibeweglich das Kanalsystem des Elterntieres
Würmer	
Trichine (Trichinella spiralis)	setzt bis mehrere Tausend Junge ab, die 0,1 mm groß sind und durch den Lymph- und Blutstrom in die Muskulatur des Wirtes gelangen
Essigälchen (Anguillula aceti)	—
Schnecken	
Sumpfdeckelschnecke (Viviparus)	setzt nach und nach bis 80 der 5 mm hohen, beschalten Jungschnecken ab
Schließmundschnecke (Clausilia)	—
Stachelhäuter	
Seewalze (Synapta hydriformis)	—
Gliederfüßer	
Skorpione	Junge durchbrechen sofort nach der Geburt die Embryonalhüllen
Eintagsfliege (Cloëon)	bringt Larven zur Welt
Fleischfliege (Sarcophaga)	setzt Maden ab
Lausfliegenarten (z. B. Nycteribia)	setzen Maden ab, die sich sofort verpuppen
Termitenfliege (Termitomyia)	setzt fertige Fliegen ab, schmarotzt im Termitenstaat
Fische	
Aalmutter (Zoarces viviparus)	setzt innerhalb zweier Monate 200 Junge ab
viele Zahnkarpfenarten	sogenannte „Lebendgebärende" der Aquarienfreunde
Haie der Hochsee (Blauhai, Heringshai, Hammerhai) und der Tiefsee	bringen lebendige Junge zur Welt. Die küstenbewohnenden Haie dagegen legen Eier
Amphibien	
Alpensalamander (Salamandra atra)	bringt nach $1^1/_2$- bis 4jähriger Tragzeit meist zwei Junge zur Welt
Feuersalamander (Salamandra salamandra)	setzt Larven im kalten Wasser oder Quelltümpel und Bäche ab
Grottenolm (Proteus anguineus)	nur in kaltem Wasser lebendgebärend; legt im Aquarium Eier

Reptilien

Bergeidechse (Lacerta vivipara)	8···10 Junge
Blindschleiche (Anguis fragilis)	6···25 Junge
Kreuzotter (Vipera berus)	5···16 Eier, aus denen unmittelbar nach Ablage Junge schlüpfen, die sich sofort von der Mutter entfernen

Lebendgebärende Tiere sind außerhalb der Klasse der Säugetiere Ausnahmen, da die Mehrzahl der Wirbellosen und Wirbeltiere Eier legt.

Verdoppelung der Körpermasse Neugeborener

	100 Teile Milch enthalten		Verdoppelung der Körpermasse des Neugeborenen in Tagen
	Eiweiß (Teile)	Asche (mineralische Bestandteile)	
Kaninchen	10,4	2,5	6
Hund	7,4	1,3	9
Katze	7,0	1,0	$9^1/_2$
Schwein	5,2	0,8	14
Schaf	4,9	0,8	15
Ziege	3,7	0,8	22
Rind	3,7	0,7	47
Pferd	2,0	0,4	60
Mensch	1,6	0,2	180

Die Tabelle zeigt, daß eine Beziehung zwischen der Wachstumsgeschwindigkeit des Neugeborenen und der Zusammensetzung der Milch besteht.

Entwicklungsdauer bis zur Geschlechtsreife

Auster	2···3 Jahre	Singvögel	1 Jahr
Flußkrebs	3 Jahre	Fledermäuse	1 Jahr
Hummer	5 Jahre	Kaninchen	5···8 Monate
Hering	3···7 Monate	Maus, Ratte	6 Monate
Forelle	2···4 Jahre	Meerschweinchen	3···4 Monate
Molch	2···3 Jahre	Biber	2···3 Jahre
Gras-, Wasserfrosch	3···4 Jahre	Bär	6 Jahre
Eintagsfliegen	$^1/_2$···3 Jahre	Löwe, Tiger	3···5 Jahre
Libellen	1···2 Jahre	Haushund	1···$1^1/_2$ Jahre
Küchenschabe	4 Jahre	Elefant	20···24 Jahre
Siebzehnjährige Zikade (eine nordamerikanische Singzikade)	17 Jahre	Nashorn	8 Jahre
Blattläuse	etwa 10 Tage	Pferd	3···4 Jahre
Bienenkönigin	18 Tage	Hausschwein	6···8 Monate
Maikäfer	3···4 Jahre	Flußpferd	5···6 Jahre
Pappelbock	2 Jahre	Rind, Hirsch	2 Jahre
Eichenbockkäfer	3···4 Jahre	Schaf, Ziege	1···2 Jahre
Hirschkäfer	5 Jahre	Giraffe	6···7 Jahre
Strauß	3···4 Jahre	Kamel, Esel	3 Jahre
Entenvögel	$1^3/_4$···2 Jahre	Krallenäffchen	2···3 Jahre
Raubvögel	3 Jahre	Makaken	5···6 Jahre
Hühnervögel	2 Jahre	Pavian	8···12 Jahre
Lachmöve	$1^3/_4$ Jahre	Menschenaffen	8···12 Jahre

Die Entwicklungsdauer bis zum Eintritt der Geschlechtsreife ist besonders bei Säugetieren von der Organisationshöhe abhängig. Eindrucksvoll in diesem Sinne ist die mit dem Meerschweinchen beginnende Aufzählung. Bei niederen Tieren, insbesondere Insekten (z. B. Siebzehnjährige Zikade) ist diese Abhängigkeit meist nicht vorhanden, da ihre Entwicklung in starkem Maße von den Umweltbedingungen abhängt.

UNGEFÄHRES HÖCHSTALTER EINIGER TIERARTEN

(individuell sehr verschieden)

	Jahre		Jahre
Spinnen	1···2	Blutegel	27
Große Schlammschnecke	2	Hirsch (gefangen nur: 21)	30
Graue Nacktschnecke	2···3	Menschenaffen	30···35
Ratten	3···4	Löwe	25
Bienenkönigin[1]	3···5	Erdkröte	36···40
Goldlaufkäfer (fertiges Tier)	5	Strauß, Kuckuck	40
Kaninchen	5···7	Maultier, Nashorn	40···45
Laufkäfer	7	Pferd, Kamel	40···50
Schnirkelschnecke	9	Silbermöve	44
Regenwürmer	10	Kranich	45
Teich- und Flußmuschel	10···14	Krokodile	50
Ameisen	10···15	Wale	50
Katze	10···20	Riesensalamander	55
Feuersalamander	11	Pelikan	55
Kammolch	12	Scholle	60···70
Hund	14···28	Rabe, Papageien	60···100
Reh	16···17	Uhu, Storch	70
Hering	18···20	Elefant	über 100
Flußkrebs	20	Adler	80
Schaf	20	Flußperlmuschel	80···100
Huhn, Ente	20···30	Alligator	über 85
Star	21	Schwan, Fischadler	100[2]
Laubfrosch	22	Hecht, Karpfen, Wels, Hausen	über 100
Kanarienvogel	24	Geier, Krähe	118
Buchfink, Elster	25	Hecht	200
Gemse	25	Riesenschildkröte	über 200

[1] Arbeitsbienen werden im Sommer nur 8 Wochen alt
[2] In neuerer Zeit werden die über 100 Jahre hinausgehenden Altersangaben stark angezweifelt

GEOLOGISCHES ALTER EINIGER TIERFORMEN

Es gibt	seit
Schwämme, Tintenfische, Armfüßer	540 Mill. Jahren
Seesterne, Muscheln, Meeresschnecken, Krebstiere	500 Mill. Jahren
Korallen, Seeigel, Moostierchen	450 Mill. Jahren
Insekten, Lurche, Fische	350 Mill. Jahren
Tausendfüßer, Kriechtiere	310 Mill. Jahren
Molukkenkrebse	240 Mill. Jahren
Säugetiere	190 Mill. Jahren
Vögel	170 Mill. Jahren
Landschnecken	140 Mill. Jahren
Adler	55 Mill. Jahren
Pelikane, Enten, Würger, Bachstelzen	25 Mill. Jahren
Ottern, Hunde, Schweine, Tapire	20···25 Mill. Jahren
Pferde, Rinder, Ziegen, Katzen, Bären, Kamele, Paviane, Elefanten	7···8 Mill. Jahren
Störche, Krähen, Kleiber	1···8 Mill. Jahren
Rothirsche	500000 Jahren
Rentiere	350000 Jahren

VI. Einzelne Tiergruppen und ihre wichtigsten Arten

SÄUGETIERE

Merkmale und Charakteristik. Die ausschließlich den Säugetieren zukommenden Kennzeichen sind folgende: 1. Ernährung der Jungen mit Milchdrüsensekret, 2. Ausbildung eines Haarkleides und 3. Besitz von drei Gehörknöchelchen im Mittelohr. Bei den primitivsten Säugetieren (Schnabeltier, Ameisenigel) haben die Weibchen noch keine Zitzen, sondern auf der Bauchseite gelegene Drüsenfelder,

von denen die Jungtiere das milchige Sekret auflecken. Von einem „Säugen" der Jungen im eigentlichen Sinne kann bei diesen also noch nicht gesprochen werden. Das Haarkleid ist bei einigen Vertretern der Säugetierklasse weitgehend rückgebildet, so z. B. bei den Walen. Stacheln (z. B. Igel) und die Hornschuppen der altweltlichen Schuppentiere sind als spezielle Umbildungen des Haarkleides aufzufassen. Niedere Wirbeltiere und Vögel haben nur ein Gehörknöchelchen. Bei den Säugetieren wandern zwei weitere Knochen, die das Kiefergelenk der niederen Wirbeltiere und Vögel bilden, in das Mittelohr ein.
Die Säugetiere sind trotz der vergleichsweise geringen Artenzahl eine Gruppe von imponierender Formenmannigfaltigkeit. So gibt es fischähnliche (Wale), schildkrötenähnliche (Gürteltiere) und flugfähige (Fledermäuse) Formen. Nahezu alle Lebensräume der Erde sind von Säugetieren erobert worden. Für das Leben auf und in der Erde, im Wasser, in Wüstengebieten, im Gebiet des ewigen Eises oder in der Wipfelzone tropischer Urwälder hat diese Tiergruppe speziell angepaßte Formen hervorgebracht. Dieser Gruppe entstammen die wichtigsten Haustiere des Menschen, ohne die eine Entwicklung der menschlichen Gesellschaft wohl undenkbar gewesen wäre, und schließlich der Mensch selbst, der — in vielen anatomischen Merkmalen recht „ursprünglich" — als „Hirnspezialist" und gesellschaftliches Lebewesen ohne weitere biologische Spezialanpassung, wie kräftige Eckzähne, Kopfwaffen, Schwimmhäute oder Flügel, zum beherrschenden Lebewesen unseres Planeten geworden ist, das mit seinen Mitteln alle Lebensräume der Erdoberfläche erobert hat.

Eierlegende Säugetiere. Diese altertümlichsten Formen leben im australischen Gebiet. Das *Schnabeltier*, das im Ostteil Australiens und auf Tasmanien vorkommt, besitzt einen Schnabel zum „Gründeln" und nährt sich von Wasserinsekten, Schnecken, Muscheln und Würmern. In die Ufer der Wohngewässer werden Baue gegraben. Das Weibchen legt zwei Eier in einer eigens für die Jungen angelegten Uferhöhle und bebrütet diese. Die Weibchen der in mehreren Arten auf Neuguinea, Tasmanien und dem australischen Kontinent lebenden *Ameisenigel* brüten die Eier in einem auf der Bauchseite liegenden Brutbeutel aus. Bis zur Ausbildung der Stacheln werden die Jungen in diesem Beutel, der auch das Drüsenfeld umschließt, getragen.
Für die Ausscheidungen der Niere und des Darmes und als Ausführgang der Geschlechtsorgane ist nur eine Öffnung (Kloake) vorhanden, weshalb die eierlegenden Säugetiere auch als Kloakentiere bezeichnet werden. An die Stelle der bei Jungtieren angelegten Zähne treten später Hornplatten. Das Regulationsvermögen der Eigentemperatur des Körpers ist noch unvollkommen.

Beuteltiere. Die Jungen aller Vertreter dieser ebenfalls urtümlichen Säugetiergruppe werden in einem sehr frühen Entwicklungsstadium geboren. Sie sind auffallend klein und gleichen embryonalen Entwicklungsstufen der höheren Säuger. Nach der Geburt kriechen die Jungen mit Unterstützung des Muttertieres in dessen Brustbeutel. Die Mundöffnung der Jungen umschließt die Zitzen der Milchdrüsen und die Mundränder verwachsen mit diesen. Reich an Beuteltieren ist Australien. Dieser Kontinent wurde durch das Meer zu einer Zeit isoliert, als die höheren Säugetiere noch nicht entwickelt waren. So blieb die altertümliche Beuteltierfauna hier erhalten und brachte Formen für die verschiedenartigsten Lebensstätten hervor. So gibt es in Parallele zur Säugetierfauna der übrigen Welt Beutelwölfe, Beutelmarder, nagetierähnliche Beutler, Flugbeutler, unterirdisch lebende und baumbewohnende Formen. Auch in Südamerika leben Beuteltiere, von denen einige, z. B. das Opossum, Teile des nordamerikanischen Kontinents besiedelt haben.

Höhere Säugetiere. Die Masse der heute lebenden Säugetierarten gehört zu den *plazentalen Säugern*, d. h. Säugetieren, die zur embryonalen Ernährung ihrer Jungen einen Mutterkuchen (*Plazenta*) in der Gebärmutter (*Uterus*) ausbilden. Die Jungen werden auf fortgeschrittenerer Entwicklungsstufe als bei Beuteltieren geboren. Die Taxonomie unterscheidet 15 in der Gegenwart lebende Ordnungen:

1. Insektenfresser (*Insectivora*), z. B. Spitzmäuse, Igel, Maulwurf
2. Flattertiere (*Chiroptera*), z. B. Flughunde, Fledermäuse
3. Riesengleitflieger (*Dermaptera*), z. B. Hundskopfgleiter (Südasien)
4. Herrentiere (*Primates*), z. B. Halbaffen, Affen, Mensch
5. Zahnarme (*Edentata*), z. B. Gürteltiere, Faultiere, Ameisenbären
6. Schuppentiere (*Pholidota*)
7. Hasenartige (*Lagomorpha*), z. B. Feldhase, Pfeifhase
8. Nagetiere (*Rodentia*), z. B. Eichhörnchen, Biber, Stachelschwein, Ratten, Mäuse
9. Raubtiere (*Carnivora*), z. B. Hundeartige Raubtiere, Katzen, Robben
10. Wale (*Cetacea*), z. B. Delphin, Pottwal, Blauwal
11. Rüsseltiere (*Proboscidea*), z. B. Indischer Elefant
12. Schliefer (*Hyracoidea*), z. B. Klippschliefer
13. Seekühe (*Sirenia*), z. B. Dugong, Borkentier
14. Unpaarzeher (*Perissodactyla*), z. B. Tapir, Pferd, Nashorn
15. Paarzeher (*Artiodactyla*), z. B. Schweine, Flußpferde, Kamele, Hirsche, Rinder

Einheimische Insektenfresser

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Igel	Körper 22···29 cm Schwanz 2···4 cm	Gebüsch, Waldränder, Gärten	Dämmerungs- und Nachttier; Laubnester unter Reisighaufen; jährlich 1 bis 2 Würfe mit 2···10 Jungen; Winterschläfer
Maulwurf	Körper 12,5···15 cm Schwanz 2,3···2,8 cm	Wiesen, Waldränder, Laubwald, seltener Äcker	unterirdisch; Nestkammer 20 bis 50 cm unter Oberfläche, ausgedehntes Gangsystem im Jagdrevier, erbeutet Regenwürmer, Engerlinge, Kerbtiere, Schnecken, nie Pflanzennahrung; jährlich 1 Wurf mit 2 bis 7 Jungen
Waldspitzmaus	Körper 6,5···8,5 cm Schwanz 3,5···5,5 cm	Wald, Hecken, Wiesen	unterirdisches Nest; vorwiegend nächtlich aktiv; jährlich 3 bis 4 Würfe mit 5···10 Jungen; wie alle Spitzmäuse sehr gefräßig, frißt täglich mehr als Körpermasse beträgt
Zwergspitzmaus	Körper 5···6 cm Schwanz 3,2···4,6 cm	Wald, Hecken, Wiesen	seltener als vorige Art; Lebensweise wenig bekannt
Feldspitzmaus	Körper 6,7···9 cm Schwanz 3···4 cm	Felder, Gebüsch, Gärten, auch in Ortschaften, Scheunen	vorwiegend nächtlich aktiv; klettert gut; Nest häufig in Komposthaufen
Wasserspitzmaus	Körper 7,2···9,6 cm Schwanz 4,7···7,7 cm	an Wassergräben, Bächen, Teichen	schwimmt und taucht gut, Fell fast nicht benetzbar; erbeutet Wirbellose, kleine Fische und Frösche; Baue im Ufer mit Ausgang zum Wasser

Einheimische Nagetiere

Biber	Körper 80···100 cm Schwanz 35 cm	stehende und langsam fließende Gewässer mit Ufervegetation (Auwald)	nächtlich aktiv, gesellig; guter Schwimmer und Taucher; baut Burgen, Dämme, Kanäle, gräbt Uferhöhlen; jährlich ein Wurf mit 2···4 Jungen; Nahrung rein pflanzlich (Rinde, Jungtriebe)
Eichhorn	Körper 20···23 cm Schwanz 16···20 cm	Wald, Parkanlagen	Tagtier, als Baumtier guter Kletterer und Springer; Kugliges Nest (Kobel) meist dicht am Baumstamm; jährlich zwei Würfe mit 3···8 Jungen
Siebenschläfer	Körper 13···18 cm Schwanz 11···15 cm	Laubwald, Obstgärten	Winterschlaf in Erdlöchern von Oktober bis Mai; große Ortstreue; Nest in Baumhöhlen, Nistkästen; jährlich ein Wurf mit 2···7 Jungen; Nahrung: Samen, Früchte, Knospen, Insekten, Vogeleier
Haselmaus	Körper 7,5···8,5 cm Schwanz 5,5···7,5 cm	Laubwald, Mischwald, Hecken	Winterschlaf in Erdlöchern, unter Fallaub, Sommernest meist 1 m über Boden; jährlich 1 bis 2 Würfe mit 3···4 Jungen; nährt sich von Samen, Beeren, Knospen, Insekten
Hamster	Körper 24···34 cm Schwanz 4···6 cm	Äcker, nur auf Löß- und Lehmboden	Dämmerungstier, tiefe, verzweigte Erdbaue mit Nestkammer und mehreren Vorratskammern; jährlich 2 bis 3 Würfe mit 4···12 Jungen; Allesfresser mit vorwiegend pflanzlicher Nahrung

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Bisamratte	Körper 30···36 cm Schwanz 20···25 cm	an Gewässern mit Vegetation in oder am Wasser	gute Schwimmer und Taucher; Dämmerungs- und Nachttier; umfangreiche Baue in Ufern und Dämmen mit Eingang unter der Wasseroberfläche und Luftschächten; jährlich 3 bis 4 Würfe mit 7···8 Jungen; Nahrung: überwiegend Wasserpflanzen
Feldmaus	Körper 9···12 cm Schwanz 3,5···4 cm	Äcker, Wiesen, Weiden	verzweigte Erdbaue mit Nestkammer in etwa $^1/_2$ m Tiefe; hohe Vermehrungsrate durch Frühreife und rasche Wurffolge (im Sommer mitunter alle 3 Wochen ein Wurf); Winterwürfe kommen vor; Nahrung: Gräser, Feldfrüchte
Hausmaus	Körper 8···9 cm Schwanz 6,5···9 cm	Gebäude, Getreidemieten, im Sommer auch im Freien, durch den Menschen über ganze Erde verbreitet	vorwiegend nächtlich, klettert und springt gut, hohe Siedlungsdichte; Würfe das ganze Jahr über, Wurfgröße 4···8 Junge; Allesfresser, der auch mit rein pflanzlicher oder rein tierischer Kost auskommt
Wanderratte	Körper 19···27 cm Schwanz 13···20 cm	Keller, Ställe, Schuttplätze, bevorzugt Wassernähe	vorwiegend nächtlich; lebt in Großfamilien, in deren Territorium keine Fremdratten geduldet werden; jährlich 2 bis 3 Würfe mit 6···12 Jungen; Allesfresser
Hausratte	Körper 16···23 cm Schwanz 19···24 cm	Bodenräume, bevorzugt trockene Orte	klettert gut; bei Zusammentreffen der Wanderratte unterlegen; Nahrung vorwiegend pflanzlich

Affen

Art	Körperlänge in cm	Schwanzlänge in cm	Vorkommen
Neuweltaffen			
Löwenäffchen	20	20	Brasilien
Totenköpfchen	30	35	Guayana
Mirikina	35	30	Guayana bis Perú
Satansaffe	55	50	Amazonasgebiet
Klammeraffe	60	75	Mexiko bis Uruguay
Brüllaffe	65	70	Südamerika
Grauer Wollaffe	70	70	Amazonas- und Orinokogebiet, Perú
Kapuzineraffe	80	35	Guayana
Altweltaffen			
Hulman	50	100	Indien
Rhesusaffe	55	25	Vorderindien
Javaneraffe	60	50	Hinterindien, Philippinen
Mantelpavian	70···80	20···25	Äthiopien, Südnubien
Berberaffe (Magot)	75	Stummel	Atlas, Gibraltar
Hulock (Gibbon)	90	0	Hinterindien, Bengalen
Siamang (Gibbon)	100	0	Sumatera
Mandrill	100	3	Westafrika
Menschenaffen			
Schimpanse	130···170	0	Westafrika
Orang-Utan	150···190	0	Borneo, Sumatera
Gorilla	bis 200	0	Mittelafrika

Einheimische Raubtiere

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Wildkatze	Körper 40···60 cm Schwanz 30···40 cm	ausgedehnte, schluchtenreiche Gebirgswälder	Einzelgänger, sehr selten (Harz, Thüringer Wald)
Fuchs	Körper bis 70 cm Schwanz bis 35 cm	an Felder und Wiesen grenzende Waldränder, allgemein verbreitet	Hauptnahrung: Wühlmäuse mit fast 90% (überwiegend Feld- und Erdmaus), zur Jungenfütterung aber alles, was er überwältigen kann. Wohnt gern in verlassenen (manchmal noch bewohnten) Dachsbauten oder gräbt sich eigenen Bau
Fischotter	Körper bis 80 cm Schwanz bis 45 cm	an waldbestandenen Gewässern und Fischteichen	Fischfresser, mit Schwimmhäuten; ausgezeichneter Schwimmer; selten
Dachs	Körper bis 75 cm Schwanz bis 18 cm	vornehmlich Waldbewohner	frißt vorwiegend pflanzliche Stoffe und Kleintiere. Haust in selbstgegrabenen Bauen, hält Winterruhe
Edelmarder (Baummarder)	Körper bis 50 cm Schwanz bis 25 cm	Wälder, seltener in der Nähe von Siedlungen (Kehlfleck gelb)	Beute: Säugetiere von der Maus bis zum Rehkälbchen, Hauptfeind des Eichhörnchens
Steinmarder (Hausmarder)	Körper bis 50 cm Schwanz bis 25 cm	Wälder, aber auch in Scheunen, Gartenhäusern und auf Dachböden (Kehlfleck weiß)	frißt kleine Säugetiere und Vögel, auch Obst und Eier, und unternimmt Raubzüge in die Geflügelställe
Iltis	Körper bis 45 cm Schwanz bis 17 cm	meist in der Nähe von Gewässern, oft auch in Scheunen, gern in Nähe menschlicher Siedlungen	lebt von Kleintieren, gelegentlich auch von Geflügel, Feldhühnern, Hasen, im Winter in den Ortschaften von Ratten
Kleines Wiesel	Körper bis 17 cm Schwanz bis 4 cm	Gehölze, Felder, Steinbrüche, im Winter oft in Scheunen, scheuen menschliche Ansiedlungen nicht	frißt Kleinsäuger (besonders Mäuse), kann mit seinem schlanken Körper in jeden Mäusebau eindringen
Großes Wiesel (Hermelin)	Körper bis 28 cm Schwanz bis 8 cm	wie vorige Art	frißt Kleinsäuger und Vögel; färbt sich im Winter weiß

Fremdländische Raubtiere

Ichneumon	Körper 65 cm Schwanz 45 cm	Nordafrika, Kleinasien	frißt Säugetiere, Vögel, Kriechtiere; als Schlangentöter von den alten Ägyptern verehrt; einbalsamierte Ichneumons in Gräbern
Tüpfelhyäne	Körper 1,25 m	Afrika südlich der Sahara	Aasfresser mit kräftigem Gebiß, das selbst starke Röhrenknochen zerbricht
Streifenhyäne	Körper 1 m	Nordafrika, Südwestasien	
Löwe	Körper des männl. Tieres bis 2 m, Schwanz 90 cm	Strauchsteppen und Wüsten Afrikas; in Asien heute nur noch wenige Tiere in der nordwestindischen Landschaft Gudscharat	erbeutet Säugetiere bis Rindergröße; frißt gelegentlich auch Aas, gesellig lebend und jagend
Tiger	Körper bis 3 m Schwanz bis 90 cm	Dschungel und Wälder Asiens, von Bali bis Amur	jagt Säugetiere, besonders Wildschweine, Hirsche, Antilopen; einzeln lebend und jagend

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Puma (Silberlöwe)	Körper 1,25 m Schwanz 75 cm	Süd- und Nordamerika (in den Wäldern der Felsengebirge)	erbeutet kleine Säugetiere; klettert gut. In Nordamerika fast ausgerottet
Leopard (Panther)	Körper bis 1,50 m Schwanz bis 1 m	Afrika, Asien	frißt Säugetiere und Vögel; gefährlicher Feind der Viehherden
Jaguar	Körper bis 2 m Schwanz bis 75 cm	Waldränder der Flüsse und Sümpfe Südamerikas, auch in Mexiko, Arizona und Kalifornien	jagt Tiere bis zur Größe eines Tapirs
Luchs	Körper bis 1,25 m Schwanz stummelartig	dichte Wälder Europas und Nordasiens. Vielerorts ausgerottet	erbeutet Säugetiere bis zur Größe eines Rehs, Vögel bis zur Größe eines Auerhahns
Gepard	Körper bis 1,25 m	Steppengebiete Afrikas und Asiens	jagt vor allem Antilopen, ist leicht zähmbar und auf die Jagd (Jagdleopard) von Antilopen abrichtbar, auf kurzen Strecken schnellstes Säugetier
Wolf	Körper bis 1,25 m Schwanz bis 45 cm	Steppen, Sümpfe und Wälder Europas, Asiens und Nordamerikas	erbeutet Haustiere, Jagdwild, Vögel. In stark bevölkerten Gebieten ausgerottet, schweift weit umher
Dingo (australischer Wildhund)	wie Schäferhund	Australien	erbeutet Schafe, frißt auch Aas
Schakal	Körper 75 cm Schwanz 25 cm	Südosteuropa, Afrika, Asien (mehrere Arten)	jagt kleine Säugetiere und Vögel, dringt auch in Ortschaften ein; bekannt durch sein Geheul
Vielfraß	Körper bis 30 cm Schwanz bis 15 cm	Gebirgswälder und öde Wildnisse Nordeuropas, Nordasiens und Nordamerikas	frißt alle Tiere, die er überwältigen kann, vor allem Lemminge
Waschbär	Körper 65 cm Schwanz 25 cm	Nordamerika	frißt kleine Wirbeltiere, Vögel, Eier, Fische, Krebse, Früchte
Braunbär	Körper bis 1,25 m	Europa, Asien, Nordamerika	Allesfresser; überfällt größere Tiere, frißt auch Aas und Früchte
Eisbär	Körper bis 2,75 m	Nordpolargebiete	fast reiner Fleischfresser, jagt Robben, Rentiere, Eisfüchse, Vögel, frißt auch Aas und gelegentlich Beeren. Guter Schwimmer

Wale

Art	Länge in m	Vorkommen
Delphin	2	Meere der Nordhalbkugel, besonders Mittelmeer
Tümmler	2	nördlicher Atlantischer Ozean
Buckelwal	10···16	alle Weltmeere
Pottwal	16···23	alle Meere außer den Polarmeeren
Nordkaper	17	am Nordkap und in der Biskaya
Grönlandwal (fast ausgerottet)	18···25	nördlicher Atlantischer und Stiller Ozean
Finnwal	20···26	nördlicher Atlantischer Ozean und Eismeer
Blauwal	25···31	Meere rings um Antarktis, wechseln auch in Meere der Nordhalbkugel über

VÖGEL

Merkmale und Charakteristik. Eng mit den Kriechtieren verwandt und wie Säugetiere von diesen abzuleiten. Das auffälligste Merkmal ist das Federkleid, das aus *Deckfedern* und den darunter gelegenen *Daunen* (Dunen) besteht. Die *Schwungfedern* (Flügel) und *Steuerfedern* (Schwanz) bilden Flugeinrichtungen. Die Füße sind wie bei Kriechtieren mit Hornschilden bedeckt. Das Skelett der Vorderextremitäten wird durch Reduktionen im Bereich der Hand zu einem nahezu einachsigen Gebilde als Träger der Schwungfedern. Die Hinterextremität, die allein den Körper zu tragen hat, ist meist kräftig entwickelt. Der Oberschenkelknochen ist so gelagert, daß die übrigen Skeletteile der Hinterextremität (vom Kniegelenk an) unter den Schwerpunkt des Körpers gestellt sind, und somit nach Freiwerden der Vorderextremität die Gleichgewichtslage des Körpers gewährleistet bleibt. Der Oberschenkel ist nicht frei, sondern liegt dem Rumpf an, und wird von Rumpfhaut überzogen. Durch Lufträume im Inneren vieler Knochen wird die Masse verringert. Das Brustbein trägt bei fliegenden Formen einen starken Knochenkamm (Crista), um der kräftigen Brustmuskulatur eine ausreichende Ansatzfläche zu bieten. Die Lungen stehen mit einem ausgedehnten System von *Luftsäcken* in Verbindung. Das Hirn ist auffällig gut entwickelt. Wie die Säugetiere sind die Vögel gleichwarme Tiere, die ihre Körpertemperatur unabhängig von der Außentemperatur halten können und deshalb auch Kältegebiete besiedelt haben. Die Körpertemperatur ist höher als bei Säugetieren vergleichbarer Körpergröße. Im Gegensatz zu den weichschaligen Eiern der Kriechtiere haben Vogeleier stets eine Kalkschale.

Die Klassifikation dieser Gruppe mit etwa 8600 in der Gegenwart lebenden Arten ist deshalb schwierig, weil wenig Fossilglieder bekannt geworden sind. Die 700 entdeckten Fossilarten lassen sich meist den heute lebenden Gruppen einwandfrei zuordnen. Zwischenformen, die angeben könnten, welche Gruppen der Gegenwart auf gemeinsame Vorfahren zurückgehen, fehlen meist. Deshalb werden in der Vogeltaxonomie zahlreiche in sich gut charakterisierte Ordnungen nebeneinandergestellt; auf eine verwandtschaftliche Gruppierung dieser Ordnungen in Unterklassen oder Überordnungen wird verzichtet. Morphologische Befunde gestatten gewisse Aussagen über die Entwicklungshöhe, so z. B. die, daß Straußenvögel und Hühnervögel zu den ursprünglicheren, die Papageien und Sperlingsvögel dagegen zu den höher entwickelten Vertretern der Klasse gehören. Die Fluguntüchtigkeit der Straußenvögel darf allerdings nicht als Primitivmerkmal gewertet werden, sondern ist sekundär entstanden, d. h. die Straußenvögel leiten sich von flugfähigen Formen ab.

Einheimische Vögel

Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Rabenvögel		größte Sperlingsvögel mit großem Hirn und bemerkenswerter Intelligenz	
Dohle*	33 cm, davon Schwanz 14 cm	Rabenvogel mit grauem Nakken; nistet in altem Gemäuer, Baumhöhlen, Türmen, die er mit gellem „jack, jack, jao" („Jakob"!) in Scharen umkreist	dauernd, winters unter Krähenschwärmen
Elster	45···48 cm, davon Schwanz 26 cm	geselliger Rabenvogel mit — besonders im Flug — auffällig langem Schwanz; schwarz-weiß gezeichnet; bewohnt Feldgehölze	dauernd
Eichelhäher	34 cm, davon Schwanz 15 cm	der „Warner des Waldes"; fliegt geschickt durch das Astwerk; arger Nestplünderer und Eierdieb	dauernd
Rabenkrähe	97 cm, davon Schwanz 17 cm	Kulturland, Moore, Küsten; nistet einzeln auf Bäumen, Gefieder schwarz	dauernd
Nebelkrähe	wie Rabenkrähe	wie Rabenkrähe, aber östlich der Elbe; Rücken und Unterseite grau	dauernd
Saatkrähe	46 cm, davon Schwanz 16 cm	Kulturland, nistet gesellig in Brutkolonien; Haut am Schnabelansatz nackt; Gefieder schwarz mit bläulichem Schiller	dauernd (im Gegensatz zu Raben- und Nebelkrähe vorwiegend nützlich durch Schädlingsvertilgung)

Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Star und Pirol			
Star	21 cm, davon Schwanz 6,5 cm	geselliger, lebhafter Singvogel mit formenreichem, bald schnalzendem, bald flötendem Gesang; bewohnt Dörfer, Gärten und Parkanlagen, plündert gern Kirschbäume, läuft zur Nahrungssuche auf Wiesen und Weiden mit schnellen Schritten umher und nickt dabei mit dem Kopf	März bis Oktober, einige dauernd
Pirol	25 cm, davon Schwanz 9 cm	scheuer Singvogel von Starengröße; Männchen prächtig goldgelb gefiedert mit schwarzen Flügel- und Schwanzfedern, ruft klangvoll flötend und kreischt hinterdrein. Das muldenförmige Nest wird in der Astgabel eines hohen Baumes angelegt	Mai bis August
Finken		Körnerfresser mit meist kegelförmigem Schnabel	
Kernbeißer	18 cm, davon Schwanz 6 cm	Singvogel aus der Familie der Finken; zerbeißt mit kurzem, kräftigem Schnabel Kirsch- und Pflaumenkerne, um deren Samen zu fressen	dauernd
Grünfink	15,4 cm, davon Schwanz 6 cm	bewohnt die Auenlandschaft; die nordischen Grünfinken überwintern in Deutschland	dauernd
Stieglitz	13 cm, davon Schwanz 5 cm	auffällig bunter Singvogel der offenen Landschaft; nistet hoch in Obstbäumen, klettert gewandt auf Distelköpfen, daher auch „Distelfink" genannt	dauernd
Zeisig	13 cm, davon Schwanz 5 cm	zierlicher, gewandter Singvogel, der vor allem Baumsämereien frißt; wegen seines munteren Gesanges ein beliebter Stubenvogel	dauernd
Hänfling	13 cm, davon Schwanz 5,5 cm	geselliger Singvogel; bewohnt die Kulturlandschaft; Körnerfresser	dauernd
Girlitz	12,5 cm, davon Schwanz 5 cm	Körnerfresser; nächster Verwandter des Kanarienvogels; singt von hohen Bäumen oder Telegraphenstangen	April bis September.
Gimpel	17 cm, davon Schwanz 8···9 cm	Waldvogel; frißt trockene Sämereien und Beeren; Männchen des roten Gefieders und der schwarzen Kappe wegen „Dompfaff" genannt	dauernd
Buchfink	16,5 cm, davon Schwanz 7 cm	schmucker Garten- und Waldvogel, „Finkenschlag" des Männchens	März bis Oktober z. T. dauernd
Goldammer	17 cm, davon Schwanz 7 cm	bewohnt offenes Gelände, kommt wintersüber in das Dorf und an die Stadtränder; Männchen singt unermüdlich	dauernd

Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Haussperling*	15 cm, davon Schwanz 5,5 cm	sehr gesellig und anpassungsfähig, kann sich daher selbst im Innern der Städte halten	dauernd
Lerchen		vorwiegend Bodenvögel mit verlängerter Hinterkralle	
Feldlerche	18 cm, davon Schwanz 7···7,5 cm	Bodenbrüter mit Nest auf Wiesen und Feldern; Männchen beginnt mit dem Gesang schon im zeitigen Frühjahr, singt ausdauernd in steilem Steigflug	Februar bis Oktober
Haubenlerche*	18 cm, davon Schwanz 6,5···7 cm	Steppenvogel; häufiger Wintergast in den Straßen der Städte	dauernd
Pieper und Stelzen			
Baumpieper	17 cm, davon Schwanz 6,5 cm	Bodenbrüter; Männchen steigt von einer Baumspitze aus singend ein kurzes Stück schräg nach oben in die Luft und schwebt dann auf seinen Ausgangspunkt zurück	April bis September
Bachstelze	20 cm, davon Schwanz 9 cm	beweglicher, anmutiger Vogel, wippt auffällig mit dem Schwanz; sucht Nahrung (meist Kerbtiere) auf Äckern oder an Gewässern	März bis Oktober
Baumläufer und Kleiber			
Gartenbaumläufer	13 cm, davon Schwanz 6···6,5 cm	wie der Specht ein Bewohner der Baumstämme und Höhlenbrüter; holt mit spitzem, gebogenem Schnabel die Insekten aus der Rinde	dauernd
Kleiber	13···14 cm, davon Schwanz 4···5 cm	eine Klettermeise; ausgesprochener Bewohner der Baumstämme, an denen er hinauf- und herabläuft; verengt die Eingänge der Nisthöhle mit Lehm auf die ihm zusagende Größe	dauernd
Meisen		verbreitete Singvögel; meist Höhlenbrüter, Klettervögel; fressen Insekteneier, Larven und fetthaltige Sämereien	
Kohlmeise	16 cm, davon Schwanz 7 cm	Häufigste Meise in Wäldern und Gärten; mit vorwiegend schwarz-weiß-gelben Farben im Gefieder	dauernd
Blaumeise	11,8 cm davon Schwanz 5,5 cm	in Laubwäldern und Obstgärten; mit vorwiegend blaugrün-gelben Farben im Gefieder	dauernd
Sumpfmeise	13,3 cm, davon Schwanz 5,6···6 cm	in Feldgehölzen, Mischwäldern und Obstgärten; schwarze Kopfplatte und weiße Wangenflecke, sonst vorherrschend graue Farben im Gefieder	dauernd
Schwanzmeise	14,6 cm, davon Schwanz 8,8···10,4 cm	lebt in Laubwäldern; kugeliger Körper mit hellem Kopf und langem Schwanz; sehr gesellig, baut ein großes, dichtgewebtes Nest	dauernd

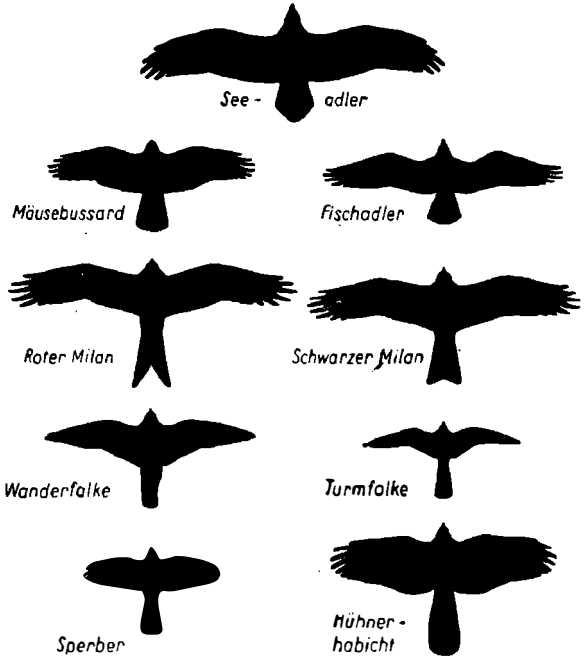
Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Goldhähnchen		kleine meisenähnliche Vögel mit auffälligem gelben Scheitelstreifen	
Wintergoldhähnchen	9,5 cm, davon Schwanz 3,8 cm	kleinster einheimischer Singvogel; bewohnt Nadelwälder, klettert in dichtem Gezweig	dauernd
Grasmücken		insektenfressende, lebhafte Vögel mit pfriemförmigem Schnabel	
Weidenlaubsänger (Zilpzalp)	11 cm, davon Schwanz 4,6 cm	zarter, grünlichgrauer Singvogel; ruft fleißig „zilp-zalp, zilp-zalp"; jagt rüttelnd auf fliegende Insekten	März bis Oktober
Gelbspötter	14,5 cm, davon Schwanz 5,8 cm	häufiger, unscheinbarer Park- und Gartenvogel; sehr beweglich; frißt neben Beeren vorwiegend Insekten; ahmt gern andere Vogelstimmen nach	Mai bis August
Gartengrasmücke	16 cm, davon Schwanz 6 cm	bewohnt Bäume; Insektenfresser und guter Sänger	Mai bis August
Drosseln		langbeinige Singvögel mit aufgerichtetem Körper; Augen groß	
Singdrossel	22 cm, davon Schwanz 8 cm	Waldvogel, neuerdings auch Parkvogel; formenreicher Gesang, an der 2- bis 3maligen Wiederholung der Strophen kenntlich; nach dem Lockruf auch „Zippe" genannt	März bis September
Amsel (Schwarzdrossel)*	24 cm, davon Schwanz 12 cm	ursprünglich Waldvogel, jetzt auch oft inmitten der Großstadt in Gärten und Parks; schadet durch Knospenverbiß; wohllautender Gesang	meist dauernd
Gartenrotschwanz	14 cm, davon Schwanz 6 cm	Baumbewohner und Höhlenbrüter; Männchen mit auffällig weißer Stirn	April bis Oktober
Hausrotschwanz*	16 cm, davon Schwanz 7 cm	Singvogel; ursprünglich Felsenbewohner, folgt dem Menschen, soweit er steinerne Bauten errichtet; brütet in Mauerlöchern	März bis Oktober
Nachtigall	17 cm, davon Schwanz 7 cm	„die" Sängerin unter den Vögeln, bewohnt feuchte Laubwaldungen, brütet ganz niedrig im Gebüsch, hält sich viel am Boden auf, frißt Würmer, Maden und Spinnen	April bis September
Sprosser	19 cm, davon Schwanz 8 cm	die „Nachtigall des Ostens"; nistet in Dänemark, Mecklenburg und weiter östlich gelegenen Gegenden, bevorzugt wasserreiche Laubwaldungen; singt härter, lauter und voller als die Nachtigall	April bis August
Rotkehlchen	15 cm, davon Schwanz 6 cm	in größeren Gärten und im Wald; frißt als Bodenvogel Würmer, Larven, Käfer, Schnecken und Beeren; knickst oft; singt auf Baumwipfeln noch in der Dämmerung	März bis September

Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Zaunkönige			
Zaunkönig	10 cm, davon Schwanz 3,5 cm	einer der kleinsten einheimischen Singvögel mit überraschend kräftiger Stimme, ist auch im Winter zu hören; bevorzugt die Nähe des Wassers, baut große Moosnester mit seitlichem, mauslochgroßem Eingang, schlüpft flink wie eine Maus durch das Gebüsch	meist dauernd
Schwalben		besonders fluggewandte Insektenfresser mit weitgespaltetem Schnabel und zarten Füßen; selten am Boden, holen dort Lehm zum Nestbau	
Rauchschwalbe	18 cm, davon Schwanz 9 cm	brütet an Gebäuden; Bauchseite schwarzweiß, rostbrauner Kehlfleck, Schwanz tief gegabelt, Bürzel schwarz	April bis Oktober
Mehlschwalbe	14 cm, davon Schwanz 7 cm	brütet an Gebäuden; Bauchseite schwarzweiß, Schwanz schwach gegabelt, Bürzel weiß	Mai bis September
Uferschwalbe	13 cm, davon Schwanz 5 cm	Singvogel ohne Klang in der Stimme, mit „zrr"- und „schrr"-Lauten; brütet gesellig in Höhlen an lehmigen Steilufern	April bis September
Spechte		Baumvögel mit Kletterfuß und Stützschwanz; meißeln ihre Bruthöhlen in kranke Bäume, holen mit lang vorstreckbarer Zunge Kerbtiere aus Rindenverstecken	
Grünspecht	31 cm, davon Schwanz 12 cm	Nisthöhle in Laubbäumen (auch der Gärten); hackt auf der Jagd nach Ameisen gern den Boden auf	dauernd
Buntspecht	23···25 cm, davon Schwanz 8,5 cm	bewohnt Mischwälder und große Parkanlagen; frißt neben forstschädlichen Insekten und deren Larven auch Sämereien, besonders Tannensamen	dauernd
Schwarzspecht	47···50 cm, davon Schwanz 18 cm	größter einheimischer Specht; bewohnt vor allem Nadelwälder	dauernd
Segler		schwalbenähnlich, aber mit schlankeren, sichelförmigen Flügeln; alle 4 Zehen nach vorn gerichtet	
Mauersegler*	18 cm, davon Schwanz 8 cm	ursprünglich Felsenbrüter; baut Nester an Dachsimsen, Schornsteinen usw.; nie am Boden anzutreffen, sammelt Nahrung und Nestmaterial im Flug; schreit lärmend, „srisrih", wird oft für eine Schwalbe gehalten	Mai bis August

Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Hopfe			
Wiedehopf	29 cm, davon Schwanz 10 cm	mit aufrichtbarem Federschopf am Kopf; nistet in hohlen Bäumen; durchsucht den Kot der Weidetiere und den weichen Boden nach Insekten und Larven; Jungvögel verteidigen sich, indem sie ihren übelriechenden Bürzeldrüsensaft verspritzen	März bis April
Eisvögel			
Eisvogel	17 cm, davon Schwanz 4 cm	der „fliegende Edelstein" (wegen seiner Farbenpracht); brütet in 1 m tiefen, verborgenen Höhlen der Uferwände, jagt stoßtauchend auf Fische	dauernd
Eulen		überwiegend nächtlich lebende Raubvögel, mit großen nach vorn gerichteten Augen und starken Krallen	
Uhu	63···77 cm, davon Schwanz 25···28 cm	selten gewordene Großeule; bewohnt ausgedehnte Gebirgswälder; jagt als nächtlicher Raubvogel Mäuse, Krähen u. dgl., aber auch Wirbeltiere bis zur Größe des Rehkitzes	dauernd
Steinkauz	21···22 cm, davon Schwanz 8 cm	kleine Eulenart; bewohnt hohle Bäume, Türme, Dachböden usw.	dauernd
Kuckucke			
Kuckuck	37 cm, davon Schwanz 17 cm; Weibchen 2···3 cm kürzer	Brutschmarotzer, frißt Raupen, auch behaarte, fliegt mit hocherhobenem Kopf. Flugbild erinnert an das des Turmfalken	April bis September
Greifvögel		Tagraubvögel mit Hakenschnabel und kräftigen Krallen	
Wanderfalke	42···47 cm, davon Schwanz 20 cm; Weibchen 5 cm länger	Raubvogel von gedrungener Gestalt; jagt in der offenen Landschaft und streift weit umher; frißt ausschließlich Vögel, wird neben dem *Jagdfalken* zur Beizjagd abgerichtet	meist dauernd
Turmfalke (Rüttelfalke)*	33 cm, davon Schwanz 16 cm	häufigster Raubvogel Deutschlands; an Türmen und Felsen; „rüttelt" und stürzt sich im Stoßflug auf Mäuse und größere Insekten	im Winter spärlicher
Mäusebussard	50···65 cm, davon Schwanz 26 cm	verbreiteter Raubvogel; horstet in Waldungen, jagt über Feld und Wiese auf Mäuse, Hamster, Schlangen und Frösche, greift gelegentlich auch Junghasen und junge Wildtauben	März bis Oktober, oft dauernd
Hühnerhabicht	55 cm, davon Schwanz 22 cm; Weibchen 15···18 cm länger	ungeselliger Raubvogel; überfällt in reißendem Flug seine Beute und tötet sie mit den Fängen; im Flugbild kennzeichnend die kurzen Flügel und der lange, oft etwas gefächerte Schwanz	meist dauernd

Vogelart	Körperlänge	Lebensraum und Lebensweise	Aufenthalt in Deutschland
Fischadler	53···56 cm, davon Schwanz 18···19 cm	horstet auf Bäumen, greift, über dem Wasser schwebend, aus geringer Höhe die Fische und taucht dabei zuweilen für kurze Zeit völlig unter	April bis September
Störche			
Storch	110 cm, davon Schwanz 26 cm	nesttreuer Zugvogel; bewohnt Sumpfgegenden, brütet auf Dächern und Bäumen, frißt vorwiegend Wassergetier, das er auf Pirschgängen fängt	März bis August

Die mit * bezeichneten Arten haben sich als „Großstadtvögel" schon völlig dem Leben in den Städten angepaßt.



Flugbilder einheimischer Greifvögel

Rufe einheimischer Raubvögel (Greifvögel und Eulen)

	Lockruf des Männchens	Bettelruf des Weibchens	Bettelruf der Jungen
Sumpfohreule	käw-käw	pschie-it	pschie-jet
Waldohreule	whumb	pi-ie; fi-iep	fie-iep-fie-iep
Wanderfalke	ak-ak-ak; akzick-akzick	ääk-ääk-ääk; kjakjick	ghäk-gkäk-ghäk
Baumfalke	gjeg-gjeg-gjeg	düiii-düiii	dwüiii-dwüiii
Turmfalke	ki-ki-zick	zick-zick	dsick-dsick
Mäusebussard	hi-äh	hi-ääh	psii-e; piii-e
Habicht	giack-giack tjak-tjack	hi-ää, hi-a-hi-a; gi-ak	wiii e-wiii; hi-ää
Sperber	tjäck-tjäck	zi-eh-zieh-zieh bi-äh	bi-eh; psii-eh

Jede Darstellung von Tierstimmen in menschlichen Sprechsilben muß unvollkommen sein und kann das rhythmische Gefüge des Tierlautes nur annähernd wiedergeben.

Die einheimischen Wildhühner und Wildtauben

Art	Größe	Farbe	Aufenthaltsort	Gelege und Eizahl
Auerhuhn	♂ wie Truthahn ♀ wie großer Haushahn	♂ vorwiegend schwarz ♀ braun meliert	große Wälder der Mittel- und Hochgebirge	am Boden, 6···10
Birkhuhn	♂ wie Haushahn ♀ wie Haushenne	♂ metallisch blau und schwarz ♀ braun meliert	Heide- und Moorgebiete	am Boden, 7···10
Haselhuhn	wie kleines Haushuhn	braun meliert; ♂ mit schwarzer Kehle	Misch- und Laubwälder der Mittel- und Hochgebirge	am Boden, 8···10
Rebhuhn	etwa taubengroß	erdbraun meliert; ♂ mit rotbraunem Brustfleck	Felder, Wiesen, Heidegebiete	am Boden, 5···20
Wachtel	doppelt so groß wie Lerche	braun meliert	Felder, Wiesen, Heidegebiete	am Boden, 5···10
Fasan	♂ wie Haushahn ♀ wie kleine Haushenne	♂ sehr farbig ♀ braun	Auen, Feldgehölze, Feldgebiete mit Wald	am Boden, 6···14
Großtrappe	♂ größer als Truthahn ♀ kleiner als Truthahn	braunmeliert; unten, am Kopf und am Hals viel Weiß	weite Feld- und Wiesengebiete	am Boden, 2
Ringeltaube	größer als Haustaube	graublau, mit weißem Halsring	Wälder, Parkanlagen, Feldgehölze	auf Bäumen, 2
Hohltaube	wie Haustaube	graublau	Waldgebiete	in hohlen Bäumen und Mauerlöchern, 2
Turteltaube	größer als Amsel	grau und braun	Auengelände, lichte Waldungen	auf Büschen, 2
Türkentaube	wie Turteltaube	braungrau mit schwarzem Halbring im Nacken	Parkanlagen, Gärten, in Ortschaften	auf Bäumen, 2

Flügelfläche und Körpermasse einheimischer Raubvögel

Vogelart	Körpermasse in g	Flügelfläche je 1 g Körpermasse in cm^2
Waldohreule: ♂	—	3,2
Sumpfohreule: ♀	—	2,9
Wanderfalke: ♂	600···750	1,0
Wanderfalke: ♀	900···1100	—
Baumfalke: ♂	230	—
Baumfalke: ♀	240···270	—
Turmfalke: ♂	180···230	2,9
Turmfalke: ♀	220···275	—
Bussard: ♂	800	2,3
Bussard: ♀	900	—
Wiesenweihe: ♀	—	3,1
Habicht: ♂	560···700	1,3
Habicht: ♀	800···1300	—
Sperber: ♂	140···160	—
Sperber: ♀	230···310	1,5

Nester der Singvögel

Vogelart	Standort des Nestes	gebaut von
Eichelhäher	Bäume, meist 4···5 m hoch	♂ und ♀
Star	Baum- und Mauerhöhlen, Nistkästen	♂ (beginnt) und ♀ (vollendet)
Pirol	hohe Bäume, in Astgabeln „schwebend"	♂ und ♀
Kernbeißer	meist Laubbäume, Höhe wechselnd	ungeklärt
Hänfling	Büsche und kleine Bäume, 1,5···2,5 m hoch	♀
Haussperling	Höhlen und Spalten in Gebäuden	♂ und ♀
Goldammer	am Boden oder niedrig im Gebüsch	ungeklärt
Feldlerche	am Boden	ungeklärt
Bachstelze	Mauer-, Fels-, Dammlöcher, hohle Bäume	♀
Kleiber	Baumhöhlen (Spechtlöcher)	♀
Kohlmeise	Baum-, Erd-, Mauerlöcher, Felsspalten usw.	♀
Weidenlaubsänger (Zilpzalp)	dicht über dem Boden in Nadelholzgebüsch, Brombeergestrüpp usw.	♀
Fitislaubsänger	auf dem Boden, im Rasen und im Gebüsch	♀
Singdrossel	Gestrüpp und Bäume, 1···2 m hoch	vorwiegend ♀
Amsel	Bäume, Gebüsch, Gebäude	♀
Hausrotschwanz	Löcher, Spalten usw. an Gebäuden	ungeklärt
Nachtigall	am Boden unter Büschen	ungeklärt
Rotkehlchen	Erdhöhlungen an Gräben, unter Baumwurzeln usw.	♀
Rauchschwalbe	Ställe, Hausflure, Bodenkammern	♂ und ♀

Das Verhältnis von Flügelfläche zu Körpermasse ist bei den einzelnen Raubvogelarten sehr verschieden. Schnellfliegende Vögel, wie z. B. der Wanderfalke, haben eine relativ kleine Flügelfläche.

Der Vogelzug: Der Vogelzug ist eine regelmäßige, alljährlich wiederkehrende und jahreszeitlich bedingte Erscheinung. Seine Ursachen sind der Wechsel der Jahreszeiten sowie ein erblich festgelegtes, von endokrinen Drüsen gesteuertes Zugverhalten.
Die *Heimat* eines Zugvogels ist das mehr oder weniger weit abgegrenzte Gebiet, in dem er geboren wurde. Das Verlassen dieses Gebietes wird als *Wegzug* (Herbstzug) bezeichnet, die rückläufige Bewegung als *Heimzug* (Frühjahrszug). Der Wegzug endet in einem geographisch fest umgrenzten Gebiet, dem *Winterquartier*, in dem sich die Vögel längere Zeit aufhalten und häufig auch mausern. Heimat, Zugwege und Winterquartier bilden den *Lebensraum* eines Zugvogels.

Die Hauptzugwege der europäischen Zugvögel:

Die auffallendste Zugrichtung in Europa verläuft von *Nordost* nach *Südwest*, entsprechend dem winterlichen Temperaturgefälle. Dieser Weg wird vor allem von spätwandernden Arten wie Garten- und Hausrotschwanz, den mitteleuropäischen Staren, Drosseln, Enten- und Schnepfenvögeln eingeschlagen, die ihre Reise in Südfrankreich, Oberitalien, auf der Pyrenäenhalbinsel und an den Küsten des Mittelmeeres beenden, wo der Einfluß warmer Meeresströmungen die kontinentalen Gegensätze im Klima ausgleichend beeinflußt.
In der *Südostrichtung* fliegen die meisten Arten über den Bosporus nach Vorderasien, wobei Rosenstar und Zwergfliegenschnäpper bis nach Indien, z. B. Pirol, Blauracke und Wiedehopf, Neuntöter, Kuckuck und Storch über Palästina südwärts nach Afrika ziehen.

Höhe der ziehenden Vögel:

Im allgemeinen	unter	400 m
Stare und Kiebitze	bis	600 m
Kraniche, Tauben	bis	2500 m

Wandergeschwindigkeit:

Neuntöter, Sperber	etwa 40 km/Stunde
Heringsmöwe, Kranich, Nebelkrähe, Ringeltaube	etwa 50 km/Stunde
Buchfink, Zeisig	etwa 55 km/Stunde
Dohle, Fichtenkreuzschnabel, Wanderfalke	etwa 60 km/Stunde
Star	etwa 75 km/Stunde
Brieftaube, Watvögelarten	etwa 90 km/Stunde
Krickente	etwa 120 km/Stunde
Fregattvogel, Mauersegler	etwa 150 km/Stunde
kleine Singvögel	täglich 40···70 km
Storch auf dem Herbstzug	täglich 120···200 km
Schnepfen auf dem Herbstzug	täglich 400···500 km

Höchstleistungen:

die Rotschwanzwürger überfliegen in 11 bis 12 Stunden das Meer zwischen Japan und China ..... 700···800 km

die Goldregenpfeifer überqueren durchschnittlich in 22 Stunden die Strecke zwischen den Alëuten und den Hawaii-Inseln ..... 3000 km

die nordamerikanischen Küstenseeschwalben bewältigen zweimal im Jahr die Strecke zwischen ihren Brutplätzen im nördlichen Eismeer und ihren antarktischen Winterquartieren südlich Feuerland ..... 17000 km

Die Erforschung des Vogelzuges:

Die wichtigsten deutschen ornithologischen Beobachtungsstätten sind in der DDR die Vogelwarte Hiddensee und in Westdeutschland die Vogelwarten Helgoland und Radolfzell. Dank ihrer geographischen Lage strömen an diesen Orten unzählige Vogelscharen vorüber; so haben in der Nacht vom 3. zum 4. September 1926 etwa 75000 Singvögel Helgoland überflogen. Um Wanderzeit und -richtung festzustellen, wird vielen Vögeln (in Helgoland jährlich 90000) ein 0,05 bis 3 g schwerer Aluminiumring mit Nummer und Anschrift der Beringungszentrale (etwa 25 auf der ganzen Erde) um den Fuß gelegt. Obwohl von 1000 Ringen nur 5 (bei Kleinvögeln) bis 450 (beim Hühnerhabicht) wiedergefunden werden, so ist dieser seit 1899 an mehr als 10 Millionen Vögeln wissenschaftlich durchgeführten Methode doch eine unschätzbare Fülle wertvoller Erkenntnisse zu verdanken.

Einige fremdländische Vögel

Name	Länge	Heimat	Lebensweise
Strauß	bis 275 cm Scheitelhöhe (Weibchen etwa 300 cm)	Afrika	flugunfähiger Laufvogel der afrikanischen Steppe mit kräftigen, nackten Beinen, zweizehigen Füßen, großen scharfsichtigen Augen und zerschlissenen Federn, deren Hornstrahlen nicht wie bei anderen Vögeln durch Häkchen zu einer Fahne verbunden sind, kann Schritte bis zu 3 m Länge machen, findet sich oft in Gesellschaft von Antilopen und Zebras. Verwandt sind der die Wälder Neuguineas bevölkernde *Kasuar* und die beiden Steppenbewohner *Emu* (Australien) und *Nandu* (Südamerika)
Kiwi oder Schnepfenstrauß	etwa 25 cm hoch	Neuseeland (3 Arten)	Flachbrustvogel (wie alle Strauße), Schwanzfedern fehlen, die Flügelstummel sind unter dem haarartigen Gefieder versteckt; Nachtvogel und schneller Läufer, sucht mit seinem langen, leicht gebogenen Schnabel Würmer im weichen Waldboden, gutes Riechvermögen, kleine Augen; im Aussterben
Rosapelikan	140···180 cm, davon Schwanz 18 cm	Südosteuropa, Südasien, Afrika	geselliger Vogel, dessen 4 Zehen untereinander durch eine Schwimmhaut verbunden sind; fischt im Flachwasser mit seinem hakenförmigen Schnabel, schlingt selbst große Fische und andere Wirbeltiere unzerkleinert hinunter
Schuhschnabel	140 cm, davon Schwanz 25 cm (Weibchen beträchlitch kleiner)	Afrika, 5···8° nördlicher Breite	ausgesprochener Sumpfvogel, Verwandter des Reihers; meidet offenes Wasser, trägt seinen Leib waagerecht, stößt mit dem breiten, oben leicht eingebogenen und mit einem starken Haken versehenen Schnabel reiherartig nach Fischen
Marabu	160 cm, davon Schwanz 24 cm	Afrika, unter 15° nördlicher Breite	Kropfstorch mit nur wenigen Daunenfedern auf dem grindigen Kopf und dickem, nacktem Hals; trägt seinen Körper ziemlich aufrecht; nährt sich vor allem von kleineren Wirbeltieren

Name	Länge	Heimat	Lebensweise
Sekretär	115···125 cm, davon Schwanz 68 cm; Lauf 29 cm hoch	Afrika	Raubvogel auf langen Stelzen, Steppenbewohner; trägt an adlerartigem Kopfe lange Nackenfedern; hält sich vorwiegend am Boden auf, frißt Schlangen und sonstige Kriechtiere, Lurche, Insekten und kleines Geflügel
Nimmersatt (Ibis ibis)	75 cm, davon Schwanz 16 cm	tropisches Afrika	schwarzweiß gefiederter Storchvogel; wechselt seinen Aufenthalt zwischen Steppe und Flußufer; Insektenfresser, nimmt gelegentlich aber auch kleinere Schlangen auf; von den alten Ägyptern religiös verehrt
Flamingo	130 cm (Weibchen 20 cm kürzer), davon Schwanz 14 cm	Afrika, Amerika, Südwesteuropa	Vogel der flachen Brackgewässer und Strandseen; baut sein Nest auf einem Schlammsockel; durchsucht mit dem gebogenen Schnabel tastend den Schlamm
Brautente	45 cm, davon Schwanz 10 cm	Nordamerika	Schwimmvogel; Baumhöhlenbrüter; weiß eingefaßtes, prächtigbuntes Gefieder, goldgrüne Schopffedern; frißt Wasserpflanzen, Kleintiere des Wassers und Sämereien. Mit ihr verwandt die chinesische *Mandarinente*, mit aufgerichteten Schmuckfedern an den Flügeln
Kondor	102 cm, davon Schwanz 27 cm	südamerikanisches Hochgebirge	größter Raubvogel, dessen mächtige Schwingen 2,75 m klaftern und gefaltet bis zum Schwanz reichen; horstet auf unzugänglichen Felsen, lebt außerhalb der Brutzeit in Gesellschaft; frißt Aas, das er aus großer Höhe eräugt
Bart- oder Lämmergeier	100···115 cm, davon Schwanz 55 cm	Südeuropa, Innerasien, Nordafrika	ein Geieradler und ausgesprochener Hochgebirgsvogel; horstet in unzugänglichen, im Schatten gelegenen Felshöhlen; segelt auf den mächtigen, 2,5 m klafternden Flügeln kilometerweit; frißt Aas, besonders dessen Knochen; jagt auch lebende Tiere in den Abgrund, um sie dann fressen zu können
Schmutzgeier	70 cm, davon Schwanz 26 cm	Südeuropa, Afrika, westliches Mittelasien, Vorderindien	Raubvogel mit stumpfen Krallen und schwachem, langem Hakenschnabel; Kopf und Gesicht wie bei allen Geiern unbefiedert, dagegen Hals und Nacken befiedert; lebt gesellig in der Nähe menschlicher Siedlungen, für die er wegen seiner Vorliebe für die Aas- und Kotnahrung eine Art Gesundheitspolizei darstellt
Argusfasan	170···180 cm, davon Schwanz 120 cm	Südasien, Siam, Sumatera	schlecht fliegender Wald- und Bodenvogel; bekannt durch die Balzspiele des Männchens. Verwandt sind der *Gold-*, *Silber-* und *Königsfasan* Ostasiens
Indisches Wildhuhn (Bankivahuhn)	65 cm, davon Schwanz 27 cm	Indien, malaiische Länder	Waldvogel, Stammform unserer Haushühner; sucht seine Nahrung (Sämereien und Termiten) am Boden scharrend; fliegt gern auf Bäume

Name	Länge	Heimat	Lebensweise
Pfau	110···125 cm, davon Schwanz 60 cm, dazu die 120 cm lange Schleppe	Ostindien, Ceylon	Hühnervogel mit langen, prächtig verzierten Schwanzfedern (Pfauenaugen), die vom balzenden Hahn zum „Rad" aufgestellt werden; bewohnt die offene Landschaft und bergige Waldungen, baumt nachts auf, frißt Körner, Früchte und Kerbtiere, tötet aber auch Schlangen
Krokodilwächter	22 cm, davon Schwanz 7 cm	Ostafrika	lebhafter, etwa drosselgroßer Schnepfenvogel; frißt Würmer, Weichtiere, Insekten, die er auch vom Körper der Krokodile und aus deren Rachen abliest
Steppenhuhn	47 cm, davon Schwanz 20 cm	Innerasien (Kirgisensteppe)	Flughuhn mit sandfarbenem Gefieder und langen Schwanzspießen, Bodenvogel; steilt den Hinterleib beim Futtersuchen auf; erscheint in manchen Jahren, wenn es in der Steppe an Sämereien mangelt, zahlreich in Deutschland
Papageien (viele Arten)	86 cm, davon Schwanz 32 cm	vor allem in den tropischen Urwäldern Afrikas, Asiens, Australiens und Amerikas	Klettervögel mit beweglichem, hakenartigem Oberschnabel, den sie neben den Füßen zum Fortbewegen benutzen („gefiederte Affen"); fressen Nüsse, Körner und Früchte. Die südamerikanischen *Aras* haben derbes Gefieder und sind vorwiegend rotblau, an den Schultern gelb gefärbt. Die australischen *Kakadus* (Papageien mit Federhaube) und *Sittiche* werden gern als Stubenvögel gehalten
Kolibri (viele Arten)	6,5···10,5 cm, davon Schwanz 4 cm	östliche USA ab 57° nördlicher Breite bis Südamerika	kleinste Vögel, den Seglern verwandt; prächtig schillernde Farben, besonders im Gefieder der Männchen; sehr lebhaft und wendig, bauen zierliche, napfförmige Nester im Gezweig, fressen kleine Kerbtiere und saugen Nektar, im Schwirrflug vor den Blüten „rüttelnd", wobei sie diese bestäuben
Großer Paradiesvogel	95···100 cm, davon mittlere Schwanzfedern von 70 cm und ein Schmuckfederbusch im Schwanz von etwa 55 cm Länge	Irian	Verwandter der Rabenvögel; frißt Früchte, Sämereien, gelegentlich auch Eier; die Männchen tragen zur Balzzeit prächtige Schmuckfedern an den Brustseiten
Erzhonigsauger (Nectarina metallica)	15 cm, davon die längsten Schwanzfedern 9,5 cm, die übrigen 4 cm	Ost- und Südafrika	Sperlingsvogel, der „Kolibri der Alten Welt", weil er winzig klein ist, Blüten bestäubt (wobei er sich allerdings — im Gegensatz zu den Kolibris — auf diese niederläßt) und das Männchen ein prächtig glänzendes Gefieder hat. Verwandte Vögel leben in den warmen Ländern der Alten Welt (Indien, Madagaskar) und in Australien
Webervögel (z. B. Pirolweber)	13 cm, davon Schwanz 4,5 cm	Afrika, Asien	gesellige Sperlingsvögel, die sich von Grassämereien nähren. Die Männchen bauen aus Grashalmen kunstvolle napf-, urnen- oder retortenförmige Nester, die entweder freischwebend aufgehängt oder gut befestigt über einen Zweig gelegt sind und sich nach unten öffnen. Den Webervögeln verwandt sind die *Prachtfinken* Australiens

Name	Länge	Heimat	Lebensweise
Tukan oder Pfefferfresser (z. B. Orangetukan)	48 cm, davon Schwanz 16 cm	Brasilien	Spechtvogel mit deutlich gefirstetem, riesigem, aber leichtem Schnabel; häufiger Bewohner der tropischen Urwälder; bewegt sich gewandt im Baum und krähenartig am Boden; frißt Früchte. Das Weibchen brütet in einer vom Männchen zugemauerten Höhle und wird von diesem gefüttert, bis die Jungen flügge sind
		Polarvögel (Arktis und Antarktis)	
Polartaucher	77 cm, davon Schwanz 6 cm	Norden der Alten und der Neuen Welt	Küstenbewohner mit nahezu aufrechter Körperhaltung, dessen Beine von der Körperhaut fast bis ans Fersengelenk umschlossen werden; brütet an Binnenseen; frißt neben größeren Wasserinsekten und Kerbtieren vorwiegend Fische
Albatros	116 cm, davon Schwanz 23 cm	südlicher Stiller und Atlantischer Ozean	außerordentlich fluggewandter und ausdauernder Sturmvogel; klaftert gegen 4 m; geht nur zur Brutzeit an Land, wo er das einzige Ei in einer flachen, moosgepolsterten Mulde ausbrütet
Königspinguin	96···100 cm, davon Schwanz 11 cm	antarktische Inseln	flugunfähiger, geselliger Vogel von sackförmiger, senkrecht auf kurzen Beinen stehender Gestalt, mit kurzen, zu Flossen umgebildeten Flügeln, weißer Bauch- und schwarzer Rückenseite; jagt unter Wasser gewandt den Fischen nach; erbrütet das einzige Ei zwischen den Füßen und einer Brutfalte; einige Arten graben auch Bruthöhlen
Tordalk	42 cm, davon Schwanz 9 cm	nördlicher Atlantischer Ozean	Meeresbewohner; brütet in Gesellschaft der Lummen auf Vogelbergen, in Felsenritzen, läuft unbeholfen auf Lauf und Zehen zugleich, fliegt aber schnell mit schwirrendem Flügelschlag und taucht und schwimmt sehr gewandt; der schmal gefirstete Schnabel hat vorn ein weißes Querband
Trottellumme	46 cm, davon Schwanz 6 cm	nördliche Meere bis 70° nördlicher Breite	Meeresbewohner, der „fliegende Pinguin"; brütet gesellig auf Vogelbergen; früher auch auf Helgoland; hält sich im Sitzen aufrecht, klettert gut, schwimmt geschickt und taucht seiner Nahrung (Fischen und Krebsen) nach
Schnee-Eule	68···71 cm, davon Schwanz 26 cm	nordpolare Länder	Eulenvogel mit hartem, weißgrundigem Gefieder, dessen braune Tüpfelung mit zunehmendem Alter abnimmt, bewohnt waldlose, menschenleere Gegenden; jagt tags und nachts auf Lemminge und Mäuse

KRIECHTIERE

Merkmale und Charakteristik. Die heute lebenden Kriechtiere sind in ihrer Mehrzahl abweichend gestaltete Sonderformen einer im Erdmittelalter in höchster Mannigfaltigkeit vertretenen Kriechtierfauna. Nur die Schildkröten und Krokodile haben ihre Urtümlichkeit bewahrt. Die in der Gegenwart artenmäßig am stärksten vertretenen Eidechsen und Schlangen sind verhältnismäßig jungen

Ursprungs. Beide Gruppen umfassen jeweils etwa 2000 Arten, während von Schildkröten rund 200 und von Krokodilen nur 20 Arten in der Gegenwart leben. Die Kriechtierhaut ist von *Hornschilden* oder *Hornschuppen* bedeckt. Die Schuppen sind entweder dachziegelartig angeordnet (Schlangen) oder als Perlschuppen (Eidechsen) ausgebildet. Die verhornte Haut bildet einen wirkungsvollen *Verdunstungsschutz*.
Hautdrüsen fehlen. Die Kriechtiere sind *wechselwarme* Tiere; nach den Polen zu nimmt die Artenzahl rasch ab. Bei absinkender Außentemperatur versinken sie in Kältestarre.
Im Gegensatz zu den Lurchen haben sich die Kriechtiere völlig vom Wasser gelöst. Vor allem ist die ontogenetische Entwicklung vom Wasser unabhängig geworden. Das Kriechtierei wird von einer *pergamentartigen Hülle* geschützt. Voraussetzung für die Ablage solcher beschalter Eier ist die innere Befruchtung. Das Kriechtierei enthält viel Nährmaterial. Ein in Wasser lebendes Larvenstadium (wie bei den meisten Lurchen) entfällt. Die Jungtiere verlassen voll ausgebildet die Eihülle. Einige Formen, die in die kühleren Klimazonen vorgedrungen sind (Kreuzotter und Waldeidechse), werden als „lebendgebärend" bezeichnet, d. h. bei ihnen reifen die Eier im Mutterleib so weit, daß die Jungtiere schon während der Geburt die Eihülle verlassen.

Die einheimischen Kriechtiere

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Sumpfschildkröte	bis 25 cm	Sümpfe, Teiche, tote Flußarme, langsam fließende Gewässer	sehr scheu; flieht bei Gefahr ins Wasser; sonnt sich gern am Ufer; frißt Würmer, Fische, Lurche; Eier (3···16) in selbstgegrabener Grube an Land abgelegt; sehr selten, dem Aussterben nahe
Blindschleiche	bis 50 cm	sonnige, mäßig feuchte Hänge, buschreiche Wald- und Wiesenränder, Schonungen	fußlose Eidechsenform; $^2/_3$ der Körperlänge entfallen auf den Schwanz; lebendgebärend; harmlos
Zauneidechse	bis 24 cm	Fluren, Feldränder, Dämme, Hecken, Heide, trockene Waldränder	gräbt ihr Eigelege (5···14 Eier) im Juni/Juli in den Boden ein; von Ende September bis April im Winterquartier (Erdlöcher in $^1/_2$ m Tiefe)
Smaragdeidechse	bis 40 cm	stark besonnte Hänge, lichte Buschwälder, Weinbergmauern; an wenigen Stellen Westdeutschlands und Brandenburgs	sehr lebhaft, klettert gut; frißt auch junge Artgenossen und andere Eidechsen; Männchen mit blauer Kehle
Waldeidechse (Berg-, Moreidechse)	bis 16 cm	Wälder, feuchte Wiesen, Moore, auch Heide, Dünen; im Norden in der Ebene, im Süden im Gebirge	lebendgebärend, 3···10 Junge im Juli/August; vom Oktober bis Februar Winterstarre
Ringelnatter	bis 150 cm	besonnte, pflanzenreiche Teich- und Bachufer	harmlos, verteidigt sich mit Stinkdrüsen und Zischen; legt im Juli/August etwa 20 Eier in Erde, Dung, unter Laub; verklebte traubenförmige Gelege; verschlingt ihre Beutetiere (Frösche, Kröten, Molche) lebend; Winterstarre von Oktober bis April
Glattnatter (Schlingnatter)	bis 75 cm	Heide, trockene Waldlichtungen, Steinbrüche, Weinbergmauern	lebendgebärend; ungiftig, kann aber den Menschen blutig beißen; tötet ihre Beutetiere (Eidechsen) durch Umschlingen
Kreuzotter	bis 75 cm	Ödland, strauchreiche Waldränder, Wiesen, Heide, Moore, im Gebirge sonnige Matten und Geröllhalden	Giftschlange; 5···16 Junge im August/September; vergiftet ihre Beutetiere (Mäuse, Eidechsen) durch Biß, läßt sie los, packt sie nach ihrem Tode dann erneut und verschlingt sie

Einige fremdländische Kriechtiere

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Griechische Landschildkröte	bis 20 cm	Griechenland; Italien; dürre, gebüschreiche Gegenden	frißt Kräuter, Früchte, Schnekken, Würmer, Insekten; wird oft in Gefangenschaft gehalten
Maurische Landschildkröte	bis 25 cm	Spanien, Nordafrika, Ostbalkan, Südwestasien	Lebensweise wie vorige Art; bei der Maurischen Landschildkröte ist das über dem Schwanz gelegene Hornschild einheitlich, bei der griechischen geteilt
Karettschildkröte	bis 30 cm	subtropische Meere	lebt von tierischer Kost; wurde des Schildpatts wegen stark verfolgt
Suppenschildkröte	bis 110 cm	tropische und subtropische Meere	frißt Seepflanzen; ihre Eier und ihr Fleisch werden verwertet
Mauergecko	12···18 cm	Mittelmeerländer; Felsen, Mauern, Häuser	Insektenfresser; läuft mit Hilfe seiner Haftzehen auch an senkrechten Wänden
Meerechse	bis 135 cm	Galapagosinseln	echtes Meerestier; lebt von Meeresalgen
Flugdrache	bis 21 cm	Sundainseln, Malakka; Urwälder	baumbewohnender Gleitflieger mit halbkreisförmiger, von Rippen gestützter, wie ein Fallschirm wirkender Flughaut an jeder Körperseite
Gemeines Chamäleon	bis 30 cm	Südspanien, Nordafrika, Kreta, Kleinasien	ausgesprochenes Baumtier; grün, mit starkem Farbwechselvermögen; bewegt die Augen unabhängig voneinander
Gilatier	bis 60 cm	Wüsten von Arizona und New Mexiko	einzige Eidechse mit Giftzähnen und Giftdrüsen
Scheltopusik	bis 110 cm	Balkan, Krim, Kleinasien, Kaukasus, Turkestan; strauchreiche Täler	schlangenartige Eidechse ohne Vorderbeine und mit stummelförmigen Hinterbeinen
Riesenwaran (Komodoechse)	bis 4 m	Komodo, Flores und andere Sundainseln	frißt Ratten, Schweine, Vögel; erst 1912 entdeckt
Netzschlange (Gitterschlange)	bis 10 m	Hinterindien, Sundainseln	Riesenschlange; erstickt ihre Beute (kleine bis mittelgroße Säugetiere, Vögel) durch Umschlingen und verschlingt sie dann
Königsschlange (Abgottschlange, Boa)	bis 4 m	Brasilien; Erdhöhlen, Felsklüfte, Bäume	Riesenschlange; frißt vor allem kleine Säugetiere
Eierschlange	bis 80 cm	Afrika	verschlingt ganze Vogeleier, deren Schalen in der Speiseröhre von den Wirbelfortsätzen zerdrückt werden
Brillenschlange (Kobra)	bis $1^3/_4$ m	Sundainseln, Indien, westwärts bis zum Kaspischen Meer	Giftschlange; breitet gereizt den Vorderkörper (mit Brillenzeichnung) durch Abspreizen der Rippen scheibenförmig aus; frißt Ratten, Mäuse, Vögel
Uräusschlange	bis $2^1/_4$ m	Nord- und Ostafrika; Felder, Wüsten, Steppen, Buschland	gefährliche Giftschlange; frißt kleine Säugetiere, Vögel, Eidechsen, Frösche
Schwarze Mamba	bis $3^1/_2$ m	Afrika; Sumpf- und Waldgebiete	gefährliche, angriffslustige Giftschlange
Puffotter	bis $1^1/_2$ m	Afrika	sehr gefährliche Giftschlange; frißt kleine Säugetiere
Buschmeister	bis 4 m	Südamerika; schattige Wälder	gefährliche Giftschlange; frißt Säugetiere

Art	Körperlänge	Lebensraum	Lebensweise
Klapperschlange	bis 1½ m	südliches Nordamerika; sonnige Anhöhen	gefährliche Giftschlange; besitzt am Hinterende eine „Klapper" aus hornigen Gliedern, die am Schwanzende als Reste vorangegangener Häutungen zurückbleiben; frißt Frösche, kleine Säugetiere, Vögel
Nilkrokodil	bis 10 m	Oberlauf des Nils, überhaupt Flüsse Afrikas	lebt von Fischen, Säugetieren und Vögeln
Hechtalligator	bis 4½ m	Flüsse des Südostens der USA	frißt Fische, gelegentlich auch Säugetiere und Vögel
Schakaré (Kaiman)	bis 3½ m	Flüsse Südamerikas	frißt Fische und Wasservögel
Gavial (Schnabelkrokodil)	bis 6 m	Indus, Ganges, Bramaputra	lebt von Fischen; von den Indern religiös verehrt

LURCHE

Merkmale und Charakteristik. Wechselwarme Wirbeltiere mit nackter, drüsenreicher Haut. Verdunstungsschutz sehr gering. Extremitäten meist vorhanden mit 4 Fingern und 5 Zehen. Die Rippen erreichen nicht das Brustbein. Die Entwicklung verläuft bei den meisten Arten über ein im Wasser lebendes Larvenstadium mit Kiemen. Die mit einer gallertartigen Hülle versehenen Eier werden nach äußerer oder innerer Befruchtung ins Wasser gelegt. Die erwachsenen Tiere atmen durch Lungen, wobei der Mundhöhlen- und Hautatmung noch eine große Bedeutung zukommt. Der ontogenetische Übergang vom Wasser zum Land erfolgt als *Metamorphose* (Verwandlung), wobei die Kiemen, die Hautsäume oder der Ruderschwanz (Froschlurche) rückgebildet werden.
Lurche existieren seit dem Devon. Die Zeit der höchsten Entfaltung dieser Wirbeltierklasse fiel in das Karbon. Die heute lebenden Formen sind stark spezialisiert und unterscheiden sich in vielen Merkmalen von den altertümlichen Vertretern der Gruppe. Lurche leben amphibisch im Süßwasser und am Land; Meeresformen sind nicht entwickelt worden.

Die einheimischen Lurche

Art	Körperlänge	Lebensraum	Fortpflanzung
Feuersalamander	bis 20 cm	feuchte Bergwälder	lebendgebärend, setzt etwa 20 Larven in Bächen oder Quelltümpeln ab
Alpensalamander	15 cm	Alpen	gebiert bis 2 fertig entwickelte Junge
Kammolch	bis 14 cm	Flachland und Hügelland; im Frühjahr größere stehende Gewässer, sonst deren Nähe	setzt 100 bis 400 Eier einzeln an Wasserpflanzen ab
Bergmolch	bis 11 cm	bewaldete Gebirge; im Frühjahr und Sommer fließende und stehende Gewässer, sonst deren Nähe	wie Kammolch
Teichmolch	bis 11 cm	überall in kleineren und größeren Wasseransammlungen	wie Kammolch
Fadenmolch	bis 9 cm	wie Bergmolch	setzt Eier einzeln ab, besonders an Quellmoos in Bächen
Tieflandunke (Rotbauchunke)	bis 4½ cm	in der Tiefebene; klare Tümpel, Teiche, Altwässer und Gräben	setzt etwa 300 Eier gruppenweise an Wasserpflanzen ab
Bergunke (Gelbbauchunke)	bis 4½ cm	vorwiegend im Gebirge; Pfützen, Tümpel, auch größere Gewässer	setzt Eier einzeln oder in kleinen Gruppen an Wasserpflanzen ab
Geburtshelferkröte	bis 4½ cm	im Hügelland unter Steinen, Baumwurzeln und Gemäuer; Mitteldeutschland (östlich bis zum Harz und Westthüringen)	das Männchen trägt die um die Hinterbeine gewickelten Laichschnüre (mit 80 Eiern) mit sich herum, bis die Larven schlüpfreif sind, dann streift es den Laich im Wasser ab

Art	Körperlänge	Lebensraum	Fortpflanzung
Knoblauchkröte	bis 8 cm	Tiefebene; lockerer Sandboden; gräbt gut	setzt dicke, kurze Laichschnur im Wasser ab, sehr große Kaulquappen, die sich erst im folgenden Jahr umwandeln
Erdkröte	bis 13 cm	überall, auch in der Kulturlandschaft, bis über die Baumgrenze hinauf; auch in Kellern	setzt zwei 3···5 m lange Laichschnüre mit über 6000 Eiern im flachen Wasser ab
Wechselkröte	bis 8 cm	wie Erdkröte, aber nicht in ausgedehnten Waldgebieten	2 Laichschnüre mit über 10000 Eiern
Kreuzkröte	bis 7 cm	besonders Sandgegenden; läuft rasch	2 kurze Laichschnüre mit 3000···4000 Eiern
Laubfrosch	bis 5 cm	Sümpfe, Röhricht, Waldränder, feuchte Wiesen, Gärten	setzt mehrere walnußgroße Laichklumpen mit 800···1000 Eiern in Teichen ab
Wasserfrosch	bis 9 cm	Wassergräben, kleine Tümpel, Moore, auch größere Teiche und Seen	bis 12000 Eier; Laichklumpen kleiner als die des Seefrosches
Seefrosch	bis 15 cm	Seen, große Teiche, Flüsse, brackige Gewässer	bis 10000 Eier in mehreren Klumpen
Grasfrosch	bis 10 cm	überall in der pflanzenreichen Natur- und Kulturlandschaft; von April bis Mitte Oktober am Land	mehrere Laichklumpen mit 2000···4000 Eiern
Moorfrosch	bis $6^1/_2$ cm	Tiefebene; sumpfige Wiesen, Moore, Auenwälder; nur zum Laichen im Wasser	Männchen zur Laichzeit blau; 1 bis 2 Laichklumpen mit zusammen 2000 Eiern
Springfrosch	bis 6 cm	lichte Buchen- und Mischwälder, Waldwiesen; in unserem Gebiet selten	setzt mehrere kleine Laichklumpen in Waldtümpeln ab
		Fremdländische Lurche	
Nasenfrosch	3 cm	Chile	die 20 Eier entwickeln sich im Kehlsack des Männchens
Wabenkröte	15···20 cm	Guayana, tropisches Brasilien	die 60···70 Eier entwickeln sich in wabenförmigen Bruttaschen auf dem Rücken des Weibchens
Riesenkröte oder Aga	25 cm	Süd- und Mittelamerika	lange Eischnüre
Hornfrosch	20 cm	Südamerika; vergräbt sich bis zum Kopf im Boden	—
Hyla goeldii (Laubfroschart)	—	Brasilien	die Eier entwickeln sich in einer Ringfalte auf dem Rücken des Weibchens
Phyllobates limbatus (Baumfroschart)	1,15 cm	Cuba	setzt jährlich nur 1 Ei ab
Taschenfrosch	—	Perú, Ekuador	die Eier entwickeln sich in einer Rückentasche des Weibchens
Ochsenfrosch	20 cm	Nordamerika	—
Goliathfrosch	25 cm	Afrika	—
Flugfrosch	7 cm	Djawa, Sumatera; Bergwälder	ein Gleitflieger; klebt die Eier in einer Schaummasse an Blätter an. Die Kaulquappen werden dann durch den Regen ins Wasser geschwemmt
Querzahnmolch	20 cm	Mexiko; in Seen	schon als Larve geschlechtsreif (Axolotl)
Grottenolm	25 cm	unterirdische Gewässer Jugoslawiens	in der Freiheit lebendgebärend, in Gefangenschaft eierlegend
Ringelwühle	40 cm	nördliches Südamerika; im Boden; fußlos	setzt die Eierschnüre unter Wurzeln u. ä. ab

FISCHE

Merkmale und Charakteristik. Diese Wirbeltiergruppe umfaßt sehr unterschiedliche Bauplantypen. Die äußerliche Ähnlichkeit ist durch das Leben im Wasser mit seinen besonderen funktionellen Anforderungen bedingt. Klassifikatorisch werden heute drei Klassen unterschieden: 1. *Kieferlose*, 2. *Knorpelfische*, 3. *Knochenfische*. Von den seit dem Silur existierenden Kieferlosen lebt in der Gegenwart nur noch die stark abgewandelte Gruppe der Rundmäuler (z. B. Neunauge). Die Knorpelfische, zu denen Haie, Rochen und Seedrachen zählen, bewahren auch in erwachsenem Zustand das embryonale Knorpelskelett. Alle übrigen Fische gehören zu den Knochenfischen. Bei manchen Angehörigen dieser Gruppe hat sich allerdings das Knochenskelett weitgehend rückgebildet (z. B. Störe). In diesen Fällen bleibt ebenfalls das knorpelige Embryonalskelett erhalten.
Fische sind wechselwarme Wirbeltiere. Bei Knorpel- und Knochenfischen sind zwei Flossenpaare neben den unpaaren Flossen vorhanden. Die Haut ist nackt oder bildet in der Unterhaut Schuppen aus. Die *Plakoidschuppen* der Haie und Rochen bestehen aus einer knochenähnlichen Substanz, die von einer Schmelzschicht bedeckt ist.

Einige Fischarten

Fischart	Länge in m	Körpermasse (in kg) bis zu	Aufenthalt	Bemerkungen
Meerneunauge	1	3	Küsten Europas, Nordamerikas, Westafrikas	Speisefisch
Katzenhai	1	—	westeuropäische Küsten, Mittelmeer	Fischräuber
Riesenhai	9···12	1000 (im Einzelfall mehr)	Stiller Ozean, nördliche Meere, Mittelmeer	harmloser Planktonfresser
Blauhai (Menschenhai)	3···4	200 (im Einzelfall mehr)	tropische und subtropische Meere, Mittelmeer	Raubfisch, greift auch Menschen an
Glattroche	2,5 (1,5 breit)	75	nördliche Meere, Nord- und Ostsee	wohlschmeckend
Australischer Lungenfisch	1,75	10	australische Flüsse Murray und Burnett	kann im Schlamm Trockenheit überstehen und atmet dann durch Lungensäcke
Stör	2···6	100 (im Einzelfall mehr)	Atlantischer Ozean, Nord- und Ostsee, Mittelmeer, Schwarzes Meer, Kaspisee	Speisefisch, Eier liefern Kaviar
Hering	bis 0,4	0,3	nördlicher Atlantischer Ozean, nördliche Küsten Asiens	Speisefisch
Sprotte	0,15	—	Nord- und Ostsee, Mittelmeer, Schwarzes Meer	Speisefisch
Sardine	0,15···0,25	—	westeuropäische Küsten	Speisefisch
Lachs	bis 1,5	45	Atlantischer Ozean; wandert zum Laichen in den Flüssen quellwärts	Speisefisch
Bachforelle	0,3···0,4	1	europäische Gebirgsbäche und -seen	Speisefisch
in tiefen Seen	0,9	6		
Blaufelchen	0,5	1	Voralpenseen, vor allem Bodensee	Speisefisch
Flußaal			europäische Flüsse; zum Laichen im Meer	Speisefisch
♂ normal:	0,45	0,25		
♀ maximal:	1,25	6		
Hecht	0,5···2	35	europäische Flüsse, Seen und Teiche	lebt räuberisch, Speisefisch
Zitteraal	2	20	südamerikanische Flüsse	teilt elektrische Schläge aus
Karpfen	bis 1	20	europäische Seen, Teiche und Altwässer (ehemalige, nicht austrocknende Flußarme)	Speisefisch

Fischart	Länge in m	Körpermasse (in kg) bis zu	Aufenthalt	Bemerkungen
Goldfisch	0,25	—	ursprünglich in China und Japan heimisch, jetzt überall gezüchtet	Zierfisch, Abart der *Karausche*
Schleie	0,7	4	Seen, Teiche und Altwässer Europas, Kleinasiens und Westsibiriens	Speisefisch
Zuchtschleie	—	0,5		
Plötze	0,4	1	langsam fließende Gewässer Europas und Sibiriens; auch Ostsee	Speisefisch
Wels	1···4	300	Altwässer der europäischen Flüsse, Kaspisee, Schwarzes Meer	bodenbewohnender Raubfisch
Fliegender Fisch	0,3···0,4	—	tropische Meere, Mittelmeer	kann mit Hilfe seiner langen, ausbreitbaren Brustflossen 20 bis 30 m weit und bis 2 m hoch über die Wasseroberfläche dahingleiten
Stichling	0,08···0,09	—	mitteleuropäische Gewässer, Ostseeküste	Brutpflege durch das Männchen
Mondfisch	bis 2	600	warme Meere	Tiefseefisch; gedrungene Form (Name!); frißt Aallarven
Kabeljau	bis 1,5	25	Atlantischer Ozean	Speisefisch
Schellfisch	bis 0,9	8	Atlantischer Ozean	Speisefisch („Filetfisch", „Forellenstör")
Schlammspringer	0,1···0,15	—	Küstensümpfe und Brackwässer des tropischen Asiens	jagt zur Ebbezeit außerhalb des Wassers auf dem Schlamm nach Insekten
Heilbutt	1,5···2	200	Küsten des Atlantischen Ozeans	Speisefisch
Flunder	0,4···0,5	3	Flachküsten und Flußmündungen des Atlantischen Ozeans und des Eismeers, Nord- und Ostsee	Speisefisch
Scholle	0,8	7	nördliche Meere, Ost- und Nordsee	Speisefisch
Flußbarsch	0,25···0,6	4	Bäche, Flüsse, Seen und Teiche Europas, Nordasiens und Nordamerikas	Speisefisch
Zander	1,3	18	europäische Flüsse und Seen	Speisefisch
Schwertfisch	3···4	300	tropische Meere und wärmere Meeresteile der nördlichen Zone	Oberkiefer schwertförmig verlängert
Schiffshalter	0,25	—	tropische Meere, Mittelmeer	saugt sich mittels einer Saugscheibe an Haien und Schiffen fest
Makrele	0,4···0,5	1	Atlantischer Ozean, Nordsee und westliche Ostsee, Mittelmeer, Schwarzes Meer	Speisefisch
Thunfisch	2···3	300	Indischer und Atlantischer Ozean, Mittelmeer	Speisefisch

Für das Wachstum der Fische spielt die Größe des Lebensraumes eine große Rolle. Der im Kattegat und in der Ostsee lebende *Kabeljau* bleibt kleiner und wird *Dorsch* genannt. — Aquarienfische erreichen nicht die Größe ihrer wildlebenden Artgenossen.

Elektrische Fische

	bei einer Entladung entwickelte Spannung in Volt	elektrisches Organ entstanden aus
Zitterrochen	30···35	Rumpfmuskeln
Zitterwels	200	Hautdrüsen
Zitteraal	300···400	Schwanzmuskeln

Wandernde Fische

1. Fische, die im Meere leben und zum Laichen in die Flüsse hineinwandern (*anadrome* Fische):
Meerneunauge und *Flußneunauge*; wandern im Herbst in die Flüsse ein, laichen im Frühjahr in deren Oberläufen und sterben nach dem Laichen ab. Die aus den Eiern schlüpfenden Larven (*Querder*) bleiben mehrere Jahre in den Oberläufen der Flüsse, wandeln sich dann zu vollausgebildeten Neunaugen um und wandern ins Meer ab.
Stör; lebt nahe dem Meeresboden, wandert im Frühjahr zum Laichen in die Flüsse ein (früher in den Rhein bis Speyer, in die Elbe bis in die nördliche Tschechoslowakei); die Jungstöre bleiben 2 bis 3 Jahre im Fluß, ehe sie zum Meer ziehen.
Sterlet; wandert im Frühjahr in die Flüsse ein (in die Donau bis Wien, gelegentlich bis Ulm; in die Wolga, den Ob).
Hausen; wandert zum Laichen aus dem Schwarzen und dem Kaspischen Meer in deren Zuflüsse ein (in die Donau bis zum Eisernen Tor).
Lachs; wandert zum Laichen in die Oberläufe der Flüsse. Im Mündungsgebiet des *Rheins* erscheinen um den St.-Jakobs-Tag (25. Juli) als erste die „Jakobslachse", junge 3jährige Männchen; ihnen folgen im August die „Sommerlachse", junge 4jährige Weibchen, die zum ersten Mal laichen wollen; von November bis März wandern dann die älteren großen „Winterlachse" stromaufwärts. Im Unterlauf der Elbe erscheinen im August die „Bartholomäuslachse", kleine Männchen, im April und im Mai die jungen Weibchen; die großen, alten Lachse wandern von Januar bis Mai. Der Lachs wandert sehr langsam; er kommt erst im Winter in seinem Laichgebiet an. Nach dem Laichen kehrt er ins Meer zurück; die Brut bleibt 1 bis 5 Jahre in den Oberläufen der Flüsse.
Stint; lebt an den Küsten Nordeuropas, der Ostsee und Nordamerikas, wandert zum Laichen flußaufwärts.
Maifisch (*Alse*, gehört zu den Heringen); lebt an allen europäischen Küsten, wandert meist im Mai in die Flüsse ein (wird um diese Zeit im Rhein bis Mainz hinauf massenhaft gefangen), laicht im Herbst; die Jungfische wandern im nächsten Frühjahr ins Meer.

2. Fische, die in Binnengewässern leben und zum Laichen ins Meer wandern (*katadrome* Fische):
Europäischer Flußaal; wandert im Spätsommer und Herbst nach mindestens 5- bis 8jährigem Aufenthalt im Süßwasser stromabwärts ins Meer, wird hier geschlechtsreif, laicht in der Sargassosee und stirbt nach der Fortpflanzung. Die Larven wandern als „Glasaale" im Zeitraum von etwa 3 Jahren nach den europäischen Küsten, verwandeln sich in kleine „Steigaale" und gehen im 4. Frühjahr flußaufwärts (in der Schweiz bis 3000 m Höhe).
Amerikanischer Flußaal; wandert zum Laichen ins Meer; sein Laichgebiet liegt dem des Europäischen Flußaales sehr nahe und überschneidet sich teilweise mit ihm. Die Larven wachsen rasch heran, ziehen zur amerikanische Küste und wandern als Jungaale im 2. Frühjahr in die Flüsse ein.

3. Fische, die im Meere umfangreiche Wanderungen zu ihren Laichplätzen unternehmen:
Scholle; hält sich in der Nähe der Küsten auf, wandert zum Laichen von den Küsten weg, um salzhaltigeres Wasser aufzusuchen. Hauptlaichgebiete: in der Nordsee im Bereiche der „Tiefen Rinne" zwischen Holland und England, in der Ostsee an den tiefsten Stellen bei Bornholm und Rügen.
Hering; der Küstenhering lebt in der Nähe der Küsten und sucht besonders im Frühjahr das brackige Wasser von Buchten und Flußmündungen zum Laichen auf (Frühjahrshering). Der Seehering lebt in der Hochsee und zieht meist im Herbst in seine im salzhaltigen Wasser gelegenen Laichgebiete (Herbsthering). — Der norwegische Hering laicht an der Südwestecke Norwegens; die Meeresströmungen tragen die winzigen Jungfische bis zum Nordkap, von wo aus sie, wenn sie größer werden, allmählich wieder nach dem Laichgebiet zurückwandern (über 1700 km). Unterwegs wachsen sie zu „Fettheringen" heran. Die erwachsenen „Frühjahrsheringe" laichen in den Fjorden der norwegischen Westküste.
Schellfisch; hält sich der besseren Ernährungsmöglichkeiten wegen in der Nähe der Küsten auf, wandert zur Fortpflanzung nach seinem Hauptlaichgebiet in der Nordsee am Nordrande der Großen Fischerbank.
Kabeljau; wandert in regelmäßigen Wiederholungen von seinem Laichgebiet zu seinen „Weideplätzen" und zurück. z. B. von den Laichplätzen an der norwegischen Küste bei den Lofoteninseln nordwärts zu den Weideplätzen an der Küste von Finnmarken (Gegend des Nordkaps).

INSEKTEN

Flug- und Raupenzeit einheimischer Schmetterlinge

Schmetterling	Flugzeit	Raupe	Futterpflanzen
Brauner Bär	Juni bis August	Herbst bis Juni	vielerlei Pflanzen, Kräuter und Sträucher
Nonne	Juli/August	April bis Juni	alle Laub- und Nadelhölzer
Schwammspinner	Juli bis September	April/Mai	Obstbäume
Mondvogel	Mai bis Juli	Juni bis Oktober	Linde, Pappel, Eiche
Rotes Ordensband	Juli bis September	Mai/Juni	Weide, Pappel
Hausmutter	Juni bis November	Frühjahr	Gräser und Kräuter
Totenkopf	Sommer	Juli bis September	Kartoffel
Kiefernschwärmer	April bis Juli	Juni bis Herbst	Kiefer, Fichte
Wolfsmilchschwärmer	Mai bis Herbst	Juni bis Oktober	Zypressenwolfsmilch
Abendpfauenauge	April bis Juli	Juni bis September	Weide, Pappel, Linde, Apfel-, Birnbaum
Lindenschwärmer	April bis Juli	Juni bis September	Linde
Ringelspinner	Juni bis Juli	April bis Juni	Obstbäume, Eiche, Ulme
Kleines Nachtpfauenauge	Mai/Juni	Mai bis August	Brombeere, Himbeere, Heidelbeere, Heidekraut, Rose
Schwalbenschwanz	April/Mai; Juli bis September	Juni/Juli; August	Möhre und andere Doldenblütler
Segelfalter	April bis Juni; August	Juni bis Herbst	Schlehe
Zitronenfalter	Juli bis Herbst; nach dem Überwintern im zeitigen Frühjahr	Mai/Juni	Kreuzdorn, Faulbaum
Kohlweißling	Mai/Juni; Juli bis Herbst	Mai bis August	Kohlarten
Admiral	Mai/Juni; August/September	Mai/Juni; Juli bis September	Brennessel, Distel
Distelfalter	Mai bis September	Mai bis September	Distel, Brennessel
Trauermantel	Juli bis Herbst; nach dem Überwintern bis zum April	Mai bis Juli	Weide, Pappel, Birke, Ulme
Tagpfauenauge	Juni bis Spätherbst; nach dem Überwintern im März/April	Mai/Juni; August/September	Brennessel, Hopfen
Kleiner Fuchs	Juni bis Oktober	Juni bis Oktober	Brennessel
Großer Fuchs	Juni bis Oktober; nach dem Überwintern im zeitigen Frühjahr	Juni bis August	Obstbäume, Weide, Ulme, Pappel
C-Falter	April bis Juni; August bis Oktober; nach dem Überwintern im zeitigen Frühjahr	Mai/Juni; August/September	Stachelbeere, Johannisbeere, Hopfen, Brennnessel
Großer Schillerfalter	Juni bis August	im Herbst; nach dem Überwintern bis Mai	Salweide
Brettspiel	Juni bis August	Mai/Juni	Gräser

Mordraupen

(fressen andere Raupen; Vorsicht bei Schmetterlingszuchten!)

Kannibalismus wurde *im Freien* beobachtet bei den Raupen von

Wollkrautmönch	Rohreule	Motteneule
Ulmeneule	Erbseneule	Grasmotteneule

Kannibalismus wurde außerdem *in Gefangenschaft* festgestellt u. a. bei den Raupen von

Weidenbohrer	Brauner Bär	Bandeule	Blatteule
Wollbeinspanner	Schwarzer Bär	Graserdeule	Flachleibeule
Schlehenspanner	Katzenkrautbär	Saateule	Rindeneule
Holunderspanner	Zimtbär	Garteneule	Schwalbenschwanz
Blütenspanner	Buchenspinner	Frühlingseule	Aurorafalter
Blutfleck	Heideeule	Ulmeneule	

Pilzzüchtende Insekten

Insektengruppe	Art der Pilzzucht
Termiten: über 400 Arten Metatermitiden	auf dem Kot der Termiten; als Nahrung für Larven, „König" und „Königin"; dabei köpfchenförmige Wuchsform durch Pflege erzwungen
Ameisen: über 100 Arten Blattschneiderameisen	auf feinzerkauten Pflanzenteilen als Nährboden; dabei durch Verbeißen bestimmte Wuchsform („Kohlrabiköpfchen") erzwungen
Käfer: zahlreiche Borkenkäferarten (Kernholzkäfer)	Pilzkulturen durch mitgebrachte Sporen vom Weibchen in den Bohrgängen angelegt; die „Ambrosia" genannten Entwicklungsstadien der Pilze dienen den Larven als Nahrung
Zweiflügler: viele Gallmückenarten	Pilzsporen durch Larven in die Gallen eingeschleppt; der Pilzrasen wird dann von den Larven abgeweidet („Ambrosiagallen")

Manche Insektenarten züchten regelmäßig Pilze, die ihnen als ausschließliche Nahrung dienen.

Insektenstaaten. Als „Staaten" sind Insektenvereinigungen mit ausgeprägter Arbeitsteilung und von meist längerem Bestand zu bezeichnen.
Alle Tiere eines *Hummel-* oder *Wespennestes* stammen von einem Muttertier ab, das im Frühjahr den Nestbau begonnen hat und im Herbst mit fast sämtlichen Nestinsassen umkommt. Nur wenige befruchtete Weibchen bleiben am Leben, überwintern und bauen im nächsten Frühjahr neue Nester. Das Nest der *Feldwespe* beherbergt 15 bis 30 Tiere, das der *Deutschen Wespe* 3000 bis 5000 Tiere. Im *Hummelnest* entwickeln sich höchstens 300 bis 400 Tiere; meist sind aber nur 50 bis 150 vorhanden. *Tierstaaten* von mehrjähriger Dauer gibt es nur bei den Termiten, Ameisen und Honigbienen.
Der Staat der *Termiten* (es gibt etwa 2000 Termitenarten) besteht aus einem einzigen fortpflanzungsfähigen Weibchen und einem zeugungsfähigen Männchen, aus geschlechtslosen Männchen und Weibchen, die verschiedene Funktionen im Staate haben (Brutpflege, Verteidigung). Er umfaßt mehrere hundert bis mehrere 100 Millionen Tiere. Der Staat der *Ameisen* (es gibt etwa 6000 Ameisenarten) besteht wiederum nur aus einem fortpflanzungsfähigen Weibchen und fortpflanzungsunfähigen Arbeiterinnen, die z. T. auch Verteidigungsfunktionen haben. Männchen sind nur vorübergehend vorhanden (Hochzeitsflug!). In den Ameisennestern leben je nach Art eine halbe Million bis mehrere Millionen Tiere.
Der Staat der *Honigbienen* (es gibt 3 bis 4 Arten) besteht aus der Stockmutter (Königin), 20000 bis 30000 Arbeiterinnen, davon 15000 Trachtbienen (Honigsammlerinnen), und zeitweise 200 bis 300 Drohnen (Männchen). Volkreiche Staaten können über 75000 Individuen umfassen. Alljährlich werden einige neue Stockmütter herangezogen. Bevor die erste junge schlüpft, verläßt die alte mit der Hälfte des Volkes den Stock als „Vorschwarm". Ist das Volk stark, so verläßt die geschlüpfte junge Stockmutter mit einem Teil der Insassen ebenfalls den Stock als „Nachschwarm". Es können nacheinander auch mehrere Nachschwärme ausfliegen. Im alten Stock bleibt immer nur ein junges geschlechtsfähiges Muttertier zurück; weitere noch ausschlüpfende werden von diesem getötet.

VII. Haustiere

HAUSTIER UND MENSCH

Die Beziehungen zwischen Mensch und Tier. Der Mensch existiert als gesellschaftliches Wesen, das Werkzeuge benutzt und Werkzeuge herstellt, das Sprache und Denken ausbildete, das die verschiedenartigsten Naturkräfte nutzen lernte, seit über 600000 Jahren. Während dieser Zeit haben sich die Beziehungen zwischen Mensch und Tier vielfältig gewandelt. Eines aber ist geblieben: Sowohl der altsteinzeitliche Jäger als auch der Mensch der Gegenwart benötigen das Tier für ihren Unterhalt. Der Mensch der Altsteinzeit tötete Tiere, um Nahrung und Rohstoffe zu gewinnen. Aus Häuten, Knochen, Sehnen, Därmen und Zähnen fertigte er Gegenstände seines Bedarfs. Auch dem Menschen der Gegenwart liefert der tierische Organismus Lebensmittel und Rohstoffe für Kleidung, Schuhwerk und viele technische Zwecke. Zwar geht die rohstoffliche Bedeutung des tierischen Organismus zurück, da die Industrie andere Rohstoffquellen erschlossen und zahlreiche neue Rohstoffe geschaffen hat. Aber es entstanden in jüngerer Zeit auch neue Formen der Nutzung, durch die das tierische Lebewesen dem Menschen unentbehrlich bleibt. So werden z. B. in der medizinischen Forschung, beim Nachweis von Krankheitserregern und bei der Gewinnung von Impfstoffen Tiere benötigt.

Das bedeutungsvollste Ereignis in der Geschichte dieser Beziehungen zwischen Mensch und Tier ist zweifellos die Gewinnung von Haustieren durch den Menschen (*Domestikation*). Es hat einer sehr langen Entwicklung bedurft, ehe der Mensch diesen Schritt tat. Etwa 9000 Jahre mag es her sein, als Menschen begannen, Tiere zu domestizieren, d. h. zu Haustieren zu machen. Im Ergebnis der Bemühungen vieler menschlicher Generationen sind unsere heutigen Haustierformen und Haustierrassen entstanden. Der Züchter hat die Leistungen dieser Tiere in nicht voraussehbarem Maße zu steigern vermocht. Er hat Eigenschaften hervorgebracht, die Wildtieren völlig fremd sind. Und die züchterische Veränderung und Verbesserung unserer Haustierrassen schreitet weiter fort.

Beginn der Domestikation von Tieren. Die ältesten gesicherten Nachweise von Haustieren stammen aus dem Vorderen Orient. Mesopotamien, Syrien und Palästina sind uralte Kulturgebiete der Menschheit. Hier wurden im 7. und 6. Jahrtausend vor der Zeitenwende die ersten Haustiere geschaffen. Nach Knochenfunden zu urteilen, ist das *Schaf* wahrscheinlich das erste Haustier gewesen. Sehr bald folgen dann aber *Ziege*, *Rind* und *Schwein*.
Der Besitz von Haustieren und Kulturpflanzen ist ein Charakteristikum der Jungsteinzeit. Während der Mittel- und Altsteinzeit fehlen in den genannten Gebieten Haustiere noch völlig. Anders war es in Mittel- und Nordeuropa. Zwar begannen hier Bodenbau und Tierhaltung erst später, etwa im 4. oder 3. Jahrtausend vor der Zeitenwende, aber in der vorangegangenen Mittelsteinzeit besaßen die Menschen schon ein anderes Haustier, den *Hund*, der wahrscheinlich schon im 6. Jahrtausend vor der Zeitrechnung im Gebiet des Ostseeraumes domestiziert wurde. Der Übergang von der *Aneignungswirtschaft* (Jäger und Sammler) zur *Produktionswirtschaft* (Bodenbau und Tierhaltung) war ein bedeutsamer Schritt in der Geschichte der menschlichen Gesellschaft. Der Mensch wurde von den Zufälligkeiten seiner Umwelt unabhängiger, die Besiedlungsdichte konnte zunehmen, größere gesellschaftliche Verbände konnten entstehen, der Austausch von Gütern nahm zu, die erste gesellschaftliche Arbeitsteilung kam auf. Vielfältig waren die Möglichkeiten, die sich aus der neuen Produktionsform ergaben.

Vorgang der Domestikation. Der Bodenbau ist in den meisten Gebieten der Erde etwas älter als die Tierhaltung. In der Mehrzahl der Fälle wurden die Haustiere nicht von reinen Jägervölkern, sondern von Bodenbau treibenden Stämmen geschaffen, für die die Jagd allerdings noch immer Bedeutung besaß. Die ältesten Haustiere leiten sich von Formen ab, die vordem Objekte der Jagd waren. Die Domestikation der ältesten Haustiere ging wohl in der Weise vor sich, daß bei der Jagd eingefangene Jungtiere aufgezogen wurden. Dabei fand eine unbewußte Auslese statt, insofern *gesellig* lebende Tierformen (Wolf, Wildschaf, Wildziege, Wildrind, Wildschwein) leichter aufzuziehen waren und sich dann vor allem leichter dem Menschen und seiner Wohnstätte freiwillig anschlossen als ungesellig lebende Formen. Folglich finden wir unter den ältesten Haustieren nur solche, die von *Herden-* oder *Meutentieren* abstammen, d. h. von Tieren, die eine instinktive Bei- bzw. Unterordnungsbereitschaft mitbringen. Den Platz des Herdengenossen bzw. des Leittieres nimmt dann im domestizierten Zustand der Mensch ein. Ausnahme von dieser Regel bilden nur Katze und Frettchen, deren Ahnformen (Falbkatze und Iltis) nicht in geselligen Verbänden leben. Allerdings gehören diese beiden Formen schon nicht mehr zu den ältesten Haustieren, sondern stellen verhältnismäßig junge Haustiererwerbungen dar. Die geschilderten Vorstellungen über den Vorgang der Domestikation der ältesten Hausformen werden durch Beobachtungen gestützt, die an „Steinzeitvölkern" der Neuzeit gemacht werden konnten. Wir wissen, daß von den Indianern der südamerikanischen Urwälder Vertreter der verschiedensten Tierarten, die in ihre Hände gelangen, aufgezogen und gepflegt werden, ohne daß zunächst eine Nutzung damit verbunden ist. Auch aus Afrika und von den Ureinwohnern Irians wurde ähnliches berichtet.
Der Gedanke der *Nutzung* konnte sich später bilden, wenn z. B. in Zeiten der Nahrungsnot solche Tiere getötet und verzehrt wurden. Aus solchen Erfahrungen ergab sich dann das Bestreben, besonders geeignete Formen in größerer Zahl „auf Vorrat" zu halten. Wenn diese Tiere sich später in der Gefangenschaft auch fortpflanzten, begann damit die eigentliche Domestikation.
Nachdem der Mensch schon Haustiere besaß und ihren Nutzen kennengelernt hatte, sind dann auch andere Gründe für die Domestikation von Tieren entscheidend geworden. Das gilt in besonderem Maße für verschiedene *Pelztiere*, die man in Farmen zu halten begann, nachdem das jagdliche Aufkommen immer geringer geworden war. Der erste Vertreter in dieser Reihe ist der nordamerikanische *Silberfuchs*, dessen Gefangenhaltung und Züchtung schon in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts in Nordamerika begann.

Nutzungsformen. Man kann zwischen *rohstofflichen* (Nahrungsmittel, technische Rohstoffe), *physischen* (Kraftleistung) und *psychischen* (z. B. Leistungen des Hundes als Jagdgefährte) Nutzungsformen unterscheiden. Die ältesten Haustiere wurden zunächst als Lieferanten von Nahrungsmitteln und Rohstoffen genutzt. Auch der Hund war zunächst Fleischtier, eine Rolle, die er noch heute in vielen Gebieten der Erde inne hat. Die Nutzung der tierischen Kraftleistung, d. h. die Verwendung von Tieren als Tragtier, Zugtier usf. kam erst später auf. Gleiches gilt für die Nutzung anderer tierischer Leistungen. Die Nutzung des Hundes z. B. als Jagdhelfer oder gar als Hirten- und Hütehund datiert wohl später, als man bisweilen angenommen hat.

Zahl der Haustierarten. Die Zahl der Haustierarten ist verhältnismäßig klein geblieben. So gibt es etwa 6000 Arten von Säugetieren, aber nur etwa 20 Arten wurden domestiziert (*Schaf, Ziege, Rind,*

Gayal, Balirind, Büffel, Yak, Dromedar, Trampeltier, Lama, Alpaka, Schwein, Pferd, Esel, Rentier, Kaninchen, Meerschweinchen, Hund, Katze, Frettchen), von denen nicht einmal alle eine weltweite Verbreitung und eine nennenswerte wirtschaftliche Bedeutung erlangten. Hinzu kommen noch einige jüngere Haustiererwerbungen wie *Farbmaus, Weiße Ratte* und *Goldhamster*, die als Laboratoriumstiere von Bedeutung sind. Des weiteren werden einige Formen als Pelztierlieferanten (*Silberfuchs, Waschbär, Nerz, Nutria* usw.) oder aus anderen Gründen (z. B. *Hirsche* als Lieferanten medizinischer Präparate, die aus den Bastgeweihen gewonnen werden) in Gehegen gehalten und gezüchtet.
Gemessen an der Artenzahl der Vögel ist die Zahl der aus dieser Klasse stammenden Hausformen noch geringer als bei den Säugetieren (*Huhn, Perlhuhn, Truthuhn, Pfau, Gans, Höckergans, Ente, Moschusente, Wellensittich, Kanarienvogel* und einige weitere Ziervögel).
Auch der *Karpfen* und einige wirbellose Tiere (*Honigbiene, Seidenspinner*) können der Definition gemäß als Haustiere bezeichnet werden.

Was ist ein „Haustier"? Als Haustiere bezeichnen wir solche Formen, deren Fortpflanzungsgeschehen über eine Vielzahl von Generationen hinweg unter dem Einfluß des Menschen steht. Insofern sind z. B. Zootiere nicht als Haustiere anzusprechen. Auch der indische Arbeitselefant kann somit nicht als Haustier bezeichnet werden, da die Tiere in der Regel nur eingefangen, unter der Obhut des Menschen aber nicht zur Fortpflanzung gebracht werden. In der Gefangenschaft bisweilen geborene Jungelefanten werden gewöhnlich in Freiheit gesetzt, da die Aufzucht der Tiere bis zum arbeitsfähigen Alter zu kostspielig ist. Neuerdings gibt es in Indien eine Station, die auch die planmäßige Aufzucht von Arbeitselefanten aufgenommen hat.

DIE WICHTIGSTEN HAUSTIERE UND IHRE ABSTAMMUNG

Orte der Domestikation. Früher nahm man an, daß die meisten Haustiere mehrere Wildarten als Ahnen besitzen. Es erschien unvorstellbar, daß z. B. die zahlreichen Hunderassen, die so außerordentlich mannigfaltige und unterschiedliche Merkmale besitzen, von einer einzigen Wildart abstammen sollen. Die Wandlungsfähigkeit tierischer Organismen wurde unterschätzt. Zu Zeiten Darwins glaubte ein englischer Naturforscher, die Schafrassen Englands auf 11 verschiedene Wildschafarten zurückführen zu müssen. Heute gilt für nahezu alle Haustierformen als erwiesen, daß sie von nur einer Wildart, die allerdings häufig aus mehreren geographischen Rassen besteht, abstammen. Innerhalb des Verbreitungsgebietes der betreffenden Wildart finden sich häufig mehrere *Domestikationsherde*, die bisweilen völlig unabhängig voneinander bestanden haben. So wurde z. B. das Wildschwein in Europa, Westasien und Südostasien domestiziert.
In vielen Fällen wissen wir, daß Haustiere als materielles Gut von Stamm zu Stamm weitergegeben wurden. Wildziegen und Wildschafe gab es z. B. im nördlichen Europa während der Jungsteinzeit nicht. Hausziege und Hausschaf müssen folglich aus südlicheren Gebieten dorthin gebracht worden sein. Mitunter ist wohl auch nur der Gedanke der Domestikation bestimmter Tierarten übermittelt worden, so daß die betreffende Bevölkerung das in ihrem Gebiet lebende Wildmaterial zu domestizieren begann.
Die Mehrzahl der Haustiere stammt aus *Eurasien*. *Afrika* hat an domestizierten Nutztieren nur Esel, Katze und Perlhuhn geliefert. In der *Neuen Welt* wurden in vorkolumbischer Zeit Lama, Alpaka, Meerschweinchen, Truthuhn und Moschusente domestiziert. Im Erdteil *Australien* wurden keinerlei Haustiere gewonnen.

Hausschaf. Wildschafe der Art *Ovis ammon* leben auf den Mittelmeerinseln Korsika, Sardinien und Cypern, in Kleinasien, im Hochland von Iran und in Zentralasien, wobei die nördliche Verbreitungsgrenze ungefähr durch eine Linie angegeben ist, die sich vom Nordostteil des Kaspisees zum Aralsee und weiter zum Quellgebiet des Jenissei ziehen läßt. Die zweite Art, *Ovis nivicola*, bewohnt das sich anschließende Ost- und Nordsibirien bis Kamtschatka und das nordamerikanische Felsengebirge. Als Stammart unserer Hausschafe kommt aus geographischen Gründen nur Ovis ammon in Betracht. Die Domestikation von Schafen erfolgte zuerst in den alten Kulturgebieten Vorderasiens. Vor einigen Jahren wurden Gebeine von Hausschafen in präkeramischen Kulturschichten der Stadt *Jericho* (Palästina) aufgefunden, die aus dem 7. Jahrtausend vor der Zeitrechnung stammen. Reste anderer Haustiere wurden in diesen Horizonten nicht gefunden. Nach diesem Befund ist das Hausschaf das *älteste* Haustier des Menschen.
Für das 4. Jahrtausend vor der Zeitenwende sind Hausschafe im Tiefland von Turan belegt, und im 3. Jahrtausend war die Schafhaltung im Südural, in vielen Gebieten Sibiriens, im Kaukasus, in Ost-, Mittel- und Westeuropa weit verbreitet. In Europa gab es nach der Eiszeit keine Wildschafe mehr. Die hier gehaltenen Hausschafe müssen somit aus dem Südosten eingeführt worden sein. Die heute in Mitteleuropa, auch auf dem Territorium der DDR lebenden Wildschafe (Muffelwild) sind vor wenigen Jahrzehnten aus Korsika und Sardinien eingebürgert worden.
Alle Wildschafe sind Haarschafe, d. h. sie besitzen ein gut entwickeltes, deckendes *Grannenhaar*, unter dem sich das wenig entwickelte feinere *Wollhaar* befindet. Primitive Hausschafrassen zeigen auch noch ein starkes Grannenhaar, während es bei hochgezüchteten Wollschafen (*Merinoschafe*) dem Züchter gelungen ist, das Grannenhaar nahezu völlig zu unterdrücken. Eine *Wollnutzung* läßt

sich mit Sicherheit für das 3. Jahrtausend vor der Zeitrechnung angeben. Altbabylonische Darstellungen zeigen alle Vorgänge der Wollbearbeitung, des Scherens, Spinnens und auch das Filzen. Die wichtigsten und verbreitetsten Wollschafe der Gegenwart sind die Merinoschafe, die in Spanien gezüchtet worden sind.
Das Fell der Lämmer einiger Schafrassen, insbesondere der *Karakulschafe* aber z. B. auch der *Zackelschafe*, wird zu Rauchwaren verarbeitet. Die Zucht der Karakulschafe stammt aus Buchara. Die Lämmer werden im Alter von 4 bis 8 Tagen geschlachtet, da die Kräuselung des Haares schon 10 bis 14 Tage nach der Geburt verlorengeht.
Neben der Wollnutzung spielt seit langem die *Milchnutzung* eine gewisse Rolle. Für diese Nutzungsart sind bestimmte Rassen, wie das bei uns verbreitete *Ostfriesische Milchschaf*, gezüchtet worden.
Eine Nutzung der physischen Leistung hat es beim Schaf kaum gegeben. Nur örtlich hat es als Tragtier Verwendung gefunden. So in Tibet, wo gelegentlich Hammel zum Lastentransport eingesetzt worden sind.

Deutsche Schafrassen

Merinoschaf	Skudde
Deutsches veredeltes Landschaf	Leineschaf
Deutsches schwarzköpfiges Fleischschaf	Rhönschaf
Deutsches weißköpfiges Fleischschaf	Hochgebirgsschaf
Ostfriesisches Milch- und Wilstermarschschaf	Karakul und seine Kreuzungen
Heidschnucke	

Hausziege. Die wilde Ahnform unserer Hausziegen ist die *Bezoarziege* (*Capra aegagrus*), die Kleinasien sowie das Hochland von Iran bewohnt und auch auf einigen Inseln des östlichen Mittelmeeres vorkam. Die Bezoarziege trägt säbelförmig in einer Ebene gekrümmte Hörner. Etwa im 6. Jahrtausend vor der Zeitrechnung wurde sie in Vorderasien domestiziert. Von hier erfolgte die Verbreitung der Hausziegen nach Asien, Europa und Afrika. Auch bei Hausziegen entwickelte sich rasch eine eindrucksvolle Formenmannigfaltigkeit. Farbe und Beschaffenheit des Haarkleides zeigen starke Verschiedenheit. Einer gewissen Berühmtheit erfreut sich die langhaarige *Angoraziege*, deren bis 30 cm langes, gewelltes Wollhaar zu Textilien verarbeitet wird. Bedeutend ist bei den Hausziegen die Verschiedenartigkeit der Gehörnformen.
Die meisten Hausziegenrassen haben im Gegensatz zu Hausschafen eine bemerkenswerte „Lebenstüchtigkeit" bewahrt. Das äußert sich z. B. in der Tatsache, daß Ziegen auch unter wenig günstigen Bedingungen leicht verwildern. Die von Seefahrern auf überaus zahlreichen ozeanischen Inseln und unbewohnten Küstenstreifen ausgesetzten Hausziegen haben sich fast überall gehalten und stark vermehrt. Sie bildeten besonders in der Zeit der Segelschiffahrt ein wichtiges Fleischreservoir zur Ernährung der Schiffsbesatzungen bei widrigen Windverhältnissen oder im Falle eines Schiffbruchs.
Fleisch- und *Milchnutzung* sind von alters her die wichtigsten Nutzungsarten. Als Trag- oder Zugtiere haben Ziegen wohl nur selten Verwendung gefunden.

Deutsche Ziegenrassen

Weiße deutsche Edelziege
Bunte deutsche Edelziege (rehfarben)
Thüringer Waldziege

Hausrind. Während die Hausrinder früher auf mehrere, z. T. rein hypothetische Wildrinderarten zurückgeführt wurden, haben neuere Forschungen den Nachweis erbracht, daß alle Hausrindrassen einschließlich der Zebus (Buckelrinder) nur von einer Wildform, dem *Ur* oder *Auerochsen* (*Bos primigenius*) abstammen. Während des Diluvium war der Ur ein häufiges Jagdobjekt des altsteinzeitlichen Menschen. Viele Höhlengemälde überliefern uns Darstellungen des Ures. In der Nacheiszeit waren Ure von Nordafrika und Westeuropa bis Südasien weit verbreitet. Nach Skelettfunden zu urteilen, bestand zwischen den Geschlechtern ein beträchtlicher Größenunterschied. Noch vor der Zeitenwende starb der Ur in vielen Gebieten seiner Verbreitung (z. B. in Vorderasien) völlig aus. In Europa wurden die letzten Ure Anfang des 17. Jahrhunderts erlegt. Leider besitzen wir kein einziges Fell eines Ures, auch sind nur wenige Beschreibungen und Abbildungen überliefert worden. Als der Ur immer seltener wurde, verwechselte man ihn zudem häufig mit dem Wisent, der – heute in Reservationen gehegt – bis auf unsere Tage erhalten blieb.
Das Rind gehört zweifellos zu den ältesten Haustieren. Über den Ort der ältesten Domestikation bestehen unterschiedliche Meinungen. In Betracht kommen der östliche Mittelmeerraum, der Iran und auch Indien. Sehr wahrscheinlich ist die Domestikation des Ures mehrfach an verschiedenem Ort und zu verschiedener Zeit erfolgt. Auch Europa kommt als selbständiges Domestikationsgebiet in Betracht.
Das Rind ist, weltwirtschaftlich gesehen, zum wichtigsten Haustier des Menschen geworden. Auch der *Zebustamm* besitzt wegen seiner Angepaßtheit an tropische und subtropische Bedingungen wachsende Bedeutung. Neben *Nahrungseiweiß* und *Fett* für die menschliche Ernährung liefert das Rind verschiedene Rohstoffe, von denen vor allem die zu Leder verarbeiteten

Häute bislang unersetzbar geblieben sind. Die *Milchnutzung* ist zweifellos sehr alt, entsprechende altägyptische Darstellungen stammen aus dem 3. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung. Während Wildrinder während ihrer relativ kurzen Laktationsperiode im Jahr nur bis 500 Liter Milch erzeugen und über viele Jahrhunderte hinweg die Milchleistung der Hausrinder nicht bedeutend war, sind die Leistungen moderner Rassen sehr beträchtlich. Erwähnt sei noch, daß die *Exkremente* des Rindes, wie auch die von Yak, Kamelen und Pferden, in holzarmen Gegenden als oft einziges verfügbares *Brennmaterial* große Bedeutung besitzen. Selbst als *Baumaterial* finden Exkremente — oft mit Lehm vermischt — Verwendung (Kotziegel).

Rückkreuzung des Ures. Der Ur war ein mächtiges Wildrind von maximal 2 m Widerristhöhe im männlichen Geschlecht. Die Hörner waren *lyraförmig* gebogen und nach vorn gerichtet. Während Jungtiere und Kühe bräunliche bis rotbraune Färbung zeigten, waren die Stiere dunkelbraun bis schwarz. Beide Geschlechter hatten auf dem Rücken einen sog. *Aalstrich*, d. h. einen andersfarbigen Haarstreifen wie er bei vielen Säugetieren vorkommt. Man hat sich bemüht, den Ur durch „Rückkreuzung" habituell wiedererstehen zu lassen. Zu diesem Zweck wurden Vertreter primitiver Hausrinderrassen miteinander gekreuzt. Solche ursprünglichen Hausrinderrassen sind z. B. das Englische Parkrind, das Ungarische Steppenrind, das Schottische Hochlandrind, die spanischen und französischen Kampfrinder und das Korsische Rind. Es ist durch Kreuzung und Auslese tatsächlich gelungen, Tiere zu züchten, die in vielen Merkmalen dem Ur ähnlich sind, und die heute in verschiedenen zoologischen Gärten gezeigt werden.

Die wichtigsten deutschen Rinderrassen

1. *Höhenvieh*
   - Höhenfleckvieh
   - Einfarbige gelbe Höhenschläge
   - Gelbes Frankenvieh
   - Graubraunes Höhenvieh
   - Mitteldeutsches Rotvieh
   - Vorder- und Hinterwälder
2. *Niederungsvieh*
   - Schwarzbuntes Niederungsvieh
   - Rotbuntes Niederungsvieh
   - Angler Rind
3. *Kurzhorn- (Shorthorn-) Rinder*

Yak. Über die Abstammung des Hausyaks vom tibetanischen *Wildyak* (*Poëphagus mutus*) hat es nie Zweifel gegeben. Sicher ist der Yak später domestiziert worden als das urige Rind, aber der Zeitpunkt der Domestikation läßt sich bis heute nicht genauer angeben.
Der Wildyak lebt heute noch im tibetischen Hochland. Wie beim Ur ist der Größenunterschied zwischen den Geschlechtern beträchtlich. Stiere werden bis 4 m lang und bis zu 2 m hoch; die weiblichen Stücke erreichen dagegen nur 1,50 m Widerristhöhe. Als Anpassung an das Leben in den kalten Wüstengebieten des Hochlandes sind die Wildyaks stark behaart. Beide Geschlechter zeigen eine dunkle, schwarzbraune Färbung.
Der Hausyak besitzt ein größeres Wohngebiet als der Wildyak. In der Mongolei, im Gebiet des Amurbogens und anderen, das zentralasiatische Hochland begrenzenden Gebieten ist er ein wegen seiner Widerstandsfähigkeit und Anspruchslosigkeit geschätztes Haustier. Die Hausyaks sind kleiner als die Wildform — eine Erscheinung, die wir bei fast allen primitiven, nicht auf Körpergröße gezüchteten Haustieren finden. Neben schwarzen und braunen Tieren gibt es solche mit gelblichem, rötlichem und grauem Haar. Auch weiße Tiere kommen vor, des weiteren verschiedene Abzeichen und Scheckung.
Yaks sind bewährte *Saumtiere*, die sich auch im bergigen Gelände geschickt und sicher zu bewegen wissen. Aus dem Haar werden Seile und grobe Gewebe gefertigt. Die Milch besitzt einen nahezu doppelt so hohen Fettgehalt wie bei Hausrindern.

Kreuzungen zwischen Yak und Rind. Im Ostaltai werden in einem Kolchos Kreuzungen zwischen urigen Hausrindern und Yaks gezogen. Die *Hybriden* sind auffällig große Tiere, die Merkmale beider Elternteile zeigen. Hinsichtlich der Hornform und der Ausbildung des Schwanzes („Schwanzquaste") ähneln sie stärker dem Yak. Die Milchleistung der Hybridkühe ist höher als beim Yak, der Fettgehalt beträgt maximal 7 bis 8%. Da die Hybriden die Widerstandsfähigkeit des Yaks besitzen, haben sie großen wirtschaftlichen Wert für die Viehhaltung dieser Gebiete.
Der Hausyak oder die genannten Hybriden könnten sehr wahrscheinlich auch für andere Hochgebirgszonen der Erde günstige wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Bisher ist der Hausyak aber noch nicht in andere Länder verpflanzt worden.

Hausbüffel. Der Haus- oder Wasserbüffel ist sicher schon vor langer Zeit domestiziert worden. Seine wilde Ahnform, der *Arni* (*Bubalus arnee*), dessen Verbreitungsgebiet ehemals größer war als heute, lebt in der Gegenwart noch in Vorderindien. Der Hausbüffel ist ein außerordentlich wichtiges landwirtschaftliches Nutztier in den *reisbauenden Ländern*. Er findet sich deshalb in ganz Südasien, Südchina, Südjapan und im malaiischen Archipel. Aber auch im Süden der Sowjetunion, auf dem Balkan, in Süditalien, in Ägypten und im Sudan werden Hausbüffel gehalten.
Der Büffel ist ein zwar langsames, aber ausdauerndes und genügsames Arbeitstier, das auch unter ungünstigen Klimaverhältnissen — besonders auch auf den überschwemmten Reisfeldern — seine Arbeit verrichtet.

Kamele. Unsere Kenntnisse über Abstammung und Geschichte der beiden *altweltlichen* Kamelformen sind noch immer recht gering. Das zweihöckrige Kamel oder *Trampeltier* ist in Zentralasien domestiziert worden. Die ältesten Nachweise führen bis in das 2. oder 3. Jahrtausend vor der Zeitenwende. Es ist zweifelhaft, ob die in Nordwestchina (am Lop-Nor) in geringer Zahl lebenden „*wilden*" *Kamele* tatsächlich Wildtiere oder nur verwilderte Hauskamele sind. Die fraglichen Formen besitzen zwei nur sehr schwach entwickelte Fetthöcker.
Noch unklarer ist die Abstammung des einhöckrigen Kamels oder *Dromedars*. Entweder leitet es sich von einer eigenen, bisher unbekannt gebliebenen Wildart ab, oder es ist aus der zweihöckerigen Form herausgezüchtet worden. Die nordafrikanischen „wilden" Dromedare sind zweifellos verwilderte Haustiere.
Das Trampeltier (*Camelus bactrianus*) findet sich auf der Krim, im sowjetischen Mittelasien, der Mongolei und in Nordchina. Es ist gegen Kälte unempfindlich und an das Leben in Gebieten mit kaltem Winter angepaßt. Es wird auch als Zugtier genutzt, obwohl die Zugleistung geringer ist als die Tragleistung. In der Zeit des Haarwechsels wird durch Auskämmen das zu Tuchen, Teppichen und Filzwaren verarbeitbare Haar (5 bis 20 kg im Jahr) gewonnen. Während der Laktationszeit produziert eine Kamelstute täglich 5 bis 6 kg Milch. In den baumlosen Gebieten Innerasiens gewinnt der Kamelmist als Brennmaterial große Bedeutung.
Das Dromedar (*Camelus dromedarius*) wird in Nordafrika, Arabien, Vorderasien und Teilen Westasiens als Haustier gehalten. Diese Form ist mit gutem Erfolg auch in trockenen Gebieten Südwestafrikas, Australiens und Indiens als Haustier eingebürgert worden. Im Gegensatz zum Trampeltier ist das Dromedar an die Bedingungen heißer Trockengebiete angepaßt. Es vermag noch in stärkerem Maße als das Trampeltier längere Durstzeiten zu überstehen bzw. mit dem salzhaltigen Wasser der Wüstengebiete auszukommen. Von Dromedaren existieren mehrere Schläge oder Rassen, die sich im Körperbau erheblich unterscheiden. Niedrige, plumpe Tiere dienen als Tragtiere, während die außerordentlich leistungsfähigen Reitkamele leichter und schlanker gebaut sind. Die Nutzungsformen entsprechen denen des Trampeltieres. Wegen der schwächeren Behaarung werden nur etwa 2 bis 5 kg Haar jährlich gewonnen.

Kreuzungen zwischen Trampeltier und Dromedar. Beide Formen kreuzen sich fruchtbar. Die *Bastardzucht* wird im Überschneidungsgebiet beider Kamelarten in Westasien, z. B. auch im sowjetischen Mittelasien seit Jahrhunderten betrieben. Die Bastarde (*Nare*) zeigen einen großen Höcker und die Andeutung eines zweiten. Sie übertreffen beide Eltern in der Körpergröße und der körperlichen Leistungsfähigkeit. Die Bastardhengste zeigen sich während der Brunft nicht so gefährlich und angriffslustig wie die Hengste der Elternformen. Die genannten Vorzüge erklären, warum die Zucht seit langem betrieben wird. Die Bastarde sind untereinander fruchtbar. Da aber die Folgegenerationen an Leistungsfähigkeit verlieren, ist man bestrebt, immer wieder Neubastardierungen vorzunehmen.

Lamas. Die einzigen größeren Haustiere Amerikas sind *Lama* und *Alpaka*, Verwandte der altweltlichen Kamele. Als die Spanier im 16. Jahrhundert nach Peru kamen, fanden sie große Lama- und Alpakaherden vor. Nach Grabfunden und den Mythen der Altperuaner zu urteilen, sind beides sehr alte Haustiere. Den genaueren Zeitpunkt der Domestikation vermögen wir jedoch nicht näher zu bestimmen.

Beide Hausformen stammen vom *Guanako* (*Lama guanicoë*) ab, das von den Hochkordilleren bis zu den Hochsteppen Patagoniens verbreitet ist. Die zweite Wildlamaart, das *Vikunja*, hat kein Haustier geliefert.
Das Lama wird vornehmlich als Tragtier verwandt, während das kleinere Alpaka als Wollproduzent genutzt wird. Alpakawolle ist ein sehr wertvoller und gefragter Textilrohstoff. Deshalb bringen die 3 Millionen Alpaka Perús volkswirtschaftlich einen größeren Nutzen als die 18 Millionen Schafe dieses Landes. Alpaka werden nur alle 2 Jahre geschoren.
Eine Nutzung der Milchleistung war den südamerikanischen Indianern unbekannt. Erst in der Zeit nach der spanischen Eroberung findet örtlich eine Milchnutzung des Lamas statt.

Ren. Schon einige Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung begann in Sibirien die Haltung des Ren als Haustier. Wildrene sind in mehreren Formen zirkumpolar in der Arktis, der Tundra und der nördlichen Waldzone verbreitet. Beide Geschlechter tragen Geweihe, eine unter den Hirschartigen einzig dastehende Eigenheit.
Rene werden im Winter als *Zugtiere* vor dem Schlitten, im Sommer als *Tragtiere* und *Reittiere* verwandt. Vornehmlich dienen diesen Zwecken kastrierte männliche Tiere. Darüber hinaus liefern sie dem Rentiernomaden nahezu alles, was dieser zu seinem Unterhalt braucht: *Fleisch, Fett* zur Nahrung und als *Beleuchtungsbrennstoff, Felle* zur Kleidung, *Sehnen* als Nähmaterial und zur Fertigung von Netzen, Zügeln usw., Knochen und Geweihe zur Herstellung von Fischereigeräten und Gegenständen des Hausrates und anderes mehr. Eine Nomadenfamilie der Rentierlappen benötigt etwa 200 bis 300 Tiere zur Bestreitung ihres Lebensunterhaltes.

Hausschwein. Im Gegensatz zu den bisher behandelten Paarhufern sind die Schweine nichtwiederkäuende Formen. Das von Europa und Nordafrika über das ganze gemäßigte Asien bis Japan, Hinterindien, Sumatera, Djawa und die kleinen Sundainseln verbreitete Wildschwein (*Sus scrofa*) ist

die wilde Stammart unserer Hausschweinrassen. Die *Papuaschweine* Neuguineas sind sicherlich verwilderte Hausschweine.
Wildschweine sind mehrfach und an verschiedenem Ort in den Hausstand überführt worden. Recht alte Domestikationsherde sind das mediterrane Gebiet und Südostasien. Im letzteren Fall handelt es sich um die sog. *Bindenschweine*, die eine helle, von der Schnauze zur Wange ziehende Gesichtsbinde besitzen, die auch bei domestizierten Abkömmlingen mitunter noch zu beobachten ist.
Die ältesten Hausschweine und primitiven Landformen der Gegenwart sind noch sehr wildschweinähnlich. Wie die meisten primitiven Haustiere sind sie kleiner als die Wildform. Hausschweine eignen sich nicht als Nutztiere für umherziehende Hirtennomaden; sie sind stets von seßhaften Ackerbauern gehalten worden. Deshalb galten sie den Nomaden wohl als Wahrzeichen der verachteten Seßhaftigkeit und wurden möglicherweise aus diesem Grund als „unrein" geächtet. Die religiöse Ächtung des Schweines bei Mohammedanern kann hier ihre Wurzel haben. Nach einer anderen Auffassung soll das Verbot, Schweinefleisch zu essen, auf die Erfahrung zurückgehen, daß das „unreine" Tier eine gefährliche Parasitenerkrankung (*Trichinose*) auf den Menschen überträgt.
Die alten *Landrassen* gehen auf örtliche Wildschweinformen zurück. Die *Edelrassen* leiten sich dagegen von englischen Hochzuchten ab, die unter Verwendung englischer Landrassen und ostasiatischer Hausschweine (*Bindenschweinabkömmlinge*) Mitte des vergangenen Jahrhunderts in England entstanden sind. Es gelang, günstige Eigenschaften der europäischen Formen (Fruchtbarkeit) mit solchen der Ostasiaten (Frühreife, Raschwüchsigkeit) zu vereinen.
Das Hausschwein ist ein weltwirtschaftlich überaus wichtiges Nutztier, das als Produzent von Nahrungseiweiß, Fett und verschiedenen Rohstoffen unentbehrlich ist. In neuerer Zeit ist es durch Einführung verbesserter Verfahren auch gelungen, ein ansprechendes Leder aus der Haut des Schweines zu gewinnen. Bei der Ledergewinnung wird die oberste Hautschicht (*Epidermis*) entfernt. Die darunter gelegene Lederhaut (*Cutis*) besitzt eine spezifische Oberflächenstruktur (*Narben*). Diese ist beim Schwein sehr grob und von den recht großen Löchern der Borsten durchsetzt. Diese obere Schicht der Lederhaut wird deshalb abgeschliffen und durch eine dünn aufgetragene und hydraulisch aufgepreßte Farb-Deckschicht ersetzt (*Konaleder* = Leder mit *k*orrigierten *Na*rben).

Die wichtigsten deutschen Schweinerassen

Deutsches veredeltes Landschwein	Deutsches Weideschwein
Deutsches weißes Edelschwein	Deutsches Berkshireschwein
Schwäbisch-Hallisches Schwein	Cornwallschwein
Angler Sattelschwein	

Pferd. *Echte Wildpferde*, *Halbesel*, *Wildesel* und *Tigerpferde* bilden in der Gegenwart vier Gruppen der pferdeartigen Huftiere. Im Diluvium sind sie in Nordamerika, wo sich ihre phylogenetische Entwicklung hauptsächlich vollzogen hatte, ausgestorben. Hauspferde sind von den echten Wildpferden, Hausesel von Wildeseln abzuleiten. Tigerpferde haben keine Hausform geliefert, gleiches gilt für die Halbesel, mit der Einschränkung, daß der vorderasiatische *Onager* sehr wahrscheinlich einstmals Haustier war oder im Begriffe stand, es zu werden.
Die ältesten Anzeichen einer Hauspferdehaltung finden sich in der sog. *Tripoljekultur* im Gebiet des oberen Dnjestr. Anfang des 3. Jahrtausends vor unserer Zeitrechnung, wahrscheinlich noch etwas früher war die südosteuropäische Waldsteppe das älteste Domestikationsgebiet des Pferdes. Nachweise für Hauspferdehaltung zu Ende dieses Jahrtausends liegen aus der europäischen Jungsteinzeit und den Gebieten jenseits des Urals vor. Zu jener Zeit waren Wildpferde von Westeuropa bis Asien weit verbreitet. Allerdings haben sie die großen von West nach Ost verlaufenden Gebirge Kaukasus–Pamir–Kunlun nach Süden nie überschritten. Daraus ergibt sich, daß die bedeutenden Zentren der Pferdezucht im Vorderen Orient nicht als Domestikationsherde betrachtet werden dürfen, sondern erst nach Import von Hauspferden aus dem Norden entstehen konnten.
Heute leben Wildpferde nur noch in geringer Zahl in der *Mongolei* und *Dsungarei*. Diese Tiere sind von fahlrötlicher bis rotbrauner Färbung und besitzen einen deutlichen dunklen Aalstrich. Das Mähnenhaar steht aufrecht. Die Schulterhöhe beträgt etwa 1,50 m. Zu Ehren ihres Entdeckers werden sie *Przewalskipferde* genannt. Sehr wahrscheinlich waren die ausgestorbenen Wildpferde Westasiens und Europas geographische Rassen der gleichen Art *Equus przewalski*.
Bis Ende des vergangenen Jahrhunderts gab es in Osteuropa, in Polen und Südrußland wildlebende Pferdetrupps, die sog. *Tarpane*. Da die Hengste Hauspferdstuten entführten, wurden die Tiere stark verfolgt und die letzten in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts in der Ukraine zur Strecke gebracht. Einige Forscher sahen in diesen Tieren eine gesonderte Wildpferdart, die neben dem Przewalskipferd ehemals ganz Europa bewohnt hatte. Sehr wahrscheinlich bildet der Tarpan aber keine gesonderte Art, sondern geht auf Wildpferde zurück, die sich im Laufe der Zeit stark mit verwilderten Hauspferden vermischt haben.
Hauspferde verwildern verhältnismäßig leicht. Sie bleiben aber als solche erkennbar, weil sich gewisse Eigenheiten der Wildpferde, z. B. die aufrecht stehende Mähne, nicht wieder einstellen. Pferde der spanischen Eroberer, die bei Buenos Aires, in Mexiko und am Mississippi verlorengingen oder entflohen, wurden der Grundstock riesiger wildlebender Herden in Nord- (*Mustangs*) und Südamerika. In Nordamerika gelangten manche Indianerstämme in den Besitz des Pferdes, noch ehe sie einen weißen Mann zu Gesicht bekommen hatten.

Wildpferde waren wichtige Jagdtiere der altsteinzeitlichen Menschen Europas. Auch die domestizierten Pferde waren zunächst Fleischtiere. Erst mit Beginn der Metallzeit fanden sie zuerst als *Zug-* dann auch als *Reittiere* Verwendung. Im zweiten Jahrtausend vor der Zeitenwende wird das Pferd in Vorderindien erstmals im *Kampfwagengespann* eingesetzt. In dieser Funktion und später als Reittier erlangte es große militärische Bedeutung.
In der Gegenwart geht die Bedeutung des Pferdes mit fortschreitender Technisierung des Transportwesens und der Landwirtschaft rapid zurück. In der Sowjetunion wurden beispielsweise noch 1930 30 Millionen Pferde gehalten, während heute ihre Zahl auf weniger als die Hälfte abgesunken ist.

Pferderassen

1. *Kaltblüter* (schwere Last- oder Schrittpferde)		2. *Warmblüter* (temperamentvolle Laufpferde)	
Belgier	Schleswiger	Orientalisches Vollblut	Oldenburger
Rheinisch-deutsches Kaltblut	Shire	(Araber, Turkmene,	Ostfriesländer
Kaltblut	Clydesdaler	Berber)	Württemberger
Oberländer	Shetlandpony	Englisches Vollblut	Haflinger
		Hannoveraner	Trakehner
		Holsteiner	Traber

Sowohl schwere wie leichte Hauspferderassen stammen vom Przewalskipferd ab. Man glaubte eine Zeitlang, die Kaltblutschläge von einem schweren westeuropäischen Wildpferd ableiten zu können, dessen Gebeine in diluvischen Lagerstätten gefunden worden sind. Diese großen Eiszeitpferde haben aber während der Jungsteinzeit nicht mehr gelebt, sondern sind schon zu Ende des Diluviums ausgestorben.

Hausesel. Der Hausesel war um 3000 vor unserer Zeitrechnung schon Haustier in Ägypten. Nach Mittelasien gelangte der Hausesel erst um 200 nach der Zeitenwende. In Mitteleuropa taucht er erst Anfang des Mittelalters auf. Wildesel lebten in historischer Zeit von Nubien bis Somaliland, ehemals dürfte das Verbreitungsgebiet noch größer gewesen sein. Wildesel sind heute nahezu ausgerottet. Letzte Reste leben noch in Abessinien. Die Wildesel unterscheiden sich von Hauseseln durch schlankeren Bau. Die nubischen Wildesel besitzen ein „Schulterkreuz", das auch bei den meisten Hauseseln ausgebildet ist. Dieses kommt dadurch zustande, daß quer zum Aalstrich ein dunkler Strich über die Schulterpartie verläuft.
Als anspruchsloses, widerstandsfähiges und im Verhältnis zur Körpergröße außerordentlich leistungsstarkes Transporttier konnte sich der Esel besonders in Gebirgsländern bis zum heutigen Tag neben dem Pferd als Nutztier halten. In Südamerika, Südeuropa, Afrika, Mittel-, Süd- und Ostasien ist er ein vielgebrauchtes *Saum-*, *Zug-* und *Reittier.*

Pferd-Esel-Bastarde. Beachtung verdienen die *Pferd-Esel-Bastarde*, deren Zucht schon im zweiten vorchristlichen Jahrhundert in Kleinasien betrieben wurde. Obwohl die Bastarde *unfruchtbar* sind und deshalb zur Weiterzucht nicht verwendet werden können, hat sich die Bastardzucht bis in die Gegenwart gehalten. Das ist darauf zurückzuführen, daß die Bastarde günstige Eigenschaften der Elterntiere in sich vereinen. So sind sie wie die Esel recht widerstandsfähig gegenüber klimatischen Einflüssen und deshalb sowohl in den Tropen wie im Hochgebirge verwendbar. Sie sind in Hinsicht auf Nahrung anspruchslos und gegenüber manchen tropischen Infektionskrankheiten fast immun. Sie erreichen ein höheres Lebensalter als Pferde und bleiben länger leistungsfähig. Hervorzuheben ist auch ihre Sicherheit in bergigem Gelände und in unwegsamen tropischen Gebieten. Da sie den Esel in der Körperstärke wesentlich übertreffen, gibt man ihnen vor diesem den Vorzug.
Die Bastarde zwischen Eselhengst und Pferdestute werden als *Maultier*, die zwischen Pferdehengst und Eselstute als *Maulesel* bezeichnet. Maultiere sind weitaus häufiger anzutreffen als Maulesel. Offensichtlich hat man schon frühzeitig die Erfahrung gemacht, daß Pferdehengste schwieriger zur Paarung mit Eselstuten zu bringen sind. Deshalb wurde in erster Linie die Maultierzucht betrieben.

Haushund. Haushunde zeigen eine imponierende Formenmannigfaltigkeit. Auf Grund anatomischer Merkmale können Haushunde nur von Arten der Gattung *Canis* abstammen. Das älteste Domestikationsgebiet ist der Ostseeraum. Die ältesten Funde stammen aus dem Gebiet von Moskau, vom Ladogasee und der dänischen Ostseeküste. Der geographische Ort der Domestikation und der Umstand, daß diese ältesten Hunde ziemlich große Tiere gewesen sind, lassen allein den Wolf (*Canis lupus*) als wilde Stammform in Betracht kommen. Es ist nicht gänzlich abzulehnen, daß möglicherweise bei der weltweiten Ausbreitung des Hundes auch Goldschakale oder Heulwölfe eingekreuzt worden sind. Für die Herausbildung der verschiedenen Hunderassen bedürfen wir aber nicht der Annahme mehrerer wilder Stammformen. Eine Reihe von Befunden spricht dagegen, daß Einkreuzungen nennenswerten Umfang besessen haben könnten. Weiterhin haben Untersuchungen über die Chromosomenzahl ergeben, daß die Haushunde dem Wolf näherstehen als den anderen Wildhunden. Bemerkenswert ist ferner, daß sehr häufig unbeabsichtigte Verkreuzungen zwischen Wölfen und Haushunden beobachtet worden sind, während solches von Schakalen und Haushunden

nicht berichtet worden ist. An ausreichender Gelegenheit dazu dürfte es nicht fehlen, denn im Verbreitungsgebiet des Goldschakals leben die sogenannten „*Pariahunde*", herrenlose halbwilde Tiere, die im ganzen Orient noch vor wenigen Jahrzehnten verbreitet waren, es zum Teil auch heute noch sind und ihren Aufenthalt auf Abfallplätzen usw. häufig mit dem Schakal teilen.
Der Hund ist zuerst *Fleischtier* gewesen und auf diese Rolle beschränkt sich sein Nutzen auch heute noch bei vielen auf tiefer gesellschaftlicher Entwicklungsstufe stehenden Völkern. Später hat er als *Jagdhelfer* Verwendung gefunden, wobei wir allerdings nicht gleich an die Leistungen unserer heutigen Jagdhunderassen denken dürfen. Zunächst wurde die Hundemeute nur zum Hetzen der Jagdbeute eingesetzt. Die Nutzung des Hundes als *Hüte-* und *Hirtenhund* kam relativ spät auf. Recht alt scheint dagegen die Verwendung des Hundes als *Transporttier*, insbesondere vor dem Schlitten zu sein.
Es ist kein Volksstamm bekannt geworden, der den Hund nicht als Haustier besitzt. Auch die Ureinwohner Australiens brachten bei der Besiedlung dieses Kontinents den Hund schon mit. Der australische *Dingo* ist sicher nichts anderes als ein verwilderter Abkömmling solcher Hunde.

Die wichtigsten Hunderassen

Nutzhunde (Gebrauchshunde)

1. *Schutzhunde*
   - Airedaleterrier
   - Bernhardiner
   - Boxer
   - Deutscher Schäferhund
   - Dobermannpinscher
   - Riesenschnauzer
   - Rottweiler

2. *Jagdhunde*
   - Deutsche Vorstehhunde
   - Münsterländer
   - Wachtel
   - Spaniel
   - Dackel (Teckel)
   - Schweißhunde
   - Bracke

3. *Wachhunde*
   - Deutsche Dogge
   - Dalmatiner
   - Deutscher Spitz
   - Pinscher
   - Schnauzer
   - Foxterrier
   - Irischer Terrier
   - Welsh Terrier
   - Schottischer Terrier

Luxushunde

1. *Luxushunde*
   - Neufundländer
   - Ungarischer Hirtenhund
   - Schottischer Schäferhund (Collie)
   - Irischer Setter
   - Chinesischer Spitz (Chow-Chow)

2. *Schoßhunde*
   - Pudel
   - Mops
   - Zwergspitz
   - Französischer Bully
   - Malteser
   - Italienisches Windspiel
   - Zwergspaniel
   - Japan Chin
   - Pekinese

3. *Windhunde*
   - Russischer Windhund (Barsoi)
   - Afghanischer Windhund
   - Persischer Windhund (Saluki)
   - Englischer Windhund (Greyhound)
   - Whippet

Hauskatze. Es gibt einige Haustiere, die primär als *Kulttiere* gehalten wurden, aber sie gehören nicht zu den ältesten. Mit Sicherheit wissen wir es nur von der Hauskatze. Im alten Ägypten gab es eine Gottheit *Bast*, der zunächst die Löwin und später — da Löwinnen sich offenbar für Kulthandlungen als wenig geeignet erwiesen — die kleine nordafrikanische *Falbkatze* (etwa ab 4000 vor unserer Zeitrechnung) geweiht war. Einbalsamierte *Mumien* von Falbkatzen und anderen Kulttieren (Gazellen, Ichneumons, Krokodilen) finden sich häufig in altägyptischen Grabstätten. Wir wissen sogar, daß diese „Kultkatzen" zunächst immer Wildfänge waren, denn die Mumienschädel zeigen keine Domestikationsveränderungen. Mumienschädel der späteren Zeit (etwa 2000 vor unserer Zeitrechnung) zeigen dagegen solche charakteristische Veränderungen, woraus wir schließen, daß die Katzen sich dann auch in Gefangenschaft fortgepflanzt haben. Die Verwendung der Katze zur Kleinnagerbekämpfung kam erst später auf. In dieser neuen Funktion verbreitete sie sich um die Zeitenwende über den Mittelmeerraum und gelangte zur Zeit der Völkerwanderung nach Mitteleuropa. Sie verdrängte hier das Wiesel, das zur Bekämpfung von Schadnagern verwandt worden war.

Die wichtigsten Katzenrassen

1. *Langhaar*
   - Perser
   - Deutsch-Langhaar
   - Birmesen

2. *Kurzhaar*
   - Siamesen
   - Kurzhaartiger
   - Kurzhaarmarmors
   - Karthäuser (schweres Blaukurzhaar)
   - Schlankrasse („Ägypter")
   - Abessinier (englischen Ursprungs)

Hauskaninchen. Die Hauskaninchen stammen vom Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus*) ab. Nach der Eiszeit fanden sich Wildkaninchen nur noch im Südwesten Europas und in Nordwestafrika. Der Name Spanien bedeutet nichts anderes als „Küste der Kaninchen". Diese Namensgebung geht auf die Phönizier zurück, die an der spanischen Küste dieses Tier in großer Zahl fanden, das sie an die ihnen bekannten Klippschiefer erinnerte und das sie deshalb „*shephan*" nannten. Küste der Klippschiefer heißt „*i-shephan-im*", was zum römischen „*Hispania*" wurde.
Spanische Wildkaninchen wurden von den Römern nach Italien gebracht, und hier begann in den berühmten Hasengehegen, den sog. *Leporarien*, die Domestikation der Tiere. Zunächst wurden die Tiere in diesen Gehegen nur auf Vorrat gehalten, später ergab es sich, daß die Kaninchen auch in Gefangenschaft zur Fortpflanzung schritten. Besonders durch die Mönche wurden Hauskaninchen dann auch nach Mittel- und Nordeuropa eingeführt. Kaninchen wurden in den Klöstern gern gehalten, weil es mancherorts erlaubt war, die Föten und Neugeborenen auch während der Fastenzeit zu genießen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Wildkaninchen Mitteleuropas allesamt auf verwilderte Gehegekaninchen zurückgehen.

Die wichtigsten Kaninchenrassen
(Wirtschaftsrassen)

Angorakaninchen	$2^1/_3 \cdots 3$ kg
Klein-Chinchillakaninchen	$2^1/_2 \cdots 3$ kg
Wiener, weiß und blau	$3 \cdots 4$ kg
Groß-Chinchillakaninchen	$3^1/_2 \cdots 4^1/_2$ kg
Deutsches Großsilberkaninchen	$3^1/_2 \cdots 4^1/_2$ kg
Französisches Silberkaninchen	$3^1/_2 \cdots 4^1/_2$ kg
Deutsches Widderkaninchen	5 kg

Kaninchenzucht: Leichtere Rassen mit 6 bis 7 Monaten zuchtreif, schwere mit 9 bis 10 Monaten; 1 Rammler für 10 bis 15 Häsinnen; Tragzeit 1 Monat. Je Wurf 5 bis 8 blinde, nackte Junge (höchstens 6 belassen!). Am 3. bis 4. Tage erscheint das Haarkleid, am 9. Tage werden die Jungen sehend, am 14. bis 20. Tage verlassen sie das Nest. Säugezeit 8 bis 10 Wochen. (Jährlich 2, ausnahmsweise 3 Würfe zulassen!)

Haushuhn. Als Stammform des Haushuhns gilt das südasiatische Wildhuhn (*Gallus gallus*), dessen vorderindische und birmesische Rassen (*G. g. murghi* und *G. g. gallus*) vor allem in Betracht kommen, während z. B. das Bankivahuhn (*G. g. bankiva*) von Djawa und Bali keinen oder nur geringen Anteil hat. Die Domestikation erfolgte wahrscheinlich im 3. Jahrtausend vor der Zeitrechnung. Von Vorderindien gelangte das Haushuhn schon bald nach Vorderasien. Im 7. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung hat es das nördlich der Alpen gelegene Europa erreicht.

Die wichtigsten Hühnerrassen

Landhühner

1. *Einfachkämmige Rassen*
   - Deutsche Hühner
     - Ostfriesische Silber- und Goldmöwen
     - Lakenfelder
     - Ramelsloher
     - Thüringer Pausbäckchen
     - Bergische Kräher
   - Mittelmeerhühner
     - Italiener
     - Leghorns
     - Minorka
     - Andalusier
   - Englische Hühner
     - Sussex
     - Dorking

2. *Rosenkämmige Rassen*
   - Rheinländer Huhn
   - Hamburger Huhn
   - Rotkappen
   - Dominikaner

3. *Hollen- oder Haubenhühner*
   - Holländer Weißhauben
   - Paduaner
   - Brabanter

Riesenhühner
- Cochins (Cochinchinas)
- Brahma
- Plymouth-Rocks
- Rhodeländer
- Wyandotten
- Langschan
- Orpingtons
- Mechelner Huhn
- Lachshuhn
- Deutsches Reichshuhn

Malaienhühner
- Belgische Kämpfer
- Englische Kämpfer
- Malaien

Zwerghühner
- Gartenhühner
- Chabos
- Bantams

Die verbreitetsten Wirtschaftsrassen in der DDR

Rasse	Eierfarbe	Körpergewicht der Henne in kg
Weiße Leghorn	weiß	1,7···2,0
Rebhuhnfarbige (braune) Italiener	weiß	1,7···2,0
Rhodeländer	braun	2,2···2,5
Weiße Wyandotten	braun	2,2···2,5

Das Gewicht der Hähne ist um 30 bis 50% höher.

Haushuhn und Ei

Zu einem Hahn gehören	10···20 Hennen
Brutdauer	20···22 Tage
Zahl der auf einmal bebrüteten Eier	12···18 Stück
Beginn des Eierlegens	frühestens im Alter von 4 Monaten
Legeleistung eines Huhnes	50···300 Stück jährlich
Schlachtalter nicht höher als	3···4 Jahre bei Hennen 6 Jahre bei Hähnen
1 Ei wiegt	35···42 g bei Zwergrassen 50···80 g bei gewöhnlichen Rassen
Vom Eigewicht entfallen	10% auf die Schale 58% auf das Eiweiß 32% auf das Dotter
Ein Legehuhn von 2 kg braucht	130 g Futter täglich (und Grünzeug)
Die 130 g Futter sollen enthalten	80···85 g Trockensubstanz mit 12···18 g verdaulichem Eiweiß 4···5 g Fett 50 g Kohlenhydraten

Truthuhn. Wilde *Truthühner* (*Meleagris gallopavo*) leben in den östlichen Vereinigten Staaten und Teilen Mexikos. Von den Altmexikanern in vorkolumbischer Zeit domestiziert, war das Truthuhn für diese neben dem Hund ein wichtiges Fleischtier. 1524 gelangten die ersten Puten nach England. Heute sind sie wie Haushühner weltweit verbreitet.

Truthuhnzucht

Zu einem Truthahn gehören	8···12 Hennen
Brutdauer	26···30 Tage
Zahl der auf einmal bebrüteten Eier	12···16 Stück

Perlhuhn. Die im westlichen Nordafrika beheimatete Unterart des *Perlhuhns* (*Numida meleagris galeata*) ist die Stammform der Hausperlhühner. Der Zeitpunkt der Domestikation ist unbekannt, liegt aber zweifellos vor der Zeitenwende, da römische Schriftsteller dieses Hausgeflügel schon erwähnen.

Perlhuhnzucht

Zu einem Hahn gehören	1···3 Hennen
Brutdauer	25···28 Tage
Zahl der auf einmal bebrüteten Eier	16···20 Stück

Haustaube. Die Wildform der so überaus zahlreichen Haustaubenrassen ist die *Felsentaube* (*Columba livia*). Dieser im Gegensatz zu den heimischen Hohltauben und Ringeltauben gesellig lebende Höhlenbrüter bewohnt die Gebirgsländer des ganzen südlichen Eurasiens, Nordafrikas und kommt auch an der Westküste Englands und Norwegens vor. Wahrscheinlich ist die Haustaube das älteste domestizierte Hausgeflügel. Ende des 4. Jahrtausends vor der Zeitrechnung ist sie für Ägypten belegt.

Taubenzucht

Zu einem Täuberich gehört	1 Taube
Brutdauer	17···19 Tage
Zahl der auf einmal bebrüteten Eier	2···3 Stück

Die wichtigsten Taubenrassen

1. *Wirtschaftstauben*
Brieftauben
Strasser
(Coburger) Lerchen
Luchstauben
Riesentauben
Huhntauben

2. *Formtauben*
Pfauentauben
Perückentauben
Kropftauben

3. *Flugtauben*
Tümmler
Hochflieger

4. *Farbtauben*
Flügeltauben
Möwchen
Trommeltauben
Mohrenkopftauben

5. *Sonderformen*
Warzentauben

Hausente. Die *Stockente* (*Anas platyrhynchos*) ist in Europa, Asien und in China unabhängig voneinander domestiziert worden. Sie bewohnt große Teile Eurasiens und Nordamerikas. Die Hausente gehört in Europa zu den jüngeren Haustieren. Von den Römern wird sie erst gegen die Jahrhundertwende erwähnt. Möglicherweise erfolgte die Domestikation in China schon viel früher.

Die wichtigsten Entenrassen

Rouenente (wildentenfarbig)
Duclair (schwarz, weißbrüstig)
Aylesburyente (weiß)
Pekingente (gelblichweiß, hochgereckt)
Pommern- oder Schwedenente (blaugrau)
Cayugaente (grünschwarz)
Orpingtonente (ledergelb)
Campbellente (weiß oder gelbbraun)

Entenzucht

Zu einem Enterich gehören	3···5 Enten
Brutdauer	27···30 Tage
Zahl der auf einmal bebrüteten Eier	10···15 Stück
Legeleistung einer Ente	bis 120 Stück jährlich
1 Ei wiegt	70···80 g

Hausgans. Unsere Hausgans stammt von der *Graugans* (*Anser anser*) ab. Wahrscheinlich ist diese in Europa und Nordasien mehrfach und zu verschiedener Zeit domestiziert worden. Erwähnt sei ferner die *Haushöckergans*, die unsere Hausgans in Ostasien vertritt. Im Gegensatz zu ihrer wilden Stammart, der *Schwanengans* (*Cygnopsis cygnoides*), besitzt sie über dem Schnabelansatz einen auffälligen Höcker, der diesem Hausgeflügel den Namen gab.

Die wichtigsten Gänseschläge

Mecklenburger, Angelner, Probsteier	6···12 kg, weiß oder graugefleckt
Emdener Gans	bis 15 kg, reinweiß
Toulouser Gans	bis 14 kg, grau, mit fast schleppender Bauch- und starker Kehlwamme

Gänsezucht

Zu einem Gänserich gehören	3···5 Gänse
Brutdauer	28···32 Tage
Zahl der auf einmal bebrüteten Eier	12···15 Stück
Legeleistung einer Gans	30···40 Stück jährlich
1 Ei wiegt	160 g

DATEN ÜBER LEISTUNGEN, TRÄCHTIGKEIT UND FUTTERMITTEL

Durchschnittliche Leistungen einiger Haustiere

Eine Kuh gibt jährlich	3000 *l* Milch
eine Kuh (Ochse) hat ein Schlachtgewicht von	245 (320) kg
ein Milchschaf gibt jährlich	500···700 *l* Milch
ein Schaf hat ein Schlachtgewicht von	23 kg
eine Ziege gibt jährlich	600···800 *l* Milch
eine Ziege hat ein Schlachtgewicht von	18 kg
ein Schwein hat ein Schlachtgewicht von	90 kg
ein Bienenstock liefert jährlich	6···12 kg Honig

Die Leistungen der Honigbiene

Eine Biene bringt je Ausflug 0,05 g Honig heim, der aus 40 % Nektar und 60 % Wasser besteht. Erst 25000 Ausflüge liefern 1 Pfund Honig. Ein Bienenvolk von durchschnittlicher Stärke hat etwa 15000 Trachtbienen. An guten Tagen fliegt eine Trachtbiene bis 40mal aus.

Masse und Zusammensetzung eines Eies mittlerer Größe

Vogelart	mittlerer Massenwert		in einem Ei sind enthalten		die Trockensubstanz setzt sich zusammen aus				Kalorien
	des Eies	des Eiinhalts	Wasser	Trockensubstanz	Stickstoffverbindungen	Fett-(Äther-)Extrakt	stickstofffreie Extraktstoffe	Asche	
Hühnerei	58,6	52,7	38,2	14,5	7,4	6,0	0,5	0,6	91
Gänseei	161,0	148,1	104,1	44,0	20,8	19,7	1,9	1,6	286
Entenei	70,4	63,2	43,9	19,3	8,3	9,5	0,9	0,6	131
Truthuhnei	85,9	76,3	55,9	20,4	9,8	8,7	1,3	0,6	131
Perlhuhnei	42,7	36,3	26,4	9,9	4,9	4,4	0,3	0,3	65

Trächtigkeitsdauer bei einigen Haustieren

	Tage	Wochen		Tage	Wochen
Pferd	330···340···415	48½	Schwein	109···120···132	17
Kuh	240···285···320	40½	Hund	63···65	9
Schaf	145···150···158	21½	Katze	55···60	8
Ziege	145···150···156	21½	Kaninchen	28···35	4½

Anfang der Tragzeit	Ende der Tragzeit bei				
	Pferd	Kuh	Schaf und Ziege	Schwein	Hund
1. Januar	7. Dezember	13. Oktober	31. Mai	1. Mai	5. März
1. Februar	7. Januar	13. November	1. Juli	1. Juni	5. April
1. März	4. Februar	11. Dezember	29. Juli	29. Juni	3. Mai
1. April	7. März	11. Januar	29. August	30. Juli	3. Juni
1. Mai	6. April	10. Februar	28. September	29. August	3. Juli
1. Juni	7. Mai	13. März	29. Oktober	29. September	3. August
1. Juli	6. Juni	12. April	28. November	29. Oktober	2. September
1. August	6. Juli	13. Mai	29. Dezember	29. November	2. Oktober
1. September	7. August	13. Juni	29. Januar	30. Dezember	3. November
1. Oktober	6. September	13. Juli	28. Februar	29. Januar	3. Dezember
1. November	7. Oktober	13. August	31. März	1. März	3. Januar
1. Dezember	6. November	12. September	30. April	31. März	2. Februar

Körpertemperaturen der Haustiere

in °C

Pferd	37,5···38,0	Katze	38,0···39,5
Rind	37,5···39,5	Huhn	40,5···42,0
Schaf	38,5···40,0	Gans	40,0···41,0
Ziege	38,5···40,5	Ente	41,0···43,0
Schwein	38,0···40,0	Taube	41,0···43,0
Hund	37,5···39,0		

Die Temperatur wird mit einem in den Mastdarm eingeführten Maximalthermometer gemessen. Es verbleibt dort 5 Minuten. Die Körpertemperatur steigt in der Regel nach der Futteraufnahme, während der Bewegung und am Nachmittag um wenige Zehntelgrade. Bei Ansteigen der Temperatur über die genannte Obergrenze hinaus liegt Fieber vor.

Vitamine der Futtermittel

1. *Vitamin A* (fördert das Wachstum, wahrscheinlich auch wichtig für die Fortpflanzungsfähigkeit): reichlich in Grünfutter, gutem Heu, Sauerfutter, roher Milch, wenig in Getreidekörnern. — **2.** *Vitamin B* (sein Fehlen verursacht Störungen im Nervensystem, Appetitlosigkeit): reichlich in Hülsen-, Wurzelfrüchten, Getreideschalen (Kleie), Hefe, wenig in weißem Mehl. — **3.** *Vitamin C* (sein Fehlen verursacht Skorbut): in Futterrüben, Sauerfutter, Milch. — **4.** *Vitamin D* (fördert Knochenwachstum, das Fehlen erzeugt Rachitis): im Heu (besonders Luzerneheu).

Zusammensetzung der wichtigsten Futtermittel

Futtermittel (Nh = stickstoffhaltige, Nfr = stickstofffreie organische Stoffe)	Gehalt der Futtermittel in % an Trockensubstanz: Wasser	Protein	Fett	Nfr-Extraktstoffe	Rohfaser	Asche	insgesamt	Nh : Nfr = 1:	Summe der Futterwerteinheiten nach dem Gehalt an: Rohnährstoffen	verdaulichen Nährstoffen
Grünfutter: Hafer	83,9	2,3	0,5	8,0	3,8	1,5	16,1	4,0	15,9	10,9
Grünfutter: Gerste	81,0	2,5	0,5	8,8	5,6	1,6	19,0	4,0	17,5	11,6
Grünfutter: Timotheegras	66,9	3,1	1,1	17,5	9,2	2,2	33,1	6,5	29,0	16,9
Grünfutter: Roggen	76,6	3,0	0,9	10,3	7,5	1,7	23,4	4,2	21,0	14,3
Grünfutter: Kleegras	82,6	2,7	0,6	7,3	5,3	1,5	17,4	3,3	16,6	11,0
Grünfutter: Lupine	83,1	3,2	0,4	7,0	5,3	1,0	16,9	2,5	17,5	10,7
Grünfutter: Luzerne (blühend)	76,0	3,9	0,8	9,3	7,8	2,2	24,0	2,9	22,7	14,6
Grünfutter: Rotklee (blühend)	79,0	3,4	0,7	9,4	5,9	1,6	21,0	3,3	21,0	14,0
Braunheu aus Wiesengras	15,8	10,2	3,0	40,2	23,5	7,3	84,2	4,7	76,6	51,6
Bestes Wiesenheu	14,6	12,0	3,2	39,9	23,2	7,1	85,4	3,9	82,3	54,6
Grummetheu	14,7	11,5	3,4	39,5	22,5	8,4	85,3	4,1	80,8	50,8
Süßpreßfutter aus Kleegras	71,5	5,4	1,9	11,0	8,0	2,2	28,5	2,9	30,9	17,2
Süßpreßfutter aus Gras	67,0	4,8	1,5	13,2	9,7	3,8	33,0	3,5	30,6	18,2
Roggenstroh	13,6	3,1	1,4	39,2	38,5	4,2	86,4	13,8	51,3	18,8
Gerstenstroh	14,0	4,9	1,4	39,2	34,6	5,9	86,0	8,7	56,7	29,0
Haferstroh	16,1	4,8	1,7	36,9	34,5	6,0	83,9	8,6	54,6	28,7
Rapsstroh	16,0	2,5	1,3	38,6	37,8	3,8	84,0	16,6	48,7	22,9
Kartoffeln	75,0	2,0	0,2	21,0	0,7	1,1	25,0	10,1	27,6	25,5
Gerstenkörner	14,3	9,4	2,1	67,8	3,9	2,5	85,7	7,7	100,2	87,4
Haferkörner	13,3	10,3	4,8	58,2	10,3	3,1	86,7	6,7	98,6	77,0
Maiskörner	13,0	9,9	4,4	69,2	2,2	1,3	87,0	8,1	107,6	97,3
Roggenkleie	12,5	14,5	3,4	59,0	6,0	4,6	87,5	4,7	109,3	84,1
Haferfuttermehl	10,0	11,7	4,7	52,4	15,0	6,2	90,0	5,5	96,9	72,1
Biertreber (frisch)	76,2	5,1	1,7	10,7	5,1	1,2	23,8	2,9	29,2	20,9
Kartoffelschlempe	94,3	1,2	0,1	3,0	0,7	0,7	5,7	2,9	6,8	6,2
Melasseschlempe	92,2	1,9	—	4,0	—	1,9	7,8	2,1	9,8	9,3
Diffusionsschnitzel (gepreßt)	89,7	0,9	0,1	6,3	2,4	0,6	10,3	7,1	9,1	7,2
Fleischfuttermehl	10,7	71,2	13,7	0,3	—	4,1	89,3	0,5	241,0	232,3
Magermilch	90,6	3,1	0,3	5,3	—	0,7	9,4	2,0	15,1	14,6

VIII. Wild, Naturschutz

WILD

Wild und Jagd. Unter dem Begriff Wild werden alle die Tierarten zusammengefaßt, die der Mensch zum Zwecke der Ernährung mit Hilfe von *Jagdwaffen* erlegt. In vor- und frühgeschichtlicher Zeit kam auch dem Fallenfang erhebliche Bedeutung zu, der auch in der Gegenwart noch Anwendung findet. Seit dem Mittelalter wird jedoch jede Aneignung von Wildtieren mit Hilfe von Netzen und Fallen nicht mehr zur Jagd gerechnet. So zählt der *Vogelherd*, das heißt die Einrichtung, um Vögel mit Netzen, Leim oder Schlingen zu fangen, nicht zur Jagd. Heute ist bei der Jagd der Gesichtspunkt der Fleischversorgung vielfach hinter dem des *Trophäengewinnes* zurückgetreten. Das gilt insbesondere für die Großwildarten Afrikas und Asiens. Die Jagd, die im Feudalismus ein Privileg der Feudalherrn darstellte und im Kapitalismus nur den Bemittelten möglich war, wird in der DDR wie in allen sozialistischen Ländern als Volkssport betrieben. Die nötigen gesetzlichen Grundlagen hierzu vermittelt das „Gesetz zur Regelung des Jagdwesens" vom 15. 11. 1953 (Gesetzblatt S. 1105) mit seinen Durchführungsbestimmungen. Hierin werden nicht nur die Jagdmöglichkeiten, die Abschußzahlen und die waffenrechtlichen Bestimmungen erläutert, sondern auch auf die Hauptaufgabe jedes Jägers, die Wildhege, hingewiesen.

Jagdarten

Pirsch: Jagd durch Aufsuchen des Wildes durch einzelne Jäger im Revier.

Ansitz: Jagd durch Ansetzen auf Hochständen oder in anderen Deckungen an vom Wild bevorzugten übersichtlichen Stellen.

Stöberjagd: Jagd hinter einem auf das Aufsuchen des Wildes dressierten Hund (Hühnerhund), vorwiegend Niederjagd (Flugwild). Stöberjagd auf Fuchs, Dachs oder Kanin am Bau mit Hilfe von Kleinhunden (Dachshund) oder Frettchen, die die Bewohner aus den Bauen sprengen.

Treibjagd: Jagd vom festen Stand aus, an dem durch eine Treiberkette das Wild vorbeigescheucht wird, meist als Kollektivjagd auf Niederwild (Hase, Enten), aber auch auf Rehwild.

Lappjagd: Jagd in einem Gebiet, in dem das Wild vorher durch Treiber konzentriert und durch Leinen mit Scheuchlappen am Ausbrechen gehindert wurde. Frühere Form der Hofjagden.

Parforcejagd: Hetzjagd zu Pferde hinter der das Wild verfolgenden Hundemeute (Braken). Heute nicht mehr geübt.

Beize: Jagd mit Hilfe von abgetragenen (abgerichteten) Raubvögeln. Diese Jagdart hatte eine hohe Blüte im Mittelalter. Sie wird heute in Asien noch stark geübt. Hier wird mit Steinadlern auf Wolf und Saigaantilope gebeizt. Im Mittelalter vorwiegend Falkenbeize auf Flugwild (Gerfalk auf Reiher, Wanderfalk auf Hühner und Tauben). Heute vorwiegend als Sport mit Habichten auf Niederwild (Kanin, Hase, auch Rebhuhn und Krähen) ausgeübt.

Die wichtigsten deutschen Wildarten

	Begattungszeit	Trächtigkeits- bzw. Brutdauer	Junge im	Zahl der Jungen bzw. Eier
Muffelwild	September bis Oktober	21 Wochen	März bis Mai	1 (2)
Rotwild	September	40 Wochen	Juni	1 (2)
Damwild	Oktober	38 Wochen	Juni	1 (2)
Rehwild	Mitte Juli bis Mitte August	40 Wochen	Mai	1···2 (3)
Gamswild	November	20 Wochen	Mai	1···2
Schwarzwild	Dezember bis Januar	20 Wochen	April	10···12
Hase	Februar bis August	42 Tage	März bis September	1···4
Fuchs	Februar	52 Tage	April	4···7
Auerwild	April bis Mai	30 Tage	April	6···12
Birkwild	April bis Mai	30 Tage	Mai bis Juni	8···14
Haselwild	März	24 Tage	Mai bis Juni	8···15
Fasan	April	24 Tage	Mai	8···15
Rebhuhn	April	21 Tage	Mai	12···20
Wildente	April bis Mai	21 Tage	Mai bis Juni	6···16

Die Zahlen in Klammern bedeuten: ausnahmsweise. Die Angabe für den *Hasen* bezieht sich auf den einzelnen Satz bei 3 bis 4 Sätzen im Jahr.

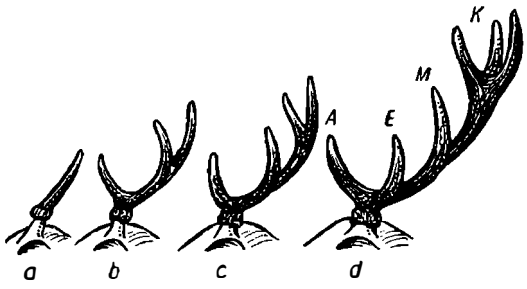
Jagdzeiten

Männliches Rotwild	vom 16. 8. bis 31. 1.
Weibliches Rotwild und Kälber	vom 16. 9. bis 31. 1.
Männliches Damwild	vom 1. 9. bis 31. 1.
Weibliches Damwild und Kälber	vom 16. 9. bis 31. 1.
Männliches Muffelwild	vom 1. 8. bis 31. 1.
Weibliches Muffelwild und Muffelwildlämmer	vom 16. 10. bis 31. 1.
Männliches Rehwild	vom 16. 5. bis 15. 10.
Weibliches Rehwild und Kitze	vom 16. 9. bis 31. 1.
Hasen	vom 1. 10. bis 15. 1.
Dachse	vom 1. 8. bis 15. 1.
Edelmarder und Steinmarder	vom 1. 12. bis 31. 1.
Auer-, Birk- und Rackelhähne	vom 1. 4. bis 15. 5.
Rebhühner	vom 1. 9. bis 30. 11.
Fasanenhähne	vom 1. 10. bis 31. 12.
Ringeltauben	vom 1. 8. bis 15. 4.
Wacholder-, Wein- oder Rotdrossel (Krammetsvögel)	vom 1. 9. bis 30. 11.
Waldschnepfen	vom 1. 9. bis 15. 4.
Bekassinen	vom 1. 8. bis 28. 2.
Wildenten (Kolbenenten und Eiderenten ganzjährig geschont)	vom 16. 8. bis 31. 12.
Wildgänse (Brandgans ganzjährig geschont)	vom 16. 7. bis 31. 3.
Fischreiher	vom 1. 6. bis 15. 3.
Hühnerhabicht	vom 1. 7. bis 28. 2.
Sperber	vom 1. 7. bis 28. 2.

Außerhalb der festgelegten Jagdzeiten sind die aufgeführten Wildarten von der Jagd zu verschonen (*Schonzeiten*). Keine Schonzeiten genießen:

Schwarzwild (beschränkt)
Wilde Kaninchen
Füchse
Iltisse
Große Wiesel (Hermelin)
Bleßhühner und
Haubentaucher

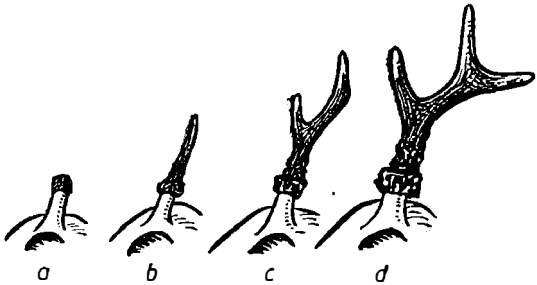
Rotwild. Der Rothirsch (*Cervus elaphus*) bewohnt in vielen Rassen die Waldlandschaften und Gebirge Europas bis zum Mittelmeer und den Atlasländern, die mittelasiatischen Gebirgs- und Waldländer (*Maral*) und die gemäßigten Waldgebiete Nordamerikas (*Wapiti*). Er wurde in Australien, Neuseeland und Südamerika als Jagdwild eingeführt. Der europäische Rothirsch bevorzugt dickungsreiche Mischwälder. In Gebirgslagen steigt er bis zur Mattengrenze empor. Er hält sich familien-, trupp- oder rudelweise zusammen, wobei ein Alttier (alte Hirschkuh) die Führung übernimmt, während die Hirsche meist Einzelgänger sind. Berühmt ist die mit lauten Brunftrufen, dem „Röhren", und Kämpfen verbundene Brunft im Herbst. Um diese Zeit sind die Kopfwaffen, das Hirschgeweih, voll ausgebildet und verfegt.



Geweihentwicklung des Rothirsches: a Spießer, b Sechser, c Achter, d Kronenzwölfer, A Augsprosse, E Eissprosse, M Mittelsprosse, K Krone

Die Geweihbildung ist ebenso wie bei allen übrigen Hirschartigen (Reh, Damhirsch, Elch) durch hormonale Steuerung mit dem jährlichen Zyklus der Geschlechtsdrüsen verbunden. Im Winter ruhen die hautüberzogenen Knochenzapfen der Rosenstöcke, da keine Hormonproduktion dieser Art erfolgt. Die wachsende Sonneneinstrahlung aktiviert über die Lichtwahrnehmung den Hypophysenvorderlappen, der durch Hormonausschüttung ins Blut den Hoden zur Entwicklung und Hormonbildung veranlaßt. Er erzeugt Geweihwachstumshormon, das das Geweih herausschieben läßt. In der chinesischen Volksmedizin spielen *Bastgeweihe* seit langem eine Rolle. Die Wirkung der Präparate beruht auf dem Hormonreichtum der wachsenden Geweihe. Die als *Panten* bezeichneten getrockneten Kolbengeweihe sind sehr gesucht, und die Pantengewinnung hat in jenen Gebieten beinahe zum Aussterben der Hirscharten geführt. Heute werden im Altai Marale in Farmen gehalten, um ihre Kolbengeweihe als Panten zu gewinnen. Das Absägen des Bastgeweihs verhindert die Brunft der Hirsche.

Der Aufbau und die Benennung der Enden ist aus der Abbildung zu ersehen. Die Entwicklung verläuft über den *Spießer* im 2. Lebensjahr zum *Gabler* (Augsprosse) oder *Sechser* (Augsprosse, Mittelsprosse) zum *Achter* (Augsprosse, Eissprosse, Mittelsprosse). Weitere Endenzunahme durch Verdoppelung der Endsprosse (Krone) oder anderer Sprosse. Gezählt wird die Endenzahl an beiden Stangen. Sind die Endenzahlen verschieden, wird die Stange mit den meisten Enden gewertet. Solche Hirsche heißen dann „ungerade". Das endenreichste Geweih ist der 66-Ender von Moritzburg, der infolge von Zufütterung starke Becherkronen entwickelt hat.



Geweihentwicklung des Rehbocks: a Knopfspießer, b Spießer, c Gabler, d Sechser

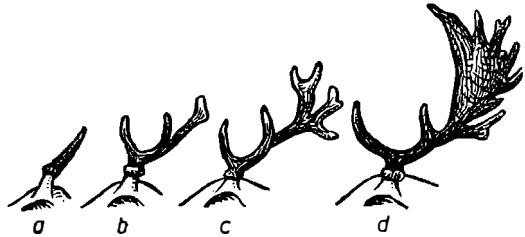
Rehwild. Das Reh (*Capreolus capreolus*) ist eine Kleinhirschart, die Europa (mit Ausnahme der Mittelmeerinseln) und Vorderasien südwärts bis Persien und dem Nordirak besiedelt und ferner in einer Reihe anderer Rassen in großen Teilen Asiens vorkommt (z. B. das wegen seiner kräftigeren Trophäe auch bei uns eingeführte Sibirische Reh). Es bewohnt vorwiegend gehölzreiche Landschaften, kommt aber auch (dann meist in großen Rudeln) in waldlosen Feldfluren vor. Im Gebirge steigt es bis zur Waldgrenze empor.

Das Geweih des Rehbocks wird in der Weidmannssprache als „*Gehörn*" oder (was sachlich besser ist) als „Krone" bezeichnet. Wie beim Hirsch ist die Bildung von Geschlechtshormonen abhängig. Aus dem hormonalen Zusammenhang zwischen Geweihbildung und Geschlechtstätigkeit erklärt sich auch die Tatsache, daß Rehböcke bei Hodenverletzungen ein abnormes „*Perückengehörn*" bilden. Der Rehbock setzt im 2. Lebensjahr eine *Spießer-* oder Gablerkrone auf, danach eine *Gabler-* und schließlich eine *Sechserkrone*. Mehrendige Kronen sind abnorm.

Damwild. Das Damwild (*Cervus dama*) stammt ursprünglich aus dem Mittelmeerraum. Heute ist es in seiner Heimat in ganz Nordafrika und Vorderasien ausgerottet, dafür aber fast in allen europäischen Ländern, USA, Chile und Neuseeland teils als Gatter- und teils als freilebendes Wild eingeführt worden. Im Gegensatz zu unseren einheimischen Hirschen tragen die Damhirsche

während ihres ganzen Lebens ein Fleckenkleid. Sie bewohnen die laubwaldreichen Parklandschaften der Ebene und des Mittelgebirges.
Bei dem Geweih des Hirsches verbinden sich die Stangen der Krone zu einer geschlossenen Schaufel.

Mufflon. Auch das Mufflon (*Ovis musimon*) gehört nicht zu den einheimischen Wildarten. Es kam ursprünglich in Korsika, Sardinien und Cypern vor. Seit dem Ende des 19. Jh. wurde es in die meisten europäischen Länder eingeführt, in Deutschland seit 1902. Heute gibt es in Deutschland etwa 1000 Mufflons; ursprünglich war es ein Schaf des felsreichen Mischwaldes. Im Gegensatz zu den einheimischen Wildarten richtet es in der Land- und Forstwirtschaft kaum Schäden an. Wo dies der Fall ist, soll Einkreuzung von Hausschafen vorliegen.



Geweihentwicklung des Damhirsches:
a Spießer, b Sechsender, c Löffler, d Hauptschaufler

Schwarzwild. Das Wildschwein (*Sus scrofa*) ist eine Art der deckungsreichen Landschaften Europas (außer England, Irland und Skandinavien), der warmen und gemäßigten Teile Asiens und Nordafrikas bis Nubien und Kordofan. Wegen seiner großen Schäden vor allem in der Landwirtschaft stark verfolgt, hat es sich dank seiner Anpassungsfähigkeit und starken Vermehrung beinahe in allen Ländern gehalten. Als Trophäen werden im allgemeinen nur die Gewehre (untere Eckzähne) der Keiler, seltener auch die Decken betrachtet.

Hase. Der Hase (*Lepus europaeus*) ist ein Kulturfolger. Er bevorzugt Feldgebiete, kommt aber auch in geschlossenen Wäldern vor. Er ist über Mittel- und Südeuropa, Vorderasien und Afrika in mehreren Rassen verbreitet. Seine Vermehrung ist in starkem Maße von den herrschenden Witterungsverhältnissen abhängig. Jahre mit Vervierfachung des Bestandes gelten als gute, mit Verdoppelung als schlechte Hasenjahre.

Kaninchen. Das Kaninchen (*Oryctolagus cuniculus*) war ursprünglich in Spanien und Nordafrika verbreitet. Bereits im Altertum wurde es in Italien und in Kleinasien eingebürgert. Heute kommt es in ganz Deutschland, aber durchaus nicht an allen Stellen vor. In Australien sind eingeführte Kaninchen zu Großschädlingen geworden. Eine in Frankreich erfolgte künstliche Infektion mit Myxomatoseviren hat die europäischen Bestände außerordentlich stark dezimiert. Die Jagd auf das Kaninchen erfolgt auch mit Hilfe von Frettchen und Beizvögeln.

Jagdfasan. Der Jagdfasan (*Phasianus colchicus*) wurde seit dem Mittelalter aus seiner asiatischen Heimat nach Europa eingeführt. Da verschiedene Rassen importiert wurden, ist das Bild der heutigen Populationen uneinheitlich. In vielen Gebieten hält sich der Fasan nur bei intensiver Hege. Heute ein begehrtes Wild der Niederjagd. Die Hennen sind ganzjährig geschützt.

Ehemaliges Jagdwild in Deutschland

Ur oder *Auerochse* (*Bos primigenius*); ausgerottet.
Wisent (*Bison bonasus*); in Deutschland im 18. Jh., in Polen 1921 aus freier Wildbahn verschwunden.
Elch (*Alces alces*); in beiden deutschen Staaten ausgerottet, Einzelstücke wandern aber wieder aus der VR Polen zu und müssen unbedingt geschont werden.
Wolf (*Canis lupus*); 1872 in der Lüneburger Heide ausgerottet. Nach den Weltkriegen als Wechselwild aus Ost- und Westeuropa wieder in Deutschland aufgetaucht. Nach 1945 mehrere Stücke in der Lüneburger Heide und in Niedersachsen, 3 in der DDR erlegt.
Braunbär (*Ursus arctos*); 1836 letzter in Bayern erlegt.
Luchs (*Lynx lynx*); 1843 in Thüringen, 1850 in Bayern ausgerottet. Nach 1945 vorübergehend einzelne als Wechselwild aus der ČSSR eingewandert.

Abschußziffern

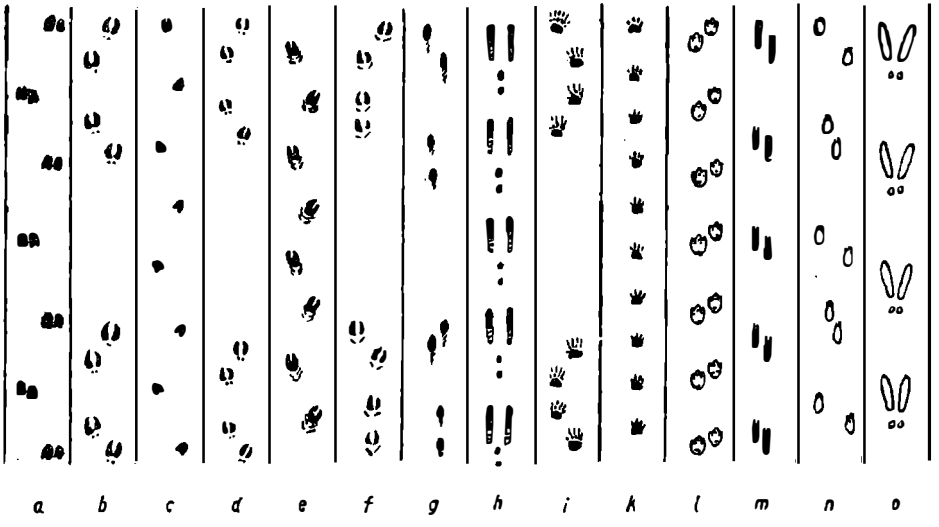
	Deutschland 1938	DDR 1959
Rotwild	etwa 50000 Stück	8025 Stück
Rehwild	etwa 560000 Stück	137407 Stück
Schwarzwild	etwa 40000 Stück	28351 Stück
Hase	2332000 Stück	376336 Stück

Der fehlende Beschuß nach dem Kriege hat zu einem starken Anstieg der Wilddichte und großen Wildschäden geführt. Nach statistischen Angaben wurden 1956 19500 ha Ackerfläche total und 15000 ha Forstkulturfläche weitgehend geschädigt. Daher wurde veranlaßt, die Wilddichte auf ein

erträgliches Maß zu reduzieren. Deshalb bestimmt die 2. Durchführungsbestimmung zum Gesetz zur Regelung des Jagdwesens vom 21. 5. 1954 folgenden Besatz für je 100 ha Holzbodenfläche in der DDR:

		Rotwild	Damwild	Rehwild
bei guten Äsungsbedingungen		1	0	1,5
	oder	0	1,5	1,5
	oder	0,5	1,0	1,5
	oder	0	0	3···4
bei schlechten Äsungsverhältnissen		0,5	0	1
	oder	0	1	1
	oder	0	0	2···3

Schäden treten bei Rehwild vor allem durch das Fegen des Bockes, bei Rotwild und auch Rehwild durch Schälen der Rinde von Jungbäumen ein.



Wildfährten und -spuren

a ziehender Hirsch
b flüchtiger Hirsch
c ziehendes Reh
d flüchtiges Reh
e ziehende Sau
f flüchtige Sau
g flüchtiger Hase
h rutschender Hase
i flüchtiger Dachs
k schnürender Fuchs
l Marder
m laufendes Mauswiesel
n flüchtiges Mauswiesel
o Eichhörnchen

NATURSCHUTZ

Bedeutung des Naturschutzes. Der Naturschutzgedanke entstand in der Zeit des aufstrebenden Kapitalismus als Folge der durch Profitstreben hervorgerufenen Naturverwüstungen. Zunächst in starkem Maß von naturschwärmerischen Ideen bestimmt, wandelten sich die Anschauungen über Naturschutz mit dem Fortschreiten der gesellschaftlichen Verhältnisse zum *konservierenden* und schließlich wissenschaftlich fundierten, *gestaltenden* Naturschutz in unserer Zeit. Damit wachsen die Aufgaben, denn an die Stelle weniger Einzelobjekte tritt immer mehr die Sorge um große Landschaftsteile und in Zukunft um die gesamte Landschaft. Deshalb schützt das vorbildliche und auf weitsichtiger Planung beruhende Gesetz „Über den Schutz der Natur in der RSFSR" (vom 27. 10. 1960, Kapitel 1)

a) das Land,
b) die Bodenschätze;
c) die Gewässer (an der Bodenoberfläche, unter der Erde sowie die Bodenfeuchtigkeit);
d) die Wälder und die andere natürliche Vegetation, die Grünanlagen der Siedlungen;
e) typische Landschaften, seltene und bemerkenswerte Naturobjekte;
f) Kurortgelände, wald- und parkartige Schutzzonen und natürliche Grüngürtel;
g) die Fauna (nützliche wilde Tiere);
h) die atmosphärische Luft.

Aus dem gleichen Grunde beschloß der XXII. Parteitag der KPdSU im Programm zum Aufbau des Kommunismus dem Naturschutz und der vernünftigen Nutzung der Naturschätze einen eigenen Abschnitt zu widmen. Im Sozialismus ist erstmalig ein echter Naturschutz möglich, weil gegenüber den auf die Erhaltung der natürlichen Reichtümer gerichteten Maßnahmen keine Privatinteressen mehr geltend gemacht werden können.

Heutige Ziele des Naturschutzes. Die Aufgaben des Naturschutzes in der Gegenwart können in drei große Gebiete eingeordnet werden:

1. *Wissenschaftliche Aufgaben:* Diese umfassen die bisherige Erhaltungsarbeit an seltenen oder wissenschaftlich wertvollen Arten der Tier- und Pflanzenwelt, die Erhaltung von bedeutenden geologischen Erscheinungen oder einmaligen Naturgebilden (Naturdenkmäler). Ferner gehören hierzu die möglichst unveränderten Naturräume, die Studienobjekte für die Landschaftsökologie und damit für eine Erforschung der optimalen Nutzbarmachung der Landschaft darstellen sollen (Naturschutzgebiete, strenge Reservate). Diese Gebiete sollen weitgehend der wissenschaftlichen Forschung vorbehalten bleiben.
2. *Wirtschaftliche Aufgaben.* Im Zuge der Neuordnung unserer Wirtschaftslandschaft kommen dem Naturschutz große Aufgaben bei der sinnvollen Übertragung der in den Forschungsräumen gewonnenen Ergebnisse auf die Gesamtlandschaften zu. Indem die Wissenschaft die mannigfaltigen Zusammenhänge des Pflanzen- und Tierlebens, der Bodenbildung und des gesamten Landschaftshaushaltes erforscht, schafft sie entscheidende Grundlagen für die Gestaltung der Natur sowie für die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.
3. *Soziale Aufgaben.* Eng mit der zweiten ist diese dritte Aufgabe verknüpft. Hier geht es darum, durch Sicherung der Erholungsmöglichkeiten für den werktätigen Menschen Gesundheit und Wohlbefinden zu gewährleisten. Diesem Zwecke dienen die Nationalparks und Landschaftsschutzgebiete. Aber auch die Landschaftsgestaltung aus wirtschaftlichen Erwägungen trägt hierzu bei, da eine biologisch gesunde Landschaft stets auch als ästhetisch schön empfunden wird.

Landschaftsschäden. Rücksichtslose Ausbeutung und Unkenntnis haben zu schweren Schäden an der Produktionsfähigkeit der Landschaft geführt:

Amerikanische Tragödie: Am „schwärzesten Tag der amerikanischen Geschichte", dem 11. 5. 1934, trug ein Blizzard 300 Millionen Tonnen Mutterboden als schwarze Wolken bis zu 3000 km weit in den Atlantischen Ozean und vernichtete die Existenzgrundlage von 165000 Farmern des amerikanischen mittleren Westens. Die Ursache dieser Katastrophe war der Umbruch ackeruntauglicher Böden zu Spekulationszwecken. Nach Mißerfolgen blieb während der Weltwirtschaftskrise der Boden ohne Pflanzendecke offen liegen und konnte vom Winde angegriffen werden.

Tullasche Rheinkorrektur: Der Wildlauf des Oberrheins wurde nach einer Denkschrift des badischen Obersten Tulla vom Jahre 1838 begradigt, um die angrenzenden Gebiete hochwasserfrei zu machen. Die beabsichtigte verstärkte Sohlenerosion und Eintiefung des Flußbettes führten zu Grundwasserabsenkungen bis zu 7 Metern. Damit fielen Brunnen trocken und der reiche Rheinauwald begann ab 1913 abzusterben und ist heute völlig verödet. 10000 ha Ackerland sind auf deutscher Seite vernichtet und 80000 ha auf französischer stark beeinflußt worden. Die Ableitung des Rheinseitenkanals nach dem Elsaß wird verstärkt Schäden mit sich bringen. Der Rheinspiegel sank in diesem Gebiet um 2,40 m.

Verunreinigung der Gewässer: Die Verunreinigung der Gewässer ist heute zu einem ernsthaften wirtschaftlichen Problem aller Industrieländer geworden.

Gegen Schädigungen dieser Ausmaße kann nicht mit kleinen Einzelmaßnahmen vorgegangen werden. Zu ihrer Beseitigung sind große, alle Teile der Volkswirtschaft umfassende Planungen erforderlich, wie sie aus der Sowjetunion zum Beispiel bei der komplexen Sicherung der Ertragsfähigkeit der Ukraine bekanntgeworden sind.

Vom Menschen ausgerottete Tierarten: Durch Einwirkung des Menschen wurden bisher 72 Säugetierarten ausgerottet und 300 dieser Gefahr nahegebracht. Zu den völlig vernichteten gehören die auf der Farbtafel abgebildeten Arten:

Quagga (*Equus quagga quagga*), eine fast braune Zebraform Südafrikas, die seit etwa 1800 von den Buren völlig ausgerottet ist, weil aus ihrer Haut Getreidesäcke hergestellt werden konnten.

Auerochse oder Ur (*Bos primigenius*), ein früher über ganz Europa und Teile Asiens verbreitetes Wildrind, bevorzugtes Jagdwild. Letzte Kuh 1627 im Wald von Jaktorowa bei Warschau erlegt. Stammform unserer Hausrinder.

Seit dem 16. Jahrhundert wurden 139 Vogelarten ausgerottet und etwa 100 droht diese Gefahr noch. Zu den ausgerotteten Arten gehören die auf der Farbtafel dargestellten Formen:

Dronte (*Didus ineptus*), ein truthahngroßer Taubenvogel der Insel Mauritius, der 1505 entdeckt wurde und 1693 bereits ausgerottet war, da er den Seeleuten zur Verproviantierung ihrer Segelschiffe diente.

Wandertaube (*Ectopistes migratorius*), die im 19. Jh. noch in Millionenschwärmen in Nordamerika lebte. Sie wurde stark verfolgt, z. B. wurden Tausende erschlagen und als Schweinefutter verwendet. Seit 1900 ist sie verschollen, 1914 starb das letzte Exemplar im Zoo von Cincinnati.

Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete und Naturdenkmäler

[gemäß dem in der DDR erlassenen *Gesetz zur Erhaltung und Pflege der heimatlichen Natur* (*Naturschutzgesetz*) vom 4. 8. 1954]

1. *Naturschutzgebiete.* Zu Naturschutzgebieten können Landschaften oder Landschaftsteile erklärt werden, die sich durch bemerkenswerte, wissenschaftlich wertvolle oder vom Aussterben bedrohte Pflanzen- und Tiergemeinschaften auszeichnen oder deren Geländeformen von hoher Bedeutung für die erdgeschichtliche Betrachtung unseres Landes sind. In den Naturschutzgebieten ist es verboten,



a) den Zustand des Gebietes zu verändern oder zu beeinträchtigen,
b) Pflanzen zu beschädigen, zu entnehmen oder Teile von ihnen abzutrennen,
c) Tiere zu beunruhigen, zu fangen oder zu töten,
d) die Wege zu verlassen, zu lärmen, Feuer anzumachen, zu zelten oder das Gebiet zu verunreinigen.

Die Zentrale Naturschutzverwaltung kann Ausnahmen zulassen.

Eulenzeichen zur Kennzeichnung naturgeschützter Objekte

Im Jahre 1957 gab es in der DDR 510 Naturschutzgebiete, u. a.
„*Ostufer der Müritz*", 6280 ha, Vogelfreistätte und Sitz der Naturschutzlehrstätte der DDR.
„*Darß*", 1130 ha, als Studienobjekt vieler naturwissenschaftlicher Disziplinen (Geographie, Botanik, Zoologie u. a.).
„*Plagefenn*" bei Chorin, Krs. Eberswalde, 177 ha, Moorgebiet von großer botanischer Bedeutung, ältestes Gebiet Brandenburgs.
„*Oberharz*", 1980 ha, ausgedehntes Waldgebiet mit der natürlichen Waldgrenze am Brocken.
„*Teufelsmauer*" bei Neinstedt, Krs. Quedlinburg, 145 ha, als geologisches Objekt hoher Bedeutung.
„*Geisingwiesen*" bei Altenberg, 11 ha, als botanisch wertvolles Gebiet mit Karpatenenzian und Orchideen.
Diese Gebiete dienen in erster Linie der Forschung.

2. *Landschaftsschutzgebiete.* Zu Landschaftsschutzgebieten können Landschaften oder Landschaftsteile erklärt werden, die besondere nationale Bedeutung haben oder die besondere Eigenarten oder Schönheiten aufweisen und deshalb geeignet sind, der werktätigen Bevölkerung als Erholungsgebiete und Wanderziele zu dienen. In Landschaftsschutzgebieten ist es unzulässig, den Charakter der Landschaft zu verändern. In Landschaftsschutzgebieten ist es verboten,

a) die Landschaft zu verunstalten und
b) außerhalb der dafür freigegebenen Plätze zu zelten.

Im Jahre 1954 gab es in der DDR etwa 400 Landschaftsschutzgebiete. Ihre Zahl ist noch immer im Anwachsen. Zu ihnen gehören u. a. das *Elbsandsteingebirge*, die *Umgebung der Saaletalsperren* in Thüringen und das *Feldberger Seen- und Endmoränengebiet*.

3. *Naturdenkmäler.* Einzelne Gebilde der Natur, deren Erhaltung wegen ihrer nationalen, heimatkundlichen oder wissenschaftlichen Bedeutung im gesellschaftlichen Interesse liegt, können zu Naturdenkmälern erklärt werden. Es ist verboten, ein Naturdenkmal zu beschädigen, zu zerstören oder es ohne Genehmigung der Kreis-Naturschutzverwaltung zu verändern oder zu entfernen. Zu Naturdenkmälern können insbesondere erklärt werden: alte und seltene *Bäume*, Baumgruppen und Gruppen von sonstigen Pflanzen, *Findlingsblöcke*, *erdgeschichtliche Aufschlüsse*, *Höhlen*, *Quellen* und *Felsen* von besonderer Eigenart sowie *Pfühle* und sonstige Gebilde mit einer Flächenausdehnung bis zu 1 ha, und zwar ohne Rücksicht darauf, ob die Objekte sich außerhalb oder innerhalb geschlossener Ortschaften befinden.
Von diesen Einzelobjekten gibt es in der DDR zur Zeit über 9000. Alle vorgenannten Objekte müssen durch das amtliche Eulenzeichen (siehe oben) kenntlich gemacht sein.

Die Organisation des Naturschutzes in der DDR. Die einzelnen Objekte des Naturschutzes unterstehen der Zuständigkeit verschiedener Naturschutzverwaltungen. Es sind zuständig für die Erklärung

a) zum Naturdenkmal die Kreis-Naturschutzverwaltung,
b) zum Landschaftsschutzgebiet die Bezirks-Naturschutzverwaltung,
c) zum Naturschutzgebiet die Zentrale Naturschutzverwaltung,
d) für die Einbeziehung von Tieren und Pflanzen in den Schutz dieses Gesetzes die Zentrale Naturschutzverwaltung.

Die Naturschutzverwaltung wird in den Kreisen und Bezirken von den jeweiligen Räten ausgeübt. Zentrale Naturschutzverwaltung der DDR ist das Ministerium für Land- und Forstwirtschaft. Zur Unterstützung der Naturschutzverwaltung sind in den Kreisen und Bezirken auf Vorschlag des Institutes für Landesforschung und Naturschutz der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin ehrenamtliche Naturschutzbeauftragte tätig. Die Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Institut für Landesforschung und Naturschutz, hat die Forschungsarbeiten der verschiedenen Institutionen auf dem Gebiete des Naturschutzes miteinander in Einklang zu bringen, mit der Zentralen Naturschutzverwaltung zusammenzuarbeiten, die Naturschutzbeauftragten der Kreise und Bezirke fachlich anzuleiten und im Wege des Erfahrungsaustausches über den neuesten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu unterrichten sowie die Verbindung mit allen deutschen und ausländischen wissenschaftlichen Naturschutzorganisationen und -institutionen zu pflegen.

GESCHÜTZTE TIERE UND PFLANZEN

In der DDR geschützte Tiere. Unter Gesetzesschutz können nicht jagdbare wildlebende Tiere gestellt werden, die vom Aussterben bedroht sind oder deren Schutzbedürftigkeit sich sonst aus ihrem Wert für Forschung und Lehre, ihrem Nutzen für die Volkswirtschaft oder ihrer Gefährdung durch unberechtigte Verfolgung ergibt. Es ist verboten,

a) unter Schutz gestellte Tiere zu beunruhigen, ihnen nachzustellen, sie zu fangen, zu quälen, zu verletzen, zu töten oder in Gewahrsam zu nehmen,
b) Eier, Puppen oder Larven sowie Brut- oder Wohnstätten dieser Tiere zu beschädigen, zu zerstören oder wegzunehmen,
c) die geschützten Tiere, Teile von ihnen oder die unter Buchstaben b) genannten Gegenstände zu verarbeiten oder in den Handel zu bringen.

Das Fangen oder Töten nichtgeschützter Arten ist nur mit solchen Mitteln erlaubt, die die Tiere entweder unverletzt fangen oder sofort töten. Es ist also verboten, Tellereisen, Schlingen, Vogelleime, Schleudern, Giftstoffe oder betäubende Mittel zu verwenden. Die Verwendung von Giften zur Krähen- und Sperlingsbekämpfung ist nur den amtlich damit beauftragten Personen gestattet.

Geschützt sind:

Säugetiere:

Mauswiesel (*Mustela nivalis*);
Igel (*Erinaceus europaeus*);
Maulwurf (*Talpa europaea*) mit der Maßgabe, daß er dort, wo er Schaden anrichtet, vom Bewirtschafter des Grundstücks gefangen und getötet werden darf;
Spitzmäuse (*Soricidea*) alle Arten, mit der Maßgabe, daß die Wasserspitzmaus (*Neomys fodiens*) in Fischzuchtanlagen gefangen und getötet werden darf;
Fledermäuse (*Chiroptera*) alle Arten;
Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*);
Ziesel (*Citellus citellus*);
Gemse (*Rupricapra rupricapra*);
Wildkatze (*Felis silvestris*).

Vögel:

Alle nicht jagdbaren wildlebenden Vögel außer Saatkrähe (*Corvus frugilegus*), aber Brutkolonien geschützt,
Nebelkrähe und Rabenkrähe (*Corvus corone*),
Eichelhäher (*Garrulus glandarius*),
Elster (*Pica pica*),
Feldsperling (*Passer montanus*),
Haussperling (*Passer domesticus*).

Der Fang von Wildvögeln zum Zwecke der *Stubenvogelhaltung* ist nur zugelassenen Fängern erlaubt.
Das *Beringen* wildlebender Vögel ist nur zu wissenschaftlichen Zwecken gestattet. Die Vogelwarte Hiddensee ist für die Durchführung und Kontrolle der wissenschaftlichen Vogelberingung in der DDR verantwortlich. Das Beringen wildlebender Vögel ist nur im Auftrag der Vogelwarte Hiddensee gestattet.

Kriechtiere:

Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*),
Eidechsen (*Lacertidae*),
Blindschleiche (*Anguis fragilis*),
Schlangen (*Colubridae* und *Viperidae*, auch die Kreuzotter, *Vipera berus*),
mit der Maßgabe, daß einzelne Exemplare der Berg- und Zauneidechse (*Lacerta vivipara* und *L. agilis*), Blindschleichen und Ringelnattern (*Natrix natrix*) zu eigener Haltung gefangen werden dürfen.

Lurche:

Laubfrosch (*Hyla arborea*),
Kröten und Unken (alle Arten der Gattungen *Bufo*, *Pelobates*, *Alytes* und *Bombina*),
Feuersalamander (*Salamandra salamandra*),
Molche (Gattung *Triturus*) mit der Maßgabe, daß in Forellenzuchtanstalten das Fangen und Töten aller Arten erlaubt ist und einzelne Exemplare mit Ausnahme des Bergmolches zu eigener Haltung gefangen werden dürfen.

Wirbellose Tiere:

Rote Waldameise (*Formica rufa*),
Hirschkäfer (*Lucanus cervus*),
Segelfalter (*Papilio podalirius*),
Apollo (*Parnassius apollo*),
Schwarzer Apollo (*Parnassius mnemosyne*).

Alle heimischen Tagfalter (*Rhopalocera*) mit Ausnahme der weißflügeligen Weißlingsarten, alle einheimischen Schwärmer (*Sphingidae*), Ordensbänder (*Catocala*) und Bärenspinner (*Arctiidae*), alle Rosen- und Goldkäfer (*Cetonia, Potosia, Liocola*), Puppenräuber (*Calosoma*) mit der Maßgabe, daß sie weder zum Verkauf noch zur Verarbeitung gefangen oder getötet werden dürfen.

Weinbergschnecke (*Helix pomatia*) in der Zeit vom 1. 3. bis 31. 7.,
Flußperlmuschel (*Margaritana margaritifera*).

Vom Aussterben bedrohte Tiere. Bei den geschützten Tieren werden solche Arten besonders unterschieden und unter *Ausnahmebestimmungen* gestellt, die vom *Aussterben* bedroht sind:

Säugetiere:

Biber (*Castor fiber*),
Wildkatze (*Felis silvestris*),
Seehund (*Phoca vitulina*),
Ringelrobbe (*Phoca hispida*),
Kegelrobbe (*Halichoerus grypus*).

Vögel:

Alle Adler (Gattungen *Haliaëtus*, *Pandion*, *Aquila*, *Circaëtus*),
Schwarzstorch (*Ciconia nigra*),
Höckerschwan (*Cygnus olor*),
Uhu (*Bubo bubo*),
Großtrappe (*Otis tarda*),
Kranich (*Grus grus*),
Kolkrabe (*Corvus corax*).

In der DDR geschützte Pflanzen. Unter Gesetzesschutz können wildwachsende Pflanzen gestellt werden, die in ihrem Bestande bedroht sind oder deren Schutzbedürftigkeit sich sonst aus ihrem Wert für Forschung und Lehre, ihrem Nutzen für die Volkswirtschaft oder ihrer Gefährdung durch unberechtigte Aneignung ergibt. Es ist verboten, wildwachsende geschützte Pflanzen zu beschädigen, auszureißen oder auszugraben oder Teile davon abzupflücken oder sonst abzutrennen, soweit nicht die Zentrale Naturschutzverwaltung aus wirtschaftlichen Gründen oder für Zwecke der Wissenschaft, des Unterrichts oder der Volksbildung Ausnahmen gestattet.
Fremdländische Gewächse dürfen ohne Erlaubnis der Zentralen Naturschutzverwaltung außerhalb von Nutzflächen nicht ausgesät oder angepflanzt werden. Es ist ferner untersagt, nichtgeschützte wildwachsende Pflanzen sinnlos zu vernichten.

Die folgenden Arten sind geschützt:

Frühlingssteppenpflanzen:

Federgras (*Stipa pennata*),
Kuhschelle, Küchenschelle (*Pulsatilla*), alle einheimischen Arten,
Großes Windröschen (*Anemone silvestris*),
Adonisröschen (*Adonis vernalis*).

Frühlingspflanzen in Wald und Wiese:

Seidelbast, Kellerhals (*Daphne mezereum*),
Märzbecher, Großes Schneeglöckchen (*Leucojum vernum*),
Schlüsselblume (*Primula*), alle einheimischen Arten[1], außer der mehligen Schlüsselblume (*P. farinosa*)[1],
Leberblümchen (*Hepatica nobilis*)[1, 2]
Maiglöckchen (*Convallaria majalis*)[1, 2].

Sommerblüher im Laubwald:

Türkenbund (*Lilium martagon*),
Diptam (*Dictammnus albus*),
Gelber Fingerhut (*Digitalis grandiflora*),
Geißbart, Johanniswedel (*Aruncus silvestris*),
Eisenhut (*Aconitum*) alle einheimischen Arten.

Pflanzen der Triften und Bergwiesen:

Trollblume (*Trollius europaeus*),
Akelei (*Aquilegia vulgaris*),
Wiesenschwertlilie (*Iris sibirica*),
Eberwurz, Silberdistel, Wetterdistel (*Carlina acaulis*),
Arnica, Berg-Wohlverleih (*Arnica montana*)[2],
Enzian (*Gentiana*) alle einheimischen Arten.

Strandpflanzen:

Meerkohl (*Crambe maritima*),
Stranddistel (*Eryngium maritimum*),
Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*)[2].

Immergrüne in Wald und Moor:

Bärlapp, Schlangenmoos (*Lycopodium*) alle einheimischen Arten,
Sumpfporst, Mottenkraut (*Ledum palustre*),
Birnkraut, Wintergrün (*Pirola, Chimaphila, Moneses, Ramischia*) alle einheimischen Arten,
Eibe (*Taxus baccata*),
Wacholder (*Juniperus communis*) (Sammeln der Wacholderbeeren erlaubt),
Hülse, Stechpalme (*Ilex aquifolium*).

Farne:

Straußfarn, Trichterfarn (*Struthiopteris germanica*),
Königsfarn (*Osmunda regalis*),
Hirschzunge (*Phyllitis scolopendrium*).

Insektenfressende Pflanzen:

Sonnentau (*Drosera*) alle einheimischen Arten[2, 3],
Fettkraut (*Pinguicula vulgaris*)[3].

Alle Orchideen, insbesondere:

Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*),
Riemenzunge (*Himantoglossum hircinum*),
Knabenkraut (*Orchis*),
Fliegen-, Bienen- und Spinnenblume (*Ophrys*),
Stendelwurz, Kuckucksblume (*Platanthera*),
Händelwurz (*Gymnadenia*),
Waldvöglein (*Cephalanthera*),
Sumpfwurz (*Epipactis palustris*).

Ferner *knospen- und blütentragende Zweige der wildwachsenden Weiden* (kätzchentragende Arten der Gattung Salix).

[1] In Kreisen, in denen diese Arten häufig vorkommen, kann die Kreis-Naturschutzverwaltung das Sammeln eines Handstraußes erlauben.
[2] In Kreisen, in denen diese Arten häufig vorkommen, kann die Kreis-Naturschutzverwaltung den für die Heil-, Duft- und Gewürzpflanzenerfassung zuständigen Betrieben das Sammeln erlauben. Es dürfen dabei nicht die in der Erde befindlichen Pflanzenteile entnommen werden.
[3] In Kreisen, in denen diese Arten häufig vorkommen, kann die Entnahme von Einzelpflanzen durch die Kreis-Naturschutzverwaltung erlaubt werden.

NATURSCHUTZ IN ANDEREN LÄNDERN

Internationaler Naturschutz. Die erste Vereinigung auf internationaler Ebene, die sich mit dem Schutz von Naturgegenständen befaßte, war die „*Internationale Gesellschaft zur Erhaltung des Wisents*". Von diesem großen Waldrind Europas war das letzte freilebende Stück am 9. 2. 1921 in Białowieza in Polen gewildert worden. Die 1922 gegründete Gesellschaft erfaßte herdbuchmäßig 56 reinblütige Wisente, die in zoologischen Gärten oder Wildgattern lebten. Durch internationalen Austausch konnten die Bestände erhalten und vermehrt werden. 1951 belief sich der Gesamtbestand reinblütiger Wisente auf 135 Stück. Die meisten stehen heute in der VR Polen, die sich durch die Einrichtung verschiedener Wisentreservate, vor allem des alten Gebietes im Nationalpark von Białowieza um die Erhaltung des Wisents große Verdienste erwarb.

Internationale Konferenzen zum Schutze des Großwildes Afrikas fanden 1913 und 1933 in London statt.
Im Jahre 1948 wurde als Internationale Naturschutzvereinigung die UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses Ressources) in Fontainebleau gegründet, die sich die folgenden Aufgaben gestellt hat:

1. Informationsdienst: Weitergabe von Erfahrungen über Naturvernichtung und Erhaltungsmaßnahmen.
2. Die „Internationale ökologische Kommission" soll Grundlagen für eine naturgemäße Bewirtschaftung schaffen.
3. Der „Survival Survey", der Erhaltungsdienst, soll die Erhaltung der vom Aussterben bedrohten Tierarten betreiben und Materialien zu deren Biologie sammeln.
4. Die Kommission für Erziehungsfragen soll die Propagierung des Naturschutzgedankens betreiben.

Erfolge wurden besonders beim Erhaltungsdienst erzielt. Die ausgegebenen internationalen Schutzlisten umfassen etwa 25 Arten und Gruppen vom Aussterben bedrohter Tierarten.

Stand der Naturschutzarbeiten in einigen Staaten

VR Polen: Der Naturschutzgedanke hat unter der Volksrepublik starken Aufschwung erfahren. In den charakteristischen Landschaften wurden Nationalparks oder Naturschutzgebiete eingerichtet. Die bedeutendsten sind der Nationalpark von Białowieza (über 4000 ha) mit dem Wisentgatter und der gemeinsam mit der ČSSR errichtete Tatra Nationalpark.

ČSSR: Ein Naturschutzgesetz existiert seit 1954. Die Organisation liegt bei der Denkmalpflege.

UdSSR: Der Naturschutz wird in der Sowjetunion stark von der „Allrussischen Gesellschaft für Naturschutz" getragen, die 1933 den ersten Allunionstag für Naturschutz durchführte. Eine feste staatliche Verankerung wurde 1939 mit der Bildung einer Hauptverwaltung für Naturschutzgebiete beim Rat der Volkskommissare erreicht. Das erste Naturschutzgebiet war das 1919 geschützte Astrachaner Gebiet im Wolgadelta. Die Naturschutzgebiete verfügen über eigene Forschungsstationen und zum Teil über eigene Publikationsorgane. In der Sowjetunion als einzigem Land auf der Erde kann der Bestand aller Tierarten zur Zeit als gesichert gelten.

USA: Die Vereinigten Staaten verfügen über ein altes, gut ausgebautes Schutzsystem. Erster Welterfolg wurde die Erhaltung des Bisons, dessen Herden von 40 bis 60 Millionen zur Zeit der Entdeckung auf 85 im Jahre 1889 zurückgegangen waren. Amerika ist trotzdem das Land mit den meisten Verlusten an ausgestorbenen Arten, auch heute noch nicht alle gesichert. Die 80000 km² Nationalparkflächen erhalten jährlich 40 Millionen Dollar Zuschuß. Diese Flächen sind vorwiegend Erholungslandschaften. Im Jahre 1954 48 Millionen Besucher.

Schweiz: Die Naturschutzbestrebungen sind zur Zeit immer wieder durch Wirtschaftsmaßnahmen gefährdet. So sollen im Nationalpark Unterengadin Stauseen zur Krafterzeugung errichtet werden. Durch Mithilfe des Bundesrates konnte er vertraglich für 99 Jahre gesichert werden.

Schweden: Naturschutzgesetz seit 1909 (erstes europäisches Land). Nationalparks besonders im Norden des Landes.

Norwegen: Naturschutzgesetz seit 1910, vorher bereits Bestimmungen über den Schutz von Schwan und Biber im Rahmen der Jagdgesetzgebung.

Naturschutzgebiete und Nationalparks der Welt

ČSSR:
Tatranský Narodni Park (Tatra-Nationalpark), 1200 km², zusammen mit der VR Polen. Erholungsgebiet mit einer Anzahl von Naturschutzgebieten.

VR Polen:
Nationalpark von Białowieza, über 4000 ha, überwiegend Waldschutzgebiet mit ursprünglicher Vegetation, darin das getrennte Wildreservat (Wisent, Tarpanrückzüchtung, Elch). Piennien-Nationalpark.

UdSSR:
Kubangebiet, 3000 km²,
Askania Nova am unteren Dnjepr, 422 km²,
Oka-Naturschutzgebiet bei Moskau,
Petschora-Ilitsch-Naturschutzgebiet,
Ilmen-Naturschutzgebiet, „Mineralogisches Paradies".

Finnland:
Fjeldlandschaft von Pallas-Tunturi, 850 km².

Schweden:
Sarek-Nationalpark, 1900 km²,
Stora Sjöfallet-Nationalpark, 1500 km²,
Abisko-Nationalpark 200 km nördlich des Polarkreises, 50 km².

Niederlande:
Boschplaat auf Terschelling, 25 km²,
Insel Texel mit 15 Vogelfreistätten, 18 km².

Frankreich:
Camarque-Schutzgebiet, Vogelparadies.

Schweiz:
Nationalpark in Graubünden, 145 km².

Österreich:
Naturschutzpark in den Hohen Tauern, 1500 km²,
Karwendelgebirge, 220 km².

Italien:
Nationalpark am Gran Paradiso, 750 km², Steinwildschutzgebiet.

Republik Kongo:
Albert-Nationalpark, 9000 km², der wohl am besten durchforschte Nationalpark Afrikas.

Südafrikanische Union:
Krüger-Nationalpark, 20000 km², wohl am stärksten dem Touristenverkehr erschlossen, 27 Großwildarten.

Größter afrikanischer Nationalpark:
Bamingi-Nationalpark in Ubangi-Schari, 30000 km².

Madagaskar:
11 strenge Reservate zur Erhaltung der eigenartigen Fauna, insgesamt 3500 km²

USA:
Yellowstone-Nationalpark, 8800 km², 3 Hotels, 500 km Straße,
Yosemite-Tal in Kalifornien, 2900 km²,
Grand Canon in Arizona, 1400 km².

Geschützte Gebietsflächen in einigen Ländern der Erde

USA	90000 km²
Kanada	75000 km²
UdSSR	120000 km²
Afrika	460000 km² (100 Schutzgebiete)

IX. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
um 2700	Zucht der *Seidenraupe* in *China* nachweisbar.
um 2000	Der erste *zoologische Garten in China* („Park der Intelligenz").
um 1550	Den *Ägyptern* (nach dem „Papyrus Ebers") ist die Entwicklung des Pillendrehers (Skarabäus) aus dem Ei, der Schmeißfliege aus der Made und des Frosches aus der Kaulquappe bekannt.
um 520	Der griechische Arzt und Philosoph *Alkmäon* aus Kroton (Unteritalien) treibt *Tieranatomie.*
um 500	Der Karthager *Hanno* bringt von einer Westafrikafahrt die erste Kunde vom *Gorilla.*
um 350	Der griechische Philosoph *Aristoteles* beschreibt über 500 Tierarten, die er in die acht Klassen der Säuger, Vögel, eierlegenden Vierfüßer, Fische, Weichtiere, Kruster, Insekten und Schaltiere einteilt.
44	Der römische Offizier *D. Brutus* verwendet bei der Belagerung von Mutina *Brieftauben.*
u. Z.	
um 480	Anfänge der *Beizjagd* mit *Falken* in Italien.
um 800	*Wisent* und *Ur* noch im Harz und in Niedersachsen.
827	Anfänge der *Seidenraupenzucht* auf *Sizilien.*
um 890	Erste Nachricht vom nordischen *Walfang.*
um 1040	An der Westküste von Schleswig werden künstliche *Austernbänke* angelegt.
1220	Die erste *Giraffe* gelangt nach Deutschland.
1271	In *Würzburg* kommen während des Winters 30 Menschen durch *Wölfe* ums Leben.
1336—1338	Große *Heuschreckenplage* in ganz *Mitteleuropa.*

1400 Der Bischof von *Autin* verhängt den Kirchenbann über die *Ratten.*

1443 Auf der *Frankfurter* Messe wird zum ersten Mal in Deutschland ein (indischer) *Elefant* gezeigt.

1474 Bei Basel wird ein *Hahn* als *Ketzer* verbrannt, weil er „ein Ei gelegt hat".

1520 Der *Truthahn* wird aus *Amerika* in Europa eingeführt.

1551—1558 Der Züricher Arzt und Naturforscher *K. Gesner* (1516 bis 1565) veröffentlicht seine fünfbändige, reich bebilderte „Historia animalium" („Naturgeschichte der Tiere"). *Begründer* der wissenschaftlichen *Zoologie.*

1627 Der *Auerochse* ist in Europa ausgestorben.

1641 Der erste lebende *Schimpanse* wird aus Angola nach *Holland* gebracht und von dem holländischen Anatomen Tulp beschrieben.

1675 Der niederländische Naturforscher *A. van Leeuwenhoek* (1632 bis 1723) entdeckt in einem Tropfen abgestandenen Regenwassers die *Aufgußtierchen* (Infusorien).

1693 Der englische Biologe *J. Ray* (1628 bis 1705) rechnet als erster die *Wale* zu den Säugetieren.

1711 Der italienische Naturforscher Graf *de Marsigli* (1658 bis 1730) weist die tierische Natur der bisher für Pflanzen gehaltenen *Korallen* nach.

1735 Der schwedische Naturforscher *K. von Linné* (1707 bis 1778) veröffentlicht sein „Systema naturae", in dessen 1. Bande er die Tiere in die sechs Klassen der Vierfüßer, Vögel, Amphibien, Fische, Insekten und Würmer einteilt.
Den Menschen ordnet er den „Herrentieren" zu.

1751 Der letzte *Wolf* wird im Kurfürstentum Sachsen erlegt.

1752 *Maria Theresia* gründet die Kaiserliche *Menagerie* in Schönbrunn.

1755 Der letzte *Wisent* wird in Ostpreußen abgeschossen.

1769 Im Fichtelgebirge wird der letzte *Bär* Deutschlands erlegt.

1776 Der erste lebende *Orang-Utan* wird aus Borneo nach *Holland* gebracht und 1778 von dem holländischen Zoologen *Vosmaer* beschrieben.

1809 Der französische Naturforscher *J.B. Lamarck* (1744 bis 1829) führt den Begriff der *wirbellosen Tiere* ein und stellt sie den Wirbeltieren gegenüber.

1824 In London wird der erste *Tierschutzverein* gegründet.

1827 Der deutsche Zoologe *K. E. von Baer* (1792 bis 1876) entdekt das Ei der Säugetiere und des Menschen.

1839 Der deutsche Physiologe *Th. Schwann* (1810 bis 1882) weist nach, daß die Tiere gleich den Pflanzen aus kernhaltigen Zellen aufgebaut sind.

1841 Der *Berliner Zoologische Garten* wird eröffnet.

1844 Der Münchener Zoologe *A. von Koelliker* (1817 bis 1905) faßt als erster das Ei als Zelle auf und erklärt, daß alle Zellen des Tierkörpers durch Teilung aus der Eizelle hervorgehen.

1845 Der Münchener Zoologe *Th. v. Siebold* (1804 bis 1885) erkennt die Aufgußtierchen und Amöben als Einzeller und stellt sie als Urtiere (*Protozoen*) den übrigen Tieren gegenüber.

1847 Der englische Missionar *Savage* gibt die ersten genaueren Mitteilungen über den *Gorilla.*

1861 Der erste *Urvogel* (Archaeopteryx) wird in den Solnhofener Schieferkalken gefunden (heute in London); 1877 ein zweites Exemplar (heute in Berlin).

1864—1869 Der deutsche Zoologe *Alfred Brehm* (1829 bis 1884) läßt sein sechsbändiges „Illustriertes Tierleben" erscheinen, das zu einem deutschen Hausbuch wurde.

1869 *Alfred Brehm* gründet das *Berliner Aquarium.*

1871 *Charles Darwin* veröffentlicht sein Werk „Die Abstammung des Menschen", in dem er die allmähliche Höherentwicklung des Menschen aus affenähnlichen Vorfahren nachweist.

1874 *Ernst Haeckel* (1834 bis 1919) wendet in seiner „Anthropogenie" Darwins Entwicklungslehre auf den Menschen an und versucht, dessen tierische Ahnenreihe aufzustellen.

1877 Der *Kartoffelkäfer* erscheint zum ersten Mal in Europa.

1896 Der Münchener Zoologe *R. Hertwig* (1850 bis 1937) regt unbefruchtete Seeigeleier durch chemische Einwirkung (verdünnte Strychninlösung) zur Entwicklung an.

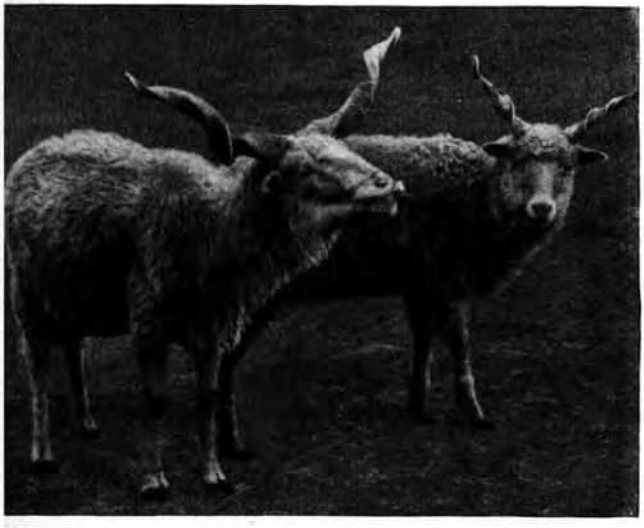
1896 Der deutsche Ornithologe *J. Thienemann* (1863 bis 1938) beginnt mit der Erforschung des *Vogelzuges.*

1900	Der englische Forschungsreisende *H. H. Johnston* (1858 bis 1927) entdeckt in Zentralafrika das mit den Giraffen verwandte *Okapi* (Kurzhalsgiraffe).
1902—1922	Der dänische Biologe *Joh. Schmidt* klärt in jahrelangen Forschungen die Fortpflanzungs- und Entwicklungsgeschichte des *Aales* auf.
1905	Die *Bisamratte* wird ihres Pelzes wegen aus Nordamerika in Böhmen eingeführt und ausgesetzt, von wo aus sie sich sehr schnell als großer Schädling über Mitteleuropa ausbreitet.
1907	Der deutsche Tierhändler *Carl Hagenbeck* (1844 bis 1913) gründet den Tierpark *Stellingen* bei Hamburg.
etwa 1910	Die chinesische *Wollhandkrabbe* wird durch Ostasienfahrer aus *China* nach Hamburg eingeschleppt, von wo aus sie sich über Mitteleuropa verbreitet.
1938—1955	Vor der Mündung des Chalumna-Flusses (Südafrika) wird ein Fisch (Latimeria) aus der Ordnung der *Quastenflosser* gefangen, eine Ordnung, von der man annahm, daß sie seit ungefähr 60 Millionen Jahren ausgestorben sei. — Weitere Exemplare konnten auf Grund systematischer Fänge erbeutet werden. Primitive, bereits seit dem Karbon ausgestorbene Formen der Ordnung der Quastenflosser werden auf Grund neuer Forschungsergebnisse als die direkten Vorfahren der Vierfüßer angesehen.
1942	Der deutsche Tierhändler *Ruhe* entdeckt in Somaliland den *Somalipavian*.
1952	Im Pazifischen Ozean wurden aus rund 3600 m Tiefe einige Exemplare eines urtümlichen Weichtieres (Neopilina galatheae) gefischt, das zu einer bisher nur fossil bekannten Verwandtschaftsgruppe gehört, die nach Meinung der Paläozoologen als bereits vor 350 Millionen Jahren ausgestorben galt. Die an den aufgefundenen Exemplaren gewonnenen Untersuchungsergebnisse festigen die Auffassung, daß Weichtiere und Ringelwürmer auf gemeinsame Ahnformen zurückgehen.
1954	Das erste *Okapi* wird nach Deutschland (Zoologischer Garten Frankfurt/Main) gebracht. Bis heute leben nur sechzehn dieser seltenen Tiere in außerafrikanischen Zoos.
1956	Erstmalig Geburt eines Panzernashorns in einem zoologischen Garten (Basel).
1957	Der erste Gorilla wird in Gefangenschaft geboren (zoologischer Garten in Columbus im Staat Ohio [USA]).
1958	Zucht von Kolibris in Gefangenschaft erstmals gelungen (Ohio).
1959	Nachweis einer für Europa bislang unbekannten Kleinsäugerart (Myomimus personatus) in Bulgarien, die vordem nur aus dem turkmenischen Grenzgebiet der Sowjetunion zum Iran bekannt war.
1961	Im Tierpark Berlin gelingt die Aufzucht eines Malayenbären und von Rosapelikanen.
1962	Erstmals Geburt und Aufzucht eines Geparden in Gefangenschaft (Zoo Krefeld).
1962	Der erste Binturong wird in Gefangenschaft geboren (Zoo Dresden).

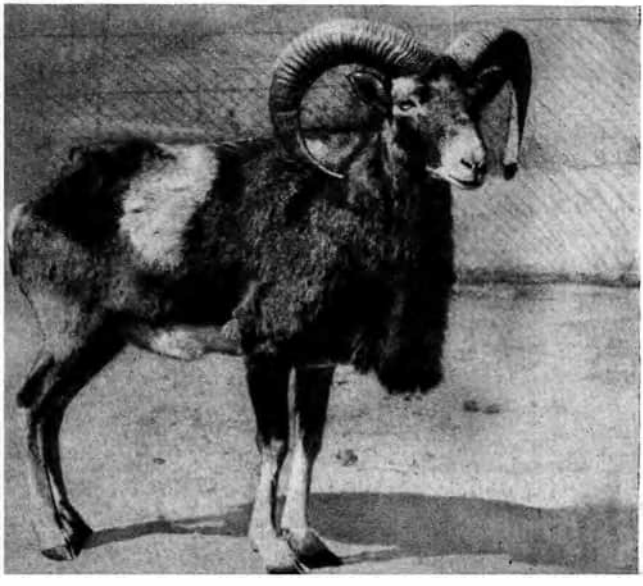
Tiere im Dienste des Menschen I



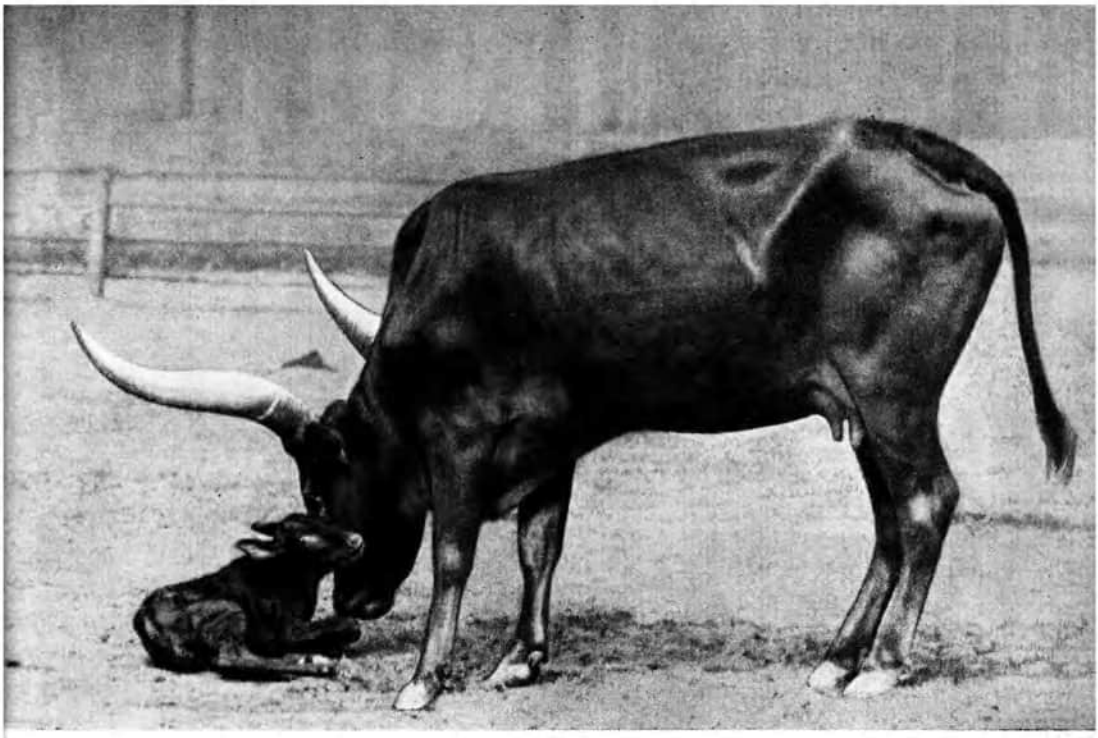
Älteste Darstellung altägyptischer Haustiere; in der unteren Reihe schraubenhörnige Hausschafe



Das ungarische Zackelschaf der Gegenwart besitzt ebenfalls schraubig gedrehte Hörner



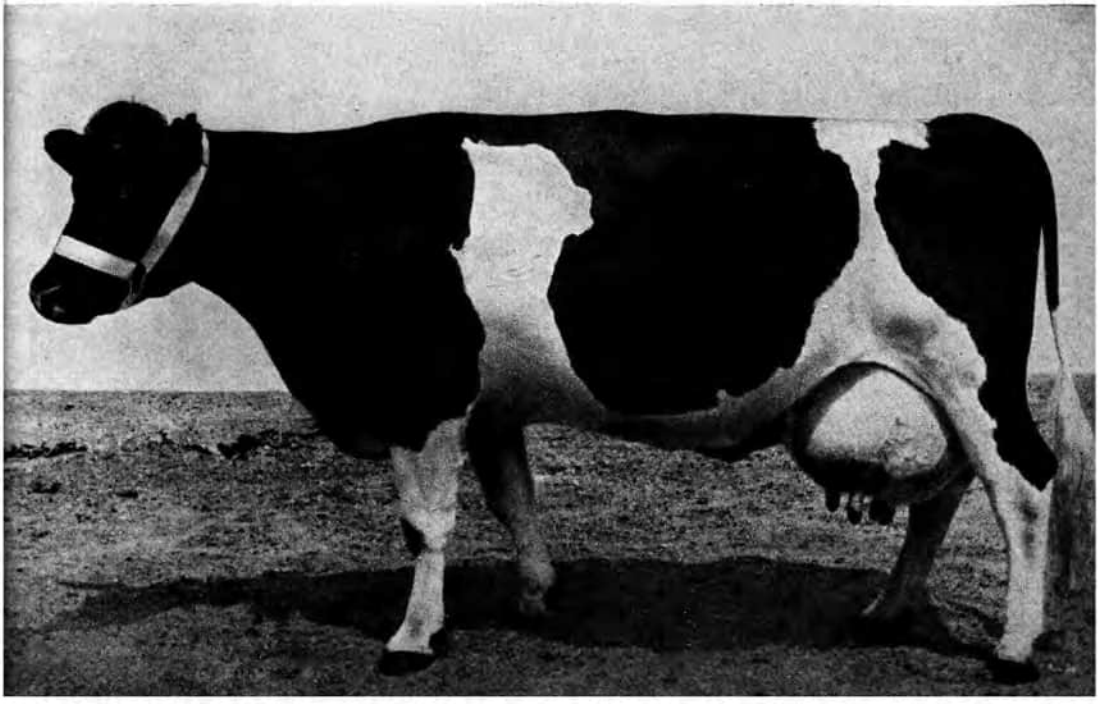
Das Gehörn der Wildschafe ist nie geschraubt gedreht (Korsisches Wildschaf). Dieses Merkmal tritt erst in der Domestikation auf

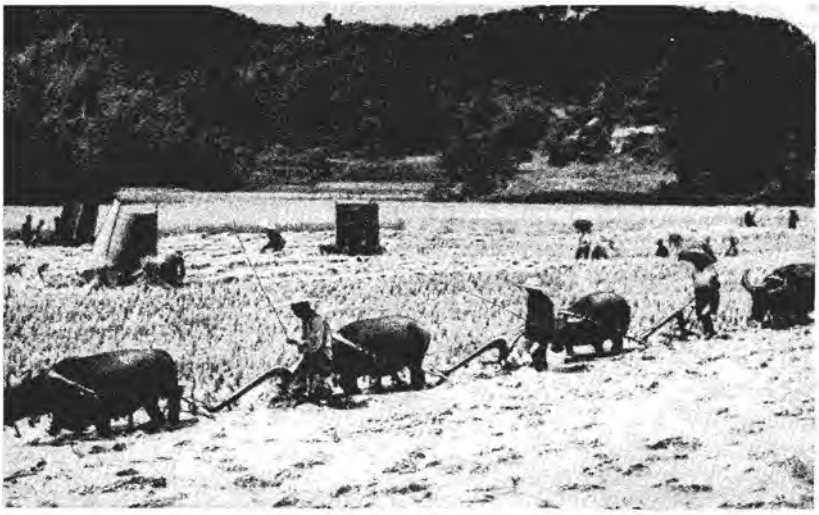


Kaum größer als bei einem Wildrind ist das Euter primitiver Hausrinder (Watussirind, Kuh mit eben geborenem Kalb)

Tiere im Dienste des Menschen II

Das große Euter der Hochleistungsrassen ist das Ergebnis intensiver züchterischer Bemühungen





Tiere im Dienste des Menschen III

In den heißen Gebieten der Erde — besonders in den reisbauenden Ländern — ist der Wasserbüffel noch immer ein unentbehrlicher Helfer des Menschen



Das Kamel dient in heißen Wüstengebieten zur Beförderung von Lasten



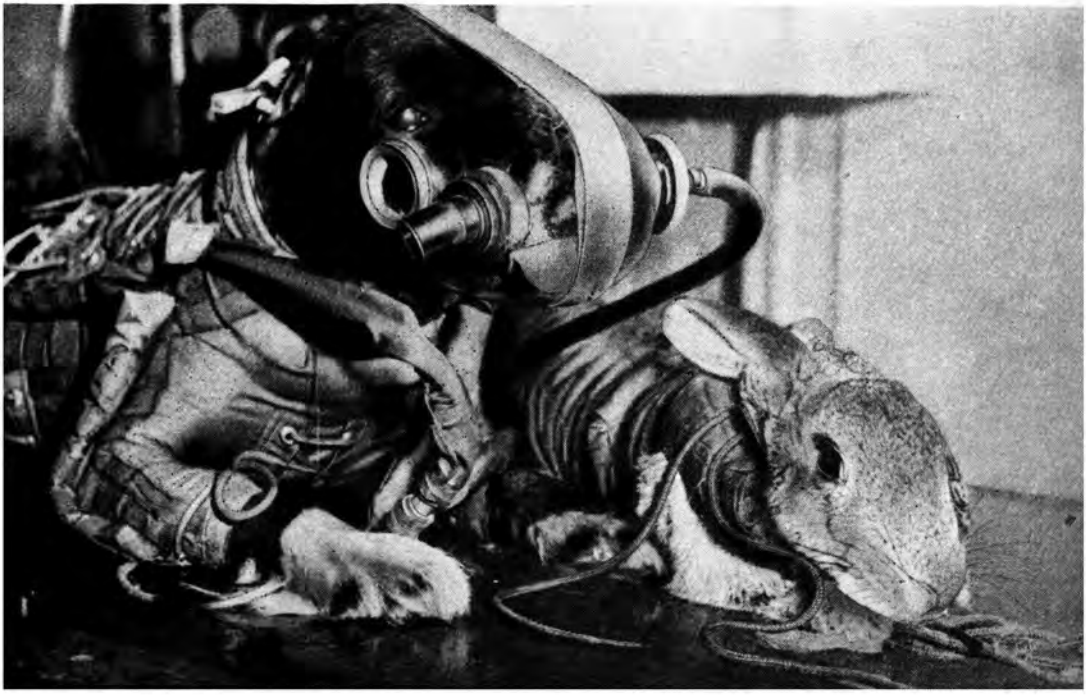
Das Rentier — ein vielseitig genutztes Haustier der nördlichen Tundren

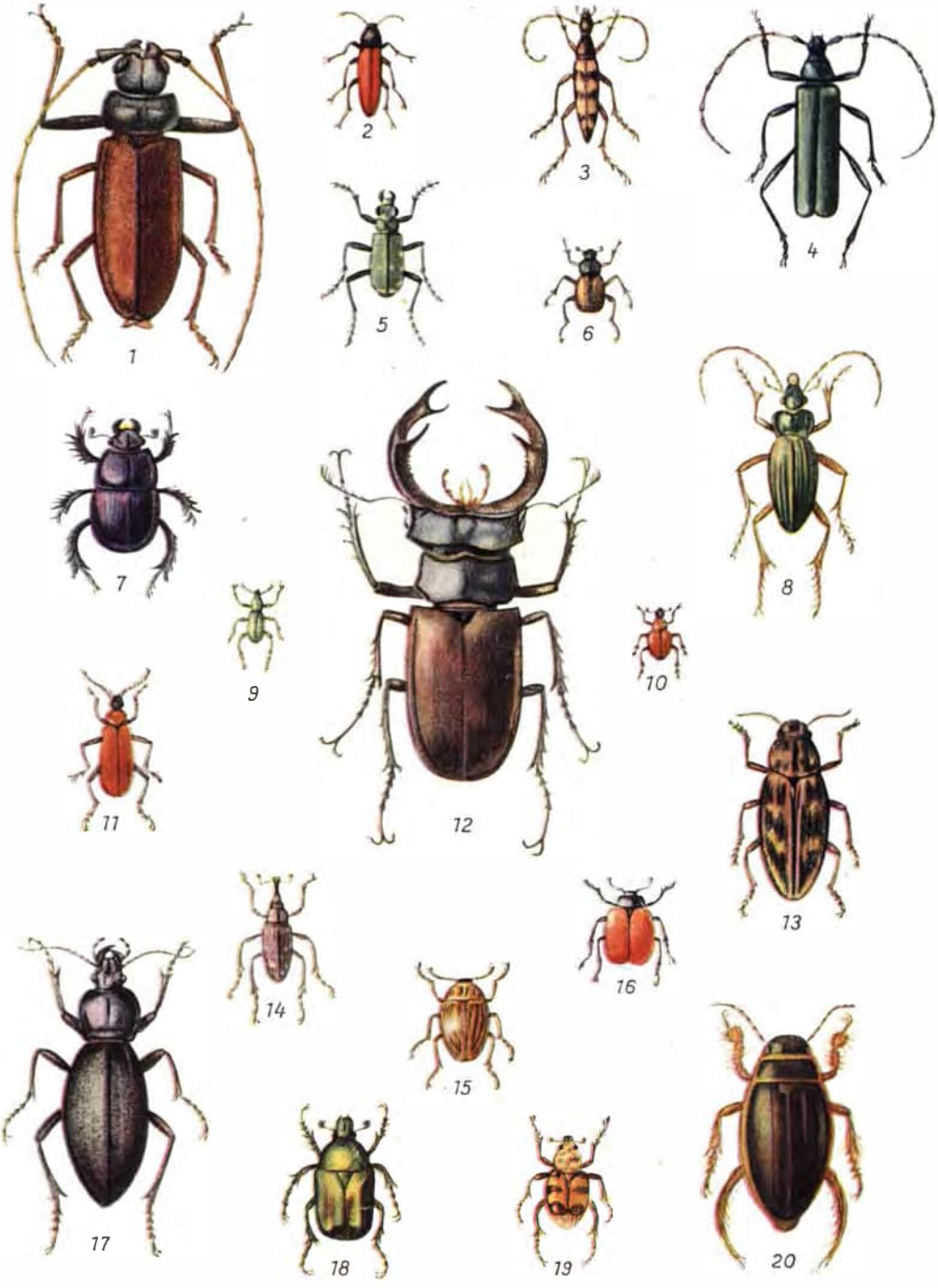
Blindenführhund. — Tiere dienen nicht nur als Rohstofflieferant oder Transporttiere dem Menschen



Tiere im Dienste des Menschen IV

Versuchstiere für Raketenflüge einer sowjetischen Versuchsstation. Tierische „Kosmonauten" helfen dem Menschen Erfahrungen sammeln, die seinen erfolgreichen Vorstoß in den Kosmos ermöglichen

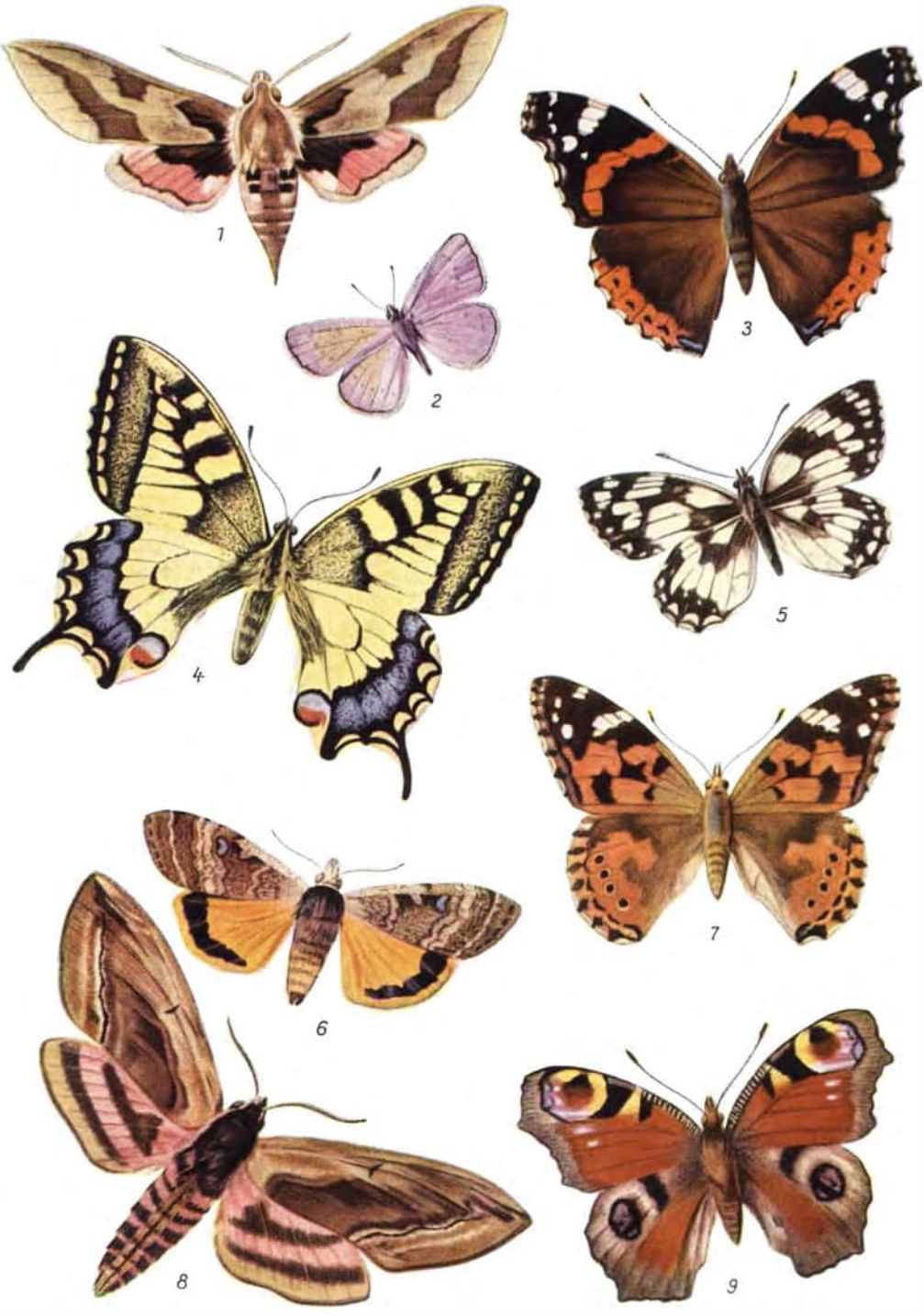




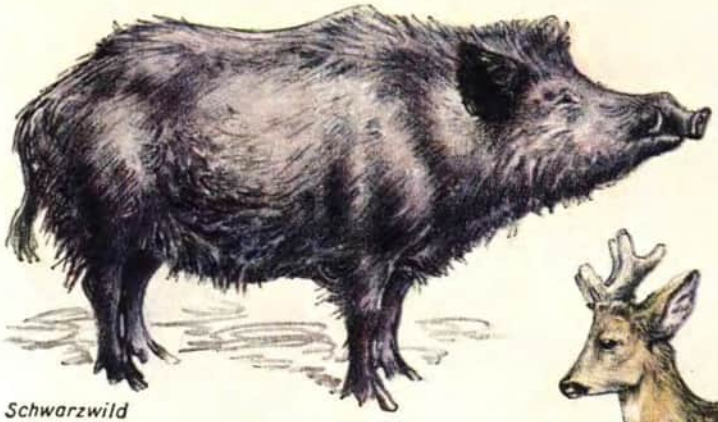
Käfer 1 Mulmbock 2 Roter Schnellkäfer 3 Schmalbock 4 Moschusbock 5 Sandlaufkäfer 6 Gartenlaubkäfer 7 Mistkäfer 8 Goldlaufkäfer 9 Brennesselrüßler 10 Eichenblattroller 11 Feuerkäfer 12 Hirschkäfer 13 Kiefernprachtkäfer 14 Rüsselkäfer 15 Kartoffelkäfer 16 Pappelkäfer 17 Lederlaufkäfer 18 Rosenkäfer 19 Pinselkäfer 20 Gelbrand



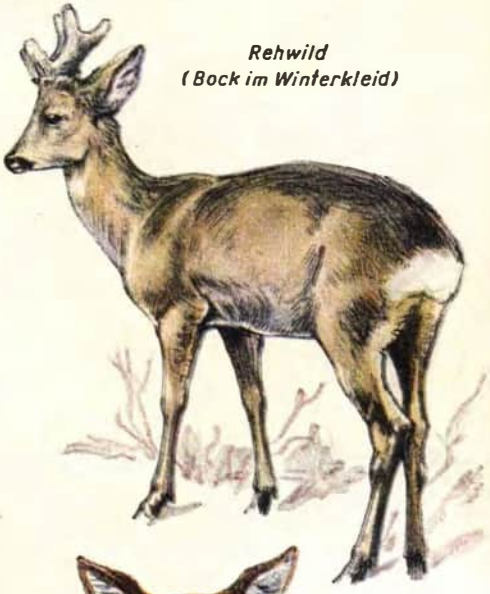
Vögel 1 Seidenschwanz 2 Goldammer 3 Wiedehopf 4 Großer Buntspecht 5 Eichelhäher 6 Eisvogel



Schmetterlinge 1 Wolfsmilchschwärmer 2 Bläuling (Männchen) 3 Admiral 4 Schwalbenschwanz 5 Brettspiel 6 Hausmutter 7 Distelfalter 8 Ligusterschwärmer 9 Tagpfauenauge



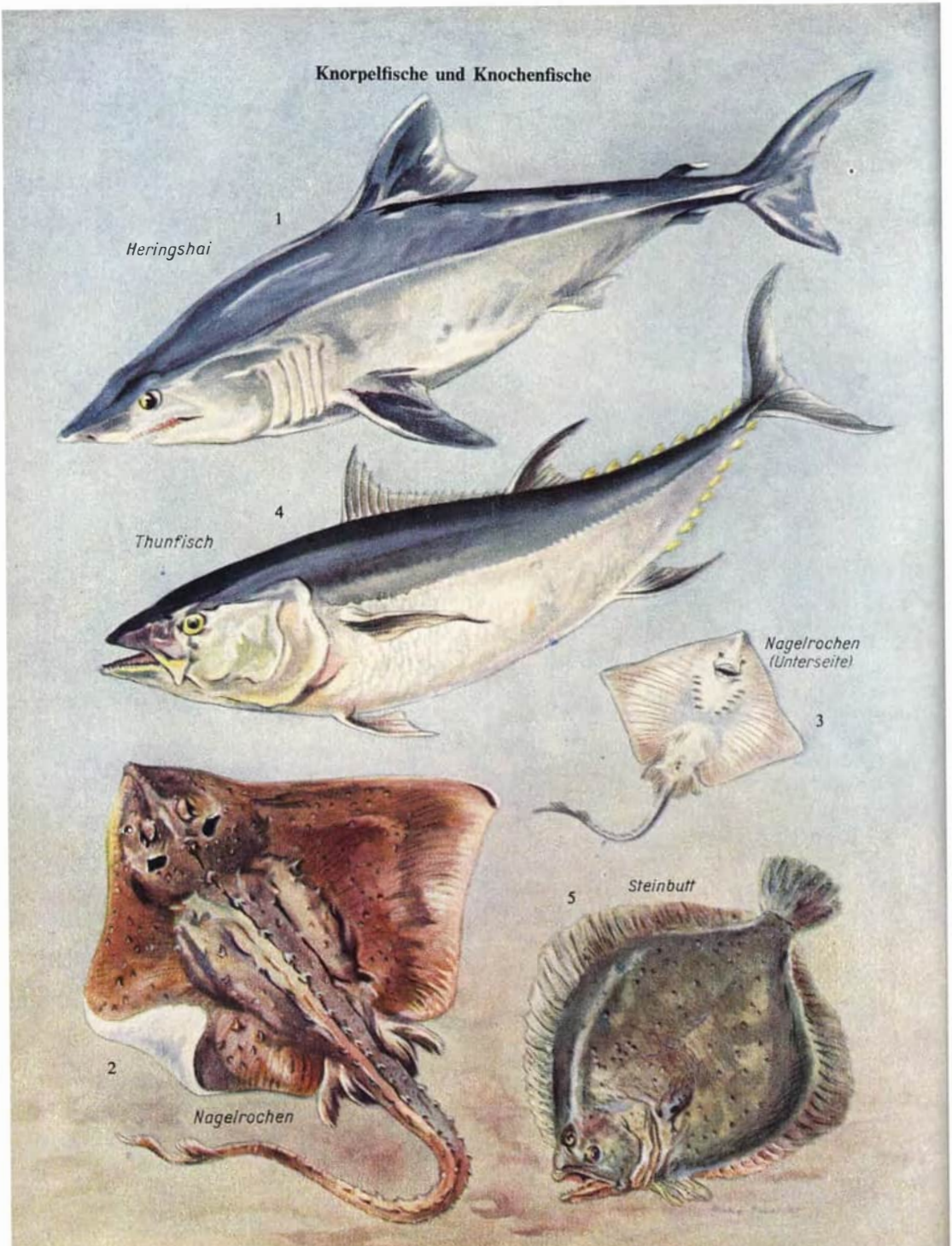
Schwarzwild
(Keiler)



Rehwild
(Bock im Winterkleid)



Rotwild
(männliches und
weibliches Stück)



1, 2, 3 Knorpelfische, 4, 5 Knochenfische
Beispiele für die Anpassung an das Leben im freien Wasser und am Boden

Ausgestorbene Tierarten



Vom Aussterben bedrohte einheimische Tierarten



Großtrappe

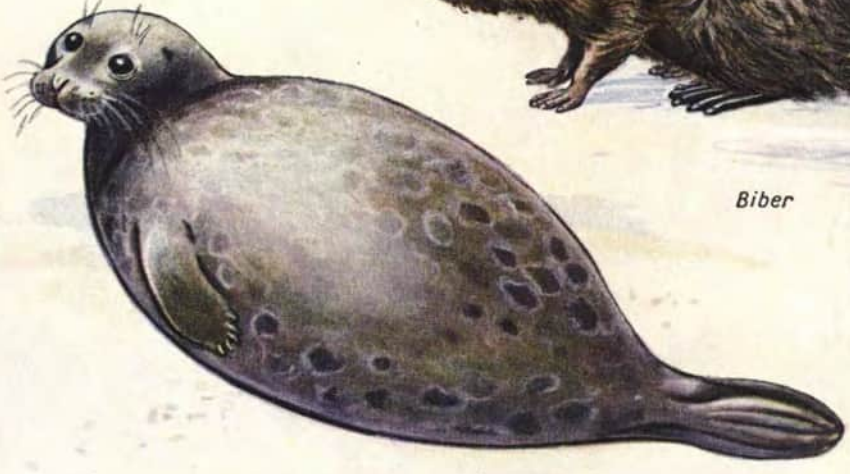


Uhu



Biber

Ringelrobbe



Geschützte Tiere



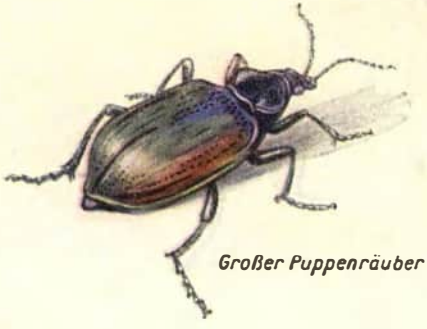
Goldhähnchen



Waldspitzmaus



Feuersalamander



Großer Puppenräuber

MENSCH

INHALTSÜBERSICHT

I. *Die Stammesentwicklung des Menschen* 764
Der Mensch als biologisches und gesellschaftliches Lebewesen 764
Die Stellung des Menschen im Tierreich und die tierischen Verwandten des Menschen 766
Die Fossilgeschichte des Menschen 770

II. *Maße und Proportionen des menschlichen Körpers* 773
Körpergröße 773
Die Konstitutionstypen 775

III. *Aufbau und chemische Zusammensetzung des menschlichen Körpers* 776
Skelett 776
Gebiß 777
Muskulatur 778
Haut und Hornbildungen 779
Die Bestandteile des menschlichen Körpers 781

IV. *Nervensystem* 782
Animales und vegetatives Nervensystem 782
Gehirn 783
Rückenmark 785
Reflexlehre 785
Der Schlaf 786

V. *Sinnesorgane* 787
Auge 787
Ohr 790
Geruchssinn 791
Geschmackssinn 792
Sinnesorgane der Haut 792
Schmerzsinn 793

VI. *Blut, Kreislauf- und Atmungsorgane* 794
Blut 794
Blutkreislauf 797
Atmung 799

VII. *Verdauungs- und Ausscheidungsorgane, Stoffwechsel und Ernährung* .. 800
Verdauung und Verdauungsorgane 800
Ausscheidung 803
Grundumsatz 804
Zusammensetzung wichtiger Nahrungsmittel 805
Vitamine 806

VIII. *Drüsen und Wirkstoffe* 811
Exkretions- und Sekretionsdrüsen 811
Inkretdrüsen 812
Hormone 813
Fermente 814

IX. *Fortpflanzung, Wachstum, Alter, Tod* 814
Geschlechtsorgane 814
Schwangerschaft und Geburt 816
Der Säugling 818
Kindesalter, Geschlechtsreife, Alter 818
Tod 819

X. *Wichtige Krankheiten, Hausmittel und Erste Hilfe* 822
Krankheiten 822
Hausapotheke 830
Arzneipflanzen 831
Wichtige Gifte und ihre Gegenmittel 832
Erste Hilfe bei Unfällen 833

XI. *Wichtige Jahreszahlen* 834

I. Die Stammesentwicklung des Menschen

DER MENSCH ALS BIOLOGISCHES UND GESELLSCHAFTLICHES LEBEWESEN

Die Sonderstellung des Menschen im Tierreich. Die Menschen der Gegenwart bilden im Sinne der zoologischen Taxonomie (Systematik) eine Art, die den Namen *Homo sapiens*, das heißt „der vernunftbegabte Mensch", trägt. Es existieren mehrere Rassen bzw. Rassengruppen, die in verschiedenen Gebieten der Erde entstanden sind und mit den geographischen Rassen tierischer Arten verglichen werden können. Der Mensch ist ein Lebewesen, das aus dem Tierreich hervorging und nach seinen körperlichen Merkmalen und Eigenschaften zur Klasse der Säugetiere gehört. Obwohl der schwedische Naturforscher Carl Linné (1707—1778) die Ähnlichkeit körperlicher Merkmale noch nicht als Ausdruck stammesgeschichtlicher Verwandtschaft wertete, nahm er den Menschen in sein System der Tiere auf, stellte ihn zu den affenartigen Säugetieren und gab dieser Gruppe die Bezeichnung *Herrentiere* oder *Primates*.

Während der Mensch einerseits entsprechend seinem Körperbau, seinen physiologischen Funktionen, der chemischen Zusammensetzung seiner Körpersubstanz und seiner embryonalen Entwicklung den Primates und damit dem Tierreich angehört, zeichnet er sich gegenüber allen tierischen Lebewesen unseres Planeten durch Eigenschaften aus, die ihn eine Sonderstellung einnehmen lassen. Mit der Entstehung des Menschen als einem *gesellschaftlichen Lebewesen* tritt eine qualitativ neue Stufe der Entwicklung in Erscheinung. Die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft unterliegt eigenen Gesetzmäßigkeiten, die sich nicht einfach aus dem Bereich des Biologischen ergeben oder

unmittelbar aus diesem ableiten lassen. Die menschliche Gesellschaft und die Gesetzmäßigkeiten der gesellschaftlichen Entwicklung sind Forschungsgegenstand der verschiedenen Gesellschaftswissenschaften.

Die Rolle der Arbeit bei der Menschwerdung. Der Mensch ist das einzige Lebewesen, das planmäßig Werkzeuge benutzt und die Fähigkeit erlangt hat, Werkzeuge herzustellen. Die *Arbeit* unterscheidet den Menschen vom Tier. Wie *Karl Marx* schrieb, charakterisieren der Gebrauch und die Schöpfung von Arbeitsmitteln, obgleich im Keim schon gewissen Tierarten eigen, den spezifischen menschlichen Arbeitsprozeß. Die Urgeschichtsforschung konnte an Hand von Funden nachweisen, daß vor etwa 600000 Jahren Vorfahren der heutigen Menschheit lebten, die Steine zu Werkzeugen bearbeiteten. Diese Ahnformen unterschieden sich in ihren körperlichen Merkmalen noch deutlich vom Menschen der Gegenwart. Die „biologische Menschwerdung" war somit zu dem Zeitpunkt, da die Arbeit als die spezifische Form der Gewinnung des Lebensunterhaltes schon in Erscheinung trat, noch nicht abgeschlossen. Die *Arbeit* hat den Menschen geschaffen u. a. in dem Sinne, daß sie auch einen bestimmenden Einfluß auf seine biologische Entwicklung ausgeübt hat.
Unter dem Einfluß der Arbeit vervollkommnete sich die *Hand*. Gleichzeitig und in Wechselwirkung mit der Ausbildung manueller Fertigkeiten entwickelte sich das *Gehirn*. Die gemeinschaftlich betriebene Arbeit und die sich daraus ergebenden gegenseitigen Beziehungen zwischen den Menschen förderten die Entwicklung der *Sprache* als Verständigungsmittel. Der enge Zusammenhang zwischen Sprache und *Denken* führte zur Entfaltung der höheren geistigen Fähigkeiten des Menschen und zur Ausbildung des menschlichen Bewußtseins. Sprache und Denken beeinflußten wiederum die Weiterentwicklung des Gehirns.

Biologische und gesellschaftliche Entwicklung. Die „biologische Menschwerdung" hat sich während langer Zeiträume vollzogen. Auch während der letzten Jahrhunderte und in der Gegenwart vollziehen sich körperliche Veränderungen. Aber diese Veränderungen sind, gemessen an der raschen Entwicklung der menschlichen Gesellschaft, gering. Nachdem die biologische Entwicklung des Menschen eine bestimmte Stufe erreicht hatte, wobei die Arbeit der wesentlichste fördernde Faktor war, wurde die rasch fortschreitende gesellschaftliche Entwicklung zum beherrschenden Wesenszug der menschlichen Existenz.
Seit mindestens 600000 Jahren existieren Menschen als werkzeugbenutzende und werkzeugherstellende Lebewesen. Nahezu 99 % dieses Zeitraumes bildeten Stein, Holz, Knochen und Tiersehnen die Materialien, aus denen diese Werkzeuge gefertigt waren. Zwischen 4000 bis 3000 Jahren vor unserer Zeitrechnung begannen erstmals Menschen Metallwerkzeuge aus Kupfer und Kupferlegierungen herzustellen. Die Weiterentwicklung, Verbesserung und Neuentwicklung von Produktionsinstrumenten bis zu den Maschinen und automatischen Anlagen der Gegenwart erfolgte dann in einem bemerkenswert kurzen Zeitraum.
Vor etwa 9000 Jahren begannen Menschen Pflanzen zu kultivieren und Tiere zu domestizieren, d. h. zu Haustieren zu machen. Während des gesamten vorangegangenen Zeitraumes bestritten die menschlichen Gemeinschaften ihren Lebensunterhalt durch Sammeln, Jagen und Fischen. Der Übergang von der *Aneignungswirtschaft* (Sammler, Jäger) zur *Produktionswirtschaft* (Pflanzenbauer, Tierhalter) war einer der bedeutungsvollsten Schritte in der Geschichte der menschlichen Gesellschaft. Größere Gemeinschaften konnten entstehen und ihren Unterhalt sichern. Die Abhängigkeit von den Zufälligkeiten der Umwelt verringerte sich. Der Austausch von Gütern nahm zu. Die gesellschaftliche Arbeitsteilung bildete sich aus. Schließlich entstanden neue Produktionsverhältnisse. Die *Urgesellschaft* mit dem gemeinsamen Eigentum an den Produktionsmitteln wurde von der *Klassengesellschaft* abgelöst. Im Vergleich zu dem gewaltigen Zeitraum, da die Urgesellschaft herrschte, vollzogen sich während der kurzen Periode der Klassengesellschaft tiefgreifende und rasch aufeinanderfolgende gesellschaftliche Veränderungen. In der Gegenwart schließlich, da die Klassengesellschaft ihrem Ende entgegengeht, lebt schon $^1/_3$ der Menschheit im Sozialismus, einer neuen Gesellschaftsordnung, die noch weitaus rascher die Produktivkräfte zu entwickeln vermag, als das unter den Bedingungen der Klassengesellschaft jemals der Fall gewesen ist.

Reaktionäre Irrlehren über den Menschen und die menschliche Gesellschaft. Alle Versuche, Erscheinungen des gesellschaftlichen Lebens der Menschen mittels Theorien zu deuten, die der Biologie entnommen sind, müssen als unwissenschaftlich abgelehnt werden. Derartige Versuche wurden und werden von reaktionären Kräften unternommen, um Erscheinungen der kapitalistischen Gesellschaftsordnung, die Ausbeutung des Menschen durch den Menschen, den Konkurrenzkampf, die Verelendung und die Unterdrückung anderer Völker zu rechtfertigen. Eine dieser reaktionären Lehren ist die des „*Sozialdarwinismus*". Dieser behauptet, daß die Triebkräfte der gesellschaftlichen Entwicklung mit den von Darwin entdeckten Faktoren der biologischen Entwicklung übereinstimmen. Das Prinzip des „Kampfes ums Dasein" und das der „Auslese der Tüchtigsten" müssen herhalten, um die Massenvernichtung von Menschen im imperialistischen Krieg und andere Scheußlichkeiten der imperialistischen Klassengesellschaft als „naturgemäß" zu begründen.
Die Sozialdarwinisten ignorieren die Eigengesetzlichkeit der gesellschaftlichen Entwicklung. Die Mißachtung der Grundtatsache, daß die verschiedenen Existenzbereiche der materiellen Welt ihre qualitativen Besonderheiten besitzen, kennzeichnet derartige Lehren bereits als unwissenschaftlich.

Darüber hinaus pflegen die Vertreter des Sozialdarwinismus, durch einseitige und verzerrte Darstellungen die Lehre Darwins und die entwicklungsgeschichtlichen Theorien moderner Darwinisten zu entstellen.

Die faschistische „*Rassenlehre*" verfährt in ähnlicher Weise. Sie verfälscht Ergebnisse der Vererbungslehre und behauptet, daß „wertvolle" und „minderwertige" Menschenrassen existieren. Eine solche Wertung ist zutiefst menschenfeindlich und in keiner Weise begründet. Alle in der Gegenwart lebenden Menschen gehören zu einer Art und haben die gleiche biologische Entwicklungshöhe erreicht. Es gibt hinsichtlich der körperlichen Merkmale rassische Unterschiede, die aber gering sind und keine wesentlichen Eigenschaften betreffen. Unterschiede bestehen im erreichten Stand der gesellschaftlichen Entwicklung. Die geschichtliche Gegenwart lehrt aber, daß die Menschen aller Völker und Rassen befähigt sind, ihre materiellen und geistigen Aufgaben zu lösen und in kürzester Frist den Anschluß auf den verschiedenen Gebieten der Wissenschaft und Kultur zu gewinnen, wenn die Fesseln kolonialer Unterdrückung und Ausbeutung gefallen sind. Eine biologische Ungleichwertigkeit zwischen den Menschenrassen der Gegenwart besteht nicht.

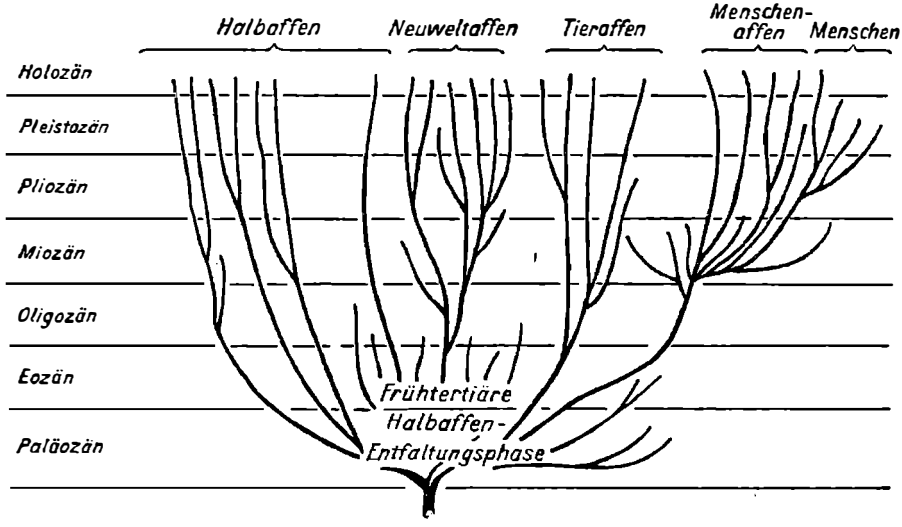
DIE STELLUNG DES MENSCHEN IM TIERREICH UND DIE TIERISCHEN VERWANDTEN DES MENSCHEN

Die Stammesgeschichte der Herrentiere. Der Mensch gehört nach seinen anatomischen Merkmalen zur Ordnung der Herrentiere oder Primates. Innerhalb dieser Ordnung werden zwei Unterordnungen, die der *Halbaffen* oder *Prosimia* und die der *Affen* oder *Simia* unterschieden. Die ältesten Fossilfunde halbäffischer Arten stammen aus dem mittleren Paläozän. Da es sich bereits um spezialisierte Formen handelt, wird angenommen, daß die Entwicklung der Stammgruppe schon in der vorangegangenen Kreidezeit einsetzte. Die Vorfahren dieser ältesten Primaten sind unter den kreidezeitlichen Insektenfressern (Ordnung Insectivora) zu suchen. Die engen verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen Insektenfressern und primitiven Primaten kommen im anatomischen Bau der noch in der Gegenwart lebenden *Spitzhörnchen* oder *Tupaias* (Familie *Tupaiidae*) gut zum Ausdruck. Diese kleinen, baumbewohnenden Formen, die in Vorder- und Hinterindien und auf Inseln des Indomalaiischen Archipels beheimatet sind, wurden in der Vergangenheit von manchen Autoren zu den Insektenfressern, von anderen zu den Herrentieren gestellt. Heute herrscht Einmütigkeit, daß sie als primitive Vertreter der Herrentiere anzusprechen sind.

Zu den Affen oder Simia zählen folgende drei Überfamilien:

1. die Neuweltaffen,
2. die Altwelt-Tieraffen und
3. die altweltlichen „Hominoidea", zu denen Gibbons, Menschenaffen und Menschen gehören.

Die *Neuweltaffen* haben sich in Süd- und Mittelamerika entwickelt. Die ältesten fossilen Nachweise entstammen oligozänen Schichten. Fossilglieder, die den Anschluß an halbäffische Vorfahren herstellen könnten, fehlen bislang. Bei den *altweltlichen Tieraffen* liegen die Verhältnisse ähnlich. Die ältesten fossilen Belege entstammen dem Pliozän; die Entwicklung dieser Gruppe muß aber schon früher ihren Anfang genommen haben.

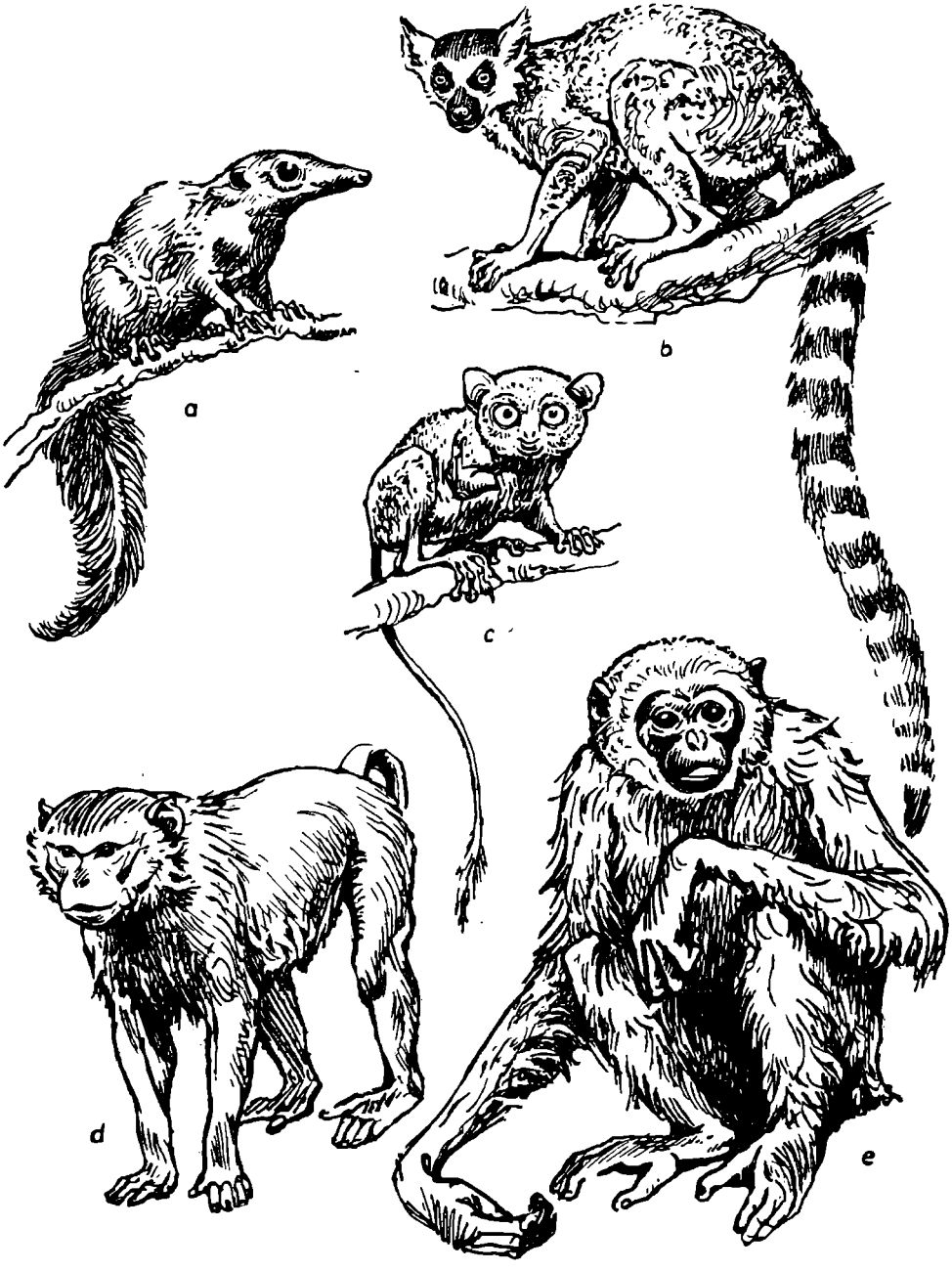


Schema des Herrentierstammbaumes mit den Entfaltungsphasen der einzelnen Gruppen

Die Ordnung der Herrentiere (Primates) in systematischer Übersicht

Unterordnung	Überfamilie	Familie	Bemerkung
Halbaffen (Prosimia)	Spitzhörnchenartige	Spitzhörnchen (*Tupaiidae*)	Südasien; eichhörnchenähnliche Baumbewohner mit spitzer Schnauze; Ähnlichkeit mit Insektenfressern
	Lemurenartige	Lemuren (*Lemuridae*)	Madagaskar
		Indris (*Indriidae*)	Madagaskar
		Fingertiere (*Daubentoniidae*)	Madagaskar
	Loriartige	Loris (*Lorisidae*)	Afrika (Pottos) und Südasien (Plumplori, Schlanklori)
		Galagos (*Galagidae*)	Afrika; langer, buschiger Schwanz
	Koboldmakis	Koboldmakis (*Tarsiidae*)	Indo-malaiischer Archipel; großäugige, baumbewohnende Nachttiere; gute Springer
Affen (Simia) Breitnasen (Nasenscheidewand breit)	Neuweltaffen	Greifschwanzaffen (*Cebidae*)	Südamerika; viele Arten mit Greifschwanz (Kapuziner, Klammeraffe, Brüllaffe)
		Krallenäffchen (*Callithricidae*)	Südamerika; baumbewohnende Tagtiere (Pinseläffchen, Löwenäffchen), manche nur 100 g schwer
Affen (Simia) Schmalnasen (Nasenscheidewand schmal)	Altwelt-Tieraffen	Hundsaffen (*Cercopithecidae*)	Afrika und Asien; über 100 Arten, die sich auf 3 Untergruppen verteilen: Schlankaffen (Guereza, Hulman), Meerkatzen (und Mangaben), Hundskopfaffen (Makaken, Paviane)
	Menschenaffen und Mensch	Gibbons (*Hylobatidae*)	Südasien; 5 Arten; Vorderextremitäten als „Hangelorgane" stark verlängert
		Menschaffen (*Pongidae*)	Gorilla, Schimpanse und Orang-Utan. Außerdem mehrere ausgestorbene Arten (z.B. *Dryopithecus*)
		Südmenschenaffen (*Australopithecidae*)	Ausgestorbene Menschenaffen Südafrikas, „Vormenschen"
		Menschen (*Hominidae*)	Affenmenschen (Pithecanthropus, Sinanthropus), Neandertaler und Menschen

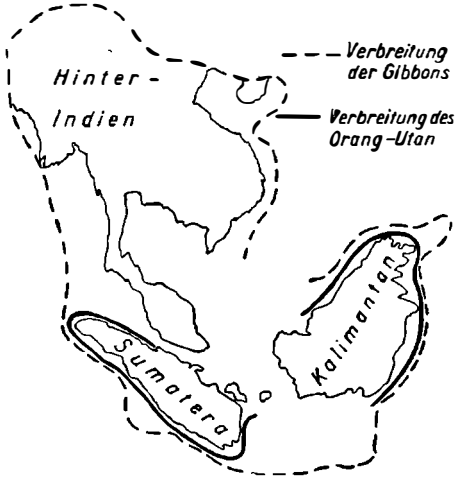
Bisher war keine Entscheidung möglich, ob altweltliche Tieraffen und Menschenaffen gemeinsam oder getrennt der halbäffischen Ahnengruppe entsprangen. Falls beide Gruppen gemeinsamen Ursprungs sind, was viele Forscher annehmen, so muß die Trennung sehr früh, wahrscheinlich im Eozän/Oligozän erfolgt sein.



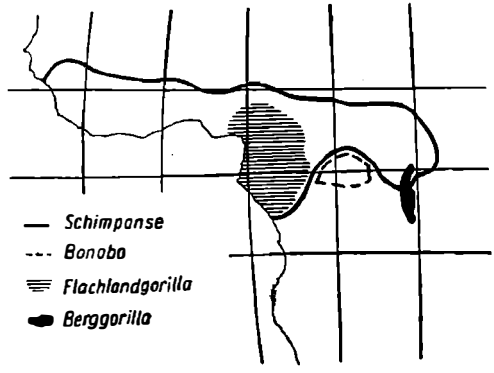
Vertreter der heute lebenden Herrentiere:
a Spitzhörnchen, b Lemur, c Koboldmaki, d Rhesusaffe, e Gibbon

Menschenaffen Südasiens. *Gibbons:* kleinere Menschenaffen, die als „Hangelkletterer" lange Arme besitzen. Wie die Tieraffen haben sie noch — wenn auch kleine — Gesäßschwielen. Der Siamang von Sumatera ist die größte Art. In sitzender Haltung erreichen männliche Tiere bis 90 cm Körperhöhe; die Spannweite ihrer seitlich gespreizten Arme kann von Fingerspitze zu Fingerspitze gemessen 1,80 m betragen. Weitere 6 Arten leben von Bhutan im Zentral-Himalaja über Burma und Hinterindien bis Djawa. Die am weitesten nach Norden vorkommende Art ist der *Hulock*, ein kleiner schwarz gefärbter Gibbon.

Orang-Utan (*Pongo pygmaeus*): Der in der Gegenwart auf Kalimantan (Borneo) und Sumatera lebende Orang-Utan, dessen Name im Malaiischen „Waldmensch" bedeutet, trägt ein rötlichbraunes zottiges Haar. Alte Männchen besitzen einen großen, unbehaarten Kehlsack und kräftige Backenwülste. Bis 1,90 m kann die Scheitelhöhe aufgerichteter Orang-Männchen betragen. Der langarmige Orang, der im Vergleich zum Körper längere Arme als Schimpanse und Gorilla besitzt, ist ein geschickter Kletterer, der sich rasch in der Wipfelregion des Urwaldes fortzubewegen vermag. Wahrscheinlich leben die Orangs in Einehe. Wie bei Schimpansen und Gorillas sind die Eckzähne kräftig entwickelt; die Schneidezähne stehen schräg und sind nach vorn gerichtet.



Verbreitungskarte der asiatischen Menschenaffen

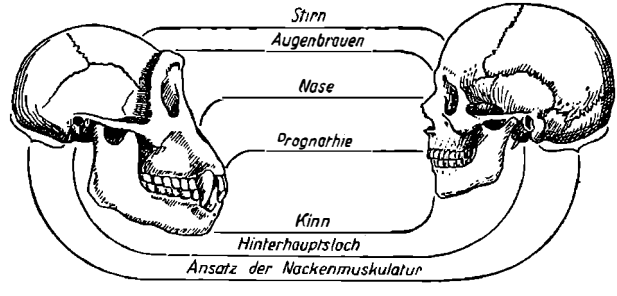


Verbreitungskarte der afrikanischen Menschenaffen

Menschenaffen Afrikas. *Schimpanse:* Dieser Menschenaffe ist Bewohner des immergrünen hochstämmigen Regenwaldes und des Urwaldes im tropischen Afrika. Es gibt schwarzgesichtige Schimpansen und hellgesichtige. Auch in Stärke und Ausmaß der Behaarung sowie hinsichtlich der Intelligenz und des Temperamentes bestehen erhebliche individuelle Unterschiede. Die Scheitelhöhe erreicht bei aufgerichteten Männchen maximal 1,40 m. Die Ohren sind auffallend groß.

Neben den eigentlichen Schimpansen (*Pan troglodytes*), die in drei geographischen Rassen existieren, wird eine zweite Art, der *Bonobo* oder *Zwergschimpanse* (*Pan paniscus*) unterschieden. Der Bonobo ist um die Hälfte kleiner als der Schimpanse, der Körper schmaler und zierlicher.

Gorilla: großer waldbewohnender Menschenaffe, der zur Nahrungssuche Bäume ersteigt, aber sich häufiger am Boden bewegt als die anderen Arten. Der Fuß wird mit der ganzen Sohle aufgesetzt, während Orangs und Schimpansen vor allem die Außenkante des Fußes belasten. Der Größenunterschied zwischen den Geschlechtern ist beim Gorilla am ausgeprägtesten. Alte Männchen mit einer Scheitelhöhe bis zu 2,30 m sind beschrieben worden. Von



Schädel von Gorilla (♀) *und Mensch* (♂)

wütenden Gorillas wurden doppelläufige Flintenläufe verbogen oder zusammengedreht. Das Haarkleid ist schwarz, es werden zwei Rassen unterschieden:

Der „*Flachlandgorilla*" (*Gorilla gorilla gorilla*) und der „*Berggorilla*" (*Gorilla gorilla beringei*). Bei letztgenannter Rasse besitzen die Männchen einen silbergrauen Rücken.

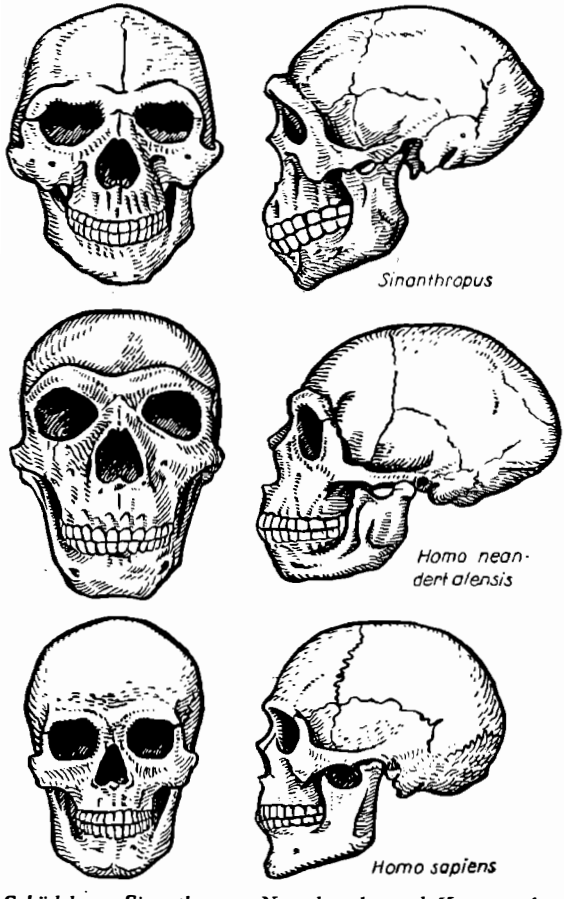
Schädelvergleich Gorilla — Mensch. Der Schädel eines Gorilla und der eines Menschen unterscheiden sich in folgenden Hauptmerkmalen:

Schädel des *Gorilla*	Schädel des *Menschen*
Großer starkwandiger Schädel mit Knochenkamm und niedriger Schädeldecke, fliehender Stirn und Augenbrauenwülsten; mächtig vorspringende Schnauze (Prognathie) mit kräftigen Eckzähnen, Schädelnähte schließen sich frühzeitig	Steilstirniger, relativ dünnwandiger Gehirnschädel ohne Bildung von stärkeren Augenbrauenwülsten; Schädelnähte schließen sich erst im 40. bis 50. Lebensjahr

DIE FOSSILGESCHICHTE DES MENSCHEN

Fossile Menschenaffen. *Pliopithecus:* Die Funde stammen aus dem Miozän und Pliozän Ägyptens und verschiedener Teile von Europa. Nach den vorliegenden Skeletteilen und Schädelresten besteht eine deutliche Ähnlichkeit mit den in der Gegenwart lebenden Gibbons.

Proconsul: Aus Afrika (z. B. Rüsinga-Insel, Viktoria-See) belegter ursprünglicher Menschenaffe, der nicht die langen Arme der baumbewohnenden Menschenaffen der Gegenwart besaß, sondern sich ähnlich wie Paviane vornehmlich am Boden bewegt haben muß. Die Hirnschädelkapazität beträgt 500 bis 550 cm³. Erster Fund 1931, seither mehrere Funde.

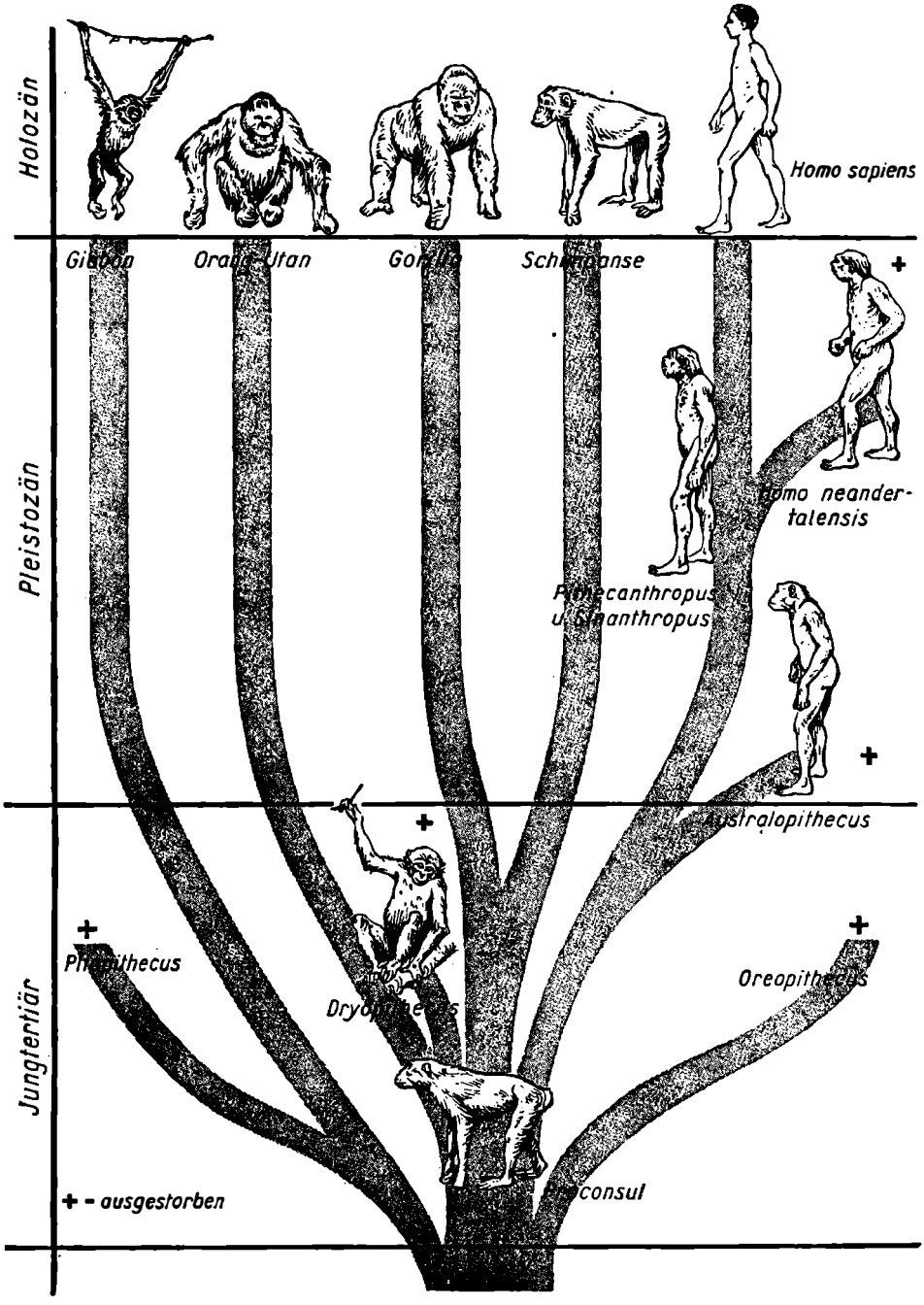


Schädel von Sinanthropus, Neandertaler und Homo sapiens

Dryopithecus: Aus miozänen und pliozänen Schichten Europas, Asiens und Afrikas liegen mehrere Zähne und Kieferfragmente vor. Mehrere Arten. Körpergröße etwa die des Schimpansen.

Oreopithecus: Alle bislang vorliegenden Funde stammen aus dem oberen Miozän Toskanas (Mittelitalien). Im April 1958 wurde in einer Kohlengrube in der Nähe von Grosseto ein nahezu vollständiges Skelett gefunden, dessen Alter auf annähernd 10 Millionen Jahre geschätzt wird. Die Körpergröße beträgt etwa 120 cm.

Tier-Mensch-Übergangsfeld (Praehominen). *Australopithecus:* Die Vertreter dieser Gruppe schließen sich in vielen Merkmalen ihres Knochen- und Zahnbaues enger an die Menschen als an die Menschenaffen an. Sie werden deshalb auch als Vormenschen (*Praehominen*) bezeichnet. Gefunden wurden mehrere, zum Teil gut erhaltene Schädel, des weiteren Zähne, Teile des Gliedmaßenskeletts und Beckenknochen. Das Alter der Funde, die sämtlich aus Südafrika stammen, beträgt schätzungsweise 1 bis 5 Millionen Jahre. Sie lebten in der Übergangsphase vom Tertiär zum Pleistozän. Das Volumen des Hirnschädels liegt bei 600 cm³. Nach der Form des Beckens darf als sicher gelten, daß der Südmenschenaffe aufrecht ging. Der aufrechte Gang entwickelte sich folglich noch vor der Massezunahme des Gehirns. Sie waren Bewohner der Felsensteppe und benutzten Höhlen. Das Gebiß ist auffällig



Stammbaum des Menschen und seiner tierischen Verwandten

menschenähnlich. Feuerbenutzung und Werkzeuggebrauch sind für einige Fundstätten behauptet, aber nicht mit Sicherheit nachgewiesen worden.

Fossile Urmenschen (Archanthropinen). *Pithecanthropus:* Die Urmenschen (Javamensch, Pekingmensch u. a.) sind bereits Wesen, die sowohl das Feuer nutzten als auch behauene Steine als Werkzeug verwandten. Zusammen mit Schädel- und Skelettresten wurden Feuerspuren und bearbeitete Steine an einigen Fundstellen entdeckt. Urmenschen sind für Asien, Europa und Afrika nachgewiesen. Es werden heute folgende Arten und Unterarten unterschieden:

1. *Pithecanthropus erectus erectus:* Erster Fund 1891/92 auf Java bei Trinil (Schädeldach, Unterkieferfragment, Zähne und Oberschenkelknochen); weitere Funde, insbesondere Zähne und Schädelfragmente 1937/38 und 1945. Das Alter der Funde wird auf etwa 250000 Jahre geschätzt. Die Kapazität des Hirnraumes beträgt 800 bis 900 cm^3.

2. *Pithecanthropus erectus pekinensis (=Sinanthropus pekinensis):* Erste Funde in der Höhle von Chou-Kou-Tien bei Peking im Jahre 1921. Insgesamt liegen heute die Reste von über 60 Individuen vor. Die Kapazität des Hirnraumes liegt um 1000 bis 1100 cm^3. Obwohl dieser Wert höher liegt als bei vorgenannter Unterart, scheint der Pekingmensch älter zu sein. Sein Alter wird auf 300000 bis 500000 Jahre geschätzt. Die an Hand von Schädelausgüssen gewonnenen Vorstellungen über den Hirnbau lassen Sprachvermögen vermuten.

3. *Pithecanthropus heidelbergensis:* Funde bei Mauer in der Nähe von Heidelberg aus dem Jahr 1907. Älter als Pithecanthropus erectus.

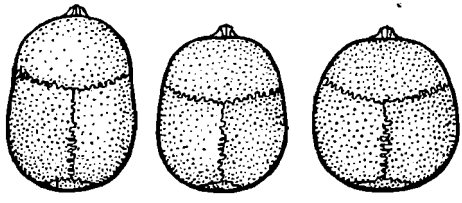
4. *Pithecanthropus njarasensis:* Mehrere Schädel wurden am Njarasee in Ostafrika gefunden (1935 bis 1938). Alter der Funde 400000 bis 500000 Jahre.

Fossile Menschen und Menschen der Jetztzeit. *Homo neandertalensis:* Erster Fund des Neandertalers oder Frühmenschen aus dem Jahre 1856 im Neandertal bei Düsseldorf. Seitdem zahlreiche weitere Funde (über 100 Individuen) in Europa, Afrika und Asien. Alter der Funde zwischen 250000 bis 100000 Jahre. Die Körpergröße beträgt ungefähr 160 cm. Stirn fliehend, starke Augenbrauenwülste, massiger Unterkiefer ohne vorspringendes Kinn, hängender Kopf, gebeugter Gang. Die Kapazität des Hirnraumes beträgt 1250 bis 1700 cm^3. Diese liegt bei vielen Individuen somit über dem Durchschnittswert des heutigen Menschen. Da der Intelligenzgrad nicht allein von der Hirnmasse, sondern vor allem auch vom Feinbau des Hirns und dem Faltungsgrad der Hirnrinde abhängt, darf keinesfalls auf eine geistige Überlegenheit oder Gleichwertigkeit des Neandertalers geschlossen werden. Der Neandertaler (*Paläanthropinen*) wird heute — zumindest gilt das für die europäischen Funde — als Nebenast der Entwicklung angesehen. Er starb in Europa aus, noch ehe die Besiedlung durch den Homo sapiens (*Neanthropinen*) begann.

Homo sapiens fossilis: Menschen der jüngeren Altsteinzeit (zu Ende des Pleistozän), die dem Menschen der Jetztzeit so ähnlich sind, daß sie mit diesen zur gleichen Art gestellt werden. Bekannteste Funde in Europa sind die von Aurignac, Brünn, Cro Magnon und Oberkassel.

Homo sapiens recens: Menschen des Holozän (Alluvium); in Europa von der mittleren Steinzeit bis zur Gegenwart.

Die Fälschung von Piltdown. Der angebliche Fund von Piltdown, einem Ort der Grafschaft Sussex in Südengland, hat wegen seiner Widersprüchlichkeit jahrzehntelang Diskussionen ausgelöst. Es handelt sich um einige Schädelfragmente, eine Unterkieferhälfte, einige Zähne sowie Werkzeuge, die angeblich in den Jahren 1908 bis 1913 an einem Ort gefunden wurden. Während die Schädelknochen auffällig menschenähnlich sind, zeigte der Unterkiefer äffische Merkmale. Der Fund wurde sehr früh datiert und galt als Beweis für ein sehr hohes Alter engster Verwandter des heutigen Menschen, womit seine besondere und isolierte Stellung unterstrichen werden sollte.



Schädelformen
a Langschädel, b Mitteltyp, c Kurzschädel

Mittels moderner Methoden der Altersbestimmung an Knochenmaterial wurden die Fundstücke seit 1950 mehrfach genau untersucht. Es ergab sich, daß die Knochenfragmente kein hohes Alter besitzen können. Weiterhin wurde deutlich, daß die Fundstücke nicht gleichaltrig sind. Das Unterkieferbruchstück stammt von einem Menschenaffen der Gegenwart, wahrscheinlich einem Orang-Utan, und wurde durch nachträgliche Färbung künstlich „gealtert". Die Schädelknochen besitzen dagegen ein höheres natürliches Alter, gehören aber günstigstenfalls in die jüngere Eiszeit. Das gesamte Fundmaterial stammt nicht aus dem Gebiet von Piltdown, sondern wurde „zusammengestellt" und am Fundort vergraben bzw. verstreut.

Hirnschädelkapazität

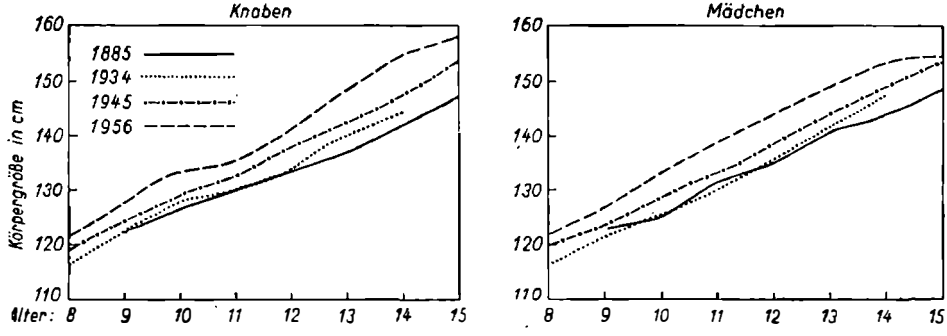
in cm^3

	Mittelwert	Schwankungsbreite		Mittelwert	Schwankungsbreite
Gibbons	95	80···140	Australopithecus	600	450···800
Orang-Utan ♂	445	320···570	Javamensch	850	770···1000
Orang-Utan ♀	380	295···490	Pekingmensch	1000	900···1200
Schimpanse ♂	410	350···480	Neandertaler	1500	1250···1700
Schimpanse ♀	385	320···450	Jetztmensch ♂	1500	1250···1700
Gorilla ♂	510	385···655	Jetztmensch ♀	1350	1100···1550
Gorilla ♀	455	350···595			

II. Maße und Proportionen des menschlichen Körpers

KÖRPERGRÖßE

Veränderung der durchschnittlichen Körpergröße. Die Menschen waren vor 100 Jahren kleiner als heute. In den meisten Ländern ist eine deutliche Zunahme der Körpergröße feststellbar, wobei die Ursachen dieser Erscheinung nicht eindeutig geklärt sind. Während z. B. in Schweden die Rekruten im Jahre 1887 eine durchschnittliche Größe von 1,69 m hatten, betrug diese 1907 1,71 m. Entsprechende Beobachtungen liegen auch aus Holland vor, wo die Durchschnittsgröße der Rekruten 1863 1,64 m und 1907 1,67 m betrug.



Längenwachstum der Schuljugend in der Sowjetunion

Tägliche Schwankungen der Körpergröße. Der Mensch ist am größten unmittelbar nach dem Aufstehen. Die Größe nimmt im Laufe des Tages bis zu 3 cm, nach anstrengender Tätigkeit, z. B. Gepäcktragen, sogar bis zu 5 cm ab, was auf den Wasserverlust der Zwischenwirbelscheiben zurückzuführen ist.

Durchschnittsgrößen einiger Völker

in cm

	Europa	Asien	Zentralafrika	Australien und Ozeanien	Amerika
sehr klein	Lappen (153)	Andamanen (148)	Pygmäen (139)	Tapiro (145)	Eskimo (157)
sehr groß	Schotten (179)	Zigeuner von Russisch-Turkestan (171)	Saraneger (182)	Bewohner der Marquesas-Inseln (174)	Patagonier (174)

In allen Erdteilen gibt es Völker von durchschnittlich sehr großem und solche von sehr kleinem Wuchs. Einen bedeutenden Einfluß auf die Körpergröße hat die Umwelt; das Klima scheint keine Rolle zu spielen.

Im allgemeinen ist die Frau kleiner als der Mann (die Differenz ist rassisch verschieden), ihr Rumpf ist im Vergleich zu den Extremitäten relativ lang, ihr Kopf kleiner und runder.

Extreme Körpergrößen

in cm

Riesen		Zwerge	
Cajanus	283	der friesländische Bauer Lolkes	66
Marianne Wehde aus Benkendorf bei Halle	255	eine von Buffon gemessene Zwergin	42

Extreme Körpermaße sind im allgemeinen auf einen gestörten Hormonhaushalt zurückzuführen.

Verhältnis der einzelnen Teile des Körpers zur Gesamtlänge. Für einen Menschen normaler Konstitution von 168 cm Größe sind folgende Körpermaße als Durchschnittsmaße festgestellt worden:

	cm	%
Kopfhöhe	16	9,5
Halslänge	16	9,5
Schultergürtel	32	19,1
Brustkorblänge	16	9,5
Entfernung der Brustwarzen	22	13,1
Bauchlänge über dem Nabel	16	9,5
Bauchlänge unter dem Nabel	16	9,5
Abstand Schultergürtel—Beckengürtel	48	28,6
Oberschenkellänge	42	25
Unterschenkellänge	38	22,6
Fußhöhe	8	4,8
Fußlänge	24	14,2
Oberarmlänge	28	16,7
Vorderarmlänge	24	14,2
Handlänge	18	10,7
Gesamtkörperlänge = 4 Oberschenkellängen	168	100
Armspannweite	172	102,4
vom Scheitel bis zum Nabel	64	38,1
vom Nabel bis zur Sohle	104	61,9

Änderungen der Körperproportionen im Laufe der Entwicklung

(Verhältniszahlen)

	beim Säugling (in 16tel der Gesamtlänge)	beim Erwachsenen (in 16tel der Gesamtlänge)
Abschnitt Fußsohle—Knie	3	4
Abschnitt Knie—Schamberg	3	4
Abschnitt Schamberg—Achsel	4	4
Abschnitt Achsel—Kinn	2	2
Abschnitt Kinn—Auge	2	1
Abschnitt Auge—Scheitel	2	1

Während des Wachstums verschiebt sich das Verhältnis der einzelnen Teile des Körpers zur Gesamtlänge. So ist beim Erwachsenen ein „Schwund des Kopfes" zugunsten der Beine festzustellen. Die Perioden des Streckungs- und Breitenwachstums sind bei den Geschlechtern verschieden.

Oberfläche und Volumen des Körpers

Oberfläche etwa 20000 cm^2 Volumen etwa 60000 cm^3

Maße des Brustkorbes

in cm

	Mann	Frau
Breitendurchmesser	27	25
Tiefendurchmesser	20	18

Brustumfang

nach dem Ausatmen: beim Mann 82 cm, bei der Frau 76 cm
nach dem Einatmen: beim Mann 94 cm, bei der Frau 80 cm

Durchschnittliche Körpermasse

in kg

neugeborene Knaben	3,3
neugeborene Mädchen	3,2
Kinder im Alter von 10 Jahren	25
Erwachsene im Alter von 20 Jahren	56
Erwachsene im Alter von 30 Jahren	61

Die Körpermasse des Erwachsenen ist, abgesehen von der allgemeinen Konstitution, wesentlich von der Körperlänge abhängig. Ein mittelkräftiger Mann zwischen 30 und 50 Jahren wiegt im Durchschnitt so viel Kilogramm, wie er Zentimeter über 1 m mißt, bei 175 cm Länge also etwa 75 kg. Bei älteren Leuten ist die Körpermasse meist größer, bei Frauen wegen des schwächeren Skelettes geringer als das nach dieser Regel errechnete.

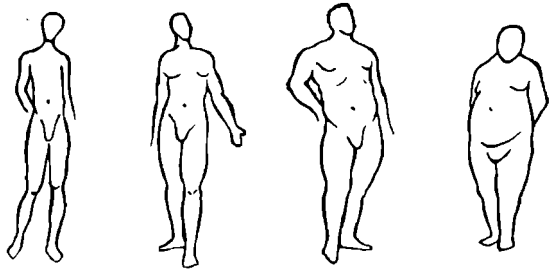
DIE KONSTITUTIONSTYPEN

Körperbautypen. Am bekanntesten sind die von E. Kretschmer im Jahre 1921 aufgestellten Körperbau- oder Konstitutionstypen. Er unterscheidet:

asthenischer (leptosomer) Typ: der Leptosome zeigt bei geringem Dickenwachstum unterdurchschnittliches bis durchschnittliches Längenwachstum, bleibt mager, eng- und flachbrüstig mit dünnen Armen und Beinen, ovales Gesicht, hängenden Schultern,

athletischer Typ: der Athletiker hat breite, ausladende Schultern, einen oben breiten Brustkorb, straffen Bauch und ein derbes Skelett, derbe, kräftige Hände, er ist meist übergroß,

pyknischer (eurysomer) Typ: der Pykniker ist von gedrungener Gestalt und neigt zu Fettansatz (Bauchbildung), sein Brustkorb ist unten breiter als oben, breitflächiges Gesicht.



Konstitutionstypen: a Leptosomer Typ, b Mitteltyp, c Athletiker, d Pykniker

Die Gültigkeit der vor allem von Kretschmer aufgestellten Hypothese, daß zwischen den genannten Körperbauformen und Eigenheiten des Verhaltens charakteristische (bis in die Neuropathologie hinein verfolgbare) Beziehungen beständen, ist durchaus nicht allgemein anerkannt.

Temperamenttypen. Die psychisch-charakterlichen Veranlagungen des Menschen gestatten eine Unterteilung in Temperamente.

Sanguinisches Temperament: leichte Ansprechbarkeit des Nervensystems, psychische Erregungen gehen rasch vorüber, gesteigerte Empfänglichkeit für subjektive Wahrnehmungseindrücke, zu deren Klärung die Ruhe und Nüchternheit fehlt, Stimmung vorwiegend heiter.

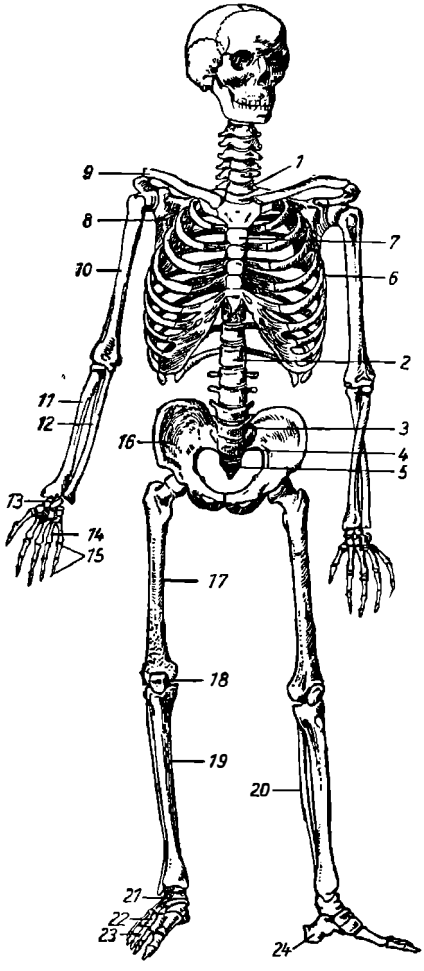
Cholerisches Temperament: leichte und überschießende Erregbarkeit des Nervensystems, Heftigkeit und Bitterkeit im Affekt, Stimmung wechselnd, Unverträglichkeit.

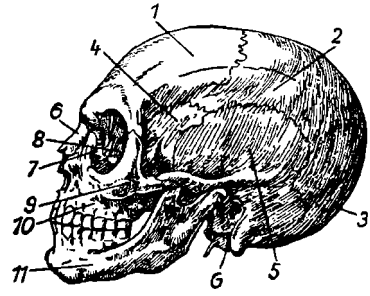
Phlegmatisches Temperament: schwache Reizbarkeit und Empfindlichkeit des Nervensystems, träge und langsame Reaktionen in allen körperlichen und psychischen Funktionen, Mangel an Wärme, Stimmung ausgeglichen, Verträglichkeit.

Melancholisches Temperament: langsame, aber tiefgreifende und andauernde Reaktion des Nervensystems, traurige, trübe Gemütsstimmung.

III. Aufbau und chemische Zusammensetzung des menschlichen Körpers

SKELETT





Schädel des Menschen

1 Stirnbein
2 Scheitelbein
3 Hinterhauptsbein
4 Keilbein
5 Schläfenbein
6 Nasenbein
7 Tränenbein
8 Siebbein
9 Wangenbein
10 Oberkiefer
11 Unterkiefer
G Öffnung des Gehörganges

Menschliches Skelett

Knochen des Rumpfes

1 der letzte Halswirbel
2 der letzte Brustwirbel
3 der vorletzte Lendenwirbel
4 der letzte Lendenwirbel
5 Kreuzbein mit Steißbein
6 Rippen
7 Brustbein

Schultergürtel und Arme

8 Schulterblatt
9 Schlüsselbein
10 Oberarmknochen
11 Speiche
12 Elle
13 Handwurzelknochen
14 Mittelhandknochen
15 Fingerknochen

Beckengürtel und Beine

16 Becken
17 Oberschenkelknochen
18 Kniescheibe
19 Schienbein
20 Wadenbein
21 Fußwurzelknochen
22 Mittelfußknochen
23 Zehenknochen
24 Fersenbein

Anzahl der Knochen. Das Skelett des Menschen besteht aus rund 208 Knochen; davon entfallen auf

Schädel	26	Finger	28
Wirbelsäule	32···34	Hüften	2
Brustkorb	25	Oberschenkel	2
Schultergürtel	4	Unterschenkel	4
Oberarme	2	Fußwurzelknochen	14
Unterarme	4	Mittelfußknochen	10
Handwurzelknochen	16	Zehen	28
Mittelhandknochen	10		

Masse der Knochen

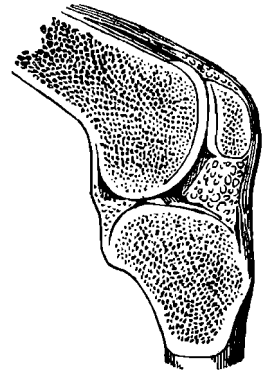
(Durchschnittswerte)

Skelett (gesamt)	9800 g	Oberschenkelknochen	940 g
Wirbelsäule	1560 g	Oberarmknochen	310 g

Wichte des Knochens

beim Neugeborenen ..... 1,67 beim Erwachsenen 1,85

Der Knochen wird durch Einlagerung von Kalksalzen schwerer.



Kniegelenk

Festigkeit der Knochen

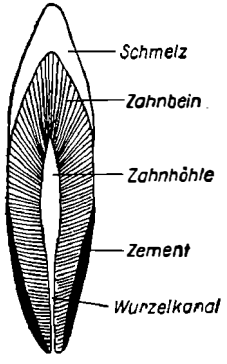
Es hält aus

die Kniescheibe	einen Druck oder Zug von	600 kp
der Oberschenkelknochen	einen Druck oder Zug von	1500 kp
das Schienbein	einen Druck oder Zug von	1650 kp

Die wichtigsten Gelenke

Wirbelgelenk	Ellenbogengelenk	Hüftgelenk
Kiefergelenk	Handgelenk	Kniegelenk
Schultergelenk	Fingergelenk	Fußgelenk

Gelenke stellen die Verbindung zweier Knochen miteinander her. Es gibt Kugel- und Scharniergelenke. Beim *Kugelgelenk* bewegt sich ein kugelförmig gestaltetes Gelenkende, der Gelenkkopf, in einer Hohlform, der Gelenkpfanne, beim *Scharniergelenk* ein walzenförmiges Gelenkende, die Rolle, in einem Walzenmantel. Die Berührungsflächen sind überknorpelt, damit sie besser aneinander gleiten; eine Gelenkkapsel umschließt beide Teile.



Längsschnitt durch einen Zahn

Die wichtigsten Knorpel

Nasenknorpel (Scheidewand-, Spitzenknorpel)
Ohrknorpel
Kehlkopfknorpel (Schild-, Ring-, Gießbecken-, Kehldeckelknorpel)
Luftröhrenknorpel
Rippenknorpel
Zwischenwirbelscheiben

GEBIß

Aufbau des Zahns. Jeder Zahn besteht aus *Zahnbein* (Dentin, besonders harter Knochen mit etwa 70% anorganischen Substanzen), das von feinen Kanälchen durchzogen wird. Er sitzt mit der ein- oder mehrästigen Wurzel in einer Höhlung des Kieferknochens (Alveole) und ragt mit der Krone aus dem Zahnfleisch hervor. Die *Zahnhöhle* in seinem Innern ist von Bindegewebe (Zahnmark, lat. Pulpa) ausgefüllt. Durch feine Wurzelkanäle, die an den Spitzen der Wurzeläste münden, treten Blutgefäße und Nerven in die Zahnhöhle ein. Die *Wurzel* besteht außen aus Zement (Zahnkitt, Knochensubstanz) und ist von der Wurzelhaut umgeben, die am Rand der Alveole in das Zahnfleisch übergeht. Die *Krone* des Zahnes ist von Schmelz (Email) überzogen.

Milchgebiß und bleibendes Gebiß. Das *Milchgebiß* besteht aus 20 Zähnen; jeder Kiefer enthält

4 Schneide- oder Vorderzähne
2 Eckzähne
4 kleine oder falsche Backzähne (Lückzähne)

$$\textit{Zahnformel:}\ \frac{2\ 1\ 2}{2\ 1\ 2}$$

Das *bleibende Gebiß* besteht aus 32 Zähnen; jeder Kiefer enthält

4 Schneide- oder Vorderzähne
2 Eckzähne
4 kleine oder falsche Backzähne (Lückzähne)
6 echte Back- oder Mahlzähne

$$\textit{Zahnformel:}\ \frac{2\ 1\ 2\ 3}{2\ 1\ 2\ 3}$$

Zeit des Zahndurchbruchs

Milchzähne (erste Dentition)

Innere untere Schneidezähne	im 4.···7. Monat
obere Schneidezähne	im 8.···11. Monat
äußere untere Schneidezähne, vordere obere Backzähne, vordere untere Backzähne	im 12.···15. Monat
Eckzähne: erst obere, dann untere	im 18.···24. Monat
hintere Backzähne	im 26.···34. Monat

Bleibende Zähne (zweite Dentition)

erste Mahlzähne	im 6.···7. Jahr
innere Schneidezähne	im 7.···8. Jahr
äußere Schneidezähne	im 8.···9. Jahr
vordere Lückzähne	im 9.···12. Jahr
Eckzähne	im 11.···13. Jahr
hintere Lückzähne	im 11.···15. Jahr
zweite Mahlzähne	im 12.···16. Jahr
dritte Mahlzähne (Weisheitszähne)	im 18.···30. Jahr

Das Kauen

Die *Druckkraft* beträgt

im Schneidezahngebiet	bis 20 kp
im Backzahngebiet	bis 72 kp

Der *Kraftbedarf* beträgt zum Zerkleinern von

gebratenem Fleisch	10···15 kp
hartem Backwerk	20···50 kp
harter Brotrinde*	über 100 kp

* Nur durch wiederholte Drucke zu bewältigen.

MUSKULATUR

Die Muskeln. Die Muskeln, gewöhnlich „das Fleisch" genannt, bilden die *Hauptmasse* des Körpers, etwa zwei Fünftel der Körpermasse. Sie sind faseriger Struktur und in einzelnen Strängen angeordnet. Dank ihrer Fähigkeit, sich zusammenzuziehen, können sie Gelenke bewegen sowie Hohlräume verengen und erweitern. Jede Bewegung im Körper bedarf der Mitwirkung von Muskeln (und Nerven), sei es mit unserem Willen, sei es ohne ihn.

Als (quergestreifte) *Skelettmuskulatur* verbinden die Muskeln die Knochen untereinander und ermöglichen ihre Bewegungen, als (glatte) *Eingeweidemuskeln* umziehen sie die Körperhohlräume in dichten Schichten, als (quergestreifte und in sich verflochtene) *Herzmuskulatur* treiben sie den Blutkreislauf an. Dabei unterliegt nur die Skelettmuskulatur, vom Zentralnervensystem aus geregelt, unserem Willen. Auch in der Ruhelage steht jeder Muskel unter einer gewissen Grundspannung, einer Art Bereitschaft zur Leistung, *Tonus* genannt. Bei der Leistung verkürzt sich seine Länge und verdickt sich sein Querschnitt. Gleichzeitig tritt ein Energieverbrauch insbesondere an Sauerstoff und Glykogen ein. Dabei ermüden Muskeln, die nur für vorübergehende Leistungen beansprucht werden, rascher als Muskeln, die zur Dauerverkürzung (glatte Muskulatur) befähigt sind und nur sehr langsam oder gar nicht ermüden.
Die direkte Verbindung zu den Knochen stellen die *Sehnen* her, zähe, nicht elastische, bandartige Gebilde, in die die Muskelfasern an ihren Enden übergehen.
Die Zahl der Skelettmuskeln beträgt rund 500.

Leistungsfähigkeit der Muskeln

	absolute Muskelkraft
Mensch	5···12 kp auf 1 cm²
Frosch	2···3 kp auf 1 cm²

Die *absolute Muskelkraft* ist die höchstmögliche Kraftentwicklung, berechnet auf 1 cm² des Muskelquerschnitts.

	Wirkungsgrad in %
Muskel bei Steigarbeit	25···35
Dampfmaschine	10···15
Dieselmotor	35···40

Als *Wirkungsgrad* (Nutzeffekt) bezeichnet man das Verhältnis der in nutzbare Arbeit verwandelten zur aufgewendeten Energie.

Die äußere Skelettmuskulatur des Menschen

Kopf und Hals

1 Stirnmuskel
2 Schließmuskel des Auges
3 Schließmuskel des Mundes
4 Schläfenmuskel
5 Kaumuskel
6 Kopfnicker
7 Trapezmuskel (Teil)

Brust und Bauch

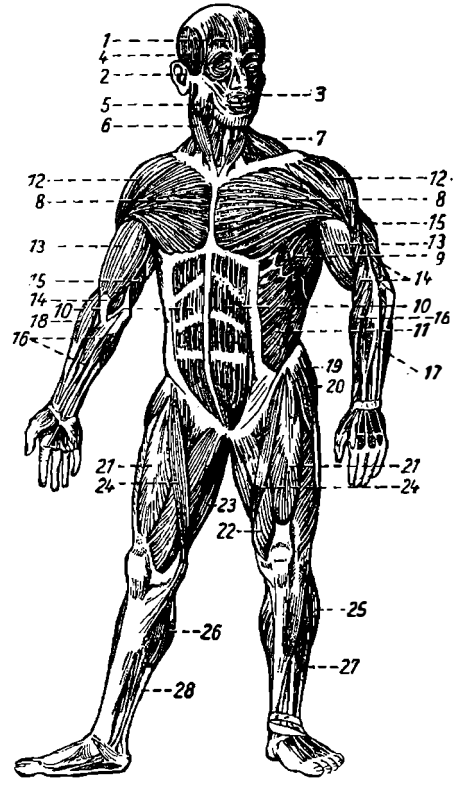
8 Großer Brustmuskel
9 Großer Sägemuskel
10 Gerader Bauchmuskel
11 Schräger Bauchmuskel

Arme

12 Schultermuskel
13 Zweiköpfiger Armmuskel (Bizeps)
14 Innerer Armbeuger
15 Dreiköpfiger Armstrecker (Trizeps)
16 Beugemuskeln
17 Streckmuskeln für die Finger
18 Aufwärtswender

Beine

19 Streckmuskeln
20 Drehmuskeln
21 Gerader Schenkelmuskel
22 Innerer Schenkelmuskel
23 Äußerer Schenkelmuskel
24 Schneidermuskel
25 Vorderer Schienbeinmuskel
26 Wadenmuskeln
27 Langer Zehenstrecker
28 Beuger der großen Zehe



Fortschreiten einer Muskelzusammenziehung. Bei der Reizung beginnt die Zusammenziehung (*Kontraktion*) eines Muskels an einem Punkt und pflanzt sich von dort wellenförmig fort (Kontraktionswelle). In der *glatten*, also der nicht unserem Willen unterworfenen, sondern vom sympathischen Nervensystem beeinflußten Muskulatur (Eingeweidemuskulatur) breitet sich die Kontraktionswelle in 1 Sekunde (s) nur 10 mm aus. — Die schnellsten Muskeln sind die der lautbildenden Organe.

Skelettmuskeln (quergestreift)	Ausbreitung der Kontraktionswelle in 1 s in m
Mensch	10···15
Kaninchen	5···10
Frosch	3

HAUT- UND HORNBILDUNGEN

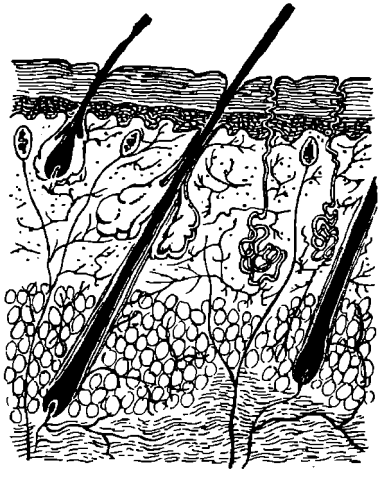
Die Haut. Die aus 3 übereinanderliegenden Schichten (Oberhaut, Lederhaut, Unterhautgewebe) bestehende Haut überdeckt als feste und elastische *Schutzhülle* den ganzen Körper. Die tote äußere Schicht der Oberhaut, die Hornhaut, schützt zugleich gegen das Eindringen von Bakterien. Durch

die Talg- und Schweißdrüsen wirkt die Haut als *Absonderungsorgan* für Schlackenstoffe; Blutgefäße und Schweißsekretion sorgen für den *Wärmeausgleich* (Schutz gegen Überhitzung). Als *Sinnesorgan* wirkt die Haut durch ihre zahlreichen Nervenendigungen, die in großer Zahl über die ganze Fläche verstreut sind. In den tiefsten Hautschichten können beträchtliche Mengen Fettgewebe (10 bis 15 kg) abgelagert sein, so daß die Haut auch als *Speicherorgan* fungiert.

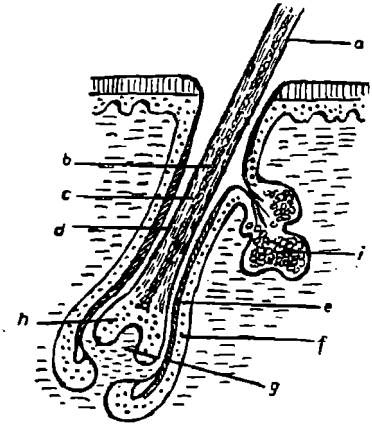
1 cm² Haut enthält rund:

6 000 000 Zellen
1 500 Sinneskörperchen
200 Schmerzpunkte
500 Schweißdrüsen
25 Druckpunkte (durchschnittlich; Hand 100···200)
15 Talgdrüsen
12 Kältepunkte (Gesicht)
2 Wärmepunkte (Finger)

Die Hautfarbe. Die unterschiedliche Hautfarbe der verschiedenen Menschenrassen beruht auf einer verschieden starken Einlagerung des Farbstoffes, des *Pigments*, in der Oberhaut. Die Farbe der



Senkrechter Schnitt durch die Haut (Haare mit Talgdrüsen, knäuelförmigen Schweißdrüsen und Nerven mit kolbenförmigem Endapparat)



Bau des Haares (Schema)
a Haarschaft, b Mark, c Rinde, d Oberhäutchen, e innere Wurzelscheide, f äußere Wurzelscheide, g Haarpapille, h Haarzwiebel, i Talgdrüsen

einzelnen Pigmentkörner schwankt je nach Dichte der Farbausscheidung vom hellsten Gelb bis zum dunkelsten Braun. Neugeborene sind bei allen Rassen fast pigmentlos und daher bei den weißen Rassen rot, bei den schwarzen Rassen dunkelrot.
Bei sehr dunklen Rassen ist auch die Schleimhaut der Lippen dunkelviolett gefärbt. Am dunkelsten sind stets die Brustwarze, die Haut der Achselhöhle und der äußeren Geschlechtsorgane und dann die dem Sonnenlicht ausgesetzten Körperteile. Am hellsten sind Hand- und Fußflächen und die Beugeseiten der Glieder. Umwelteinflüsse können die rassebedingte Pigmentstärke verändern.

Die Schweißdrüsen. Gesamtzahl etwa 4 000 000; auf 1 cm² Hautfläche kommen an Schweißdrüsen:

Hohlhand, Fuß (Unterseite)	300···400	Vorderarm (Streckseite)	120
Handrücken	200	Fußrücken	120
Hals	150	Ober- und Unterschenkel	70
Stirn	170	Wangen	75
Vorderarm (Beugeseite)	150	Nacken, Rücken, Gesäß	50
Brust und Bauch	50···100		

Das Haar. Haare finden sich, von wenigen Stellen abgesehen, auf der ganzen Körperoberfläche. Sie bestehen aus verhornten Zellen. Man unterscheidet *Wollhaare* (feine Härchen, die am ganzen Körper vorkommen), *Kurzhaare* (Augenbrauen, Wimpern, Nasen- und Ohrhaare) und *Langhaare* (insbesondere Kopf- und Barthaare).

Die Dicke des menschlichen Haares schwankt zwischen 0,07 und 0,17 mm, je nach Körpergegend und Farbe. Ein Haar kann ein Gewicht von etwa 60 g tragen und ist dehnbar.

Gesamtzahl der Haare	
auf dem Kopf	80000···140000
und zwar bei blondem Haar	140000
bei braunem Haar	109000
bei schwarzem Haar	102000
bei rotem Haar	88000
am übrigen Körper	20000
tägliches Wachstum	
des Kopfhaares	0,2···0,3 mm
des Barthaares (je nach der Häufigkeit des Rasierens)	0,4···0,6 mm
täglicher Zuwachs des gesamten Kopfhaares	16···40 m
täglicher Haarausfall	40···120 Haare

Die Augenwimpern

	Länge	Zahl		Länge	Zahl
oberes Lid	8···12 mm	140···200	unteres Lid	6···8 mm	50···100

Die Nägel

täglicher Zuwachs eines Fingernagels	0,086 mm
täglicher Zuwachs eines Zehennagels	0,05 mm

Die Nägel bestehen aus verhornten Zellen. Die Zehennägel sind stärker als die Fingernägel und wachsen infolgedessen langsamer.

DIE BESTANDTEILE DES MENSCHLICHEN KÖRPERS

in %

	Erwachsener	Neugeborener
Wassergehalt	60···70	66···70
Kohlenhydrate	0,6	0,6
Fett	10	7
Eiweiße	15	12
Mineralien	5	3

Ein Erwachsener von 70 kg Körpermasse besteht demnach aus rund

46 *l* Wasser
24 kg fester Körpermasse,
die sich aus etwa 12 kg Eiweißstoffen
7,5 kg Fett
3,8 kg Salzen
0,7 kg Zucker zusammensetzt.

Die elementare Zusammensetzung des menschlichen Körpers

in %

Sauerstoff	56,1	Chlor	1
Kohlenstoff	28	Phosphor	1
Wasserstoff	9,3	Schwefel, Eisen	0,6
Stickstoff	2	Natrium, Helium	
Kalzium	2	Magnesium, Fluor	

Aufbau des Knochen- und Zahngewebes

(die wichtigsten Stoffe in %)

	Knochen	Zahnbein	Zahnschmelz
organische Stoffe	32	29,1	6,9
Kalk, CaO	32	38,2	50,2
Magnesia, MgO	1	1,5	0,7
Phosphorpentoxyd, P_2O_5	35	30,2	40,7

Wassergehalt einiger Organe

An Wasser enthalten in % der Organmasse:

Blut	78···84	Fettgewebe	7···40
Muskel	75···80	Zahnbein	10
Skelett	22···34	Zahnschmelz	0,2

Das Wasser ist innerhalb der Zellen und Gewebe meist *kolloidal* gebunden. Nur ein kleiner Teil ist tropfbar flüssig, etwa 3 Liter im Blut, 1 Liter in der Lymphe.

IV. Nervensystem

ANIMALES UND VEGETATIVES NERVENSYSTEM

Die Gesamtheit aller Nerven bildet das Nervensystem. Dieses gliedert sich in einen größtenteils dem Willen unterworfenen willkürlichen (*zerebrospinalen* oder *animalen*) und einen dem Willen nicht unterworfenen unwillkürlichen (*autonomen* oder *vegetativen*) Teil.

Das *animale Nervensystem* besteht aus bestimmten Gehirnabschnitten, dem Rückenmark und dem peripheren System, zu dem die aus den zentralen Teilen abgehenden 12 Hirn- und 31 Rückenmarksnerven mit allen ihren Ästen und Verzweigungen gehören. Es leitet die von den Sinnesorganen aufgenommenen Reize und die im Nervensystem selbst entstandenen Erregungen weiter und überträgt sie auf die Körperorgane.

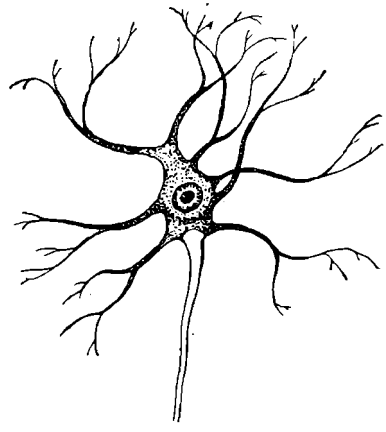
Das *vegetative Nervensystem* unterteilt sich in das *sympathische* und das *parasympathische* System, die einen zum Teil scharf entwickelten *Antagonismus* in ihrer physiologischen Wirkungsweise aufweisen. Auf den Stoffwechsel haben sympathische Reize eine Aktivierung der Energien durch *dissimilatorische* Vorgänge (d. h. durch Abbau der energieliefernden Substanzen) zur Folge, während der Parasympathikus durch *assimilatorische* Vorgänge zur Speicherung von Kraftreserven führt, so daß man von einer sympathischen oder *ergotropen* Förderung und einer parasympathischen oder *trophotropen* Hemmung sprechen kann. Sympathikusreizung hat an den Erfolgsorganen die gleiche Wirkung wie eine Parasympathikushemmung. Die Wirkung der beiden Nerven auf die einzelnen Organe zeigt die folgende Tabelle:

Antagonismus von Parasympathikus und Sympathikus

Parasympathikusreizung		*Sympathikusreizung*
Steigerung der Durchblutung	Gefäße der Haut und Schleimhäute	Drosselung der Durchblutung
Kontraktion	Gallenblase	Erschlaffung
Öffnung des Mageneinganges, Anregung der Pendelwirkung, Öffnung des Magenausganges, Anregung der Drüsensekretion	Magen	Hemmung der Pendelwirkung, Pylorusverschluß, Hemmung der Drüsensekretion
Vermehrung des Speichelflusses	Speicheldrüsen	Herabsetzung des Speichelflusses
warmer, dünnflüssiger Schweiß	Schweißdrüsen	kalter, klebriger Schweiß
Pupillenverengung	Auge	Pupillenerweiterung
Hemmung der Schlagfolge, der Kontraktionsleistung, der Erregbarkeit und der Herzkranzdurchblutung	Herz	Förderung der Schlagfolge, der Kontraktionsleistung, der Erregbarkeit und der Herzkranzdurchblutung
Erschlaffung des Schließmuskels, Urinentleerung	Harnblase	Erregung des Schließmuskels, Urinverhaltung
Abfall des Atemvolumens, der Durchblutung und des Blutgehaltes der Lungen, Verengung der Bronchien	Lunge	Anstieg des Atemvolumens, Erhöhung der Durchblutung und des Blutgehaltes der Lungen, Erweiterung der Bronchien
Hemmung der Adrenalinsekretion	Nebennieren	Anregung der Adrenalinsekretion

Als wirksame Substanz des Sympathikus gilt das *Adrenalin*, die des Parasympathikus stellt das *Acetylcholin* dar. Bei Gesunden befinden sich die Spannungszustände in diesem antagonistischen Nervensystem im Gleichgewicht. Ist dieses Gleichgewicht gestört, kommt es zu *funktionellen* Störungen einzelner Organe, die in eine organische Erkrankung entgleisen können.

Die Nerven. Nerven sind faserartige Fortsetzungen der Nervenzellen (Ganglienzellen), die, durch Bindegewebe zusammengehalten, von den Nervenzentren ausgehen und sich in Organen, Gliedmaßen, Muskulatur und Haut in immer feinere Äste verzweigen. Die großen *Nervenstränge*, die wie Kabel aus verschiedenen Bündeln von Nervenfasern bestehen, erreichen Fingerstärke, während die feinsten Nervenfasern in ihren letzten Verzweigungen mikroskopisch klein sind. Ihren Funktionen nach zerfallen die *weißen* (markhaltigen) Nerven des *willkürlichen* Systems (Spinalnerven) in *Sinnes-* und *Empfindungs-* (*sensible*) Nerven, die von ihren Endigungen die von den Sinneszellen aufgenommenen Reize (z. B. mechanische, Wärme-, Kältereize) nach Rückenmark und Gehirn leiten, und *Bewegungs-* (*motorische*) *Nerven*, die, von Gehirn und Rückenmark kommend, in den Nervenendapparaten der Muskeln enden und deren Bewegung veranlassen (Reflexbögen). Als Umschaltstellen sind *Nervenknoten* (*Ganglien*) in die Nervenbahnen eingeschaltet.



Nervenzelle

Die Nerven des *unwillkürlichen* (*sympathischen*) Systems sind *grau* (marklos). Sie laufen zum Teil mit den Nerven des willkürlichen Systems zusammen, zum Teil umspinnen sie die Organe und Gefäße mit einem dichten Netz. So kann ein einzelner Nerv die verschiedensten Fasern führen (Empfindungs- und Bewegungsfasern, Fasern von erweiternder und verengender Funktion aus Nervenknoten des sympathischen Systems).

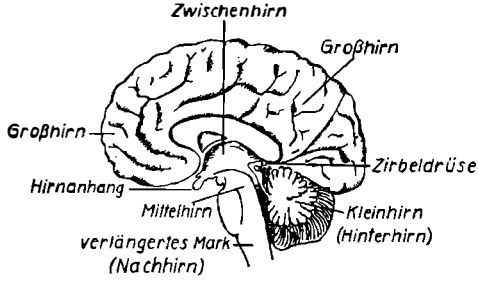
Die *Nervenversorgung* unseres Organismus ist ungemein reich. Selbst die Wurzel jedes Härchens ist von einem ganzen Geflecht feinster Nervenfäden umsponnen.

Leitungsgeschwindigkeiten im menschlichen Nervensystem. Die Leitungsgeschwindigkeit beträgt

in Bewegungs- (motorischen) Nerven	50···80 m/s
in Empfindungs- (sensiblen) Nerven	15···40 m/s
in sympathischen Nerven	1···2 m/s

GEHIRN

Bau des Gehirns. Das Gehirn ist der in der Schädelhöhle liegende und von drei *Hirnhäuten* (der inneren, blutgefäßreichen weichen, der Spinnweb- und der äußeren, harten Hirnhaut) umschlossene Teil des *Zentralnervensystems*, mit dessen Tätigkeit die Bewußtseinserscheinungen des Menschen verbunden sind. Es ist in fünf äußerlich mehr oder weniger deutlich voneinander abgesetzte Teile gegliedert: 1. das die unmittelbare Fortsetzung des Rückenmarks bildende *verlängerte Mark* (Nachhirn), 2. das über ihm gelegene *Kleinhirn* (Hinterhirn), 3. das *Mittelhirn*, 4. das *Zwischenhirn* und 5. das den größten Teil der Schädelhöhle ausfüllende *Großhirn*, das durch eine tiefeinschneidende Längsspalte in eine linke und eine rechte Hälfte (*Hemisphäre*, Halbkugel) geteilt ist. Im Innern befinden sich vier in Verbindung stehende spaltenförmige, aus dem verlängerten Rückenmarkkanal entwickelte Hohlräume, die mit Flüssigkeit (*Endolymphe*) gefüllten Gehirnkammern (*Ventrikel*). Am Boden des dritten Ventrikels hängt der *Hirnanhang* (*Hypophyse*), an seinem Dach sitzt die *Zirbeldrüse* (*Epiphyse*).



Menschliches Gehirn im Längsschnitt

Die Oberfläche von Großhirn und Kleinhirn ist durch Furchen in zahlreiche Windungen geteilt und dadurch bedeutend vergrößert.

Die Hirnmasse setzt sich aus Nervenzellen, -fasern und -stützgeweben zusammen. Dabei ist von der im wesentlichen von Nervenzellen gebildeten grauen Hirnrinde das aus Nervenfasern bestehende weiße Hirnmark zu unterscheiden. Vom Hirngrund führt das verlängerte Mark durch das runde Hinterhauptsloch aus der Schädelhöhle heraus und setzt sich im Rückenmark fort.

Mittlere Hirnmasse
in g

Gesamtgehirn	1360	Kleinhirn	144
davon Großhirn	1188	die übrigen Hirnteile (Hirnstamm) zusammen	28

Hirnmasse von Mensch und Tier
(zum Vergleich)

	in g	in % der Körpermasse
Mensch	1360	2,5
Gorilla	430	0,2
Hund (große Rasse)	135	0,2
Elefant	5430	0,3
Finnwal	6500	0,004

Verhältnis der Stirnrinde zur Gesamthirnrinde. Es entfallen von der Oberfläche der Gesamthirnrinde auf die Stirnrinde:

beim Menschen ..... 29 %
beim Schimpansen ..... 17 %
beim Gibbon, Makak ..... 11 %
beim Pavian ..... 10 %
beim Maki ..... 8 %
beim Hund ..... 7 %
bei der Katze ..... 3,4 %
beim Kaninchen ..... 2,2 %

Funktionszentren des Gehirns

Großhirnrinde (graue Substanz)	Sitz aller Vorgänge, die zu Willenshandlungen, bewußten Empfindungen und Vorstellungen sowie zu den daraus abzuleitenden geistigen Leistungen führen. Sie ist in zahlreiche Rindenfelder unterteilt, an die jeweils — bereits mehr oder weniger sicher erforscht — bestimmte Leistungen gebunden sind. So unterscheidet man die motorischen Rindenfelder, die die Betätigung der Muskulatur bestimmter Körperteile veranlassen, von den sensorischen Rindenfeldern, die die Wahrnehmung der Sinneseindrücke bewußt machen, darunter etwa die Körperfühlsphäre, Felder für die Tastwahrnehmung, das Hörzentrum, das Sehzentrum u. a. Motorische und sensorische Rindenfelder wirken eng zusammen. Sie sind paarig angeordnet, d. h., einem Feld der linken Hirnhälfte entspricht ein Feld der rechten, wobei sämtliche Rindenfelder jeweils mit den Organen der entgegengesetzten Körperhälfte in Verbindung stehen (eine Verletzung in der rechten Großhirnhälfte hat deshalb stets eine Organstörung in der linken Körperhälfte zur Folge). Lediglich das Sprachzentrum ist stets nur auf einer Seite ausgebildet;
Kleinhirnrinde (graue Substanz)	Zentrum für unwillkürliche Beeinflussung der Betätigung der Körpermuskulatur und die Erhaltung des Gleichgewichts;
Mittelhirn	wichtiges Verbindungs- und Umschaltungszentrum, vor allem für die von Auge und Ohr kommen den sensiblen Nervenbahnen;
Zwischenhirn	Zentrum der Zusammenfassung vieler Funktionen und Verbindungsstelle zu den anderen Hirnteilen. Regelt u. a. den Wärmehaushalt, den Kohlenhydratumsatz, den Wasser- und Salzstoffwechsel des Körpers und leitet den Schlafzustand ein;
verlängertes Mark (Nachhirn)	Sitz der Regelung lebenswichtiger Funktionen („Lebensknoten"): der Atmung, des Blutkreislaufs und des allgemeinen Stoffwechsels.

Die aus dem Gehirn austretenden 12 Nervenpaare versorgen die Organe des Kopfes und des Halses, nur der Nervus vagus reicht bis zu den Organen der Brust- und Bauchhöhle hinab. Die übrigen Organe und die Gliedmaßen werden von den Nervenpaaren des Rückenmarks versorgt. Von den 12 Nervenpaaren des Gehirns nehmen Nr. 2 ihren Ausgang im Zwischenhirn, Nr. 3 und 4 im Mittelhirn, Nr. 5 bis 12 im verlängerten Mark (ein Teil von Nr. 11 auch im Rückenmark). Die Nerven 3, 9 und 10 gehören zu den sogenannten neben- (para-) sympathischen Nerven, da die von ihnen bewirkten Bewegungen ohne unseren Willen vor sich gehen.

Die 12 Hirnnerven.

1. Riechnerv (*Nervus olfactorius*)	geht vom Riechlappen an der Hirnbasis aus und endet nach Eintritt in die Nasenhöhle in den Sinneszellen der Riechschleimhaut
2. Endnerv[1] (*Nervus terminalis*)	endet in der Schleimhaut der Nasenscheidewand
3. Augenmuskelnerv (*Nervus oculomotorius*)	läuft zu verschiedenen Augenmuskeln, die die Bewegungen des Auges, u. a. auch die Verengung der Pupille, bewirken

[1] Der Sehnerv (*Nervus opticus*) gehört nicht zu den Hirnnerven, sondern ist seiner Bildung nach ein Hirnteil.

4. Augenrollmuskelnerv (*Nervus trochlearis*)	Bewegungsnerv für den Augenmuskel, der den Augapfel bewegt (rollt)
5. Dreigeteilter Nerv (*Nervus trigeminus*)	der Bewegungs- und Empfindungsnerv für Gesicht, Mund- und Nasenhöhle, dessen oberer Ast zur Stirn- und Augenhöhle, dessen mittlerer zum Oberkiefer, dessen unterer zu den Kaumuskeln, zu Unterkiefer und Zunge läuft
6. Äußerer Augenmuskelnerv (*Nervus abducens*)	Bewegungsnerv für den das Auge nach außen drehenden Muskel
7. Gesichtsnerv (*Nervus facialis*)	sich strahlenförmig von der Ohrengegend verbreitender Bewegungsnerv für die mimische Gesichtsmuskulatur (Mienenspiel)
8. Hörnerv (*Nervus statoacusticus*)	verläuft vom Boden der 4. Stirnhöhle in zwei Hauptästen zum inneren Ohr, zur Schnecke, dem eigentlichen Hörorgan, und zu Vorhof und Bogengängen, dem Gleichgewichtsorgan
9. Zungenschlundkopfnerv (*Nervus glossopharyngicus*)	verläuft vom verlängerten Mark in zwei Ästen als Bewegungs- und Empfindungsnerv in den oberen Schlundkopf (hintere Mundhöhle und Rachen) und als Geschmacksnerv in die Zunge
10. Umherschweifender Nerv (*Nervus vagus*)	versorgt als Empfindungs- und Bewegungsnerv die Kehlkopf-, Speiseröhren- und Magenmuskulatur (Hunger- und Durstgefühl), Lunge und Herz
11. Beinerv (*Nervus accessorius*)	Bewegungsnerv für einen Teil der Nackenmuskulatur (Kopfnicken)
12. Zungenmuskelnerv (*Nervus hypoglossus*)	Bewegungsnerv für die Zunge und einige Halsmuskeln

RÜCKENMARK

Länge 40 bis 45 cm Dicke 8 bis 10 mm

Aufbau des Rückenmarks. Das mit 3 Häuten (den Fortsetzungen der 3 Hirnhäute) umkleidete und von Lymphflüssigkeit umspülte Rückenmark ist der im *Wirbelkanal* gelegene Teil des Zentralnervensystems. Es besteht wie das Gehirn, wenn auch in umgekehrter Anordnung, aus grauer (innen) und weißer (außen) Substanz. In der grauen, aus Ganglienzellen bestehenden Substanz nehmen die *motorischen*, zur Skelettmuskulatur laufenden Teile der Rückenmarks- (Spinal-) Nerven ihren Ursprung, während deren *sensible*, von Haut, Gelenken usw. herkommenden Teile hier enden. Alle Ursprungs- und Endzellen der Nerven sind durch das *verlängerte Mark* mit dem Gehirn verbunden. Im Rückenmarksquerschnitt bildet die graue Substanz eine schmetterlingsförmige Figur. Die weiße, die graue umschließende Substanz besteht aus markhaltigen Nervenfasern.

Die 31 Rückenmarksnerven

Halsnerven	8	Kreuzbeinnerven	5
Brustnerven	12	Steißbeinnerv	1
Lendennerven	5		

Die Rückenmarks- (Spinal-) Nerven entspringen paarweise aus dem Rückenmark und treten durch die Zwischenwirbellöcher hervor. Die hinteren, aus den Spinalganglien kommenden Wurzeln enthalten nur sensible, die vorderen nur motorische Fasern. Beide vereinigen sich aber zu Nerven gemischter Natur. In der Hals- und Armgegend und in der Lenden- und Kreuzbeingegend bilden verschiedene Rückenmarksnerven miteinander Geflechte (Arm-, Lenden-/Kreuz-, Hals-, Scham-, Steißbeingeflecht), aus denen besonders die starken Nervenstränge für die Gliedmaßen hervorgehen. So entstammt dem Lenden-/Kreuzgeflecht der stärkste Nerv des ganzen Körpers, der Hüftnerv (*Nervus ischiadicus*), der sich dann in den Schien- und den Wadenbeinnerv gabelt.

REFLEXLEHRE

Bei den *reflektorischen* Vorgängen wird eine Erregung von einer zentripetalen auf eine zentrifugale Nervenbahn übertragen. Die zentripetalleitende Nervenfaser, das *Reflexzentrum* und die zentrifugalleitende Nervenbahn werden als Reflexbogen zusammengefaßt. Man unterscheidet bedingte und unbedingte Reflexe.

Unbedingte Reflexe. Einen einfachen, unbedingten Reflex stellt der *Patellarsehnenreflex* dar: Bei einem Beklopfen der Kniescheibensehne tritt eine reflexbedingte Reizung der Oberschenkelstrecker

ein, die ein Vorwärtsschnellen des Unterschenkels bewirkt. Sehnen- und Hautreflexe werden vielfach benutzt, um die Reflexerregbarkeit des zentralen Nervensystems zu untersuchen. Bei der Tabes dorsalis (s. Nerven- und Geisteskrankheiten) z. B. fehlen die Sehnenreflexe. Weitere unbedingte Reflexe sind: der *Bauchdeckenreflex*, Zuckungen der Bauchmuskeln beim Streichen über die Bauchhaut — der *Pupillenreflex*, Verengung der Pupillen des Auges bei Lichteinfall. Unbedingte Reflexe gibt es auch in den sekretorischen Drüsen: Speichelfluß, sobald Nahrung in den Mund gelangt, Sekretion von Salzsäure und Pepsin bei Berührung der Magenschleimhaut mit Fleisch. Unbedingte Reflexe sind angeboren und verhalten sich mit wenigen Ausnahmen während des Lebens konstant. Der *Saugreflex* ist nur im Säuglingsalter vorhanden.

Bedingter Reflex. Bedingte Reflexe sind nicht angeboren. Sie können erlernt (gebahnt) werden, zeitweilig aufrechterhalten und wieder verlernt werden. Dies wies *Pawlow* in einfacher und zugleich genialer Versuchsanordnung nach: Wenn man in den Magen eines Hundes Fleisch einführt, so tritt auf Grund eines unbedingten Reflexes eine Magensaftsekretion ein, selbst dann noch, wenn der Hund schläft. Es handelt sich um einen *adäquaten Reiz*.
Beim wachen Hund genügt bereits der Anblick des Fleisches zur Auslösung des gleichen Vorgangs. Andere Reize, wie z. B. ein akustisches oder optisches Zeichen, haben als *inadäquate Reize* keinen Einfluß auf die Magensaftsekretion. Setzt man aber bei der Fütterung eines Hundes mit Fleisch regelmäßig ein bestimmtes Lichtzeichen in Gang oder läßt ein gleichbleibendes Glockenzeichen ertönen, genügt nach einiger Zeit dieser Zusatzreiz schon allein, um die Magensaftsekretion in Gang zu bringen, wenn der Hund also kein Futter bekommt und der adäquate Reiz für die Auslösung der Magensaftsekretion überhaupt nicht vorhanden ist. Ein bedingter Reflex ist gebahnt. Dieser erworbene, bedingte Reflex verliert sich, wenn die Nahrungszufuhr unter Fortsetzung der inadäquaten Reize fortfällt, d. h. wenn dem akustischen oder optischen Zeichen keine Fleischzugabe mehr folgt. Auf diese Weise lassen sich noch viele Reflexe bahnen, sie sind an die Tätigkeit der Großhirnrinde gebunden.

Bedeutung der Lehren Pawlows. Nach den Lehren *Pawlows* stellt die Großhirnrinde das oberste Regulationsorgan bei der ständig notwendigen Anpassung der Organfunktionen an die Veränderungen der Umwelt dar. Pawlows Schüler *Bykow* konnte experimentell bestätigen, daß dies für die Tätigkeit aller inneren Organe und den Gewebsstoffwechsel zutrifft. Durch die Bahnung bedingter Reflexe wird das Gleichgewicht des Organismus mit der Umwelt aufrechterhalten. Viele *funktionelle* Krankheiten, die unter dem Sammelbegriff der *vegetativen Dystonie* zusammengefaßt werden, lassen sich aus der Bahnung und Fixierung organschädigender, bedingter Reflexe erklären. So führt begründete Angst zu einer Verengung der Herzkranzgefäße. Wird Angst auch bei geringfügigen, äußeren Umwelteinflüssen empfunden, pflegen *Dauerspasmen* der *Koronararterien* einzutreten, die schließlich zu einer Koronarsklerose und unter Umständen zum Tod führen. Besonders empfindlich bei der Reflextätigkeit sind die Verdauungsorgane, von denen in erster Linie der Magen. Die grundlegenden Entdeckungen Pawlows sind von so großer Bedeutung, daß sie bei fast allen Disziplinen der Medizin theoretische Erkenntnisse zeitigten und praktische Nutzanwendung zur Folge hatten. Solche Erkenntnisse werden therapeutisch bei der Schlaftherapie, in der Geburtshilfe und beim autogenen Training angewendet. Sie bilden die Grundlage der *Psychotherapie* und werden, soweit sie bei der Erziehung und sozialhygienischen Maßnahmen berücksichtigt werden, wesentlich zu einem gesunden und glücklicheren Leben beitragen.

DER SCHLAF

Der Zustand des Schlafes, in dem das Bewußtsein mehr oder weniger aufgehoben und die willkürliche Körpermuskulatur erschlafft ist, dient vor allem der Erholung des *Zentralnervensystems* und dem Aufbau neuer Stoffwechselreserven. Der Schlaf wird gesteuert von allen den Ganglienzellengruppen des Gehirns, die als Lenker des gesamten Stoffwechsels eine funktionelle Einheit bilden. Das Einschlafen wird begünstigt durch körperliche und geistige Ermüdung und die Fernhaltung von äußeren Sinnesreizen. Das *Atemzentrum* bedarf während des Schlafes eines stärkeren Anreizes als im Wachzustand. Dieser wird vom Kohlendioxyd ausgeübt. Je tiefer der Schlaf, um so höher ist der Kohlendioxydgehalt der ausgeatmeten Luft. Mit seiner Hilfe läßt sich daher die *Schlaftiefe* messen. Schlaftiefe und Schlafdauer ergeben die *Schlafmenge*.

Schlaftiefe. Die Schlaftiefe läßt sich auch durch Messen der *Reizstärke* feststellen, die nötig ist, um einen Menschen aufzuwecken. Als Reiz kann etwa eine Stachelborste dienen, die je nach Druckkraft (gemessen in p) einen Schmerz bestimmter Stärke hervorruft. Die Schlaftiefe der Menschen ist, beeinflußt insbesondere durch ihre Geräusch- oder Lichtempfindlichkeit, verschieden, doch haben Langschläfer im allgemeinen einen weniger tiefen Schlaf als Kurzschläfer. Diese verfallen sehr schnell in tiefen Schlaf, so daß schon kurz nach dem Einschlafen ein starker Reiz nötig ist, sie zu wecken, dann läßt die Schlaftiefe aber sehr rasch nach. Der Langschläfer fällt dagegen erst nach mehreren Stunden in tiefen Schlaf. Er schläft auch längere Zeit, doch ist sein Schlaf meist nicht so tief wie der des Kurzschläfers, so daß auch zur Zeit des tiefsten Schlafes meist schwächere Reize als beim Kurzschläfer genügen, um ihn zu wecken.

Die folgende Tabelle gibt für je 2 verschiedene Langschläfer und Kurzschläfer (Versuchspersonen) die Stärke der erforderlichen Weckreize an:

Stunden nach dem Einschlafen	Langschläfer		Kurzschläfer	
	1. Person Druckkraft in p	2. Person Druckkraft in p	1. Person Druckkraft in p	2. Person Druckkraft in p
1	2	$1^3/_4$	10	6
2	1	3	$4^1/_2$	$2^1/_2$
3	$2^1/_2$	6	2	2
4	4	$7^1/_2$	2	$1^3/_4$
5	3	$7^1/_2$	2	$1^1/_2$
6	2	$7^1/_2$	$1^1/_2$	$1^1/_4$
7	$1^1/_2$	5	1	$1^1/_4$
8	1	$^1/_8$	$^1/_8$	$^1/_4$

Schlafdauer. Die notwendige Schlafdauer beträgt

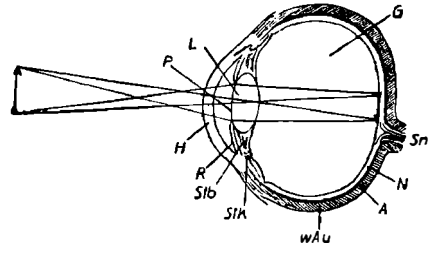
am Ende des 1. Lebensjahres ..... 18 Stunden
im 4. Jahr ..... 14 Stunden
im 15. Jahr ..... 10 Stunden
bei Erwachsenen ..... 7 bis 8 Stunden

V. Sinnesorgane

Die Sinnesorgane spielen im menschlichen Leben eine große Rolle. Sie bilden die einzigen Kanäle, durch die die Außenwelt in das menschliche Bewußtsein dringt. Ihre Bedeutung besteht darin, daß sie uns mehr oder weniger adäquate Abbilder der Außenwelt liefern, die auf Grund der gesellschaftlichen und geschichtlichen Praxis und des Denkens der Menschen ein Vordringen zum Wesen der Erscheinungen gestatten.

AUGE

Bau des Auges. Das menschliche Auge liegt in der Augenhöhle und besteht aus dem durch Muskeln beweglichen Augapfel und seinen ihn schützenden Organen. Zu ihnen zählen die den Stirnschweiß ableitenden *Augenbrauen*, die *Augenlider*, die innen mit einer auch den vorderen Teil des Augapfels noch bedeckenden Schleimhaut, der *Augenbindehaut*, bekleidet und außen mit *Wimpern* (Staubfilter!) besetzt sind, und die *Tränendrüsen*, deren salzige Absonderung durch feine Kanäle über die vordere Fläche des Augapfels verteilt wird und insbesondere die Hornhaut immer feucht hält. Sie fließt durch den Tränen-Nasen-Kanal in die Nasenhöhle ab.



Durchschnitt durch das Auge
wAu weiße Augenhaut, P Pupille, Stk Strahlenkörper (Ziliarkörper), H Hornhaut, Sn Sehnerv, Stb Strahlenkranz, A Aderhaut, N Netzhaut, R Regenbogenhaut, L Augenlinse, G Glaskörper

Der *Augapfel* hat annähernd die Gestalt einer Kugel von etwa 25 mm Durchmesser und liegt, in Fettgewebe eingebettet, im Schutz der knöchernen *Augenhöhle*. Er ist von 3 Häuten umkleidet, der völlig undurchsichtigen *weißen* (harten, Leder-) *Haut*, dem „Weißen" im Auge, die ihm Festigkeit verleiht; der *Aderhaut*, die das Auge mit Blut versorgt, und der lichtempfindlichen *Netzhaut*. Die weiße Haut zeigt vorn eine kreisrunde Öffnung, ein Fenster, vor dem wie eine durchsichtige Glasscheibe die leicht nach vorn gewölbte kristallklare *Hornhaut* liegt. Zwischen den hinter ihr liegenden, mit einer klaren Flüssigkeit gefüllten *Augenkammern* spannt sich die dem Auge seine Farbe gebende *Regenbogenhaut* (*Iris*), deren Sehloch (*Pupille*) sich, der Blende einer Kamera gleichend, unwillkürlich den Veränderungen des Lichteinfalls anpaßt. Der Linse der Kamera entspricht die doppelt gewölbte, vollkommen durchsichtige *Linse* des Auges, hinter der das Augeninnere von dem ebenfalls durchsichtigen *Glaskörper*, einer gallertartigen Masse, ausgefüllt wird.

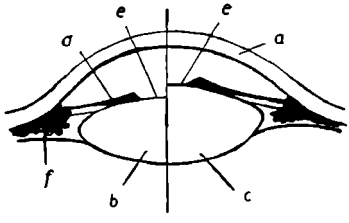
Die in das Auge einfallenden Lichtstrahlen werden durch die eben beschriebenen lichtbrechenden Schichten (Hornhaut, Kammerwasser, Linse, Glaskörper) gesammelt und so auf die Netzhaut gelenkt, daß dort wie auf der Mattscheibe einer Kamera ein umgekehrtes Bild entsteht, das durch den Sehnerv in das Sehzentrum des Gehirns geleitet wird, wo es uns bewußt wird. Die *Netzhaut* selbst besteht aus einer großen Zahl feinster Nervenendigungen des sich in sie verzweigenden Sehnervs, den *Stäbchen*, die in hohem Grad lichtempfindlich sind, und den farbempfindlichen *Zapfen*.

Diese Sehzellen fehlen an der Eintrittsstelle des Sehnervs, dem „blinden Fleck". Die *Sehnerven* beider Augen kreuzen sich auf ihrem Weg zum Gehirn (Fasern vom linken Auge laufen zur rechten Hirnhälfte und umgekehrt).

Die Anpassungsbreite des Auges

Alter in Jahren	Anpassungsbreite in Dioptrien	Nahpunkt in cm
10	14	6,5
15	12,5	7,5
20	11	8···12
25	10	13
30	9	14···15
40	6	20···30
50	2	60···100
60	0···1	

Unter der Anpassung (*Akkommodation*) des Auges versteht man die Fähigkeit der Linse, sich auf verschiedene Entfernungen einzustellen. Jede Linse hat eine bestimmte *Brechkraft*, die mit einer von der Brennweite abgeleiteten Maßeinheit, der *Dioptrie*, gemessen wird. Die Brechkraft beträgt in der Ruhestellung (Einstellung auf die Ferne) 60 Dioptrien. Im jugendlichen Alter kann diese Brechkraft, die auf einer stärkeren, mit Hilfe eines Anpassungsmuskels (im „Strahlenkörper") regulierten Krümmung der Linse beruht, auf 74 Dioptrien erhöht werden. Den Unterschied zwischen beiden bezeichnet man als *Anpassungsbreite*, die demnach im Kindesalter 14 Dioptrien beträgt. Sie bewirkt, daß auch nahe Gegenstände noch scharf (Nahpunkt) gesehen werden. Diese Fähigkeit nimmt mit dem Alter durch Erschlaffen des Anpassungsmuskels und die Abnahme der Elastizität der Linse ab. Die dadurch eintretende (Alters-) *Weitsichtigkeit* (Fernerrücken des Nahpunktes) kann nur durch künstliche Anpassung der Augenlinse mittels eines Augenglases behoben werden, das die verlorengegangene Krümmungsfähigkeit der Augenlinse durch eine stark brechende Sammellinse ausgleicht und so die Lichtstrahlen, deren Vereinigungspunkt sonst hinter der Netzhaut läge, wieder auf der Netzhaut vereinigt. Demgegenüber beruhen die Über- (Weit-) Sichtigkeit und die Kurzsichtigkeit (Lichtstrahlen werden bereits vor der Netzhaut vereinigt) auf anormaler Gestalt des Augapfels.



Akkommodation des menschlichen Auges
a Hornhaut, b Linse in Ferneinstellung (Ruhestellung), c Linse in Naheinstellung (Akkommodation), d Regenbogenhaut, e Pupille, f Strahlenkörper (Ziliarkörper)

Die Anpassungsfähigkeit des Auges an verschiedene Beleuchtungsstärken (Adaptation). Das menschliche Auge kann auch bei extrem schwacher und bei starker Beleuchtung noch sehen. Diesen großen Unterschieden vermag sich das Auge dadurch anzupassen, daß beim Nachtsehen nur die hochempfindlichen (aber farbunempfindlichen) Stäbchen der Netzhaut, beim Tagsehen die weniger lichtempfindlichen Zapfen wirksam sind. Außerdem verengt sich bei größerer Beleuchtungsstärke die Pupillenöffnung, während sie sich bei verringerter Beleuchtungsstärke erweitert.

Die Empfindlichkeit des Auges. Das Auge kann nur Licht im Wellenlängenbereich von etwa 360 bis 780 nm wahrnehmen; Ultraviolett und Ultrarot bleiben für den Menschen unsichtbar (nicht aber z. B. für die Honigbiene). Die zur Reizung des Auges nötige Energieschwelle liegt dabei so niedrig, daß sie kaum mit den empfindlichsten physikalischen Instrumenten festgestellt werden kann. Das normale Auge kann ein nur 0,05 s lang aufblitzendes Licht von 1,5 Candela Leuchtkraft noch auf eine Entfernung von etwa 3 km erkennen. Dauerlicht kann sogar bei noch geringerer Leuchtkraft wahrgenommen werden. Jeder einmal empfundene Lichteindruck hält eine gewisse Zeit an. Bei gewöhnlicher Lichtstärke beträgt diese Zeit $^1/_{10}$ s. Hierauf beruht in der *Kinematographie* die Verschmelzung der einzelnen Filmbilder zu einem bewegten Gesamteindruck.

Die Farbempfindlichkeit des Auges. Das menschliche Auge kann 130···250 reine Farbtöne voneinander unterscheiden, die durch Zerlegen des Spektrums gewonnen werden. Der Farbton wird durch eine bestimmte Wellenlänge der die Sinneszellen des Auges erregenden Lichtstrahlen bestimmt.

Es betragen jeweils im Mittel die *Wellenlängen* von

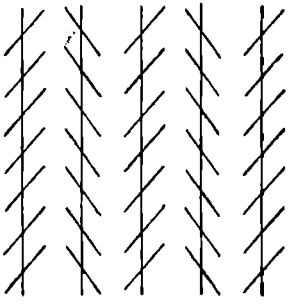
Violett	400 nm	Grün	520 nm	Orange	600 nm
Blau	470 nm	Gelb	585 nm	Rot	683 nm

Durch Mischung der einzelnen Farbtöne kann die Zahl der unterscheidbaren Farben auf etwa 17000 steigen. Dazu kommen noch für jede Farbe rund 300 Abstufungen bei Licht und Schatten, so daß das menschliche Auge im ganzen rund 5 Millionen Farbnuancen empfinden kann.

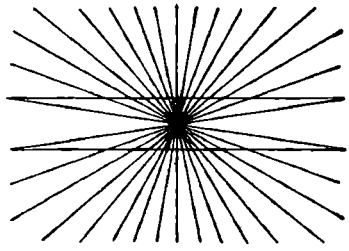
Bei *Farbsehstörungen* (8 % aller Männer, aber nur 0,4 % aller Frauen leiden daran) ist das Auge für einen bestimmten Teil des Spektrums unempfindlich bzw. nur schwach empfindlich. *Totale Farbblindheit*, d. h. das Unvermögen, überhaupt Farben wahrzunehmen, ist selten. Für einen Teil der Farbsehgestörten ist das Spektrum im langwelligen (roten) Teil verkürzt, während im Gebiet des Blaugrün eine Farbempfindung fehlt (neutrale, farblose Zone). Im farbigen Spektrum werden also nur Blau und Gelb erkannt. Zwischen ihnen liegt eine farblose Zone; Rot, Grün und Grau werden miteinander verwechselt (sog. *Rotblindheit*). Für einen anderen Teil der „Farbblinden" ist das Spektrum an beiden Enden unverkürzt, das Gebiet des Grün erscheint aber als neutrale, farblose Zone (sog. *Grünblindheit*). Nur sehr selten kommt eine Unempfindlichkeit bzw. Unterempfindlichkeit für Violett und Blau vor (sog. *Violettblindheit*).

Optische Täuschungen. Optische Täuschungen sind normale Vorgänge im Auge, die auf verschiedenen Ursachen beruhen, z. B. auf Kontrastwirkungen oder auf der Tatsache, daß wir geneigt sind, Eigenschaften eines Ganzen auf seine Teile zu übertragen, u. a.

1. Richtungstäuschungen

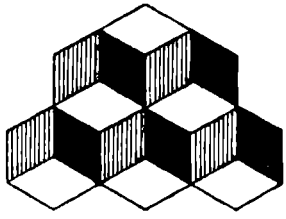


Die Geraden sind parallel. Sie scheinen schräg zueinander zu stehen

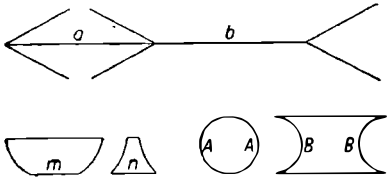


Die zwei parallelen Geraden scheinen gekrümmt zu sein

2. Raumtäuschung



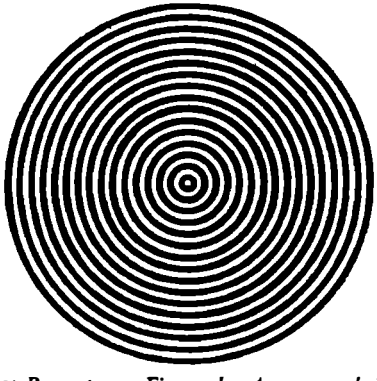
Beim Betrachten der Figur hat man den Eindruck, entweder drei Würfel oder, besonders nach einer Drehung um 180°, fünf Würfel zu sehen



3. Größentäuschungen

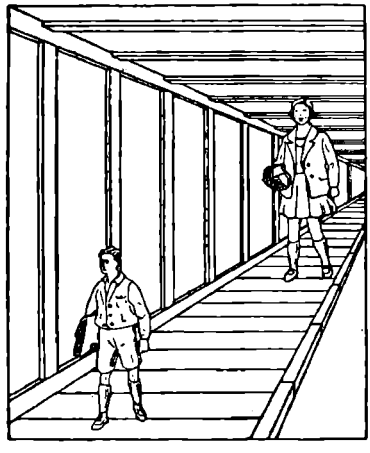
Die Strecke b erscheint länger als die Strecke a. Beide sind gleich lang. Die Grundlinien m und n scheinen verschieden lang zu sein. Sie sind gleich lang. Die Querdurchmesser AA und BB sind gleich lang. BB erscheint länger

4. Bewegungstäuschung



links: Bewegt man Figur oder Auge, so scheint ein Durchmesser zu rotieren

5. Perspektivische Täuschung

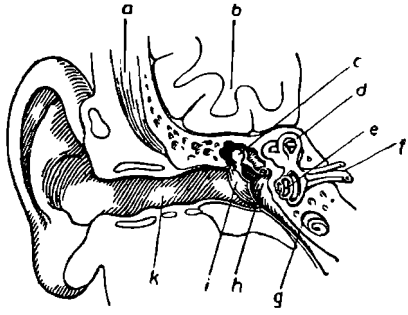


rechts: Die Figuren in der Abbildung sind gleich groß gezeichnet

OHR

Äußeres Ohr, Mittelohr und Innenohr. Man unterscheidet beim Ohr drei Teile: das *äußere* Ohr mit Ohrmuschel (als Schallfänger), drüsenreichem Gehörgang und Trommelfell, das *mittlere* Ohr, die Paukenhöhle, und das *innere* Ohr, das Labyrinth mit Vorhof, Schnecke und Bogengängen (Sitz des *Gleichgewichtssinns*). Durch den Besitz zweier Ohren vermögen wir die Richtung eines Schalles zu erkennen.

Das *Trommelfell* ist eine dünne Haut, die wie eine Membran durch Schallwellen in Schwingungen versetzt wird und diese nach innen weiterleitet. Es schließt den äußeren Gehörgang gegen die Paukenhöhle ab. In der *Paukenhöhle* liegen die drei Gehörknöchelchen (Hammer, Amboß, Steigbügel), die, hebelartig ineinandergreifend, die Schwingungen des Trommelfells an das innere Ohr weitergeben.



Schnitt durch das innere Ohr

a Schläfenbeinschuppe, b Schläfenlappendes Großhirns, c Gehörknöchel: Hammer, Amboß, Steigbügel, d Bogengangapparat des Innenohrs, e Schnecke, f Gehörnerven, g Ohrtrompete (Eustachische Röhre), h Paukenhöhle, i Trommelfell, k äußerer Gehörgang

Dabei liegt der *Hammer* dem Trommelfell an, während der *Steigbügel* mit seiner Fußplatte in das *ovale Fenster*, eine Öffnung des inneren Ohres, eingelassen ist. Durch den Kanal der *Ohrtrompete* (Infektionsweg für das Mittelohr!) steht die Paukenhöhle mit der Rachenhöhle in Verbindung (Luftdruckausgleich!). Im *inneren* Ohr, einem in eine Knochenkapsel eingeschlossenen häutigen Schlauch, werden die Schallschwingungen durch Lymphflüssigkeit (*Gehörwasser*) übertragen. Die Erschütterungen des Gehörwassers üben auf die in der *Schnecke*, einem gewundenen Gang, verlaufenden Enden des Gehör- (besser Hör-) Nervs (Hörzellen) Reize aus, die dann über das Gehirn als Ton oder Geräusch in unser Bewußtsein treten.

Die Tonempfindungen. Das Ohr nimmt Luftdruckschwankungen einer bestimmten Mindeststärke als Geräusche, Klänge oder Töne wahr. Sehr kurz dauernde, nicht besonders kräftige und nicht ganz regelmäßig wiederholte Luftdruckstöße führen zu *Geräuschen*. 8 bis 10 Luftdruckstöße in der Sekunde werden als getrennte Einzelempfindungen wahrgenommen, bei etwa 16 (gleichmäßigen) Stößen in der Sekunde verschmelzen die Einzelempfindungen zu einer einheitlichen *Tonempfindung* (tiefster wahrnehmbarer Ton). Luftdruckschwankungen (Schallschwingungen) ergeben also dann Tonempfindungen, wenn ihre *Frequenz* (d. i. ihre Anzahl in der Sekunde) mindestens 16 beträgt. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) angegeben. 1 Hz = 1 Schwingung in der Sekunde.

Die 8 Oktaven des musikalischen Bereichs

Schreibweise	Bezeichnung	Frequenz
C oder C_3	Subkontra-C	16,35 Hz
C oder C_1	Kontra-C	32,7 Hz
C	großes C	65,4 Hz
c	kleines c	131 Hz
c′ oder c^1	eingestrichenes c	262 Hz
c″ oder c^2	zweigestrichenes c	523 Hz
c‴ oder c^3	dreigestrichenes c	1047 Hz
c⁗ oder c^4	viergestrichenes c	2093 Hz
c⁗′ oder c^5	fünfgestrichenes c	4186 Hz

Die Frequenzen sind nach dem seit 1939 international gültigen Kammerton $a^1 = 440$ Hz errechnet und abgerundet. Sie geben zugleich den Bereich an, innerhalb dessen Schallschwingungen als musikalische Töne oder Klänge empfunden werden.

Die Tonempfindlichkeit des Ohres. Unser Unterscheidungsvermögen für Tonhöhen ist sehr fein ausgebildet, am feinsten für Töne im Bereich von 80 bis 600 Hz. Die *Unterschiedsschwelle* beträgt hier etwa 0,1 %. Das bedeutet, daß 80 Hz und 80,08 Hz oder 100 Hz und 100,1 Hz als verschiedene Töne wahrnehmbar sind. Zwischen 600 und 3000 Hz beträgt die Unterschiedsschwelle 0,3 bis 0,5 %, über 3000 Hz und unterhalb von 80 Hz bis zu 1%. Im ganzen kann der Mensch 3000 bis 4000 Tonhöhen voneinander unterscheiden.

Jeder Ton muß eine gewisse *Stärke* besitzen, um gehört zu werden. Die Reihe der schwächsten, eben noch hörbaren Töne, die sogenannte *Hörschwelle*, gibt ein Maß für die *Hörschärfe*. Die Hörschärfe ist am größten für Töne zwischen 1000 und 4000 Hz (insbesondere zwischen 2000 und

2300 Hz), sie vermindert sich für die tieferen und höheren Töne. Liegt ein Ton unterhalb der Hörschwelle, so wird er nicht mehr wahrgenommen, obwohl das Ohr von Luftschwingungen getroffen wird. Ist der Ton zu laut, so treten kitzelnde, flatternde und schmerzhafte Empfindungen ein (Fühlschwelle, Schmerzgrenze). Zwischen Hör- und Fühlschwelle können bei mittleren Tönen (1000 bis 2000 Hz) mehr als 350 Stärkestufen unterschieden werden, bei den höchsten und tiefsten nur wenige. Die Gesamtzahl der nach Höhe und Stärke unterscheidbaren Töne beträgt etwa 300000 (Umfang der Gehörswahrnehmungen).
Ein Schall wird nicht sofort beim Auftreffen auf das Gehörorgan wahrgenommen, sondern erst nach 35 bis 175 Tausendstelsekunden (*Empfindungszeit*), und es vergehen noch weitere 180 bis 500 Tausendstelsekunden bis zur größten Stärke der Empfindung (*Einstellzeit des Ohres*). Das Abklingen nach Aufhören eines kurzen starken Schalles kann bis zu einigen Sekunden dauern (Nachschall). Bei längerer Einwirkung eines Tones läßt die Hörschärfe für diesen Ton allmählich nach. Die *Übertragung der Schallschwingungen* bis zu einer Frequenz von etwa 2000 Hz erfolgt durch das Trommelfell und die Gehörknöchel (Hammer, Amboß, Steigbügel). Schwingungen höherer Frequenz (2000 bis 21000 Hz) werden durch Schädelknochen auf das Innenohr übertragen (Knochenleitung).

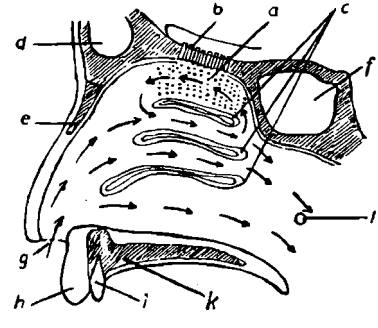
Abnahme der Tongrenzen mit zunehmendem Alter. Die Tonempfindlichkeit des Ohres nimmt mit dem Alter stark ab. Das führt dazu, daß hohe Töne, z. B. das Zirpen der Grillen, S-Laute und T-Laute u. a. nicht mehr wahrgenommen werden.
Vorübergehendes Absinken der oberen Tongrenze findet sich bei Allgemeinerkrankungen und bei Sauerstoffmangel, z. B. beim Aufenthalt in großen Höhen (bei 7000 bis 8000 m Höhe sinkt die Tongrenze um 2000 bis 3000 Hz).

Obere Tongrenze bis etwa 20. Jahr	20000 Hz
Obere Tongrenze im 35. Jahr	15000 Hz
Obere Tongrenze im 50. Jahr	12000 Hz
Obere Tongrenze im Greisenalter	5000 Hz
Untere Tongrenze	16 Hz

Der Gleichgewichtssinn. Das Gleichgewicht ist beim Menschen an sich labil und bedarf zu seiner Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines besonderen Organs, dessen Wirksamkeit durch andere Organe des Körpers unterstützt wird. Dieses *Gleichgewichtsorgan* sind die 3 mit ihren Ebenen senkrecht zueinander stehenden *Bogengänge* mit ihrem *Vorhof* im inneren Ohr, das Labyrinth im engeren Sinne. In ihnen und in 2 Säckchen (Utriculus und Sacculus) des Vorhofs liegen Nervenendigungen des 8. Gehirnnervs, Zellgruppen des Gleichgewichtssinnes, deren Flimmerhärchen in den Bogengängen durch Bewegungen der in ihnen enthaltenen Lymphe und in den Vorhofsäckchen durch das Schwergewicht kleiner Kristalle (*Ohrsteinchen*) angeregt werden. Hierdurch wird ständig der Spannungszustand (Tonus) in bestimmten Muskelgruppen beeinflußt und werden bei Lageveränderungen Reize hervorgerufen, die die zur Wiederherstellung des Gleichgewichts erforderlichen Muskelreaktionen zur Folge haben.

GERUCHSSINN

Nasenhöhle und Nasenschleimhaut. Im oberen Teil der Nasenhöhle, dicht unter dem Siebbein, liegt die *Riechfläche* der Nasenschleimhaut, in die sich der *Riechnerv* des Gehirns mit seinen Endigungen, den *Riechzellen*, verzweigt. Diese werden durch (riechbare) gasförmige Stoffe gereizt, die Reize über das Großhirn als Geruch empfunden. Die gesamte Riechfläche ist etwa 5 cm² groß.



Längsschnitt durch die Nasenhöhle
a Riechfläche, b Siebbein, c durchschnittene Nasenmuscheln, d Stirnhöhle, e Nasenbein, f Keilbeinhöhle, g Nasenloch, h Oberlippe, i Schneidezahn, k Oberkieferknochen, l Mündung der Ohrtrompete

Geruchssinn und Gesamtbefinden. Die *Geruchsempfindungen* sind nicht ohne Einfluß auf unser Gesamtempfinden. Es gibt kaum einen Geruch, der nicht Lust oder Unlust erregt und dadurch auf das vegetative Nervensystem einwirkt. So lösen Speisedüfte die Absonderung von Verdauungssäften aus, und bestimmte andere Gerüche fördern oder hemmen die Vorgänge des Geschlechtslebens. Ekelerregende Gerüche können die Tätigkeit der Verdauungsdrüsen hemmen, zu Erbrechen führen, den Blutkreislauf stören und Schwindelgefühle hervorrufen, während „Lieblingsgerüche" die Leistungsfähigkeit anregen oder fördern.

Die Empfindlichkeit des Geruchssinns

in 1 *l* Luft sind noch wahrnehmbar

0,000000004	g Azeton	0,000000000021	g Valeriansäure
0,000000000041	g Nitrobenzol	0,000000000005	g Vanillin
0,000000000016	g Kampfer	0,0000000000035	g Skatol

Geruchsqualitäten

(Versuch einer Ordnung)

6 Grundqualitäten, durch Übergangsgerüche miteinander verbunden (Henning):

würzig	harzig
blumig	brenzlig
fruchtig	faulig

Der Versuch, die Geruchsqualitäten auf Grund *objektiver* Merkmale etwa nach der chemischen Konstitution der Stoffe zu gliedern, hat bisher noch zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt, da viele Stoffe (Gase) überhaupt geruchlos sind oder (etwa bei verschieden starker Konzentration) verschiedene Geruchsempfindungen erregen. So ist *Skatol* bei hoher Konzentration übelriechend, während es bei sehr geringer Konzentration nach Jasmin duftet.

GESCHMACKSSINN

Die Zunge als Sitz des Geschmackssinns. Die Zunge trägt auf ihrer Oberfläche die in kleine Warzen verschiedener Form eingebetteten Geschmacksorgane (Geschmacksbecher, -knospen), in deren Innerem die Fasern der Geschmacksnerven endigen. Die in den Sinneszellen der Geschmacksbecher erzeugten Reize kommen uns über das Gehirn als Geschmacksempfindungen zum Bewußtsein.

Die Empfindlichkeit des Geschmackssinns. In 1 cm^3 Flüssigkeit sind wahrnehmbar

0,001	g Kochsalz	0,000004	g Chinin
0,00001	g Salzsäure	0,000001	g Saccharin

Geschmacksqualitäten

süß	salzig
sauer	bitter

Die Anzahl der reinen Geschmacksempfindungen ist sehr gering; es lassen sich nur die genannten 4 Grundqualitäten feststellen. Jede dieser Qualitäten wird von *besonderen* Sinnesorganen (*Rezeptoren*) wahrgenommen; doch können in den einzelnen Geschmacksbechern auf der Zunge Sinnesorgane für zwei oder drei verschiedene Geschmacksqualitäten nebeneinanderliegen.
Viele chemische Stoffe lassen sich mit dem Geschmack nicht einwandfrei erkennen, da derselbe Stoff je nach Konzentration zwei bis drei verschiedene Geschmacksqualitäten in sich vereinigen kann. So schmeckt Saccharin in stark verdünnter Lösung süß, in konzentrierter Lösung dagegen bitter. Bromsalze rufen je nach Konzentration die Empfindung süß, salzig oder bitter hervor.
Auch *Temperatur* und *mechanische Beschaffenheit* der Speisen und Getränke sind für die Geschmacksempfindung wichtig. So nimmt die Stärke des Geschmackes „süß" mit der Temperatur zu, während Stoffe in kolloidaler Lösung an Geschmacksstärke einbüßen.
Die feineren Geschmacksnuancen werden durch Mitbeteiligung des Geruchssinns vermittelt, der z. B. bei einem starken Schnupfen völlig ausgeschaltet ist. In diesem Fall werden nur Geschmacksqualitäten wahrgenommen.

Geschmack von Bromsalzen bei verschiedener Konzentration

Konzentration	Natriumbromid	Kaliumbromid	Lithiumbromid
0,01 %	süßlich	süß	schwach süß
0,02 %	süß-salzig	süß-bitterlich	schwach süß
0,04 %	salzig	bitter-salzig	salzig-süß
0,20 %	salzig	salzig	salzig

SINNESORGANE DER HAUT

Die Haut dient dem Körper nicht nur als Schutzhülle, Regler des Wärmeausgleichs und Teilglied im Stoffwechselprozeß, sondern ist auch ein Organ für wichtige Sinne, deren feinste Nervenverästelungen in den verschiedenen Schichten der Haut unmittelbar oder in bestimmt geformten Gebilden (Papillen) enden. Es sind dies der Druck- oder Tastsinn, der Wärme-, Kälte- und Schmerzsinn. Die Reize aller dieser Sinne durchlaufen eigene Nervenbahnen.

Der Tastsinn. Die Tastempfindungen werden durch Druck- und Berührungsreize der an den Papillen sitzenden *Tastkörperchen* der Haut erregt. Die diesen entsprechenden Druckpunkte sind un-

gleichmäßig über die ganze Haut verteilt. Am dichtesten sitzen sie an Zunge, Lippen und Fingerspitzen. An den behaarten Teilen der Haut sind die Druckpunkte stets den Haarbälgen zugeordnet, so daß die Haare auf jede leise Berührung reagieren.

Dichte der Druckpunkte

Durchschnittszahl der Druckpunkte auf der behaarten Haut (d. i. 95% der Körperoberfläche)	25 je cm^2
Durchschnittszahl der Druckpunkte auf der unbehaarten Haut	100 je cm^2
am Daumenballen	110···135 je cm^2
in der Tastfläche der Hand	100···200 je cm^2

Empfindlichkeit für Berührungsreize. Die Entfernung zweier punktförmiger Berührungsreize, die getrennt wahrgenommen werden (*simultane Raumschwelle*), ist für verschiedene Hautstellen unterschiedlich. Die Entfernung beträgt für

Zungenspitze	1 mm	Nasenspitze	7 mm	Nacken	68 mm
Fingerspitze	2 mm	Handrücken	32 mm	Rücken	60···70 mm
Lippe	4 mm	Unterarm	40 mm		

Mindestenergie und Unterschiedsschwelle für Berührungsreize

Mindestenergie 0,02···0,4 erg Unterschiedsschwelle 0,04%

Ein Berührungsreiz wird empfunden, wenn ein Mindestdruck ausgeübt und dem Druckpunkt eine Mindestmenge an Energie zugeführt wird. Dauernd wirkender gleichmäßiger Druck wird nicht mehr empfunden, wohl aber bereits eine sehr geringe (0,04% seiner Größe) Änderung dieses Druckes, die man Unterschiedsschwelle nennt.

Der Wärme- und Kältesinn. Temperaturreize werden von *eigenen Sinnesorganen* wahrgenommen, wobei für die Kälte- und für die Wärmeempfindung *getrennte* Nervenzellen vorhanden sind. In den oberflächlichen Hautschichten liegen die Zellen für die Kältewahrnehmung (*Kältepunkte*), in den tieferen Schichten (Lederhaut) die für Wärmereize (*Wärmepunkte*). Die inneren Organe besitzen keine solchen Zellen. Sie sind daher temperaturunempfindlich.
Als Reiz wird nicht die Temperatur an sich, sondern werden nur Temperatur*veränderungen* wahrgenommen. Ständig besteht in der Haut ein Temperaturgefälle (Temperatur im Innern 37 °C, an der Körperoberfläche etwa 20 °C). Wird dieses Temperaturgefälle geringer oder tritt gar eine Umkehrung ein, so daß außen eine höhere Temperatur herrscht als innen, dann kommt eine Wärmeempfindung zustande. Wird das Temperaturgefälle aber steiler, dann entsteht eine Kälteempfindung. Ob ein berührter Gegenstand als kalt oder warm empfunden wird, hängt nicht von dessen Eigentemperatur ab, sondern vor allem von seinem Wärmeleitvermögen und dem jeweiligen Temperaturzustand der Haut. Ein Gegenstand mit 10 °C Eigentemperatur wird für gewöhnlich als „kalt" empfunden; taucht man aber die Hand eine Zeitlang in eiskaltes Wasser und berührt dann den gleichen Gegenstand, so ruft er jetzt die Empfindung „warm" hervor. Absolute Temperaturen lassen sich also durch die Sinnesorgane nicht feststellen, sondern nur Änderungen des Temperaturgefälles.

Kälte- und Wärmepunkte. Es sind durchschnittlich in der Haut vorhanden:

Kältepunkte	250000
Wärmepunkte	30000

Es entfallen auf 1 cm^2 Haut im Durchschnitt:

	Kältepunkte	6···23
	Wärmepunkte	0···3
aber:	Kältepunkte auf der Hand	4···5
	Wärmepunkte am Vorderarm	0,3
	Wärmepunkte an der Fingerseitenfläche	2
	Kältepunkte im Gesicht	12
	Wärmepunkte im Gesicht	1,7

An Lippe, Augenlid und Nasenflügel aber sitzen die Wärmepunkte so dicht, daß eine Abgrenzung im einzelnen oft unmöglich ist.

SCHMERZSINN

Entstehung der Schmerzempfindung. Schmerzempfindungen kommen durch besondere Sinnesorgane (freie Nervenendigungen) zustande, die an die *Schmerzpunkte* der Haut gebunden sind. Sie sind nur in der Oberhaut nachgewiesen. Die Schmerzempfindung der inneren Organe wird durch Schmerzfasern im vegetativen Nervensystem weitergeleitet.
Die Schmerzempfindungen entstehen wahrscheinlich auf *chemischem* Weg, indem mechanische (z. B. Stich, Schnitt), thermische (starke Hitze oder Kälte) oder elektrische Reize in den betroffenen Oberflächenzellen bestimmte Stoffe bilden oder durch Zerstörung dieser Zellen frei setzen, die an die Nervenendigungen herankommen und hier als Reiz wirken. Dadurch würde es sich auch

erklären, daß oft mehrere Sekunden vergehen (*Latenzzeit*), ehe ein Stich oder Schnitt als Schmerz empfunden wird, während die Latenzzeit bei der direkten Einwirkung von Chemikalien sehr kurz ist.

Die Anzahl der Schmerzpunkte. Auf 1 cm² Haut finden sich etwa 50 bis über 200 Schmerzpunkte. Sie stehen dichter als die Druckpunkte.

Schmerzempfindliche Körperteile. Schmerzempfindlich sind die gesamte Oberhaut, die Knochenhaut, das Brustfell (Rippenfell), das Bauchfell, die Hirnhäute (nicht das Gehirn selbst!), die größeren Gefäße (Adern). Unter bestimmten Bedingungen können auch sonst schmerzunempfindliche Organe, z. B. Muskeln, sich plötzlich als schmerzempfindlich erweisen.

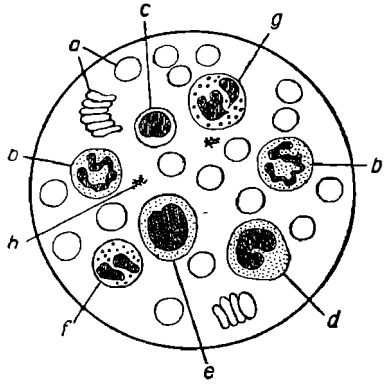
VI. Blut, Kreislauf- und Atmungsorgane

BLUT

Aufgabe des Blutes. Aufgabe des Blutes ist es, den Sauerstoff und die übrigen Aufbaustoffe der Zellen an diese heranzubringen und die Kohlensäure (Kohlendioxyd) und andere Abbaustoffe den Ausscheidungsorganen des Körpers (Lunge, Niere, Haut) zuzuführen. Außerdem ist das Blut Träger wichtiger Abwehrstoffe, die u. a. den Körper vor Infektionskrankheiten schützen.

Menge des Blutes

Gesamtmenge (Mittelwerte)	4,5···5 *l* = $^1/_{11}$ der Körpermasse
Gesamtzahl der roten Blutkörperchen	25 Billionen
Gesamtzahl der weißen Blutkörperchen	30 Milliarden
Gesamtoberfläche der roten Blutkörperchen	3000 m²



Geformte Bestandteile des Blutes

a rote Blutkörperchen, in Aufsicht (1), mehrere von der Seite (2), b neutrophiler Leukozyt, c Lymphozyt, d Übergangsform, e Monozyt, f eosinophiler Leukozyt, g basophiler Leukozyt, h Blutplättchen

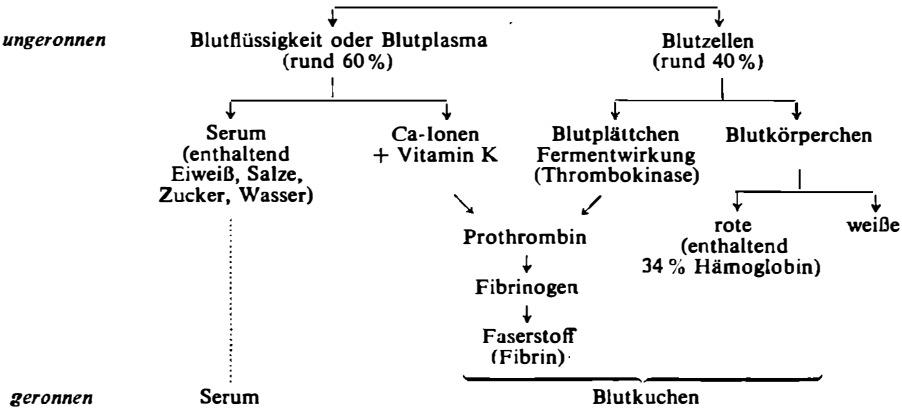
Blutkörperchen. Die *roten* Blutkörperchen des Menschen sind kleine runde Scheiben von 0,0078 mm Durchmesser und 0,00000008 mg Gewicht. Sie sind Träger des roten Blutfarbstoffes, des *Hämoglobins*, das sich sowohl mit Sauerstoff als auch mit Kohlendioxyd verbindet. Infolge ihrer großen Anzahl und Gesamtoberfläche vermögen sie große Mengen dieser Stoffe zu binden. Gebildet werden sie im roten Mark der Knochen, aufgelöst nach mehrmonatiger Lebensdauer in Milz und Leber. Von den weißen Blutkörperchen werden die verschiedenen *Leukozytenarten* im Knochenmark, die *Lymphozyten* in Milz, Lymphknoten usw., die *Monozyten* im sogenannten retikuloendothelialen System gebildet. Sie sind formenreicher und im allgemeinen auch größer als die roten Blutkörperchen, haben die Fähigkeit, ihre Form zu verändern und vermögen so Fremdkörper wie Bakterien zu umhüllen und unschädlich zu machen.
Die *Blutplättchen* erfüllen eine wichtige Rolle bei der Blutgerinnung.

Zahl der Blutkörperchen in 1 mm³ Blut

Art	Zahl	Durchmesser in µm
rote Blutkörperchen (Erythrozyten)	5000000 beim Mann[1] 4500000 bei der Frau[1]	7···8
weiße Blutkörperchen:		
neutrophile Leukozyten	3500···3900	10···14
eosinophile Leukozyten	100···200	10···14
basophile Leukozyten	25···30	10···14
Monozyten	300···450	20···24
Lymphozyten	1000···1400	10···14
Blutplättchen (Thrombozyten)	300000	2···4

[1] obere Grenze des Normalen.

Zusammensetzung und Gerinnung des Blutes



Außerhalb des Körpers gerinnt das Blut und führt so zum Wundverschluß und zum Zusammenziehen der Wundränder. Dieser Vorgang tritt bei Zimmertemperatur nach 5 bis 7 Minuten ein. Es hat sich ein fester Blutkuchen gebildet, der nach einigen Stunden zu schrumpfen beginnt und ein klares, gelbliches Serum absetzt. Die Blutplättchen leiten die Gerinnung ein, in deren Verlauf sich schließlich das Fibrin bildet, in dessen netzförmig verflochtenen Fasern sich die Blutzellen verfangen und der Blutstrom aus der Wunde so zum Stehen kommt.

Zusammensetzung des Blutplasmas

Wasser (frei und kolloidal gebunden)	90 %
Eiweiß (Fibrinogen, Albumin, Globulin)	7 %
Salze (Chlor, Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Phosphor)	0,8 %
Transportstoffe (Zucker: 0,1 %, Milchsäure, stickstoffhaltige Stoffe, Fette)	2,2 %

Das Blutbild. Zum Blutbild gehören Angaben:

über den Hämoglobingehalt des Blutes (normal 14,5 bis 17,6 g je 100 g ≙ 90 bis 110 % beim Mann, 12,8 bis 16 g je 100 g ≙ 80 bis 100 % bei der Frau),
über die Anzahl der roten Blutkörperchen (normal 5,5 Millionen je mm^3 beim Mann, 4,45 Millionen je mm^3 bei der Frau),
über die Zahl der weißen Blutkörperchen (normal 5000 bis 8000 je mm^3),
über die Differenzierung, d. h. Aufteilung der weißen Blutkörperchen in ihre einzelnen Arten.
Das Blutbild allein ermöglicht nur in einzelnen Fällen die Feststellung von Krankheiten.

Die Blutsenkung. Das Blut stellt eine Aufschwemmung fester Körper dar. Wie alle festen Körper in einer solchen *Suspension* (Aufschwemmung) haben auch die Blutzellen die Neigung, sich als Bodensatz abzulagern. Die elektrische Oberflächenspannung der roten Blutkörperchen verzögert aber diesen durch die Schwerkraft bedingten Vorgang. Wenn bei gewissen Erkrankungen die Globuline gegenüber den Albuminen im Blutplasma zunehmen, dann verändert sich infolgedessen auch die elektrische Oberflächenladung der roten Blutkörperchen. Sie ballen sich nun leichter zusammen und werden somit schwerer: Es kommt zur erhöhten Senkungsgeschwindigkeit, die mit verschiedenen Apparaten gemessen wird.
Auch die Blutsenkung gibt dem Arzt Hinweise auf verschiedene Erkrankungen.

Die Blutgruppen. Das Blut verschiedener Individuen zeigt bestimmte Unterschiede, die sich darin äußern, daß die in physiologischer Lösung (0,9 %ige Kochsalzlösung) aufgeschwemmten roten Blutkörperchen durch das normale Serum eines anderen Individuums in bestimmten Fällen agglutiniert, d. h. zusammengeballt werden. Die Einteilung aller Menschen nach *vier Blutgruppen* folgt daraus, daß es zwei verschiedene agglutinierbare Substanzen gibt, die mit A und B bezeichnet werden; sie können (Fall 1 und 2) einzeln oder (Fall 3) gemeinsam in den Blutkörperchen vorkommen oder (Fall 4) beide fehlen. Entsprechend diesen vier Möglichkeiten unterscheidet man vier Blutgruppen: A, B, AB und 0. Die Blutkörperchen der *Gruppe 0* enthalten keine agglutinierbaren Substanzen, die Blutkörperchen der anderen Gruppen sind agglutinierbar, und zwar mit denjenigen Blutsera, die die für sie passenden Agglutinine (Ballungsstoffe) enthalten. Diese Agglutinine bezeichnet man mit Anti-A, Anti-B und AB 0, wobei AB 0 bedeutet, daß sowohl Anti-A

wie Anti-B fehlen. Da ein Blutserum stets nur jene Agglutinine enthalten kann, die auf die eigenen Blutkörperchen nicht wirken, so ergeben sich folgende vier Möglichkeiten:

Gehören die Blutkörperchen zur Gruppe	(Fall 1) A	(Fall 2) B	(Fall 3) AB	(Fall 4) 00
dann enthält das Serum die Agglutinine	Anti-B	Anti-A	keine Agglutinine (AB 0)	Anti-A und Anti-B

Technik der Blutgruppenbestimmung. 1. Man mischt je eine Probe der *Blutkörperchen*, deren Gruppenzugehörigkeit zu bestimmen ist, mit je einem bekannten agglutinierenden Serum vom Typ Anti-A und Anti-B. Dann ergeben sich folgende vier Möglichkeiten:

Serum Anti-A	Serum Anti-B	Blutkörperchen gehören zur Gruppe
–	–	0
+	–	A
–	+	B
+	+	AB

+ bedeutet: Blutkörperchen werden agglutiniert; – bedeutet: Blutkörperchen werden nicht agglutiniert.

2. Man mischt je eine Probe des *Serums* (oder auch den wäßrigen Auszug eines Blutflecks) desjenigen Menschen, dessen Blutgruppenzugehörigkeit bestimmt werden soll, mit je einer Probe von bekannten roten Blutkörperchen vom Typ A und vom Typ B; dann ergeben sich folgende Möglichkeiten:

Blutkörperchen A	Blutkörperchen B	Der Besitzer des Serums gehört zur Gruppe
+	+	0
–	+	A
+	–	B
–	–	AB

+ bedeutet: Serum agglutiniert die Blutkörperchen; – bedeutet: Serum agglutiniert die Blutkörperchen nicht.

Die prozentuale Blutgruppenhäufigkeit

Bevölkerungsgruppe	Blutgruppe je 100 Einwohner 0	A	B	AB
Schweiz	42	45	10	3
DDR und WD	42	40	12	6
Sowjetunion (Moskau)	33	38	21	8
China	29	32	29	10
Japan	30	38	22	10
Korea	30	27	35	8
Indien	31	19	41	9
Indianer	91	8	1	—
USA (Weiße, New York)	46	36	14	4
Senegalneger	43	23	29	5
Ureinwohner Australiens	53	37	8	2

Vererbung der Blutgruppen

Blutgruppen der Eltern	Mögliche Blutgruppen der Kinder			
AB×AB	AB	A	B	—
AB×A	AB	A	B	—
AB×B	AB	A	B	—
AB×0	—	A	B	—
A×A	—	A	—	0
A×B	AB	A	B	0
A×0	—	A	—	0
B×B	—	—	B	0
B×0	—	—	B	0
0×0	—	—	—	0

Die Blutgruppenbestimmung (wichtig vor Blutübertragungen und in der gerichtlichen Medizin) kann nur *negative* Aussagen zur Feststellung der Elternschaft oder Vaterschaft machen. So kann ein Kind mit der Blutgruppe A nicht von Eltern stammen, die beide die Blutgruppe B oder 0 haben oder von denen ein Elternteil die Blutgruppe B und der andere die Blutgruppe 0 hat.
Neben den vier Hauptgruppen des Blutes hat man u. a. noch 2 *andere Faktoren*, mit M und N bezeichnet, in den roten Blutkörperchen entdeckt. Ihre Bedeutung für die Feststellung der Elternschaft ist groß. Ein N-Kind kann keinen M-Vater haben; hat der Vater M und die Mutter N, so hat das Kind MN, also beide Faktoren im Blut. Auch der Faktor P gewinnt neuerdings für die Feststellung der Elternschaft Bedeutung. So muß bei einem P-Kind wenigstens ein Elternteil P besitzen.
Größte Bedeutung besitzt weiter die *Rh-* (*Rhesus-*) *Eigenschaft* der roten Blutkörperchen. Sie spielt ebenfalls für die Feststellung der Elternschaft eine Rolle, auch hier muß bei einem Rh-Kind wenigstens ein Elternteil Rh besitzen. Im Gegensatz zu M, N und P immunisiert die Rh-Eigenschaft den Menschen, bewirkt also eine Antikörperbildung gegen Rh; hierauf beruht sowohl ein Teil der Zwischenfälle bei Bluttransfusionen als auch das Krankheitsbild der *Erythroblastose* (äußert sich u. a. als schwerste Gelbsucht der Neugeborenen).

Blutspenden

Blut der Blutgruppe	enthält in den roten Blutkörperchen die Agglutinogene	enthält im Serum die Agglutinine	Bemerkungen
0	keine	Anti-A und Anti-B	bedingter Universalspender
A	A	Anti-B	—
B	B	Anti-A	—
AB	A + B	keine	bedingter Universalempfänger

Möglichkeiten zur *Blutübertragung* (*Transfusion*) bestehen überall da, wo das Spenderblut von den Agglutininen des Empfängers nicht geballt werden kann. Daher soll der Spender möglichst der gleichen Blutgruppe angehören wie der Empfänger. Der *Universalspender* ist Blutgruppe 0, da diese keine *ballbaren* Stoffe (*Agglutinogene*) hat, jedoch nur unter der Bedingung, daß der Agglutiningehalt des Spenderserums gering ist (Anti-A/Anti-B-Titer bis 1 : 16), da bei höherem Titer sich die Zusammenballung der Blutkörperchen eines A-, B- oder AB-Empfängers durch die Agglutinine des Spenderserums störend auswirkt. Der *schlechteste Spender* ist Blutgruppe AB wegen ihrer beiden ballbaren Stoffe A und B, die von allen drei fremden Gruppen angegriffen (geballt) werden können. Dagegen ist die Blutgruppe AB der *Universalempfänger*, da sie keinerlei *ballende* Stoffe (Agglutinine) aufweist, jedoch auch nur unter der Bedingung, daß das Blut der Spender anderer Gruppenzugehörigkeit ebenfalls nur niedrige Agglutinintiter (s. o.) besitzt.
Außerdem muß bei der Blutspende auf Rh geprüft werden, da es, wenn der Spender Rh und der Empfänger Rh-Antikörper hat, zu Transfusionszwischenfällen kommen kann.
Die letzte Entscheidung über Verträglichkeit von Empfänger- und Spenderblut bringt der vor jeder Blutspende durchzuführende *Kreuzversuch* (Blutkörperchen des Spenders + Serum des Empfängers und umgekehrt).

BLUTKREISLAUF

Kleiner und großer Körperkreislauf. Der *kleine* (*Lungen-*) *Kreislauf*. Aus der *rechten* Herzkammer kommt das *venöse* (verbrauchte sauerstoffarme, kohlendioxydreiche) Blut in die Lungenarterie, die sich in die Lungenkapillaren (feinste Gefäße) verästelt. Hier nimmt das Blut Sauerstoff auf und gibt Kohlendioxyd ab, es wird arteriell und sammelt sich in den Lungenvenen, die es durch die linke Herzvorkammer in die linke Herzkammer leiten. Dadurch erhält die linke Herzhälfte arterielles Blut.
Der *große* (*Körper-*) *Kreislauf*. Aus der linken Herzkammer gelangt das *arterielle* Blut in die Hauptschlagader (*Aorta*), die sich dann in die Arterien und weiter in die feinen Körperkapillaren (Haargefäße) verzweigt. Die *Kapillaren* versorgen die Organe und Gewebe mit Sauerstoff und den im Blut enthaltenen Nährstoffen und führen die Abfallstoffe des Stoffwechsels fort (Gas- und Stoffaustausch). Das dadurch venös gewordene Blut der Kapillaren sammelt sich in den Venen, und diese führen das Blut, in der großen Hohlvene vereinigt, nach der rechten Herzvorkammer und Herzkammer. Die rechte Herzhälfte führt also venöses Blut. Das venöse Blut des Darmes gelangt auf dem Umweg über die Leber (Entgiftung!) in die rechte Herzkammer. Das Blutgefäßnetz ist ebenso wie das Lymphgefäßnetz ein in sich geschlossenes Röhrensystem mit einem eigenen Antriebsorgan, dem Herzen. Das Herz pumpt das Blut in den kleinen und in den großen Kreislauf.

Die Kapillaren (Haargefäße)

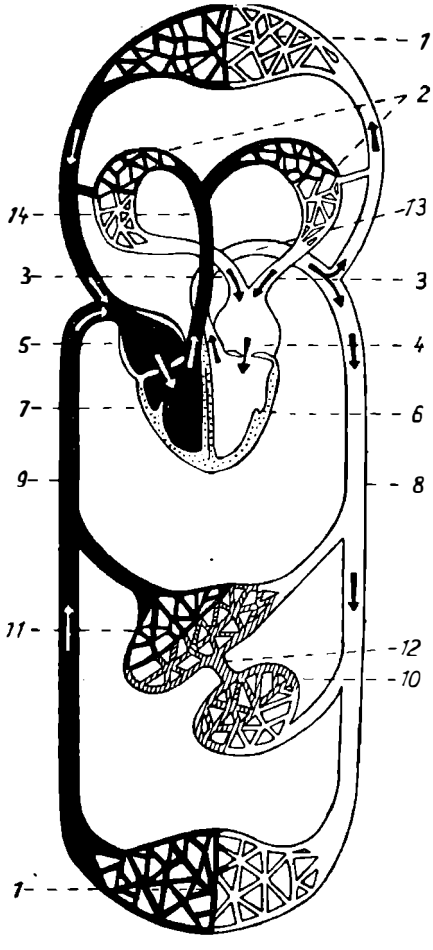
Weite eines Haargefäßes (Durchmesser)	5···25 µm
Länge eines Haargefäßes	0,5···4 mm
Gesamtkapillarenoberfläche	21900 m^2

Druck und Geschwindigkeit des Blutes

	Aorta	Armarterie	Kapillaren	Venen
Blutdruck beim normalen jugendlichen Menschen in mm Quecksilber	170	120	25	20···0
Mittlere Stromgeschwindigkeit (in cm/s)	50	35	0,05···0,2	20···30

Mittlere Kreislaufdauer der zirkulierenden Blutmenge: 23 s.

Lymphgefäßsystem. Die farblos-wasserhelle Lymphe (Gewebeflüssigkeit), die der Blutflüssigkeit entstammt, dringt durch die Wände der Haargefäße in die feinen Spalten und Lücken zwischen den Zellen der Gewebe, an die das in den Blutgefäßen kreisende Blut nicht herankommt, und dient dort der Zufuhr von Nährstoffen und der Abfuhr von Abbaustoffen. Die mit letzteren angereicherte Lymphe sammelt sich in einem eigenen *Lymphgefäßnetz*, das, einem Kanalisationssystem vergleichbar, von feinsten Lymphhaargefäßen zu den großen Lymphstämmen (Lymphbrustgang, auch Brustmilchgang genannt) aufsteigt, die die Lymphe in die Blutbahn, und zwar die Venen, zurückleiten. In den Lymphbahnen sind an zahlreichen Stellen hirsekorn- bis bohnengroße *Lymphknoten* eingeschaltet, die massenhaft weiße Blutkörperchen (Lymphozyten) erzeugen und als Filter fremde, in die Lymphbahn geratene Stoffe und Stoffwechselgifte, auch Bakterien, abfangen und unschädlich machen. Lymphknoten befinden sich besonders am Hals, in den Achselhöhlen, den Leistenbeugen, aber auch an vielen Stellen des Körperinnern. Den Lymphknoten gleichen im Bau und Funktion die *Gaumen-* und *Rachenmandeln.*



Blutkreislauf des Menschen

1 Haargefäße, 2 Lunge, 3 Lungenvenen, 4 linke Vorkammer, 5 rechte Vorkammer, 6 linke Herzkammer, 7 rechte Herzkammer, 8 Arterie, 9 Vene, 10 Darmgefäßnetz, 11 Lebergefäßnetz, 12 Pfortader, 13 Hauptschlagader (Aorta), 14 Lungenarterie

(hell = sauerstoffreiches Blut; dunkel = sauerstoffarmes Blut)

Herz

Umfang	etwa 25 cm
Breite	etwa 9 cm
Länge	etwa 15 cm
Masse	etwa 300 g

Zahl der Herzschläge

(in der Minute, Mittelwerte)

Neugeborenes	134
3 Jahre alt	108
14 Jahre alt	87
Erwachsener	70

Arbeitsleistung des Herzens

Täglich	20000	kpm
für einen Herzschlag	0,19	kpm
in Pferdestärken umgerechnet	0,003	PS

Das Herz pumpt bei durchschnittlich 70 Schlägen je Min. ungefähr in 1 Min. 4,9 *l*, in 1 Std. 300 *l*, in 1 Tag 7200 *l*, in 1 Jahr 2,7 Mill. *l*, in 70 Jahren 189 Mill. *l*.

Dauer eines Herzschlages

Dauer eines Herzschlages	0,83 s
davon eigentliche Zusammenziehung	0,50 s
Ruhepause	0,33 s

Körpertemperatur
in °C

mittlere Körpertemperatur (Achselhöhle)	37
Körpertemperatur im Mastdarm	bis 37,4
tägliche Schwankung der Körpertemperatur	36,5···37,2

Die mittlere Körpertemperatur des Kindes ist um 0,3° höher als die des Erwachsenen, die des Greises um 0,5° niedriger. Die täglichen Schwankungen der Körpertemperatur beim Säugling betragen nur 0,5°.

ATMUNG

Atemumfang. *Der Weg der Luft, die wir einatmen, führt durch die Nasenhöhle (bei deren Verstopfung auch durch die Mundhöhle), den Rachen, den Kehlkopf und die Luftröhre, die sich in die* beiden Hauptbronchien gabelt, in die beiden Lungen.

Bei jedem Atemzug aus- und eingeatmet (Respirationsluft)	500 cm³
nach normaler Einatmung sind durch höchste Anstrengung noch einzuatmen (Ergänzungs-, Komplementärluft)	2000 cm³
nach normaler Ausatmung sind durch höchste Anstrengung noch auszuatmen (Reserveluft)	2000 cm³
mithin größtmögliche Ein- und Ausatmung (Vitalkapazität)	4500 cm³
nach stärkster Ausatmung bleiben in der Lunge zurück (Rest-, Residualluft)	1200 cm³

Der Atemumfang paßt sich dem Atembedarf an. Er kann bei starken körperlichen Leistungen von 7 bis 8 *l* (Normalumfang) bis auf 90 *l* je Minute ansteigen. Der größere Atemumfang kommt entweder durch Zunahme der Atemtiefe (insbesondere bei körperlich geübten Menschen) oder durch Zunahme der Atemfrequenz zustande.

Normale Atemfrequenz
(Zahl der Atemzüge in der Minute)

Beim Mann	etwa 16	im Liegen	13
bei der Frau	18···22	im Sitzen	19
beim einjährigen Kind	44	im Stehen	22
beim bis 10jährigen Kind	20···25	im Schlafen	etwa 1/4 weniger

Im Frühling etwa 1/8 mehr als gegen Ende des Sommers

Leistung der Atemmuskulatur

Durchschnittliche Tagesleistung ..... 25000 kpm

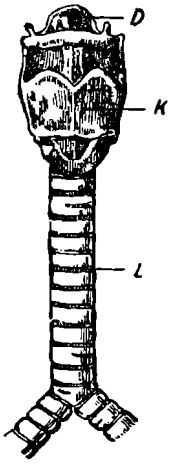
Zusammensetzung der Atmungsluft

	Einatmungsluft (Raumteile) in %	Ausatmungsluft (Raumteile) in %
Sauerstoff	21,0	16,0
Kohlendioxyd	0,03	4,1
Stickstoff	78,07	79,0
Edelgase	0,9	0,9

Kohlendioxydausscheidung. Bei der Atmung handelt es sich um einen *Gasaustausch* von Sauerstoff gegen Kohlendioxyd, wobei der eingeatmete Sauerstoff jeweils nur zu etwa 1/5 verbraucht wird. Der Gasaustausch vollzieht sich in zwei Stufen: 1. zwischen Lungenluft und Blut (Lungenatmung), 2. zwischen Blut und dem Gewebe der Körperorgane (Gewebsatmung). Die *Gewebsatmung* wird durch den Blutkreislauf in Gang gehalten, die *Lungenatmung* dazu noch durch Atembewegungen, die durch Kohlendioxydanhäufung im Blut gesteuert werden. Diese regt das Atemzentrum an und setzt damit die Atemmuskeln in Tätigkeit. Die Menge des ausgeschiedenen Kohlendioxyds beträgt:

Im Alter von	in 24 Stunden	im Alter von	in 24 Stunden
15 Jahren	765 g	40···60 Jahren	887 g
18···20 Jahren	1002 g	60···80 Jahren	808 g
20···40 Jahren	1072 g		

Kehlkopf. Der Kehlkopf, der den oberen Eingang zu den Lungen bildet, dient auch der Erzeugung von Tönen und damit der Stimmbildung. Er besteht aus Knorpeln, Bändern und Muskeln. Der größte Knorpel, der *Schildknorpel*, bildet bei den Männern am Vorderhals den sogenannten Adamsapfel. Mit dem Ringknorpel sitzt der Kehlkopf auf der Luftröhre auf, der *Kehldeckel* schützt ihn vor dem Eindringen von Fremdkörpern und schließt sich beim Schlucken von selbst.



Kehlkopf mit Luftröhre (von vorn gesehen, schematisch)
D Kehlkopfdeckel
K Kehlkopf
L Luftröhre

Die Knorpel des Kehlkopfes können durch Muskeln gegeneinander bewegt werden. Dadurch verengt oder erweitert sich die Stimmritze, spannen sich oder erschlaffen die Stimmbänder. Diese werden durch einen Kehlkopfnerv und die ausströmende Atemluft in Schwingungen versetzt, wodurch die Stimme entsteht.

Luftröhre. Die Luftröhre besteht aus 16 bis 20 *Knorpelhalbringen*, die auf der Hinterseite durch Hautbrücken verbunden sind. Die Luftröhre gabelt sich nach unten in zwei Äste, die Hauptbronchien, von denen jeder in eine der beiden Lungen führt.

Länge der Luftröhre	12 cm
Durchmesser der Luftröhre	2 cm

Lunge

Höhe an der äußeren Fläche	25 cm
Höhe an der inneren Fläche	15 cm
Masse beim Mann	1350 g
Masse bei der Frau	1050 g
Zahl der (kleinsten) Bronchien	230000
Lungenbläschen	180 Mill.
Atmungsfläche	150 m²

Die beiden Lungen bilden das eigentliche Atmungsorgan. Sie ruhen im Brustraum mit ihrer Basis auf dem Zwerchfell und umschlingen mit ihren Innenflächen das Herz. Tiefe Furchen teilen sie in einzelne *Lappen*, die rechte in drei, die linke, die dem größeren Teil des Herzens Raum lassen muß und deshalb kleiner ist, in zwei. Bekleidet werden die Lungen vom *Brustfell*, der *Pleura*, dessen Teile je nach ihrer Lage als Lungen- oder Rippenfell unterschieden werden. In den Lungen verzweigen sich die von der Luftröhre kommenden *Bronchien* (Luftröhrchen) bis in feinste Verästelungen, an denen die von Haargefäßen umsponnenen *Lungenbläschen* ansitzen. Durch die hauchdünnen Wände der Bläschen und Gefäße, in denen die das Kohlendioxyd abgebenden und den Sauerstoff aufnehmenden Blutkörperchen kreisen, findet der Gasaustausch statt.

Bei den Atembewegungen verhält sich die Lunge passiv. Bei der *Einatmung* wird der Brustraum durch Muskelkraft, insbesondere des Zwerchfells und der Zwischenrippenmuskeln, erweitert; die der Brustwand anliegende Lunge wird dabei ausgedehnt, wodurch Außenluft durch die Luftröhre in die Lungenbläschen eindringt.

Die *Ausatmung* erfolgt in der Regel dadurch, daß die bei der Einatmung aus ihrer Lage gebrachten Brustwandungen nach dem Erschlaffen der Muskeln durch ihre Schwere und Elastizität wieder in ihre frühere Lage zurückkehren. Dabei werden der Brustraum sowie der Raum der Lunge verkleinert und so ein Teil der in ihr enthaltenen Luft ausgetrieben.

VII. Verdauungs- und Ausscheidungsorgane, Stoffwechsel und Ernährung

VERDAUUNG UND VERDAUUNGSORGANE

Verdauungsvorgang. Unter Verdauung versteht man die Überführung der vom Körper aufgenommenen Nahrungsmittel in eine lösliche Form und die Aufnahme der aus ihnen herausgelösten und für den Körper verwertbar gemachten Nährstoffe in die Zellen des Körpers. Die Umwandlung in eine lösliche und damit allein verwertbare Form erfolgt durch *mechanische* Zerkleinerung beim Kauen und durch *chemische* Einwirkung der von den Verdauungsdrüsen ausgeschiedenen Verdauungssäfte: Speichel, Magensaft, Bauchspeicheldrüsensaft, Galle und Darmsaft. Die chemischen Umsetzungen bestehen in der Aufspaltung (Abbau) des *Eiweißes* bis zu den Aminosäuren, der *Kohlenhydrate* zu einfachen Zuckerarten und der *Fette* in Glyzerin und Fettsäuren. Diese Spaltungen erfolgen unter Wasseraufnahme und werden durch *Verdauungsfermente* in Gang gebracht. Meist wird durch das einzelne Ferment nur ein Teil des Abbaues herbeigeführt, so daß nacheinander mehrere Fermente in Tätigkeit treten müssen, um den Abbau zu Ende zu führen.

Mundhöhle, Schlund und Speiseröhre. In die *Mundhöhle* sondern mehrere *Speicheldrüsen*, darunter deren größte, die vor dem Ohr liegende Ohrspeicheldrüse, den Speichel ab, der die Verdauung durch

die beginnende Umwandlung der Kohlenhydrate einleitet und (unlösliche) Stärke durch das Ferment *Ptyalin* in (löslichen) Zucker (Dextrin und Malzzucker) verwandelt.
Die Mundhöhle führt nach hinten in den Schlund (Rachen), der sich nach unten in die *Speiseröhre* fortsetzt. Diese liegt in der Brusthöhle hinter der Luftröhre und führt durch einen Schlitz des Zwerchfells zum Magen. Die Speiseröhre ist ein häutiger, mit glatter Muskulatur versehener Schlauch. Beim Schluckakt verschließt der Kehldeckel den Eingang zum Kehlkopf und schützt so die Atmungsorgane vor dem Eindringen von Fremdkörpern.

Länge der Speiseröhre ..... etwa 25 cm Durchmesser der Speiseröhre ..... 1,5 cm
Menge des täglich abgesonderten Speichels ..... etwa 700 ml

Zusammensetzung des Speichels. Die Zusammensetzung des Speichels wechselt je nach Art des Reizes, der den Speichelfluß auslöst (Abwehr- oder Spülspeichel, Verdauungsspeichel), nach der Art der aufgenommenen Nahrung usw. Im Durchschnitt enthält die Trockensubstanz des Speichels 60% *organische* Bestandteile (den Schleimstoff *Muzin*, Eiweißkörper, z. B. *Albumine*, das kohlenhydratspaltende Ferment *Ptyalin*) und 40% *anorganische* Bestandteile (z. B. Salze).

Magen

Länge ..... 30 cm Masse ..... 300 g
mittlerer Durchmesser ..... 13 cm Rauminhalt ..... etwa 2500 cm^3
Menge des täglich abgesonderten Magensaftes ..... etwa 1500 ml

Der Magen ist ein häutiger, durch mehrere Muskelschichten verstärkter Sack. Er liegt in der Bauchhöhle unterhalb des die Bauchhöhle von der Brusthöhle trennenden Zwerchfells auf der linken Seite. Form und Lage im einzelnen ändern sich mit dem Ausmaß der Füllung, die Lage auch mit zunehmendem Alter. Der Magen ist unterhalb seines Eingangs, des *Magenmundes*, am weitesten; er verengt sich nach seinem Ausgang, dem *Pförtner* zu, dessen ringförmiger Schließmuskel den Speisebrei in Abständen in den Zwölffingerdarm eintreten läßt.
Im Magen wird der Speisebrei durch den von den Magendrüsen abgesonderten *Magensaft* chemisch weiter zersetzt. Regelmäßige Bewegungen der Magenmuskulatur (*Magenperistaltik*) sorgen dafür, daß der Mageninhalt mit Magensaft durchmischt wird. Der Magensaft besteht im wesentlichen aus Wasser, enthält aber an wichtigen Bestandteilen *Salzsäure* (Voraussetzung für Eiweißverdauung; außerdem antibakteriell wirkend) und das Ferment *Pepsin*. Dieses spaltet das Eiweiß in *Peptone* und *Albumosen*. Verschluckter Speichel setzt den Stärkeabbau fort. Im Säuglingsmagen findet man das *Labferment*, das das Milcheiweiß zum Gerinnen bringt.

Aufenthalt der Speisen und Getränke im Magen

Es verlassen den Magen nach durchschnittlich

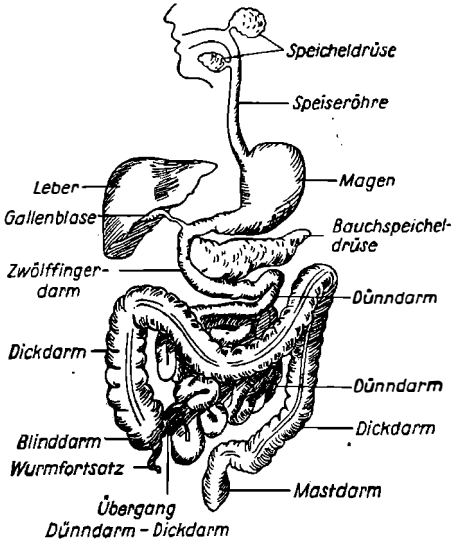
1···2 Stunden	2···3 Stunden	3···4 Stunden	4···5 Stunden	8 Stunden
Wasser	Kaffee mit Sahne	Rebhuhn	gebratenes Rind-	Ölsardinen
Milch	Kakao mit Milch	Taube	fleisch	
Wein	Rührei,	Huhn	Gänsebraten	
Bier	Eierkuchen	gekochtes Rind-	Entenbraten	
schwarzer Kaffee	Kalbshirn	fleisch	Salzhering	
Fleischbrühe	gekochter Fisch	Schinken	Linsen	
Reis	Blumenkohl	Kalbsbraten	Erbsenbrei	
weiche Eier	Spargel	Beefsteak	Schnittbohnen	
	Kartoffeln	Schwarzbrot	Pökelfleisch	
	Weißbrot	Kohlrabi		
	Austern	Möhren		
		Spinat		
		Radieschen		
		Äpfel		
		Gurkensalat		

Darm

Länge des Zwölffingerdarmes ..... 25···30 cm Länge des Dickdarmes ..... etwa 1,5 m
Länge des Dünndarmes ..... 2···3 m Länge des Mastdarmes ..... 12···20 cm
Gesamtlänge des Darmes durchschnittlich ..... 4···5 m
Gewicht des Darmes ..... 2000···2500 g

Man unterscheidet am Darm zwei Abschnitte: den glatten *Dünndarm* mit Zwölffinger- (weil etwa 12 Fingerbreiten lang), Leer- (weil bei Leichen meist ohne Inhalt) und Krummdarm, die in zahlreichen beweglichen Schlingen die Bauchhöhle ausfüllen, und den durch Einschnürungen gekennzeichneten *Dickdarm* mit Blind-, Grimm- und Mastdarm. Die Einmündungsstelle des Krumm-

darmes in den (aufsteigenden) Grimmdarm, der mit seinen drei Teilen wie ein Rahmen die ganze Bauchhöhle umspannt, liegt seitlich etwas oberhalb von dessen unterem Ende. Dadurch entsteht der sackartige „Blind"darm, von dem der etwa 5 cm lange Wurmfortsatz (fälschlich oft „Blinddarm" genannt) ausgeht. Dünndarm sowohl wie Dickdarm sind je an einer nach Art einer Halskrause gefalteten Bauchfellfalte, „Gekröse" genannt, befestigt, die dem Darm die Blut- und Lymphgefäße sowie die Nerven zuführen. Die wellenförmigen Zusammenziehungen der Darmmuskulatur (*Darmperistaltik*) befördern den Darminhalt weiter und durchmischen ihn mit den Verdauungssäften.



Der Verdauungskanal des Menschen

In den *Zwölffingerdarm*, das obere Teilstück des Dünndarmes, münden die Ausführungsgänge der Bauchspeicheldrüse (*Pankreas*) und der Leber (Gallengang). Der *Bauchspeichel* baut (ähnlich dem Mundspeichel) mit seinen Fermenten die Stärke in verschiedenen Stufen zu dem von den Körperzellen unmittelbar aufsaugbaren (resorbierbaren) Traubenzucker ab, spaltet die durch den *Gallensaft* zuvor in eine *Emulsion* (Flüssigkeit, die eine andere, mit ihr sonst nicht mischbare, in feinsten Tröpfchen enthält) verwandelten Fette in Glyzerin und Fettsäuren, das Eiweiß in Peptone und Albumosen auf. Das Ferment *Erepsin* beendet schließlich die Eiweißverdauung und baut Albumosen und Peptone zu Aminosäuren ab. Die Aufnahme (Resorption) der durch Spaltung entstandenen Nährstoffe in den Säftestrom des Körpers findet im wesentlichen nur im *oberen Teil des Dünndarmes* statt. Dort weist die Schleimhaut des Dünndarmes sehr dicht stehende, in den Darminnenraum vorspringende feinste Fortsätze (*Zotten*) auf, deren Blut- und Lymphgefäße die Nährstoffe aufnehmen. Die *Fettsäuren* wandern dabei in die Lymphbahn, die *Aminosäuren* und der *Traubenzucker* durch ein dichtes Netzwerk von Haargefäßen unmittelbar in die Blutbahn.

Im *Dickdarm* wird u. a. Wasser resorbiert; es findet keine eigentliche Verdauung mehr statt. Durch Gärungs- und Fäulnisbakterien (insbesondere durch Bacterium coli commune, Bacterium lactis aerogenes, Bacillus putrificus) werden die letzten noch verwertbaren Stoffe zersetzt; das eingedickte Endprodukt, der *Kot*, wird durch Mastdarm und After ausgeschieden.

Aufenthalt des Speisebreis im Darm

Aufenthalt des Darminhaltes im Dünndarm	4···5 Stunden
Aufenthalt des Darminhaltes im Dickdarm	8···12 Stunden

Die tägliche Kotmenge. Die tägliche Kotmenge beträgt 100 bis 1000 g. Vorwiegend vegetarische Kost gibt ein hohes Kotgewicht.

Zusammensetzung des Kotes. Die *Trockenreste* setzen sich aus unverdauten Nahrungsbestandteilen (noch 5 bis 6% der Trockensubstanz der aufgenommenen Nahrung, nämlich Pflanzenfasern, elastische Fleischfasern u. a.), aus festen Bestandteilen unaufgesogener Verdauungssäfte (Galle, Darmschleim) und Bakterien zusammen. $^1/_4$ bis $^1/_8$ des getrockneten Kotes beim gesunden Menschen besteht ausschließlich aus Bakterien.

Wasser 75···85% Trockenreste 15···25%

Leber

Länge	30 cm
Breite	20 cm
Masse	1500 g
(beim Erwachsenen etwa $^1/_{40}$ des Körpergewichts, beim Neugeborenen etwa $^1/_{20}$ des Körpergewichts)	
Zahl der Leberläppchen	über 1 Mill.
Menge der täglich abgesonderten Galle	etwa 900 g

Die Leber ist die *größte Drüse* des menschlichen Körpers. Sie liegt auf der rechten Seite der Bauchhöhle, vom Herzen nur durch die dünne Sehnenplatte des Zwerchfells getrennt. In den *Läppchen*, aus denen sich die Leber zusammensetzt, sind die einzelnen Leberzellen von Haargefäßen umsponnen, die aus den Blutadern des Darmes rote Blutkörperchen heranführen, aus denen die *Galle* (nflüssigkeit)

gebildet wird. Die Galle sammelt sich in Gallengängen, die sich schließlich im *Lebergallengang* vereinigen, der gemeinschaftlich mit dem Ausführungsgang der Gallenblase in den Zwölffingerdarm mündet.

Außer zur Erzeugung der für die Fettverdauung unentbehrlichen Galle dient die Leber als *Filter* zwischen Darm und Blutkreislauf, das dauernd von dem aus Magen, Darm und Milz stammenden Blut passiert wird und dieses von ungeeigneten Stoffen reinigt. Weiterhin dient die Leber als *Staubecken* für die Blutregulierung des Herzens und als *Speicher* für Fette und Kohlenhydrate, insbesondere für das *Glykogen*, den gespeicherten Treibstoff für die arbeitenden Muskeln, zu dem sie einen Teil des vom Blut empfangenen Traubenzuckers umwandelt.

Gallenblase

Länge ..... 10 cm Breite ..... 4,5 cm
Rauminhalt ..... 40 cm^3

Die Gallenblase, an der unteren Leberfläche gelegen, ist ein birnenförmiges häutiges Säckchen, das überschüssige Galle sammelt und eindickt, um sie nach Bedarf in den Zwölffingerdarm abzugeben.

Milz

Länge ..... 13 cm Dicke ..... 4 cm
Breite ..... 8 cm Gewicht ..... 170 g

Die Milz, ein großes *Blutgefäßorgan*, das mit der Leber in enger Verbindung steht, liegt links in der Bauchhöhle, dicht unter dem Zwerchfell. Sie besteht aus *Lymphknoten*, in denen weiße Blutkörperchen gebildet und die verbrauchten roten Blutkörperchen aufgelöst werden. Das dabei frei werdende *Eisen* wird in der Milz gespeichert. Die Milz ist deshalb auch für den Eisenstoffwechsel des Körpers von Bedeutung.

Bauchspeicheldrüse

Länge ..... 15 cm Dicke ..... 2···3 cm
Breite ..... 3···9 cm Masse ..... 60···100 g
Menge des täglich abgesonderten Bauchspeichels .. etwa 600···800 ml

Die Bauchspeicheldrüse (*Pankreas*) liegt dicht hinter dem Magen in Höhe des 2. Lendenwirbels, Sie entleert den von ihr abgesonderten Saft (Sekret), den Bauchspeichel, in den Zwölffingerdarm. wo er wichtige Aufgaben bei der Verdauung zu erfüllen hat.

AUSSCHEIDUNG

Die Nieren. Zu den größten Drüsen des menschlichen Körpers rechnen auch die beiden Nieren, bohnenförmige Organe, die, von einem Fettpolster umgeben, außerhalb der vom Bauchfell ausgekleideten Bauchhöhle an der hinteren Bauchwand zu beiden Seiten der oberen Lendenwirbelsäule sitzen. Das äußere Nierengewebe (Rindengewebe) besteht aus einer überaus großen Zahl feinster Kanälchen, die in das Nierenbecken, einen Hohlraum an der Nierenwurzel münden. Von hier führt der Harnleiter zur Blase. Die Nieren stellen ein Filter dar, durch das täglich rund 1000 *l* Blut strömen und die nicht verwendbaren oder schädlichen Stoffwechselprodukte (insbesondere Salzlösungen), mit denen es beladen ist, absetzen. Der Harnbildungsprozeß spielt sich in den Kanälchen ab, in deren becherartige Erweiterungen Gefäßknäuel der Schlagadern hineinragen, durch deren Wände hindurch die schädlichen und überflüssigen Stoffe aus dem Blut austreten. Das von den Harnbestandteilen gereinigte Blut fließt durch ein Haargefäßnetz in die Venen und damit in den Körperkreislauf zurück. Der im Nierenbecken gesammelte Harn gelangt von hier tropfenweise durch den Harnleiter in die Blase.

Jegliche Flüssigkeit, die der Körper aufnimmt, nimmt ihren Weg über Magen, Darm, Blutkreislauf (beansprucht hier das Herz!) bis zu den Nieren, wo sie ausgeschieden wird.

Größe der Nieren

Länge ..... je 11···12 cm Dicke ..... je 3···4 cm
Breite ..... je 5···6 cm Masse..... je 120···200 g
Menge des täglich abgesonderten Harns ..... etwa 1500···2000 ml
darin Harnstoff ..... 35 g

Harnblase

Höhe (bei normaler Füllung) ..... 12···14 cm Breite ..... 9···11 cm
Fassungsvermögen ..... 200···450 cm^3

Die Harnblase ist ein im kleinen Becken gelegener häutig-muskulöser Sack von kugeliger bis eiförmiger Gestalt, der sehr dehnbar ist. Sie ist durch die beiden Harnleiter mit den Nieren verbunden. Der Harn fließt durch die Harnröhre ab.

Zusammensetzung des Harns

Der in 24 Stunden entleerte Harn des Erwachsenen enthält durchschnittlich 60 g gelöste Substanz, und zwar:

Kalium	2···3 g	Schwefelsäure	0,2···2,5 g
Natrium	4···5,5 g	Phosphorsäure	2,5···3,5 g
Ammoniak	0,3···1,2 g	Harnstoff	20···30 g
Kalk, CaO	0,16 g	Harnsäure	0,2···1 g
Magnesia, MgO	1,23 g	Kreatinin	0,5···1 g
Kochsalz, NaCl	6···15 g	Hippursäure	0,1···1 g

Der normale Wasserhaushalt

Wasserabgabe (in 24 Stunden)		Wassereinnahme (in 24 Stunden)	
Harn	1500 ml	Getränke	1300 ml
Haut	450 ml	Speisen	1000 ml
Lunge	550 ml	Oxydations- (Verbrennungs-) Wasser	
Kot	150 ml	(bei der Verdauung)	350 ml
Insgesamt:	2650 ml	Insgesamt:	2650 ml

In Krankheitsfällen unterliegen diese Zahlen starken Veränderungen. So scheiden Zuckerkranke täglich bis zu 10000 cm^3 Harn, Ruhrkranke nur einige 100 cm^3 Harn, dafür aber bis zu 3000 cm^3 Wasser mit dem Kot aus. Bei starkem Schwitzen werden im Laufe eines Tages bis zu 1000 cm^3 Schweiß abgesondert.

GRUNDUMSATZ

(je 1 m^2 Körperoberfläche in 24 Stunden)

Alter	Mann	Frau
14 Jahre	1100 kcal	1030 kcal
18 Jahre	980 kcal	920 kcal
30 Jahre	930 kcal	880 kcal
50 Jahre	900 kcal	820 kcal
60 Jahre	860 kcal	810 kcal

Der Grundumsatz ist der *Energieumsatz* des Körpers bzw. der Kalorienbedarf (hier angegeben in kcal = Kilokalorien) des ruhenden, nüchternen Menschen. Er läßt sich durch den Verbrauch an Sauerstoff bestimmen und beträgt für den erwachsenen Menschen für 24 Stunden 1500 bis 2000 Kilokalorien oder für 1 m^3 Körperoberfläche 800 bis 900 Kilokalorien oder für 1 kg Körpermasse und Stunde etwa 1 kcal. Der Grundumsatz ist von Alter und Geschlecht abhängig. Er ist am höchsten in der Kindheit, da dort des Wachstums und der größeren Beweglichkeit wegen der Kalorienbedarf (s. folgende Tabelle) relativ am größten ist.

Der durchschnittliche tägliche Nahrungsbedarf des gesunden Menschen in Kilokalorien (kcal)

	Alter in Jahren	kcal
Männer	25	3200
	45	2900
	65	2600
Frauen	25	2300
	45	2100
	65	1800
Schwangere (letztes Drittel), Zulage je kg		400
Stillende, Zulage je kg		1000
Säuglinge bis 3 Monate je kg		120
Säuglinge 4···9 Monate je kg		110
Säuglinge 10···12 Monate je kg		100
Kinder	1···3	1200
	4···6	1600
	7···9	2000
Knaben	10···12	2500
	13···15	3200
	16···20	3800
Mädchen	10···12	2300
	13···15	2500
	16···20	2400

Bei sehr schwerer körperlicher Arbeit können u. U. 5000 und mehr Kilokalorien benötigt werden.

ZUSAMMENSETZUNG WICHTIGER NAHRUNGSMITTEL

Nährwert

1 g Kohlenhydrat entspricht 4,1 kcal
1 g Eiweiß entspricht 4,1 kcal
1 g Fett entspricht 9,3 kcal

Gemüse

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Kohlrabi	2···2,8	0···0,1	5,7···6,7	88···90	20···36
Karotten	1···1,2	0,2···0,3	5,1···9,2	87···90	25···45
Kohlrüben	1···1,5	0,1···0,2	5,1···8,0	88···90	25···38
Schwarzwurzel	0,8···1,1	0,1···0,5	11···16	80···85	45···60
Spargel	1,1···2,2	0,1···0,2	2,1···3,6	93···95	14···26
Spinat	1,9···2,4	0,2···0,3	1,1···3,2	92···95	15···20
Blumenkohl	1,9···2,4	0,2···0,3	3,1···4,9	90···93	15···32
Weißkohl	1···2	0,1···0,2	3,8···4,3	90···93	20···25
Wirsing	2···2,7	Spuren	3,8···5,1	89···93	25···30
Grüne Erbsen	3···7	0,3···0,5	5···13	77···82	60···90
Grüne Schnittbohnen	1,8···3,1	0,1···0,2	4···6	88···93	25···35
Steinpilze	4···5,5	0,2···0,5	3···6	86···89	35···45

Obst

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Äpfel	0,1···0,4	0,1···0,6	9···13	83···89	40···60
Apfelsinen	0,4···0,6	Spuren	9···13	84···88	30···60
Birnen	0,3···0,5	0,1···0,4	12···16	80···85	40···65
Kirschen (süß)	0,7···1,1	0,1···0,5	14···18	79···84	50···70
Pflaumen	0,5···0,8	0,2···0,6	11···16	81···87	50···60

Brot

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Weißbrot	7···9	0,5···1	47···51	36···42	220···240
Kommißbrot	7···9	0,6···1	47···52	38···42	220···240
Brötchen	7···9	0,5···1	52···58	28···35	230···250
Vollkornbrot	7···9	0,6···1	49···55	32···38	225···245
Pumpernickel	7···9	0,1···1	48···52	36···42	220···240

Fleisch, Geflügel, Wildbret

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Schweinefleisch	9···16	21···44	0,3···0,5	41···58	260···450
Rindfleisch	15···24	6···31	0,3···0,5	47···70	160···340
Kalbfleisch	16···19	9···17	0,4···0,8	64···73	140···220
Schaffleisch	14···18	15···33	0,2···0,4	51···65	220···360
Kaninchenfleisch	18···21	2···14	0,1···0,7	63···73	140···200
Pferdefleisch	16···22	1,5···3,5	0,7···1,1	73···76	90···120
Hühnerfleisch	17···21	2···6	Spuren	73···79	100···130
Gänsefleisch	11···16	30···45	Spuren	38···50	370···480
Entenfleisch	16···22	3···6	0,2···0,4	72···75	120···150
Taubenfleisch	16···22	0,5···1,5	0,2···0,5	74···78	85···105
Truthahnfleisch	20···24	8···22	0,1···0,5	57···66	180···209
Hasenfleisch	18···23	1···2	0,1···0,5	74···80	80···110
Rehfleisch	19···22	1,6···2,5	0,2···0,5	77···81	90···110
Wildentenfleisch	19···23	2,4···3,2	0,3···0,5	72···79	110···130

Fisch

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Aal	9···14	20···28	—	58···66	245···300
Flunder	14···18	0,3···0,8	—	82···86	65···74
Hecht	16···19	0,3···0,5	—	79···84	76···83
Hering	14···19	10···15	—	60···75	140···200
Karpfen	17···20	0,8···2,4	—	77···81	77···95
Schellfisch	17···21	0,4···1,1	—	79···82	70···80

Eier, Milch, Milchprodukte

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Hühnerei	8···14	7···12	0,5···0,7	72···75	150···165
Eiklar	11···13	0···0,3	0,7···0,9	85···87	45···60
Eigelb	15···17	29···33	0,3···0,7	48···51	345···365
Frauenmilch	1···2,6	2···4	6···7	85···87	48···74
Kuhmilch[1]	3,3···3,6	2,8···3,9	4,6···5,1	86···88	60···65
Buttermilch	3,4···3,9	0,5···1	3,5···4,5	88···90	25···35
Butter	0,3···0,8	80···84	0,5···1	16···18	750···785
Fettkäse	25···28	mindestens 40% i. T.[2]	2,0···2,6	37···41	365···375

[1] Die Trinkmilch wird in der DDR von den Molkereien auf 2,5% Fettgehalt eingestellt
[2] i. T. = in der Trockensubstanz

Verschiedene Nahrungsmittel

Es enthalten: 100 g	Eiweiß g	Fett g	Kohlenhydrat g	Wasser g	Kalorien (kcal)
Schweineschmalz	0,1···0,3	99···99,5	—	0,1···0,3	920···925
Margarine	0,5···1	80···84	0,3···0,5	15···18	730···745
Zucker	—	—	99,7···100	0···0,3	~410

Kochsalzbedarf. Der menschliche Körper braucht täglich 10 bis 20 g Kochsalz und einige andere Salze, die u. a. Kalium und Kalzium enthalten müssen.

Bekömmlichste Temperierung der Speisen und Getränke

in °C

Kalte Speisen und Getränke ..... 8···15
Warme Speisen und Getränke ..... 35···45

Zu heiße und zu kalte Speisen und Getränke schaden dem Organismus. Für *Kinder* müssen bei warmen Speisen und Getränken einige Celsiusgrade weniger, bei kalten einige Celsiusgrade mehr gerechnet werden.

VITAMINE

Vitaminverlust der Kartoffel durch Lagerung

100 g (Pell-) Kartoffeln enthalten an Vitamin C:

im Oktober ..... 18 mg	im Januar ..... 11 mg	im April ..... 8 mg
im November ..... 15 mg	im Februar ..... 10 mg	im Mai ..... 7 mg
im Dezember ..... 12 mg	im März ..... 9 mg	im Juni ..... 7 mg

Der Vitamin-C-Gehalt der Kartoffel ist sortenmäßig verschieden.

Der Vitamingehalt einiger Nahrungsmittel

Es enthalten: 100 g	A IE	Karotin IE	D IE	B_1 mg	B_2 mg	Nikotinsäureamid mg	C mg
Muskelfleisch							
Kalb	25···70	—	140	0,08···0,16	0,2···0,4	4···7	0···1,5
Rind	25···70	—	—	0,03···0,3	0,1···0,4	3,5···5	0···2,2
Schwein	25···35	—	40···50	0,5···0,8	0,1···0,5	3···5	0···3
Hammel	20···120	—	—	0,1···0,2	0,1···0,3	0,2···6	0···2,5
Huhn	Spuren	—	—	0,1···0,3	0,1···0,3	8···12	3···5
Kalbsleber	10000···165000	—	20···200	0,2···0,4	1,5···4	9···25	20···70
Rindsleber	6000···140000	—	100···200	0,2···0,4	2···4	10···25	25···35
Schweineleber	8000···40000	—	50···180	0,2···0,5	2,5···3,5	10···25	10···40
Aal	1000···5000	—	~475	0,1···0,3	0,2···0,4	1···1,5	0···2
Hering	100···1000	—	2000···52000	0,03···0,1	0,1···0,3	2···4	0···1,5
Dorschleber	10000···200000	—	10000···35000	0,2···0,3	0,4···0,8	1···2	20···30
Heilbuttleber	4000000···10000000	—	15000···35000	—	—	—	—
Kuhmilch	50···300	30···150	0,3···8	0,03···0,05	0,05···0,3	0,1···0,3	0,5···5
Butter	1000···5000	330···1300	8···160	0···0,1	0···0,01	0···0,1	0,3···1
Margarine (vitaminiert)	2000···3000	—	1···300	—	—	—	—
Käse (¾ fett)	200···1200	150···600	—	0···0,05	0,1···0,4	0,3···1	0···1
Hühnerei	650···4000	1000···4000	—	0,03···0,4	0,2···0,4	0,1···0,8	0···0,3
Trockenhefe	—	—	—	2···36	3···5	45···65	Spuren
Weizenkorn	—	300···500	—	0,2···1	0,02···0,8	2···8	0···1,5
Roggenkorn	—	400···500	—	0,3···0,5	0,1···0,8	1,2···3,5	—
Haferkorn	—	—	—	0,3···0,7	0,05···0,3	1···2	—
Gerstenkorn	—	—	—	0,3···0,6	0,1···0,3	1···3	—
Roggenbrot (40 bis 94% Ausmahlung)	—	—	—	0,05···0,5	0,05···0,3	0···3	0···1,5
Weizenbrot (40 bis 94% Ausmahlung)	—	—	—	0,05···0,3	0,1···0,2	0···2	—
Karotten	—	3000···15000	—	0,05···0,4	0,05···0,1	0,5···1,5	4···10
Kartoffeln (roh)	—	15···100	—	0,07···2	0,05···0,1	0,5···1,3	5···25
Petersilie	—	5000···40000	—	0,05···0,1	0,2···0,3	0···1,5	100···300
Grünkohl	—	5000···13000	0,2	0,02···0,2	0,1···0,4	0,1···0,4	70···120
Kopfsalat	—	540···9000	—	0,05···0,07	0,07···0,2	0···0,2	8···16
Spinat	—	7000···13000	0,5···3	0,05···0,2	0,06···0,3	0,5···1,7	20···80
Bohne	—	300···1000	—	0,1···0,6	0,1···0,3	0,2···1	3···50
Erbse	—	200···900	—	0,05···0,5	0,1···0,3	2···3	10···50
Paprika (rot)	—	5000···60000	—	0,05···0,15	—	0···1,4	150···300
Apfel	—	40···90	—	0,01···0,1	0,3···0,6	0···0,5	5···30
Birne	—	10···60	—	0···0,05	0,03···0,1	0,1···0,3	3···6
Kirsche	—	200···700	—	0,03···0,05	0,03···0,06	0,1···0,5	8···20
Pflaume	—	125···360	—	0,01···0,1	0,05···0,1	0,4···0,6	5···10
Hagebutte (trocken)	—	6000···12000	—	0···0,05	0,01···0,07	—	250···2000
Johannisbeere (schwarz)	—	300···600	—	0,05···0,08	0,01···0,02	—	90···180
Apfelsine	—	150···600	—	0,02···0,1	0,02···0,06	0,2···0,3	50···100
Banane	—	100···500	—	0,03···0,15	0,01···0,08	0,4···0,6	8···14
Zitrone	—	100···250	—	0,04···0,07	0,01···0,02	0,1···1	40···75

Name	Funktion	entdeckt im Jahr	physikalische und chemische Eigenschaften	beim Fehlen erkranken (Ausfallerscheinungen)	ist enthalten in
Vitamin-A-Gruppe (Retinol, früher Axerophthol)	Epithelschutzstoff (notwendig für normalen Zustand der Haut, der Schleimhäute und der Netzhaut)	1931	fettlöslich, sauerstoffempfindlich, relativ wärmebeständig	Augen (Netzhaut: Nachtblindheit; Bindehaut), Oberhaut, Schleimhäute, Schweiß- und Tränendrüsen Es schützt gegen bestimmte Augenerkrankungen (Hornhauteintrocknung und ihre Folgeerscheinungen); es mindert Anfälligkeit für einige Infektionskrankheiten	Milch (nicht in Magermilch), Milchprodukten (Butter, Fettkäse; im Winter weniger als im Sommer, da kein Grünfutter), fettreichen Fischen (Lebertran), Leber, Niere, Herz; *Karotin* (Vorstufe des Vitamins A) in grünen Pflanzenteilen (Spinat), Karotten, vielen Früchten, Eigelb
Vitamin B_1 (Thiamin, früher auch Aneurin)	ermöglicht normalen Ablauf des Kohlenhydratstoffwechsels; Nervenschutzstoff (insbesondere gegen Beriberi)	1936	wasserlöslich, hitzeempfindlich, schnelle Zersetzung in alkalischem Milieu	Nerven, Herz, Muskulatur; Kohlenhydrat-, Eiweiß-, Fettstoffwechsel und Wasserhaushalt sind gestört Es schützt gegen die *Beriberi*krankheit, eine Nervenentzündung, die sich in Lähmungen äußert	Getreide (Vollkornmehl, wesentlich weniger in Feinmehlen!), Reis (unpoliert!), Kleie, Kartoffeln, Gemüse, Muskulatur, Eigelb, Leber, Niere, Fischen, Milch
Vitamin B_2 (Riboflavin, früher auch Lactoflavin)	Bestandteil des gelben Atmungsfermentes; für den gesamten Stoffwechsel unentbehrlich	1935	wasserlöslich, hitzebeständig, lichtempfindlich	besonders Haut, Schleimhäute und Augen; ferner tritt Wachstumsstillstand ein	jeder tierischen und pflanzlichen Zelle; vor allem in Hefe, Getreidekeimlingen, Leber, Niere. (Bei vernünftiger Ernährung ist Mangel kaum zu befürchten)
Vitamin PP (Nikotinsäureamid)	Bestandteil wasserstoffübertragender Fermente	1937	wasserlöslich, hitzebeständig	Haut, Verdauungskanal, Zentralnervensystem Es schützt gegen die Krankheit *Pellagra*, die vor allem dort auftritt, wo Mais Hauptnahrungsmittel ist	Leber, Muskeln, Milch, Weizenkeimlingen, Hefe, Maisgenuß erfordert besonders große Zufuhr von Nikotinsäureamid
Vitamin-B_6-Gruppe (Pyridoxin, früher auch Adermin)	als Fermentbestandteil wichtig für den Eiweißstoffwechsel	1939	wasserlöslich, hitzebeständig, lichtempfindlich	Haut, Nervensystem, Blut (bisher nur im Tierversuch beobachtet). Wird mit zur Bekämpfung der Pellagra verwendet	Hefe, Leber, Weizenkeimlinge, Dorschrogen, Heringsmilch, Sojabohnen, Muskulatur
Pantothensäure	Baustein für Fermente	1940	wasserlöslich, hitze- und alkalilabil	bei Tieren krankhafte Veränderungen an Nebennieren, Haut und Schleimhäuten; Ergrauen der Haare, Wachstumsstörungen	sehr verbreitet; besonders reichlich in Hefe, Leber, Niere, Eigelb, Kleie. Kann von Darmbakterien gebildet werden

Vitamin-B_{12}-Gruppe (Cobalamin)	entspricht dem Extrinsicfaktor; wichtig für Blutbildung	chemisch nicht genau bekannt	wasserlöslich, hitzebeständig	Fehlen führt zur perniziösen Anämie, es werden atypische rote Blutkörperchen gebildet	vorwiegend Leber, Muskeln; von vielen Bakterien und niederen Pilzen gebildet (Darm, Streptomyzinproduktion)
Vitamin C (Askorbinsäure)	aktiviert viele Fermente; schützt körpereigene Stoffe vor Oxydation; Skorbutschutzstoff	1932	wasserlöslich, sehr sauerstoff- und hitzeempfindlich; Askorbinsäuregehalt der Nahrungsmittel sinkt beim Lagern schnell	Blutgefäße, Zahnhalteapparat, Knochen. Mangel führt zu *Skorbut*, Blutungen, *Möller-Barlow*scher Krankheit (bei Säuglingen), erhöhter Anfälligkeit für Infektionskrankheiten	Milch, Frauenmilch, grünen Pflanzen (Salaten, Kohlarten), Kartoffeln, Zwiebeln, Radieschen, Zitronen, Orangen, Paprikaschoten, Hagebutten. Wird beim Kochen z. T. zerstört
Vitamin-D-Gruppe (Calciferol)	unentbehrlich für normalen Kalk- und Phosphorstoffwechsel (Knochenaufbau)	1935	fettlöslich, hitzebeständig, lichtempfindlich	Knochen. Es fördert den Kalkeinbau in den Knochen, verhütet und heilt Englische Krankheit oder *Rachitis*	Lebertran, Fischen, Eigelb, Vollmilch, Butter, grünen Pflanzen. Entsteht bei Ultravioletbestrahlung in der Haut, in Pilzen (Hefe) aus seinen Vorstufen (z. B. *Ergosterin*), Fensterglas hält ultraviolettes Licht zurück!
Vitamin E (Tocopherol)	setzt Sauerstoffverbrauch herab; bei Tieren nötig zur Fortpflanzung	1938	fettlöslich, sehr hitzebeständig, sauerstoff- und lichtempfindlich	bei Tieren; Blutgefäße, Keimdrüsen, Muskulatur; es kommt zu Fehlgeburten und Sterilität	Getreidekeimlingen, Vollkornmehl, Weizenkeimöl, Leinöl, Oliven, Salat, Brunnenkresse, Fleisch, Leber, Schweinefett, Milch, Butter, Eidotter; Plazenta
Vitamin H (Biotin)	unentbehrlicher Wuchsstoff für zahlreiche Organismen	1943	wasserlöslich, hitzebeständig, sauerstoffempfindlich	Haut und Schleimhäute. Vermehrter Bedarf an Vitamin H bei Genuß großer Mengen rohen Eiklars	Eigelb, Milch; Leber, Niere (Kochen verbessert Ausnützung); Hefe, Reiskleie. Wird von Darmbakterien gebildet
Vitamin K (Phyllochinon)	ermöglicht Bildung eines Blutgerinnungsfermentes	1939	fettlöslich, lichtempfindlich	Verlangsamung der Blutgerinnung; es kommt leichter zu größeren, auch inneren Blutungen	grünen Pflanzenteilen (Blättern, weniger in Früchten), Leber, Muskeln, Eigelb. Wird von Darmbakterien gebildet
Vitamin Bc (Pteroglutaminsäure, früher auch Folsäure)	beeinflußt Blutbildung	1946	bedingt wasserlöslich, hitzebeständig	Fehlen hat die Bildung atypischer roter Blutkörperchen zur Folge. (Es besteht enge Beziehung zum Vitamin B_{12})	Spinat, Kartoffeln, Hefe, Leber, Nieren, Muskeln

Vitamine sind lebensnotwendige organische Verbindungen von meist komplizierter chemischer Zusammensetzung, die, ohne selbst für den Aufbau der Zellen in Frage zu kommen, als reine Wirkstoffe für einen normalen Ablauf des Zellstoffwechsels und damit für Wachstum und Erhaltung des Körpers unentbehrlich sind. Sie sind schon in sehr kleinen Mengen wirksam. Viele von ihnen stehen in enger Beziehung zu wichtigen körpereigenen Fermenten und Hormonen. Man unterscheidet *fettlösliche* und *wasserlösliche* Vitamine. Die hier aufgeführten Vitamine sind zum Teil Vertreter ganzer *Vitamingruppen* (B-Gruppe, D-Gruppe).
Der Körper vermag im allgemeinen seine Vitamine nicht selbst aufzubauen, ist vielmehr auf ihre *Zufuhr* angewiesen. Bei vernünftiger vielseitiger Ernährung reichen in fast allen Fällen die in der Nahrung enthaltenen Mengen für den gesunden Erwachsenen aus. Ungenügende Zufuhr führt meist zu schweren Störungen. Einige Vitamine (z. B. A, D) können dann auch zu Krankheitserscheinungen führen, wenn sie im Übermaß aufgenommen werden. Viele Vitamine werden heute bereits künstlich (*synthetisch*) hergestellt.

Der durchschnittliche tägliche Vitaminbedarf des gesunden Menschen

	Alter in Jahren	A IE[1]	B_1 mg	B_2 mg	Nicotinsäureamid mg	C mg	D IE[2,3]
Männer	25	5000	1,6	1,6	16	75	—
	45	5000	1,5	1,6	15	75	—
	65	5000	1,3	1,6	13	75	—
Frauen	25	5000	1,2	1,4	12	70	—
	45	5000	1,1	1,4	11	70	—
	65	5000	1,0	1,4	10	70	—
Schwangere (letztes Drittel)		6000	1,5	2,0	15	100	400
Stillende		8000	1,5	2,5	15	150	400
Säuglinge	bis 3 Monate	1500	0,3	0,4	3	30	400
	4···9 Monate	1500	0,4	0,7	4	30	400
	10···12 Monate	1500	0,5	0,9	5	30	400
Kinder	1···3	2000	0,6	1,0	6	35	400
	4···6	2500	0,8	1,2	8	50	400
	7···9	3500	1,0	1,5	10	60	400
Knaben	10···12	4500	1,3	1,8	13	75	400
	13···15	5000	1,6	2,1	16	90	400
	16···20	5000	1,9	2,5	19	100	400
Mädchen	10···12	4500	1,2	1,8	12	75	400
	13···15	5000	1,3	2,0	13	80	400
	16···20	5000	1,2	1,9	12	80	400

[1] 1 IE (Internationale Einheit) Vitamin A entspricht 0,3 µg
[2] 1 IE (Internationale Einheit) Vitamin D entspricht 0,025 µg
[3] Der Vitamin-D-Bedarf scheint für Erwachsene, die ein gesundes und normales Leben führen, gering zu sein. Bei Nachtarbeitern, Personen, deren Kleidung das Sonnenlicht fernhält, und älteren Leuten ist die Zufuhr kleiner Mengen Vitamin D erwünscht.

Vitaminversorgung

Vitamin A. Vom Spätfrühjahr bis zum Dezember besonders durch Gemüse; vom Januar bis zum Mai (Höhepunkt des Vitamin-A-Mangels) durch Butter, Milch, (Leber-) Wurst, Seefische (besonders Rogen und Milch).

Vitamin B. Vollkornbrot (hochausgemahlen), Kartoffeln und Gemüse liefern das ganze Jahr hindurch ausreichende Mengen. Da Vitamin B wasserlöslich und leicht auslaugbar ist, darf Kochwasser nicht weggeschüttet werden. Nährhefe ist eine sehr wichtige Vitamin-B-Quelle.

Vitamin C. Da beim Kochen leicht zerstörbar (besonders in eisernen und kupfernen Gefäßen, durch langdauerndes Kochen in Kochkisten), ist sorgfältigste Zubereitung der Speisen äußerst wichtig. Neben rohem Gemüse u. a. ist die Hauptquelle die *Kartoffel.* Völliger Vitaminverlust tritt ein, wenn geschälte Kartoffeln stundenlang an der Luft stehen; geschälte Kartoffeln im Wasser verlieren durch Auslaugen den größten Teil ihres Gehaltes an Vitamin C und B. Deshalb: geschälte, zerschnittene Kartoffeln (und Gemüse) sofort ins Kochwasser, so kurz wie möglich kochen (Kochkiste meiden!). Im Herbst und Winter genügen täglich $^1/_2$ kg Kartoffeln, um den gesamten Bedarf an Vitamin C zu decken, im Frühjahr und Sommer $^3/_4$ bis 1 kg (Vitaminverlust!).

In der DDR hergestellte Vitaminpräparate

Vitamin	Name	Form	Hersteller
A (Retinol, früher Axerophthol)	Vitamin A	ölige Lösung 1 cm³ = 50000 IE	VEB Arzneimittelwerk Dresden
		kristallisiertes Vitamin A	
B_1 (Thiamin, früher auch Aneurin)	Vitamin B_1	Tabletten zu 0,003 g Vitamin B_1	VEB Arzneimittelwerk Dresden
	Vitamin B_1	Tabletten zu 0,005 g Vitamin B_1	VEB Jenapharm Jena
	Vitamin B_1	Ampullen zu 0,005 g Vitamin B_1	VEB Arzneimittelwerk Dresden

(*Fortsetzung*)

Vitamin	Name	Form	Hersteller
	Vitamin B_1	Ampullen zu 0,025 g Vitamin B_1	VEB Arzneimittelwerk Dresden
			VEB Jenapharm Jena
	Vitamin B_1	Ampullen zu 0,1 g Vitamin B_1	VEB Arzneimittelwerk Dresden
			VEB Jenapharm Jena
B_2-Komplex (Nikotinsäureamid)	Nikotinsäureamid	Tabletten zu 0,2 g Nikotinsäureamid	VEB Jenapharm Jena
	Nikotinsäureamid	Ampullen zu 0,1 g Nikotinsäureamid	VEB Jenapharm Jena
			VEB Arzneimittelwerk Naumburg
C (Askorbinsäure)	Ascorvit	Tabletten zu 0,05 g Vitamin C	VEB Jenapharm Jena
	Ascorvit	Ampullen zu 0,1 g Vitamin C	VEB Jenapharm Jena
	Ascorvit forte	Tabletten zu 0,2 g Vitamin C	VEB Jenapharm Jena
	Ascorvit forte	Ampullen zu 0,5 g Vitamin C	VEB Jenapharm Jena
D_2 (Ergocalciferol, früher Calciferol)	Dekristol	ölige Lösung 1 cm^3 = 20000 IE kristallisiertes Vitamin D_2	VEB Jenapharm Jena
	Dekristol forte	ölige Lösung 1 cm^3 = 400000 IE kristallisiertes Vitamin D_2	VEB Jenapharm Jena
	Mykostin forte	Tabletten enthalten 20000 IE Vitamin D_2 je Gramm	Dr. Ponsold Co. Oschersleben
	Mykostin forte	Pulver enthält 20000 IE Vitamin D_2 je Gramm	Dr. Ponsold Co. Oschersleben
E (Tokopherol)	Vitamin E	Dragées zu 0,01 g Vitamin E	Pharmasan GmbH Halle
	Vitamin E	Ampullen zu 0,03 g Vitamin E	Pharmasan GmbH Halle
	Vitamin E forte	Dragées zu 0,05 g Vitamin E	Pharmasan GmbH Halle
K (Methylnaphthochinon-Natriumbisulfit)	Vitamin K	Tabletten zu 0,01 g Vitamin-K-Wirkstoff	VEB Pharmazeutisches Werk Johannistal
	Vitamin K	Ampullen zu 0,01 g Vitamin-K-Wirkstoff	VEB Pharmazeutisches Werk Johannistal
Multivitaminpräparat	Summavit	Dragées	VEB Jenapharm Jena

VIII. Drüsen und Wirkstoffe

EXKRETIONS- UND SEKRETIONSDRÜSEN

Alle Sekretions- („echten") Drüsen besitzen besondere Ausführungsgänge, durch die sie ihre Säfte (Sekrete) in oder auf den Körper absondern. Auch Milz und Nieren sind solche drüsige Organe. Bei den Nieren, die für den Körper unbrauchbare Stoffe (Exkrete) ausscheiden, spricht man wie bei den Schweißdrüsen nicht von Sekretion, sondern von *Exkretion.*

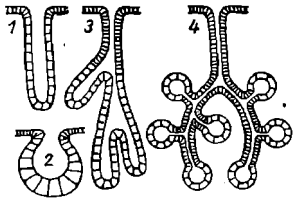
Schweißdrüsen. Sie liegen in der Haut und scheiden ein wäßriges, zum Teil auch fetthaltiges Exkret, den Schweiß, aus, der mit Abfallstoffen (z. B. Harnstoff; Harn- und Fettsäuren) und anorganischen Substanzen (hauptsächlich Kochsalz, aber auch Phosphaten, Sulfaten) beladen ist, die dem Blutreinigungsprozeß entstammen. Die tägliche Schweißabgabe beträgt $^1/_2$ *l*. Sie kann unter besonderen Umständen auf ein Mehrfaches ansteigen (s. a. Tabelle Schweißdrüsen).

Talgdrüsen. Sie stehen fast stets in Verbindung mit einem Haarbalg. Ihre Absonderung fettet die Haut ein und hält sie geschmeidig; Verstopfung hat Pickel und „Mitesser" zur Folge.

Schleimdrüsen. Sie sind in sämtliche Schleimhäute eingebettet und dienen dazu, diese feucht und schlüpfrig zu halten.

Drüsen, deren Säfte zur *Verdauung* benötigt werden: Speichel-, Magen-, Darmdrüsen, Bauchspeicheldrüse, Leber (s. Verdauungsorgane).

Milchdrüsen (bei der Frau). Der mehrlappige Drüsenkörper sitzt auf dem großen Brustmuskel auf. Die einzelnen Lappen sind von Fettgewebe umhüllt, das den Brüsten ihre halbkugelige Form gibt. Ihre Milchgänge münden in die Brustwarzen ein und enden in Milchporen. Nach den Wechseljahren schwinden die Drüsenkörper. Während der Stillzeit werden täglich 500 bis 1500 cm³ Milch erzeugt. Die auch beim Mann in der Anlage vorhandenen Milchdrüsen verkümmern.



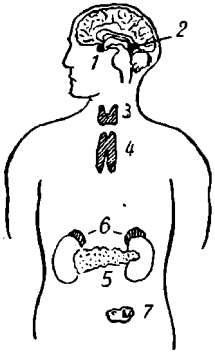
Drüsenformen (schematisch)
1 tubulöse Drüse (z. B. Schweißdrüsen), 2 alveoläre (acinöse) Drüse (z. B. Talgdrüsen), 3 verästelte tubulöse Drüse (z. B. Magendrüsen), 4 verästelte alveoläre Drüse (z. B. Talgdrüsen)

Keimdrüsen. Beim Mann die Hoden, bei der Frau die Eierstöcke. Sie dienen zur Erzeugung der Keimzellen (Samenfäden und Eier) und der Geschlechtshormone.

INKRETDRÜSEN

Die („unechten") Drüsen mit innerer Absonderung, auch Blutdrüsen genannt, haben keine Ausführungsgänge, sondern geben ihre Sekretionsprodukte (*Inkrete* oder Hormone) in meist sehr geringen Mengen unmittelbar in die Blutbahn ab. Einige Drüsen, wie z. B. die Bauchspeicheldrüse haben gemischte Funktionen.

Hirnanhang (*Hypophyse*). Ein an der unteren Hirnfläche an einem Stiel sitzendes, etwa bohnengroßes Organ von etwa $^1/_2$ g Gewicht. Der Hinterlappen steht durch Nerven in engster Verbindung mit den vegetativen Zentren des Zwischenhirns. Vorder- und Hinterlappen scheiden Hormone ab, die wichtige Lebensfunktionen steuern (z. B. das Wachstum) oder anregen (z. B. die Keimdrüsen, die Darmperistaltik). Störungen der Absonderung des Vorderlappens führen zu Zwergwuchs oder zu Riesenwuchs des ganzen Körpers oder einiger Organe (z. B. Kopf, Zunge, Hände, Füße). Auch können abnorme Behaarung sowie Verblödung eintreten.



Inkretdrüsen des Menschen
1 Hirnanhang, 2 Zirbeldrüse, 3 Schilddrüse, 4 Thymusdrüse, 5 Langerhanssche Inseln, 6 Nebenniere, 7 Keimdrüsen

Zirbeldrüse (*Epiphyse*). Die Zirbeldrüse (etwa $^1/_5$ g Gewicht) liegt zwischen Groß- und Kleinhirn und bildet sich nach dem 7. Lebensjahr wieder zurück. Ihr Hormon hat Einfluß auf Längenwachstum und Keimdrüsen (verhindert geschlechtliche Frühreife).

Schilddrüse. Ein aus mehreren, reichlich durchbluteten Lappen bestehendes Organ von 20 bis 30 g Gewicht, das sich wie ein Schild um den oberen Teil der Luftröhre herumlegt. Erkrankt, kann die Schilddrüse zu einem großen „Kropf" anschwellen. Ihr Ausfall hemmt im Entwicklungsalter das Längenwachstum und führt zur Verblödung (Kretinismus). Die Schilddrüse beeinflußt durch ihre Hormone, die das mit der Nahrung in kleinsten Mengen aufgenommene Jod enthalten, den Stoffwechsel.

Nebenschilddrüsen (Epithelkörperchen). Die 4 *Epithelkörperchen* sind etwa linsengroß und liegen auf der Rückseite der Schilddrüse. Ihr Hormon hat im Stoffwechsel entgiftende Wirkungen und ist besonders für den Kalkstoffwechsel (Festigkeit der Knochen und Zähne!) von Bedeutung.

Thymusdrüse (Bries). Ein 4 bis 6 cm langes, 3 bis 4 cm breites, 15 bis 35 g schweres, zweilappiges Organ, das im oberen Teil der Brusthöhle unterhalb der Schilddrüse liegt. Es bildet sich nach Eintreten der Pubertät zurück und verfettet. Sein Hormon (Wachstumshormon) hat bei Kindern Einfluß auf die Bildung der Knochen und die Entwicklung der Keimdrüsen.

Langerhanssche Inseln. Kleine Zellgruppen in der Bauchspeicheldrüse, die das für den Kohlenhydrat- (insbesondere Zucker-) Stoffwechsel wichtige Pankreashormon (*Insulin*) erzeugen.

Nebennieren. Auf dem oberen Ende jeder Niere kappenförmig aufsitzende kleine Drüsen, die aus zwei wesentlich verschiedenen Organen bestehen: der Rinde und dem Mark. Das Hormon der Marksubstanz, das *Adrenalin* (heute auch synthetisch herstellbar), steigert den Blutdruck und regelt durch Verengerung und Erweiterung der Haargefäße in den Bauchorganen, im Gehirn und den Gliedmaßen die Verteilung des Blutes im Körper. Schon winzigste Mengen sind wirksam. $^1/_{1000}$ g kann bereits den Tod zur Folge haben. Adrenalin beschleunigt die Herztätigkeit und wirkt blutstillend. Das Hormon der Rindensubstanz, das *Corticosteron*, hat tiefgreifenden Einfluß auf die Zusammensetzung des Blutes und auf den Stoffwechsel. Sein Ausfall wirkt tödlich.

Keimdrüsen. Die Keimdrüsen erzeugen außer den Keimzellen auch noch wichtige Hormone (*Sexualhormone*), die die Entwicklung der Geschlechtsorgane und die mit der Fortpflanzung zusammenhängenden physiologischen Funktionen regeln.

HORMONE

Hormon	Entstehungsort	Wirkung
Wachstumshormon	Vorderlappen der Hypophyse (Hirnanhang)	steuert das Körperwachstum
Gonadotrope Hormone (Prolan A und B)		beeinflussen als „übergeordnete Sexualhormone" Menstruation und Schwangerschaft
Thyreotropes Hormon		beeinflußt Schilddrüsentätigkeit
Prolaktin		löst Milchsekretion aus
Corticotropes und weitere Stoffwechselhormone		Beeinflussung von Nebennierenrinde, Nebenschilddrüse u. Bauchspeicheldrüse. Beeinflussung des Fett- und Kohlenhydratstoffwechsels. Gegensätzliche Wirkung zum Insulin
Pigmenthormon	Zwischenlappen der Hypophyse	regelt Hautfärbung (Pigmentierung)
Vasopressin	Hinterlappen der Hypophyse	steigert den Blutdruck, regelt die Peristaltik des Darms
Oxytocin		bewirkt Zunahme der Kontraktion bei der glatten Muskulatur von Darm, Gebärmutter, Harnblase
Adiuretin		die Harnausscheidung einschränkendes Hormon
Schilddrüsenhormon	Schilddrüse	paßt den Stoffwechsel den augenblicklichen Bedürfnissen an
Epithelkörperchenhormon	Epithelkörperchen	regelt Kalkstoffwechsel
Insulin	Langerhanssche Inseln der Bauchspeicheldrüse	bewirkt *Zuckerspeicherung* in der Leber und *-verbrauch* in den Muskeln (Unterfunktion führt zu Zuckerkrankheit)
Adrenalin (künstlich: *Suprarenin*)	Markschicht der Nebennieren	steigert den Blutdruck, mobilisiert den Blutzucker (Gegenspieler des Insulins)
Corticosteron (Cortison)	Rindenschicht der Nebennieren	regelt Wasserverteilung im Körper, beeinflußt Nierentätigkeit, regelt Mineral-, Cholesterinstoffwechsel, Abbau von Fetten und Kohlenhydraten; heilend bei rheumatischer Gelenkerkrankung
Adrenosteron		schafft männliches Gepräge, regelt den Geschlechtstrieb
Androsteron	Hoden	schaffen männliches Gepräge, regeln den Geschlechtstrieb
Testosteron		
Östron (Follikelhormon)	Eierstöcke	regeln Ausbildung von Eileitern, Gebärmutter, Scheide; bedingen den Geschlechtstrieb
Östriol (Hydrat des Follikelhormons)		
Östradiol (Dihydro-Follikelhormon)		
Progesteron (Gelbkörperhormon)	Gelbkörper des Eierstockes (Corpus luteum)	regelt Schwangerschaftserscheinungen, verhindert nach erfolgter Befruchtung weitere Schwangerschaften
Sekretin	Magen	löst Absonderung von Verdauungssaft der Bauchspeicheldrüsen aus
Cholin	Darmschleimhaut	löst Darmbewegung (*Peristaltik*) aus

Hormone, deren wichtigste hier aufgeführt sind, sind Absonderungen (Inkrete) der Drüsen mit innerer Sekretion. Sie stehen den Vitaminen sehr nahe. Es sind lebenswichtige Stoffe, die schon in sehr geringen Mengen auf dem Weg über die Blutbahn anregend oder hemmend auf Lebensvorgänge einwirken, insbesondere deren chemischer Regulierung dienen. Bei ungenügender Hormonbildung kommt es meist zu schweren körperlichen und geistigen Störungen. Einige Hormone, deren Aufbau bekannt ist, können künstlich (synthetisch) hergestellt werden. Die hervorragende Bedeutung dieser Tatsache geht daraus hervor, daß z. B. zur natürlichen Gewinnung von 1 kg des (synthetisch herstellbaren) Sexualhormons *Testosteron* die entsprechenden Stoffe von nicht weniger als 12 Millionen Stieren erforderlich wären.

FERMENTE

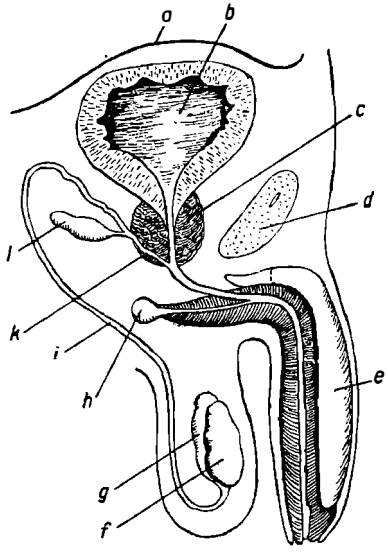
Name	enthalten im	Wirkung
Ptyalin	Speichel	wandelt Stärke in Dextrin (Zwischenstufe zum Traubenzucker) um
Labferment	Magensaft (des Säuglings)	bringt Milcheiweiß zum Gerinnen (Parakasein)
Lipase	Bauchspeichel (durch Galle aktiviert)	zerlegt Fette
Pepsin	Magensaft	wandelt Eiweißstoffe in Peptone um
Trypsin (ein Fermentgemisch)	Bauchspeichel (Pankreassaft)	spaltet Eiweiß

Fermente (*Enzyme*), von denen hier nur die bekanntesten aufgeführt sind, sind sehr wichtige Wirkstoffe im Stoffwechselprozeß und von meist noch unbekannter, komplizierter chemischer Struktur. Sie entstehen nur in lebenden Zellen und bewirken chemische Umsetzungen, spalten die meist ihrerseits kompliziert aufgebauten und in dieser Form für den Körper nicht verwertbaren organischen Verbindungen unserer Nahrungsmittel in einfachere, für den Körper verwertbare Stoffe auf, ohne sich dabei selbst zu verändern.

IX. Fortpflanzung, Wachstum, Alter, Tod

GESCHLECHTSORGANE

Männliche Geschlechtsorgane. Der im Hoden gebildete und im Nebenhoden gespeicherte Samen gelangt von dort durch den *Samenleiter* (-strang), der durch den Leistenkanal in die Bauchhöhle führt, in den oberen Teil der Harnröhre. Kurz vor seiner Einmündung in die Harnröhre durchbohrt der Samenleiter mit seinem *Ausspritzungsgang* die etwa kastaniengroße *Vorsteherdrüse*, hinter der sich an der hinteren Blasenwand die *Samenbläschen* befinden. Die Absonderungen der Vorsteherdrüse und der Samenbläschen mischen sich dem Samen, einer weißlichen Flüssigkeit, die die eigentlichen Samenfäden (-zellen) enthält, bei. Der Übertragung der Samenfäden in die weiblichen Geschlechtsorgane dient das *männliche Glied* (*Penis*), das von der sowohl den Harn wie den Samen abführenden *Harnröhre* durchzogen wird. Diese ist von *Schwellkörpern*, d. h. blutgefäßreichen, schwammigen Geweben, umgeben, die, sich prall mit Blut füllend, das Glied zu versteifen vermögen und so die Begattung ermöglichen.



Männliche Geschlechtsorgane

a Bauchfell, b Harnblase, c Vorsteherdrüse, d Schambein, e Schwellkörper des Penis, f Hoden, g Nebenhoden, h Cowpersche Drüse, i Samenleiter, k Samenausführgang, l Samenblase

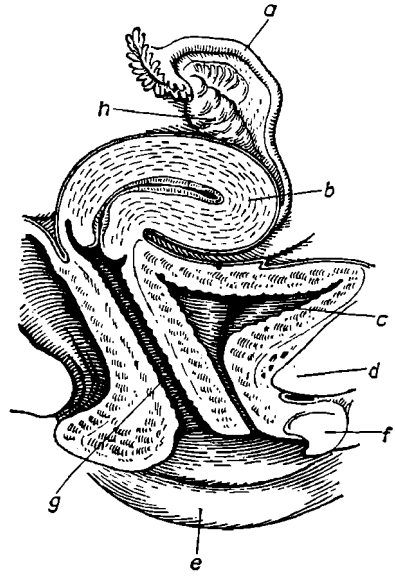
Die Hoden

Länge	4···5,5 cm
Breite	2···3,5 cm
Masse	25···30 g

Die beiden eiförmigen Hoden sind die *Keimdrüsen* des Mannes; sie bilden den männlichen *Samen* (*Sperma*). Jeder Hoden besteht aus etwa 600 *Samenkanälchen*, der eigentlichen Bildungsstätte der Samenzellen, zwischen denen sich Blut- und Lymphgefäße, Nerven und Bindegewebe befinden. Die Samenkanälchen vereinigen sich zu mehreren größeren Kanälen, die als Ausführungsgänge in den dem Hoden anliegenden *Nebenhoden* führen, ein langes, geknäueltes Rohr, das als Samenspeicher dient. Die Hoden liegen im *Hodensack*, einer zweiteiligen Hauttasche mit einer Wand aus glatten Muskelfasern.
Außer den Samenzellen entstehen in den Hoden noch verschiedene *Hormone*, die u. a. die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale, des männlichen Gepräges (Bart, Stimme usw.) bestimmen.

Die weiblichen Geschlechtsorgane. Die in den Eierstöcken gereiften Eier gelangen durch die 8 bis 10 cm langen *Eileiter* (Muttertrompeten, Tuben), zwei dünne, gewundene, an ihren oberen Enden trichterförmige Röhren, die zur Weiterbeförderung der Eier mit Flimmerepithel (-schleimhaut) ausgekleidet sind, in die Gebärmutter. Die *Gebärmutter* (*Uterus*), das Zentralorgan des weiblichen Geschlechtsapparates, ist ein hohler, birnenförmiger Muskel, der, leicht nach vorn geneigt, zwischen Blase und Mastdarm liegt. Ihr unterer, verengter Teil, der *Gebärmutterhals*, reicht 2 bis 3 cm weit in die Scheide hinein und hat vorn eine querspaltförmige Öffnung, den äußeren *Muttermund*, durch den die im Begattungsakt in die Scheide gelangten (männlichen) Samenfäden in die Gebärmutter einwandern. Die *Scheide* (*Vagina*) ist ein mit Schleimhaut ausgekleideter, durch viele Querfalten sehr erweiterungsfähiger (Geburtsakt!) Schlauch von etwa 10 cm Länge, hinter der ziemlich kurzen Harnröhre im kleinen Becken gelegen, dessen ovale Öffnung, der Scheideneingang, im jungfräulichen Zustand durch eine halbmondförmige Schleimhautfalte, das *Jungfernhäutchen*, teilweise verschlossen ist.

Der Scheideneingang leitet zu den *äußeren Geschlechtsorganen* über. Sie bestehen im wesentlichen aus den kleinen (inneren) Schamlippen, die vorn den *Kitzler* (*Klitoris*), ein sehr nervenreiches, der Eichel (vorderer Teil des Penis) des Mannes entsprechendes Organ, umfassen, und den großen (äußeren) *Schamlippen*, die als Schutzhülle alles umschließen. Zwischen den kleinen Schamlippen mündet die Harnröhre.



Weibliche Geschlechtsorgane
a Eileiter, b Gebärmutter, c Harnblase, d Schambein, e Schamlippe, f Schwellkörper, g Scheide, h Eierstock

Die Eierstöcke

Länge	2,5···5 cm
Breite	2 cm
Masse	5···8 g

Die beiden mandelförmigen Eierstöcke sind die *Keimdrüsen* der Frau; in ihnen bilden sich die weiblichen Keimzellen, die Eier. Die Eierstöcke liegen zu beiden Seiten der Gebärmutter, etwa 6 bis 8 cm von ihr entfernt und durch das sehnige *Eierstocksband* mit ihr verbunden, an der Außenwand des kleinen Beckens. Eingehüllt sind sie in eine Falte des Bauchfells, die sogenannten breiten *Mutterbänder*. Ihr Inneres wird durch Bindegewebe, Blutgefäße und Nerven ausgefüllt, in ihrer Rinde entstehen in den (Graafschen) Follikeln die Eier. Diese bis etwa erbsengroßen *Eifollikel* (Bläschen) enthalten außer dem Ei eine klare Flüssigkeit. Nach der Eireifung, die meist in der Mitte des Menstruationszyklus stattfindet (etwa am 14. bis 17. Tag bei 28tägigem Zyklus), platzt der Follikel, und die Flüssigkeit schwemmt das Ei in das trichterförmige Ende des Eileiters hinein, in dem wahrscheinlich die Befruchtung stattfindet. Von hier aus wird das Ei in die Gebärmutter befördert. Wird das Ei nicht befruchtet, so geht es nach etwa 8 Tagen zugrunde und wird im Zuge der *Menstruation* mit abgestoßen.

Fortpflanzungszellen. Die männlichen *Samenfäden* (*Spermatozoen*, Spermien) sind *bewegliche* Zellen, die durch die schlagende Bewegung ihres langen Schwanzes vorwärts getrieben werden. In der weiblichen Scheide vor den äußeren Muttermund gelangt, wandern sie durch den Gebärmutterhals aufwärts in die Gebärmutter und den Eileiter ein. Ein einziger Samenfaden, der in ein bereitliegendes Ei einzudringen vermag, vollzieht die Befruchtung: Die Entwicklung eines neuen Lebewesens beginnt.

Die *Eier* sind sämtlich, wenn auch noch unentwickelt, in den Eierstöcken des neugeborenen Mädchens bereits vorhanden (etwa 300000). Zur Zeit der Geschlechtsreife beginnt ihr Wachstum. Nur wenige gelangen zur Reife (im allgemeinen alle 4 Wochen nur eins), die meisten verkümmern.

Die *männliche Zelle* (Samenfaden)

Länge etwa	0,05···0,06 mm
davon Kopf	0,004 mm
Halsteil	0,006 mm
Schwanz	0,041···0,052 mm
Fortbewegungsgeschwindigkeit	3 mm/s
Lebensdauer in der Scheide	48···62 Stunden
Zahl der Samenfäden in 1 mm³ Samenflüssigkeit	rund 60000
also bei einer Begattung	etwa 200 Millionen

Die *weibliche Zelle* (Ei)

Durchmesser des reifen Eies		0,11···0,14 mm
Zahl der Eier in den Eierstöcken (beim neugeborenen Mädchen)	etwa	300000
Zahl der im Laufe des Lebens heranreifenden Eier	etwa	400
Die Eireifung beginnt im Alter von		14···16 Jahren
Die Eireifung hört auf im Alter von		45···50 Jahren

SCHWANGERSCHAFT UND GEBURT

Schwangerschaftskalender

Letzte Periode		Tag der Geburt		Letzte Periode		Tag der Geburt	
Januar	1	Oktober	8	Juli	5	April	12
Januar	5	Oktober	12	Juli	10	April	16
Januar	10	Oktober	17	Juli	15	April	21
Januar	15	Oktober	22	Juli	20	April	26
Januar	20	Oktober	27	Juli	25	Mai	1
Januar	25	November	1	Juli	28	Mai	4
Februar	1	November	8	August	1	Mai	8
Februar	5	November	12	August	5	Mai	12
Februar	10	November	17	August	10	Mai	17
Februar	15	November	22	August	15	Mai	22
Februar	20	November	27	August	20	Mai	27
Februar	25	Dezember	1	August	25	Juni	1
März	1	Dezember	6	August	28	Juni	4
März	5	Dezember	10	September	1	Juni	8
März	10	Dezember	15	September	5	Juni	12
März	15	Dezember	20	September	10	Juni	17
März	20	Dezember	25	September	15	Juni	22
März	25	Dezember	30	September	20	Juni	27
März	28	Januar	2	September	25	Juli	2
April	1	Januar	6	September	28	Juli	5
April	5	Januar	10	Oktober	1	Juli	8
April	10	Januar	15	Oktober	5	Juli	12
April	15	Januar	20	Oktober	10	Juli	17
April	20	Januar	25	Oktober	15	Juli	22
April	25	Januar	30	Oktober	20	Juli	27
April	28	Februar	2	Oktober	25	August	1
Mai	1	Februar	5	Oktober	28	August	4
Mai	5	Februar	9	November	1	August	8
Mai	10	Februar	14	November	5	August	12
Mai	15	Februar	19	November	10	August	17
Mai	20	Februar	24	November	15	August	22
Mai	25	März	1	November	20	August	27
Mai	28	März	4	November	25	September	1
Juni	1	März	8	November	28	September	4
Juni	5	März	12	Dezember	1	September	7
Juni	10	März	17	Dezember	5	September	11
Juni	15	März	22	Dezember	10	September	16
Juni	20	März	27	Dezember	15	September	21
Juni	25	April	1	Dezember	20	September	26
Juni	28	April	4	Dezember	25	Oktober	1
Juli	1	April	8	Dezember	28	Oktober	4

Faustregel zur Errechnung des Geburtstermins: 1. Tag der letzten Periode + 7 Tage − 3 Monate = Tag der Geburt.

Beispiel: Letzte Periode 1. Juli. 1. VII. + 7 = 8. VII. VII − III = IV. Voraussichtlicher Tag der Geburt: 8. IV. des folgenden Jahres.
Die Schwangerschaft dauert durchschnittlich 280 Tage, gerechnet vom 1. Tag der letzten Menstruation (Periode) an. Die *gesetzliche* Empfängniszeit nach § 1592 BGB reicht vom 181. bis zum 302. Tag (mit Einschluß dieser beiden Tage) vor der Geburt.

Frühnachweis der Schwangerschaft. Auf Grund von Hormon- und Fermentbildungen läßt sich eine Schwangerschaft schon sehr frühzeitig nachweisen.

Hormonbildung. Bereits in den ersten Tagen finden sich im Harn große Mengen des Hormons *Prolan.* Einspritzungen dieses Harns regen bei jungen Mäusen die Eierstöcke so an, daß eine große Zahl von Eibläschen (Follikeln) in 5 Tagen reifen (Blut tritt aus u. a. m.). Dasselbe Verfahren bewirkt beim männlichen Wasserfrosch das Auftreten von Samenfäden in der Kloake. Auf diese Weise läßt sich eine Schwangerschaft mit fast absoluter Sicherheit bereits nach (8 bis) 14 Tagen nachweisen. Ein geschlechtsreifes Weibchen des afrikanischen Krallenfrosches (*Xenopus laevis*) legt nach der Einspritzung von 1 bis 2 cm^3 Morgenharn einer Schwangeren bereits nach 6 bis 10 Stunden Eier ab. Bei männlichen Fröschen und Kröten regt das im Schwangerenharn enthaltene Prolan die Spermienbildung an, so daß schon nach 2 bis 3 Stunden zahlreiche Spermatozoen im Kloakeninhalt nachweisbar sind.

Fermentbildung. Bei Schwangeren werden Gewebezellen des sich bildenden Mutterkuchens (*Plazenta*) in die Blutbahn verschleppt. Daraufhin bildet das Blut Abwehrfermente, die das Plazentaeiweiß, und zwar nur dieses, auflösen. Wenn bei einem Versuch das Serum Plazentaeiweiß abzubauen vermag, dann besteht eine Schwangerschaft.

Der menschliche Embryo

Alter	Länge	Masse	Alter	Länge	Masse
4. Woche	10···13 mm	—	6. Monat	25···32 cm	700···1000 g
2. Monat	20 mm	—	7. Monat	33···36 cm	1,0···1,5 kg
3. Monat	9 cm	etwa 15 g	8. Monat	36···39 cm	1,5···2,0 kg
4. Monat	16 cm	150 g	9. Monat	40···42 cm	2,5···3,0 kg
5. Monat	23···28 cm	180···300 g	10. Monat	42···50 cm	3,0···3,5 kg

Erläuterung. Der Embryo (Frucht, Leibesfrucht), d. i. der aus der Eizelle entstandene, in der Entwicklung begriffene Organismus (in einem späteren Stadium der Entwicklung auch „Fetus" genannt), liegt von Hüllen (Häuten) und Fruchtwasser umgeben in der Gebärmutter, im Normalfall mit dem Kopf abwärts gegen den Muttermund gekehrt. Trotz aller Wandlungen und Verlagerungen bilden sich schon in den *ersten* Monaten alle wichtigen Organe heraus. Mit Beginn des vierten Monats ist die äußere Form so weit vollendet, daß tiefgreifende Umgestaltungen nicht mehr stattfinden.

Durch *Nabelschnur* und *Mutterkuchen* (*Plazenta*) ist der Embryo mit dem mütterlichen Körper verbunden; durch sie bezieht er seine Nahrung. In dem bis zu 1 kg schweren Mutterkuchen an der Gebärmutterinnenwand, aus dem die Nabelschnur hervorgeht, erfolgt die fetale *Atmung* (Übernahme des Sauerstoffs aus dem mütterlichen Blut); die Lunge atmet noch nicht.

Geburt. Die Geburt ist die selbsttätige Ausstoßung des ausgereiften Embryos aus dem Mutterleib. Sie beginnt (im Normalfall in der 40. Schwangerschaftswoche) oft schon Tage vor dem eigentlichen Gebärakt mit den *Vorwehen*, denen dann die immer häufiger und kräftiger auftretenden *Hauptwehen* folgen. Die Wehen, die einzigen natürlichen, d. h. nicht durch Krankheit oder äußere Einwirkungen (Verletzungen) verursachten Schmerzen des weiblichen Organismus, werden hervorgerufen durch die rhythmischen Zusammenziehungen der Gebärmutter, die schließlich das Kind austreiben.

Es sind folgende Phasen des Gebäraktes zu unterscheiden:

Die *Eröffnungszeit.* Die Wehen eröffnen die Geburtswege, dehnen vor allem den engen Gebärmutterhals. Dauer etwa $^4/_5$ des Geburtsaktes.

Die *Austreibungszeit.* Sie beginnt mit dem Springen der Fruchtblase und dem Abfließen des Fruchtwassers. Die Wehen steigern sich zu den heftigen Preßwehen, die zur Ausstoßung des Kindes führen.

Die *Nachgeburtszeit.* Dies ist der kürzeste und — nahezu schmerzlose — letzte Teil des Gebäraktes, in dem die Eihäute und der Mutterkuchen ausgestoßen werden.

Normalerweise dauert der Gebärakt 6 bis 24 Stunden. Je nach der Lage des Kindes bei der Ausstoßung spricht man von einer Kopf-, Gesichts- oder Steißgeburt. Die *Kopfgeburt* ist die häufigste.

Mehrlingsgeburten

Es kommen auf:
80 [80^1] Geburten ..... 1mal Zwillinge
6400 [80^2] Geburten ..... 1mal Drillinge
512000 [80^3] Geburten ..... 1mal Vierlinge

Bei *Zwillingen* ist zwischen eineiigen und zweieiigen zu unterscheiden. Die *eineiigen* Zwillinge, die aus ein und derselben (geteilten!) Eizelle stammen und einen gemeinsamen Mutterkuchen und gemeinsame äußere Eihüllen hatten, sind immer *gleichgeschlechtig* und *ähneln sich* in vielen körperlichen und seelischen Merkmalen (Wuchsform, Gesichtsschnitt, Krankheitsdisposition u. a.) oft sehr. Die aus zwei verschiedenen Eizellen hervorgegangenen Zwillinge gleichen sich dagegen nicht mehr als gewöhnliche Geschwister.

Die Häufigkeit des Geschlechts

Auf 100 neugeborene Mädchen entfielen in *Deutschland* neugeborene Knaben:

1913	105,4	1927	106	1933	106,5
1922	106,9	1930	106,1	1935	106,7

In Europa verhielten sich die Geburtenziffern im Durchschnitt der Jahre 1871 bis 1915 wie 100 (Mädchen) zu 106,7 (Knaben), woran sich nach neueren Feststellungen nicht viel geändert hat. In Australien besteht ein Verhältnis von 100:121!

DER SÄUGLING

Die wöchentliche Zunahme der Körpermasse beträgt etwa im

1. Monat	225 g	4. Monat	180 g	7. Monat	105 g	10. Monat	65 g
2. Monat	215 g	5. Monat	150 g	8. Monat	80 g	11. Monat	60 g
3. Monat	215 g	6. Monat	125 g	9. Monat	80 g	12. Monat	52 g

Tagesmenge an Muttermilch
(Durchschnittswerte)

Zeit	Menge	Zeit	Menge
2. Woche	500 g	10. Woche	820 g
4. Woche	600 g	20. Woche	900 g
8. Woche	800 g		

Eiweißgehalt der Muttermilch

Zeit	% Eiweiß	Eiweiß je Tag
1. bis 12. Tag	2,0···2,6	—
12. bis 30. Tag	1,1···2,0	5···12 g
2. bis 4. Monat	0,9···1,5	7···13,5 g

Menge und Zusammensetzung der Muttermilch passen sich dem Bedarf des Kindes an.

Zusammensetzung verschiedener Milcharten

Es enthalten	Eiweiß	Fett	Zucker	Salze
100 g Kuhmilch	3,4 g	3,4 g	4,7 g	1,7 g
100 g Ziegenmilch	4,5 g	4 g	4 g	0,8 g
100 g Muttermilch	1,2 g	4 g	7 g	0,2 g

Die Milcharten unterscheiden sich in der Zusammensetzung ihrer nährenden Bestandteile voneinander auf Grund der verschiedenen Bedürfnisse der Lebewesen, für die sie an sich bestimmt sind.

KINDESALTER, GESCHLECHTSREIFE, ALTER

Das Wachstum des Kindes

Alter	Durchschnittliche Körpermasse	Durchschnittslänge
Bei Geburt	3000···3500 g	50 cm
½ Jahr	6400 g	65 cm
1 Jahr	9500 g	70 cm
3 Jahre	14 kg	86 cm
10 Jahre	25 kg	127 cm
18 Jahre	54 kg	165 cm

Größenzunahme einiger Körperteile

Körperteil	absolute Größe beim Neugeborenen	Größenzunahme bis zum voll ausgebildeten Organ
Kopf	12,5 cm	nimmt zu um 75%
Rumpf	17,7 cm	nimmt zu um 188%
Arm	21,2 cm	nimmt zu um 265%
Bein	17,7 cm	nimmt zu um 400%

Entwicklungsstufen des menschlichen Lebens

Säuglingsalter		bis zum Ende des 1. Lebensjahres
Kindesalter		bis zum Ende des 14. (Mädchen) bzw. 16. Lebensjahres
neutrales Kindesalter		
(Knaben und Mädchen äußerlich gleich; Milchgebiß):		
Periode der 1. Fülle		1. bis 4. Lebensjahr
Periode der 1. Streckung		5. bis 7. Lebensjahr
bisexuelles Kindesalter		
(Knaben und Mädchen äußerlich unterschieden; Zahnwechsel):		
Periode der 2. Fülle	Knaben	8. bis 12. Lebensjahr
	Mädchen	8. bis 10. Lebensjahr
Periode der 2. Streckung	Knaben	13. bis 16. Lebensjahr
	Mädchen	11. bis 14. Lebensjahr
Pubertätszeit		bis zum Ende des 18. (Mädchen) bzw. 20. Lebensjahres
jüngere Erwachsenengeneration	18. bzw.	20. bis 35. Lebensjahr
Vollreife des Mannes		35. bis 50. Lebensjahr
Vollreife der Frau		35. bis 45. Lebensjahr
Wechseljahre der Frau		45. bis 50. Lebensjahr
Beginn des Alterns		50. bis 65. Lebensjahr
Wechseljahre des Mannes	um das	60. Lebensjahr
Alter	ab	65. Lebensjahr

Die Geschlechtsreifung. Die Geschlechtsreife (*Pubertät*) ist einer der wesentlichen Abschnitte in der Entwicklung des Organismus. Der Beginn der Funktion des Geschlechtsapparates ist durch den Eintritt der Regel bei der Frau genau anzugeben.
Das *Klima beeinflußt die Reife des Geschlechtsapparates* in erheblichem Maße. Nur so ist der große zeitliche Unterschied im Eintritt der ersten Regel zu erklären, der sich bei Untersuchungen von Angehörigen verschiedener Völker ergibt. Frühe Geschlechtsreife wird im allgemeinen in den Tropen beobachtet; die erste Regel tritt hier zwischen 10 und 14 Jahren ein. In den Ländern der gemäßigten Zone (Europa, Amerika, Korea und Japan) dagegen beginnt die Geschlechtsreife zwischen 13 und 16 Jahren und in den kalten Ländern erst zwischen 15 und 18 Jahren.
Aber auch der *Einfluß von Ernährung und Lebensweise* ist unbestreitbar. Wie zahlreiche Untersuchungen ergeben haben, verzögert sich bei schwer arbeitenden Bevölkerungsschichten der Eintritt der Geschlechtsreife, wohingegen er bei reger geistiger Tätigkeit und reichlicher Ernährung beschleunigt wird.

Die Wechseljahre. Die Wechseljahre (*Klimakterium*) sind die Jahre, in denen die Funktionen der Keimzellen *erlöschen*. Das Aufhören der Regel steht bei den Frauen aller Völker in direkter Beziehung zu ihrem Beginn und stellt sich also um so früher ein, als die Pubertät frühzeitig einsetzt. Die Wechseljahre setzen bei den Völkern der gemäßigten Zone bei der Frau zwischen dem 46. und 50. Lebensjahr, beim Mann nach dem 60. Lebensjahr ein.
Begleiterscheinungen dieser Umstellung, unter denen vor allem die Frau zu leiden hat, sind Herzbeschwerden, Kopfschmerzen, Blutandrang („fliegende Hitze"), nervöse Störungen, seelische Depressionen, Neigung zu Fettansatz.

Das Alter. Das Alter ist die letzte Stufe des Lebens, zugleich eine Phase der Rückentwicklung. Sein Beginn und sein Verlauf sind *individuell* höchst *verschieden*.
Die Ursachen des Alterns sind in *Strukturänderungen* des *Zellprotoplasmas* zu suchen: Die Gewebe beginnen zu schrumpfen. Der Vorgang des Alterns setzt bei den einzelnen Organen nicht gleichzeitig ein. So altert z. B. das Auge besonders früh: Es wird weitsichtig. Weitere *Alterserscheinungen*, die sich zunächst unmerklich einstellen, um dann im 6. Lebensjahrzehnt spürbarer zu werden, sind Schwerhörigkeit, Kurzatmigkeit, Fettansatz, besonders am Bauch neben Fettarmut (Schlaffwerden) der Haut, frühzeitige Ermüdung, Schlaflosigkeit, Wärmebedürfnis (Verringerung der Gesamtblutmenge). Das *durchschnittliche* Lebensalter wird heute für Männer mit 58 bis 63, für Frauen mit 61 bis 66 Jahren angesetzt. Ein Lebensalter von 90 Jahren ist schon ein sehr hohes Alter; 100 Jahre und darüber werden nur in ganz wenigen Ausnahmefällen erreicht. *Langlebigkeit* erscheint oft als Familieneigenschaft, ohne daß eine Vererbung nachweisbar wäre.

TOD

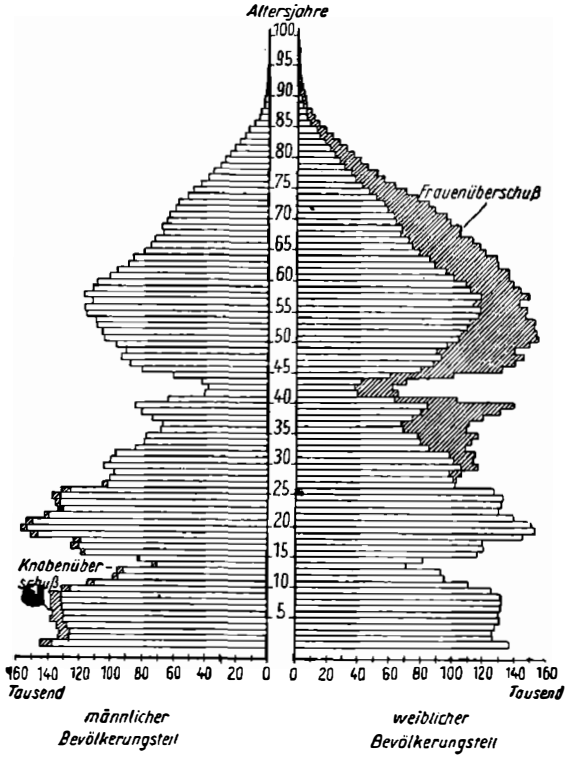
Todesursachen und -anzeichen. Der Tod ist das endgültige Erlöschen *aller* Lebensfunktionen eines Organismus.
Der Übergang vom Leben zum Tod wird angezeigt durch Atemstillstand und Aussetzen der Herztätigkeit sowie des Blutkreislaufs (klinischer T.). Unter günstigen Umständen kann eine Wiederbelebung nach Eintritt des klinischen Tods noch gelingen, wenn die Durchblutung des Gehirns nicht länger als höchstens 6 Minuten gestockt hat.

Lebenserwartung je Geschlecht und Altersjahr
(in fünfjährigen Abständen

Vollendetes Alter Jahre	Lebenserwartung je Überlebender (Jahre)				
	1871/72 bis 1880/81	1881···1890	1891···1900	1901···1910	1910/11
			männlich		
0	35,58	37,17	40,56	44,82	47,41
1	46,52	47,92	51,85	55,12	56,86
2	48,72	50,15	53,67	56,39	57,74
5	49,39	50,76	53,27	55,15	56,21
10	46,51	47,75	49,66	51,16	52,08
15	42,38	43,54	45,31	46,71	47,60
20	38,45	39,52	41,23	42.56	43,43
25	34,96	35,83	37,38	38,59	39,39
30	31,41	32,11	33,46	34,55	35,29
35	27,88	28,49	29,59	30,53	31,18
40	24,46	25,03	25,89	26,64	27,18
45	21,16	21,67	22,37	22,94	23,35
50	17,98	18,41	19,00	19,43	19,71
55	14,96	15,32	15,81	16,16	16,30
60	12,11	12,43	12,82	13,14	13,18
65	9,55	9,82	10,12	10,40	10,38
70	7,34	7,51	7,76	7,99	7,90
75	5,51	5,60	5,80	5,97	5,84
80	4,10	4,11	4,23	4,38	4,25
85	3,06	2,99	3,05	3,18	3,13
90	2,34	2,20	2,23	2,35	2,30
95	1,80	1,67	1,68	1,80	1,76
100	1,36	1,37	1,30	1,50	1,48
			weiblich		
0	38,45	40,25	43,97	48,33	50,68
1	48,06	49,67	53,78	57,20	58,78
2	50,30	51,91	55,59	58,47	59,64
5	51,01	52,58	55,22	57,27	58,10
10	48,18	49,69	51,71	53,35	53,99
15	44,15	45,63	47,47	49,00	49,58
20	40,19	41,62	43,37	44,84	45,35
25	36,53	37,81	39,43	40,84	41,28
30	33,07	34,21	35,62	36,94	37,30
35	29,68	30,69	31,87	33,04	33,32
40	26,32	27,16	28,14	29,16	29,38
45	22,84	23,57	24,37	25,25	25,39
50	19,29	19,89	20,58	21,35	21,45
55	15,88	16,38	16,96	17,64	17,68
60	12,71	13,14	13,60	14,17	14,17
65	9,96	10,29	10,62	11,09	11,03
70	7,60	7,84	8,10	8,45	8,35
75	5,66	5,87	6,07	6,30	6,19
80	4,22	4,37	4,48	4,65	4,52
85	3,14	3,26	3,32	3,40	3,36
90	2,37	2,49	2,52	2,59	2,49
95	1,81	1,99	2,00	2,10	1,91
100	1,24	1,74	1,67	1,87	1,60

der Bevölkerung in der DDR
1871 bis 1958)

Lebenserwartung je Überlebender (Jahre)					
1924···1926	1932···1934	1952/53	1953/54	1954/55	1955···1958
		männlich			
55,97	59,86	65,06	65,55	66,20	66,13
62,24	64,43	68,18	68,41	68,97	68,64
62,26	64,03	67,54	67,74	68,26	67,94
60,09	61,70	64,87	65,06	65,57	65,24
55,63	57,28	60,12	60,31	60,82	60,48
51,00	52,62	55,32	55,48	56,01	55,66
46,70	48,16	50,66	50,79	51,28	50,96
42,70	43,83	46,12	46,19	46,68	46,37
38,56	39,47	41,50	41,59	42,04	41,74
34,30	35,13	36,86	36,94	37,41	37,09
30,05	30,83	32,31	32,38	32,78	32,50
25,90	26,61	27,87	27,90	28,30	28,01
21,89	22,54	23,60	23,59	24,00	23,67
18,09	18,69	19,66	19,60	19,99	19,62
14,60	15,11	15,99	15,95	16,32	15,97
11,46	11,87	12,62	12,58	12,95	12,67
8,74	9,05	9,65	9,60	9,95	9,75
6,50	6,68	7,04	7,03	7,37	7,23
4,77	4,84	5,03	4,97	5,24	5,18
3,50	3,52	3,58	3,50	3,70	3,62
2,68	2,63	2,60	2,51	2,58	2,52
2,12	2,04	1,94	1,83	1,79	1,75
1,75	1,67	1,46	1,35	1,25	1,00
		weiblich			
58,82	62,81	69,07	69,53	70,15	70,68
63,89	66,41	71,40	71,74	72,28	72,59
63,85	65,96	70,71	71,03	71,56	71,86
61,62	63,56	68,00	68,28	68,62	69,11
57,11	59,09	63,22	63,46	64,00	64,26
52,47	54,39	58,34	58,59	59,12	59,38
48,09	49,84	53,59	53,78	54,30	54,56
43,92	45,43	48,89	49,06	49,54	49,78
39,76	41,05	44,20	44,36	44,84	45,03
35,56	36,67	39,56	39,68	40,16	40,33
31,37	32,33	34,99	35,09	35,56	35,70
27,20	28,02	30,47	30,53	31,04	31,16
23,12	23,85	26,09	26,09	26,60	26,71
19,20	19,85	21,84	21,79	22,30	22,40
15,51	16,07	17,75	17,68	18,18	18,27
12,17	12,60	13,91	13,83	14,33	14,41
9,27	9,58	10,52	10,40	10,83	10,93
6,87	7,09	7,65	7,52	7,88	8,03
5,06	5,15	5,48	5,35	5,62	5,78
3,76	3,70	3,90	3,89	3,96	4,18
2,92	2,72	2,74	2,90	2,71	3,08
2,32	2,02	1,91	2,22	1,82	2,31
1,90	1,55	1,33	1,75	1,21	1,76



Altersaufbau der Bevölkerung in der DDR 1959

Die *Leichenschau* des Arztes stellt amtlich den Tod fest. *Sichere Zeichen* des eingetretenen Todes sind

die Totenstarre, d. i. das Steifwerden der quergestreiften Muskeln. Sie tritt, von den Kopfmuskeln ausgehend, nach 4 bis 20 Stunden ein und hält 48 bis 60 Stunden an;

die Leichenkälte, d. i. eine Temperatur der Leiche, die infolge Verdunstung um ein geringes unter der der Umgebung liegt;

die Leichenblässe nebst Totenflecken, d. i. ein Erblassen der höher liegenden Leichenteile, aus denen das Blut abfließt; es sammelt sich in den tiefer liegenden Teilen, die davon blaurötlich gefleckt erscheinen;

die Trübung der Hornhaut der Augen.

Aufstellung einer Sterbetafel. Bei der Aufstellung einer Sterbetafel geht man von den durch die Sterblichkeitsstatistik ermittelten *Sterbewahrscheinlichkeiten* der einzelnen Altersjahre der Bevölkerung aus. Die Sterbewahrscheinlichkeiten werden auf eine angenommene Grundzahl von Neugeborenen (meist 100000) umgerechnet. Nach Maßgabe der Sterbewahrscheinlichkeit geht diese Grundzahl Jahr um Jahr um die Zahl der jeweils im Vorjahr Gestorbenen zurück (Absterbeordnung). Gleichzeitig läßt die Sterbetafel die sogenannte *mittlere Lebenserwartung* erkennen, d. h. den Zeitraum, den eine in einem bestimmten Alter stehende Person im Durchschnitt voraussichtlich noch zu leben hat. Aus der vorstehenden Tafel wird besonders auch ersichtlich, wie seit 1871 durch die verbesserten hygienischen Verhältnisse die Säuglingssterblichkeit zurückgegangen und die „mittlere Lebenserwartung" vor allem für die jüngeren Jahrgänge ganz erheblich gestiegen ist.

X. Wichtige Krankheiten, Hausmittel und Erste Hilfe

KRANKHEITEN

Die wichtigsten Kinderkrankheiten

	Dauer	häufigste Nachkrankheiten
Keuchhusten	9···16 Wochen	Lungenentzündung
Masern	3···5 Wochen	Ohren-, Lungenentzündung, große Anfälligkeit für Tuberkulose (Tbc)
Ziegenpeter (Mumps)	1···2 Tage	Hodenentzündung
Röteln	4···5 Tage	—
Windpocken	14 Tage	—
Scharlach	6···8 Wochen	Nierenentzündung, Mittelohrentzündung
Diphtherie	2···6 Wochen	Herzmuskel-, Lungen-, Nierenentzündung, Lähmungen (z. B. der Kehlkopfmuskeln)
Genickstarre	3···4 Wochen	Augen-, Ohrenentzündung, Sehstörungen
spinale Kinderlähmung	bis $1^1/_2$ Jahre Lähmungen	

Berufskrankheiten

Als Berufskrankheiten, die in der Sozialversicherung den *Betriebsunfällen* gleichgestellt sind, gelten mit gewissen Einschränkungen insbesondere

Erkrankungen durch Blei und seine Verbindungen
Erkrankungen durch Phosphor und seine Verbindungen
Erkrankungen durch Quecksilber und seine Verbindungen
Erkrankungen durch Arsen und seine Verbindungen
Erkrankungen durch Mangan und seine Verbindungen
Erkrankungen durch Benzol, Nitro- und Aminoverbindungen des Benzols und seine Abkömmlinge
Erkrankungen durch Methanol
Erkrankungen durch Halogen-Kohlenwasserstoffe
Erkrankungen durch Salpetersäureester
Erkrankungen durch Schwefelkohlenstoff
Erkrankungen durch Schwefelwasserstoff
Erkrankungen durch Kohlenoxyd
Erkrankungen durch Röntgenstrahlen und radioaktive Stoffe
Erkrankungen der Zähne durch Säuren
Erkrankungen an Hautkrebs usw. durch Ruß, Paraffin, Anthrazen, Pech
Erkrankungen an Krebs und Schleimhautveränderungen der Harnwege durch aromatische Amine
schwere berufliche Hauterkrankungen
Erkrankungen durch Erschütterungen (z. B. durch Preßluftwerkzeuge)
Ermüdungsbrüche der Knochen
Erkrankungen durch Arbeiten in Druckluft
Schleimbeutelerkrankungen der Gelenke durch ständigen Druck oder Erschütterung
Drucklähmungen der Nerven
Knochen-, Gelenk- und Bändererkrankungen durch Fluorverbindungen (Fluorose)
Lungenerkrankungen durch Staub (Silikose), Asbeststaub (Asbestose), Thomasschlackenmehl, Aluminium, Beryllium
Lungenkrebs in der Chromfarbenindustrie
Schneeberger Lungenkrankheit
Taubheit oder hochgradige Schwerhörigkeit durch Lärm
Grauer Star durch Arbeit in Glashütten, Eisenhütten und Metallschmelzereien
Augenzittern und Wurmkrankheiten der Bergleute
Infektionskrankheiten durch Tätigkeit im Gesundheitsdienst, in medizinischen Laboratorien
infektiöse Gelbsucht, Bangsche Krankheit, Milzbrand, Rotz und andere Tierkrankheiten durch berufliche Tierhaltung und -pflege.

Nach der Durchführungsverordnung über Berufskrankheiten sind diese anzeigepflichtig. Die Anzeige muß spätestens am Tag nach Feststellung der Erkrankung erstattet werden. Massenerkrankungen und Todesfälle sind sofort telefonisch oder telegrafisch den zuständigen Arbeitsschutzinspektionen zu melden.
Der von der Arbeitssanitätsinspektion beauftragte Arzt nimmt unverzüglich eine Untersuchung der Erkrankten vor und gibt darüber ein Gutachten ab.
Für dauernd gefährdete Berufe wurden vom Ministerium für Gesundheitswesen regelmäßige ärztliche Untersuchungen angeordnet. Kann die Gefahr einer Dauerschädigung durch entsprechende Krankenbehandlung nicht verhindert werden, so ist dem Erkrankten bei Berufswechsel zur Vermeidung wirtschaftlicher Nachteile ein Verdienstausgleich oder eine Übergangsrente bis zur Hälfte der Vollrente zu gewähren.

Nerven- und Geisteskrankheiten

Schizophrenie	Spaltungsirresein. Kennzeichen: Sinnlosigkeit des Wollens und Zerfahrenheit des Denkens, überhaupt ein Mißverhältnis zwischen dem Vorstellungsinhalt und der Stärke der Gefühlsbetonung; *Halluzinationen* (z. B. Stimmen werden gehört). Die Krankheit bricht zwischen dem 15. und 30. Lebensjahr aus, beginnt schleichend; Erblichkeit in vielen Fällen erwiesen.
manisch-depressive Krankheit	Störung vor allem des Gemütslebens. *Manische* Zustände (Zustände höchster *Erregung*) und *depressive* Zustände (Zustände größter *Niedergeschlagenheit*) bestehen gleichzeitig nebeneinander oder wechseln sich ab, oft sind normale Zustände zwischengeschaltet, vor allem in jüngeren Lebensjahren, etwa zwischen dem 20. und 30. Im Alter dagegen herrschen depressive Zustände vor.
progressive Paralyse	Gehirnerweichung. Sie entsteht auf Grund einer Geschlechtskrankheit (Syphilis), ist gekennzeichnet durch Kritiklosigkeit sich selbst und der Umgebung gegenüber (*Größenwahn, Euphorie*) und führt zum *Verlust jeden geistigen Lebens* und zur Einschränkung der willkürlichen Beweglichkeit. —

	Besonders schwer sind bei dieser Erkrankung die Zustände *zwischen* „gesund" und „krank" zu erkennen.
Epilepsie	Fallsucht. Bewußtlosigkeit, Krämpfe und Starre aller Gliedmaßen, Schaum tritt vor den Mund, Urin und Kot gehen unwillkürlich ab, fehlende Erinnerung an den Anfall, der bis zu 5 Minuten dauern kann. Das Leiden ist in der Mehrzahl der Fälle erblich (*genuine Epilepsie*), kommt aber auch nach Hirnverletzungen, bei Hirnmißbildungen, Hirngefäßerkrankungen und Tumoren vor (*symptomatische Epilepsie*).
Meningitis	Hirnhautentzündung mit Übergang in Verschwartung. Kopfschmerz, Nackensteifigkeit (*Opisthotonus*); im akuten Stadium ernste Erkrankung.
Apoplexie	Schlaganfall. Halbseitige Lähmung, oft mit Bewußtlosigkeit verbunden. Als Ursache kommt die Erweichung oder Zerstörung eines Blutgefäßes in Frage. Grundleiden oftmals Arteriosklerose.
Comotio cerebri	Gehirnerschütterung, hervorgerufen durch stumpfe Gewalt. Bewußtlosigkeit und Verlust der Erinnerung an das auslösende Ereignis (retrograde Amnesie).
Contusio cerebri	Traumatische Zerstörung von Hirnsubstanz. Symptome wie bei der Comotio cerebri, jedoch erst langsam eintretend.
Neuritis	Entzündung der peripheren Nerven. Schmerzhafte Affektion eines einzelnen oder mehrerer Nerven, meist *toxisch* bedingt.
Tabes dorsalis	Syphilitische Erkrankung des Rückenmarks, vorwiegend der *Hinterstränge*. Unsicherer, im fortgeschrittenen Stadium stark gebeugter Gang, Deformierung der Gelenke, *lanzinierende* Schmerzen, die plötzlich in den Bauch oder in die Extremitäten einzuschießen pflegen.
Multiple Sklerose	Schubweise, *progredient* verlaufende, entzündliche Erkrankung des gesamten Nervensystems mit bevorzugter Beteiligung des Rückenmarks. Sie beginnt zwischen dem 15. und 40. Lebensjahr. Im fortgeschrittenen Stadium ist die *Koordination* der Bewegungen besonders stark gestört. Die Hände zittern oft so stark, daß jede Hantierung unmöglich wird. Doppelbilder und Gesichtsfeldeinschränkungen bei Beteiligung des *Nervus opticus*; manchmal plötzliche Harnverhaltung, häufig Lähmungen.

Süchte (Alkoholismus, Morphinismus). Die Süchte gehören nicht unbedingt zu den Geisteskrankheiten, führen aber zu Wesens- und Persönlichkeitsveränderungen, so daß sie hier besprochen werden können.

Trunksucht: Der Alkoholismus stellt eine der verbreitetsten Süchte dar. Er verläuft in verschiedenen Stadien. Die *voralkoholische Phase* zeichnet sich durch gelegentliches, später dauerndes *Erleichterungstrinken* aus. Während dieser Zeit kommt es zu einer Erhöhung der Alkoholtoleranz. Ihr folgt die *Prodromalphase*, mit einer Dauer bis zu 8 Jahren, gekennzeichnet durch heimliches Trinken und vorübergehenden Gedächtnisverlust während des Rausches. In der sich anschließenden *kritischen* Phase mit einer Dauer bis zu $1^1/_2$ Jahrzehnten kommt es allmählich zu einem Kontrollverlust mit sich häufenden, ausgedehnten Rauschzuständen. Sie geht in die *chronische Phase* über. Die Alkoholtoleranz nimmt ab, chronische Gastritis, Leberzirrhose, Gewichtsverlust, körperlicher und moralischer Verfall kennzeichnen diese Phase.

Die Alkoholtoleranz ist unterschiedlich. In Abhängigkeit vom Alkoholspiegel treten folgende Symptome auf:

Blutalkoholspiegel	erforderliche Alkoholmenge	Symptome
0,5···1‰	30···40 ml als 45%iges Getränk, nüchtern (4···5 Schnäpse)	*Euphorie*, Rededrang, erhöhtes Selbstvertrauen
1,0···2‰	40···60 ml (5···8 Schnäpse)	bei Ungewohnten: Verlust der Selbstkontrolle, Gehstörungen; bei Gewohnten: übertriebene Gegenregulationen und besondere Vorsicht, Schmerz- und Kälteunempfindlichkeit, Rauschzustände
2···3‰	60···150 ml (8···20 Schnäpse)	psychische Verwirrtheit, Volltrunkenheit, Torkeln
4···5‰	175···300 ml Flasche mit 0,7 *l* Schnaps	Lebensgefahr, Atemlähmung Tod

Infolge Erbrechens werden die schwersten Stadien des Alkoholrausches selten erreicht. Die Erregung des Brechzentrums vor Eintreten des Vollrausches stellt einen natürlichen Schutzmechanismus dar.

Die wichtigsten Infektionskrankheiten

Krankheit	Krankheitszeichen	Übertragungsart	Inkubationszeit	Erreger und Jahr seiner Entdeckung
Grippe	Fieber, Katarrh, Schmerzen	Einatmen	1···3 Tage	Virus; 1933
Keuchhusten	Krampfhusten, erschwertes Atmen, glasiger Schleim, Erbrechen	Einatmen, Berühren	1···2 Wochen	Haemophilus pertussis; 1906
Masern	Fieber, Schnupfen, Lichtscheu, rote Hautflecke	vorwiegend durch Berühren	9···11 Tage	Virus; 1905
Scharlach	Fieber, Halsentzündung, zusammenfließende rote Hautflecke	Einatmen, vorwiegend Berühren	3···5 Tage	Streptococcus oder Virus
Diphtherie	Fieber, Rachenbelag, Atembeschwerden	Einatmen, Berühren	2···7 Tage	Corynebacterium diphtheriae; 1884
Ruhr (Bakterienruhr)	blutiger Durchfall, Fieber	Berühren, Verschlucken	3···8 Tage	Shigella dysenteriae; 1898
Typhus (Unterleibstyphus)	Fieber, Hautflecke, besonders am Bauch, Durchfall	Berühren, Verschlucken	7···20 Tage	Bacillus typhi; 1880
Paratyphus (Sammelname)	plötzliches Erbrechen, Schüttelfrost, Durchfall, Fieber, Hautflecke	Verschlucken	1···8 Tage	Gruppe der Paratyphusbazillen
Fleckfieber	Fieber, Kopf- und Gliederschmerzen, Hautflecke	Stich der Kleiderlaus	11···12 Tage	Rickettsia prowazeki; 1910
Lungenentzündung	Fieber, erschwertes Atmen, Husten	Einatmen	wenige Stunden bis Tage	meist Pneumococcus; 1884
Malaria	Wechselfieber	Stich der Malariamücke	9···17 Tage	Plasmodium (3 Arten); 1880
Cholera	Durchfall, Erbrechen, Fieber, Wadenkrampf	Berühren, Verschlucken	12···48 Stunden	Vibrio cholerae; 1882
Pocken	Fieber, Kreuzschmerzen, Hautpusteln	Berühren, Einatmen	10···14 Tage	Virus
Pest	Fieber, Kopfschmerz, Drüsenschwellungen, Hautbeulen, Lungenentzündung	Einatmen, Stich des Rattenflohs	2···5 Tage	Pasteurella pestis; 1894
Lungentuberkulose	Abmagerung, Lungenkatarrh	Einatmen	mehrere Wochen	Mycobacterium tuberculosis; 1882
spinale Kinderlähmung	Fieber, Lähmung	Einatmen, Verschlucken	9···17 Tage	Virus
Weilsche Krankheit	Gelbsucht, Fieber, Kopf- und Muskelschmerzen, Nierenentzündung	durch Rattenurin verunreinigtes Wasser	3···21 Tage	Leptospira icterohaemorrhagia; 1915
Gelbsucht, epidemische	Fieber, Kopfschmerz, Appetitmangel	Berühren (?)	1···4 Wochen	Virus
Aussatz	Hautzerfall, Hautknoten	Berühren	2 bis mehrere Jahre	Mycobacterium leprae; 1873
Genickstarre	Fieber, Bewußtseinstrübung, Nackensteifigkeit	Einatmen	2···3 Tage	Meningococcus; 1887
Starrkrampf	schmerzhafte Muskelkrämpfe	Wundverunreinigung	3···20 Tage	Bacillus tetani; 1884
Syphilis	Geschwüre an der Infektionsstelle, Drüsenschwellung, Hautflecken	meist Geschlechtsverkehr	14···23 Tage	Spirochaeta pallida; 1905
Tripper	eitriger Ausfluß, Harnröhrenbrennen	meist Geschlechtsverkehr	1···3 Tage	Micrococcus gonorrhoeae; 1879
Tollwut	Atembeschwerden, Schlingmuskelkrämpfe, Wutanfälle	Biß erkrankter Tiere	14···60 Tage	Virus

Die Trunkenheit am Steuer ist eine häufige Ursache bei Verkehrsunfällen. Daher ist in der DDR jeglicher Alkoholgenuß bei Kraftfahrern gesetzlich verboten. Bestrafung und Entzug der Fahrerlaubnis erfolgen, wenn der Fahrer am Steuer unter Alkoholeinwirkung angetroffen wird, auch ohne daß ein Unfall eingetreten ist.

Rauschgiftsucht: Suchtgefahr besteht gegenüber den *Rauschgiften* (Opium, Morphium und seinen Abkömmlingen), gegenüber den *Betäubungsmitteln* (Polamidon, Dolantin) und den sogenannten *Weckaminen* (Pervitin). Die Verwendung der Mittel ist durch das Betäubungsmittelgesetz stark eingeschränkt, demzufolge sind die Süchtigen nicht sehr zahlreich. Ärzte und Apotheker sind besonders gefährdet.

Allergische Krankheiten

Anaphylaxie: Überempfindlichkeit mancher Menschen gegen artfremdes Eiweiß, ausgelöst durch Vorbehandlung mit ebendemselben Eiweiß (*Serumkrankheit*, kommt vor z. B. bei Diphtherie-, Ruhr-, Tetanus-Serumeinspritzungen).

Idiosynkrasie: abnorm starke Reaktion besonders der Haut und Schleimhaut mancher Menschen auf bestimmte Reize, die von den meisten Menschen ohne krankhafte Störung ertragen werden (z. B. nach Einnahme von Chininpräparaten, nach Behandlung mit Jod, nach Genuß von Erdbeeren).

Allergie ist eine zeitlich veränderte Reaktionsfähigkeit (Fähigkeit, auf Reize zu antworten), die nach Begegnung mit körperfremden Stoffen (Krankheitsstoffen, Impfstoffen) bei erneuter Einwirkung desselben Reizes entsteht.

Wurmerkrankungen

Rundwürmer des Menschen

Art	ohne Zwischenwirt	Länge
Spulwurm (Ascaris lumbricoides)	Übertragung durch Verschlucken der Eier, Larven durchwandern die Darmwand, gelangen mit dem Blutstrom in die Lunge und in den Bronchialbaum, von dort in den Rachen, von wo aus sie verschluckt werden. Im Darm werden sie geschlechtsreif.	20···40 cm
Madenwurm (Oxyuris vermicularis)	Aufnahme der Eier durch den Mund	7···12 mm
Hakenwurm (Ancylostoma duodenale)	die im Feuchten ausgeschlüpften Larven dringen durch die unversehrte Haut und gelangen über Lunge, Bronchialbaum und Rachen in den Darm	10···18 mm

Bandwürmer des Menschen

Art	Finne	Wurm	Länge
Rinderbandwurm (Taenia saginata)	in den Muskeln des Rindes	im Darm des Menschen	mehr als 10 m
Schweinebandwurm (Taenia solium)	im Unterhautbindegewebe und in Muskeln von Schwein und Mensch	im Darm des Menschen	3 m
Fischbandwurm (Diphyllobotrium latum)	in Süßwasserfischen, besonders Hecht, Quappe, Barsch	im Darm von Mensch, Hund, Katze, Fuchs	bis 9 m
Blasenwurm (Echinococcus granulosus)	in Leber und Lunge des Menschen, auch des Schafes, Rindes und Schweines; wird bis kopfgroß; „Hülsenwurm"	im Darm des Hundes	3···6 mm
Zwergbandwurm (Hymenolepis nana)	Wirt nicht bekannt	im Darm des Menschen (massenhaft)	4,5 cm
Gurkenkernbandwurm (Dipylidium caninum)	in Hundeflöhen und -haarlingen	im Darm des Menschen, besonders der Kinder; ferner bei Hunden und Katzen	bis 40 cm
Geränderter Bandwurm (Taenia marginata)	gelegentlich im Menschen, meist in Netzmagen und Leber der Wiederkäuer und Schweine	im Darm des Hundes	1,5···4 cm

Geschlechtskrankheiten. Geschlechtskrankheiten sind Erkrankungen, die meistens durch den Geschlechtsverkehr übertragen werden und ihren Sitz vorzugsweise an den Geschlechtsorganen haben. Sie sind behandlungs- und meldepflichtig. Auch die Infektionsquelle muß namentlich gemeldet werden. Die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften und neuzeitlichen Behandlungsmethoden führten zu einem beträchtlichen Rückgang der Neuerkrankungen.

Übertragungsmodus	Symptome	Komplikationen	Behandlung
		Tripper (*Gonorrhoe*)	
Übertragung von *Gonokokken*, fast ausschließlich durch Geschlechtsverkehr	beim Manne: eitriger Ausfluß aus der vorderen Harnröhre 2···3 Tage nach der Infektion bei der Frau: eitriger Ausfluß aus der vorderen Harnröhre 2···3 Tage nach der Infektion	Vorsteherdrüsen-Samenstrang- und Samenblasenentzündung, Unfruchtbarkeit Gebärmutter-, Eierstock- und Eileiterentzündung, jahrelange Beschwerden, Unfruchtbarkeit	Penicillinfrühbehandlung verhindert Komplikationen
Schmierinfektion der Augen des Neugeborenen unter der Geburt	eitrige Entzündung der Augen	Erblindung, falls unbehandelt	Eintröpfelung von 1%iger Silbernitratlösung in die Augen sofort nach der Geburt (*Credésche Prophylaxe*)
		Syphilis (*Lues*)	
Übertragung der *Spirochaeta pallida* durch Geschlechtsverkehr	1. Stadium, Primäraffekt: rundes, glänzendes, schmerzloses Geschwür an den Geschlechtsorganen 3 Wochen nach der Ansteckung	unbehandelt, Übergang in das 2. Stadium	*Salvarsan*, *Wismut*, Penicillin
	2. Stadium: Übergang der Erreger ins Blut, 6 Wochen nach der Infektion, Blutreaktionen (*Wassermann*) auf Syphilis werden positiv; nicht juckender, schmerzloser, masernähnlicher Hautausschlag	unbehandelt, Übergang in das 3. Stadium	Salvarsan, Wismut, Penicillin
	3. Stadium: *Gumma* (gummiähnlicher Knoten) in der Ein- oder Mehrzahl an mehreren Organen auftretend, etwa 4 Jahre nach der Infektion	*metasyphilitische* Erkrankungen: Tabes (Rückenmarkschwindsucht) progressive Paralyse (Gehirnerweichung) Aortenaneurysma (Erweiterung der Hauptschlagader) viele Jahre nach der Ansteckung	wie oben Jodkali, künstliches Fieber
Übertragung von der Mutter auf das Neugeborene	angeborene Syphilis: Hautausschläge, Störungen des Knochenwachstums (Sattelnase) Hornhautentzündung der Augen nach 5···20 Jahren	metasyphilitische Erkrankungen, Auftreten während des gesamten Lebens möglich	Penicillinbehandlung der Mutter und des Neugeborenen

Neugemeldete Erkrankungen an Syphilis und Gonorrhoe 1947 bis 1959 (DDR)

Jahr	Syphilis		Gonorrhoe	
	Insgesamt	darunter ansteckungsfähig	Insgesamt	darunter ansteckungsfähig
1947	41522	25100	57241	38426
1948	24811	15403	35224	27510
1949	16168	7304	31258	24004
1950	12333	4164	27945	23669
1951	9066	2306	30131	29639
1952	7980	1841	38939	38274
1953	6786	1510	43830	43316

Jahr	Syphilis		Gonorrhoe	
	insgesamt	darunter ansteckungsfähig	insgesamt	darunter ansteckungsfähig
1954	6004	1180	40014	39500
1955	5192	769	36690	36012
1956	4233	501	33608	33069
1957	3435	398	32075	31656
1958	3180	282	28167	27820
1959	2675	332	26973	26624
	je 10000 der Bevölkerung			
1947	22,0	13,3	30,3	20,3
1948	13,0	8,1	18,5	14,4
1949	8,6	3,9	16,5	12,7
1950	6,7	2,3	15,2	12,9
1951	4,9	1,3	16,4	16,2
1952	4,4	1,0	21,2	20,9
1953	3,7	0,8	24,1	23,8
1954	3,3	0,7	22,2	21,9
1955	2,9	0,4	20,4	20,1
1956	2,4	0,3	19,0	18,7
1957	2,0	0,2	18,3	18,1
1958	1,8	0,2	16,2	16,0
1959	1,5	0,2	15,6	15,4

Wichtige Erkrankungen der inneren Organe

Lateinische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	Charakteristik
	Lungenkrankheiten	
Pneumonie	Lungenentzündung	akute u. chronische fieberhafte, bakteriell bedingte Erkrankung
Empyem	Lungenabszeß	wie oben, mit eitriger Einschmelzung
Silikose	Staublunge	Bindegewebsschrumpfung bei chronischer u. lang dauernder Einatmung von bestimmten Staubarten
Emphysem	Lungenblähung	Herabsetzung der Atemoberfläche durch Schwund der kleinen Lungenbläschen
Bronchiektasie	Erweiterung der kleinen Bronchien	Schwund der kleinen Lungenbläschen
Embolie	Verstopfung eines Lungengefäßes durch Fett- oder Blutgerinnsel	Komplikation bei Operation und Thrombose
Pleuritis	Rippenfellentzündung	entzündlicher Erguß zwischen Lungen und Brustwand
Carcinom	bösartige Geschwulst	Ursache unbekannt
Tuberculose		durch Tuberkelbakterien bedingte Erkrankung, unterschiedliche Verlaufsform
Asthma bronchiale	Anfälle von Atemnot	allergische, oft psychische Ursache

Lateinische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	Charakteristik
	Herzkrankheiten	
Endokarditis	Herzinnenhautentzündung	rheumatisch oder bakteriell
Vitium cordis	Herzklappenfehler	angeboren oder als Folge der Endokarditis, oft mehrere Klappen betroffen
Myocarditis	Herzmuskelentzündung	rheumatisch oder bakteriell
Myodegeneratio cordis	Entartung des Herzmuskels	Kreislaufinsuffizienz mit Atemnot und Ödemen
Myocardinfarkt	„Herzschlag"	akuter Verschluß eines Zweiges der Herzkranzgefäße, meist Folge der Coronarinsuffizienz
Coronarinsuffizienz	Verengerung der Herzkranzgefäße	nervös oder organisch bedingt
Arrhythmia cordis	unregelmäßiger Herzschlag	Reizbildungs- und Reizleitungsstörungen
Arrhythmia absoluta	Vorhöfe und Kammern schlagen ohne Koordination	
Pericarditis	Herzbeutelentzündung	bakteriell bedingt
	Krankheiten des Verdauungstraktes	
Gastritis	Magenschleimhautentzündung	nervöse Ursache, Diätfehler, Alkohol- u. Nikotinmißbrauch
Ulcus ventriculi Ulcus duodeni	Magengeschwür Zwölffingerdarmgeschwür	Schleimhautdefekt, Komplikationen; Blutungen, Perforation, Stenose
Pylorospasmus	Pförtnerkrampf	vorwiegend bei Säuglingen
Carcinom	bösartige Geschwulst	Ursache unbekannt
Obstipation	Stuhlverstopfung	oft durch falsche Lebensweise bedingt
Colitis	Entzündung des Dickdarmes	oft Folge der Ruhr, oft auch ohne erkennbare Ursache
Peritonitis	Bauchfellentzündung	bakterielle Ursache
Appendicitis	Blinddarmentzündung	bakterielle Ursache
Ileus	Darmverschluß	vielfältige Ursachen
	Krankheiten der Leber und Gallenwege	
Cholecystopathie Cholangiopathie	vorwiegend nicht entzündliche Funktionsstörung der Gallenblase und der Gallenwege	nervöse Ursache, Fermentschwäche von Magen- und Bauchspeicheldrüse
Cholecystitis Cholangitis	entzündliche Veränderungen der Gallenblase und der Gallenwege	bakteriell
Cholelithiasis	Gallensteinerkrankung	Fehlzusammensetzung der Galle

Lateinische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	Charakteristik
Ikterus	Gelbsucht	unterschiedliche Ursache, Verschluß der Gallenwege oder Erkrankung der Leber selbst
Hepatitis epidemica	Leberentzündung mit Gelbsucht	Viruserkrankung
Leberatrophie	Untergang des Lebergewebes	unterschiedliche Ursachen
Cirrhosis hepatitis	Leberschrumpfung	chronisch, entzündlicher Prozeß mit ernster Prognose

Krankheiten der Nieren und der harnableitenden Wege

Cystopyelitis	Blasen- und Nierenbeckenentzündung	bakteriell
Nephrolithiasis	Nierensteinerkrankung	Fehlzusammensetzung des Harnes
Nephritis akuta	Nierenentzündung	abakterielle Entzündung der Niere
Nephritis chronica und Nephrocirrhose	Schrumpfniere	wie vor
Uraemie	Harnvergiftung des Blutes	Ausscheidungsinsuffizienz für harnpflichtige Substanzen
Nephrose	degenerative Nierenerkrankung mit Eiweißausscheidung und Ödemen	Ursache noch weitgehend unbekannt

HAUSAPOTHEKE

Die Hausapotheke sollte in übersichtlicher Anordnung und bestem Zustand folgendes enthalten:

Anker-, Mono- oder Gothaplast
mehrere Mullbinden verschiedener Breite (6···10 cm)
etwa 1 m Verbandgaze
Verbandwatte
dreieckiges Verbandtuch, Trikotbinde
2 Brandbinden
Schere
Pinzette, kleine Splitterpinzette
Sicherheitsnadeln
Gummischlauch oder elastische Gummibinde (zum Unterbinden)
Fieberthermometer
Wärmflasche
Klistierballon, Irrigator (= Spülapparat)
Körperpuder für wunde Haut
Salben: Lanolin, Borvaseline, Zinksalbe, Ichthyolsalbe
Essigsaure-Tonerde-Lösung für Umschläge und zum Gurgeln
Wasserstoffperoxyd zum Gurgeln (1 Eßlöffel auf $^1/_8$ l Wasser)
Salmiakgeist (zum Betupfen von Mückenstichen)
Baldriantee zur Herz- und Nervenberuhigung
Lindenblütentee zum Schweißtreiben
Kamillentee gegen Blähungen, zum Schweißtreiben, für Umschläge
Pfefferminztee gegen Magen- und Darmstörungen (krampflösend)
doppeltkohlensaures Natrium (Natriumhydrogenkarbonat; gegen übermäßige Magensäure)
Choleratropfen oder Tannalbintabletten gegen Durchfall
Karlsbader Salz, Rizinusöl oder Rhabarbertabletten gegen Verstopfung
Fiebermittel
schmerzstillende Tabletten
Hoffmannstropfen (krampflösend)
Baldriantropfen (zur Herz- und Nervenberuhigung)
Jodtinktur, Sepsotinktur

Drogen, Salben und Chemikalien, die nicht luftdicht verpackt sind, ebenso Gummigegenstände sind von Zeit zu Zeit zu erneuern.

ARZNEIPFLANZEN

(im Krankheitsfall nur nach ärztlicher Verordnung verwenden)

Alant (Inula helenium)	Wurzelstock bei Verschleimung der Atemwege, zum Stillen von Husten, bei Eingeweideparasiten
Angelika (Archangelica officinalis)	Wurzel; harntreibend, Magenmittel, zu hautreizenden Bädern
Anis (Pimpinella anisum)	Früchte als Husten- und Magenmittel
Arnika (Arnica montana)	alkoholischer Blütenauszug als Wundheilmittel
Baldrian (Valeriana officinalis)	Wurzel zu nerven- und herzberuhigendem Tee
Bärentraube (Arctostaphylos uva-ursi)	Blätter zu Tee gegen Blasenleiden und Katarrh der Harnwege
Eibisch (Althaea officinalis)	Wurzel zu Tee gegen Erkrankung der Atmungsorgane; schleimlösend
Faulbaum (Rhamnus frangula)	Rinde und Beeren wirken abführend
Fenchel (Foeniculum vulgare)	Früchte zu Tee gegen Erkrankungen der Atmungsorgane, gegen Magen- und Darmleiden; abführend; zu Umschlägen bei Augenleiden
Heidelbeere (Vaccinium myrtillus)	getrocknete Früchte gegen Durchfall
Hirtentäschel (Capsella bursa-pastoris)	gegen Nieren- und Blasenleiden; blutstillend
Holunder (Sambucus nigra)	Blüten als „Fliedertee"; schweiß- und harntreibend
Huflattich (Tussilago farfara)	Blätter und Blüten zu Hustentee
Kamille (Matricaria chamomilla)	Blüten als Tee gegen Darmstörungen, Blähungen, Kolik; schweißtreibend; äußerlich zu Umschlägen
Königskerze, Wollkraut (Verbascum thapsiforme)	Blüten zu Hustentee, gegen Hämorrhoiden; schweißtreibend
Lavendel (Lavandula angustifolia)	Blüten zu hautreizenden Bädern, als Kräuterkissen zur Schmerzlinderung
Lein, Flachs (Linum usitatissimum)	Tee aus Samen wirkt abführend. Umschläge (sog. Leinbeutel) erweichen eitrige Geschwülste
Linde (Tilia platyphyllos und T. cordata)	Blüten zu schweißtreibendem Tee
Lungenkraut (Pulmonaria officinalis)	blühendes Kraut gegen Erkrankungen der Atmungsorgane
Malve (Malva silvestris)	Blüten und Blätter zu Hustentee, Blätter zu Spülungen und Umschlägen bei Magen-Darm-Entzündung
Pfefferminze (Mentha piperita)	Blätter zu Tee gegen Magen- und Darmstörungen; krampflösend
Rainfarn (Chrysanthemum vulgare)	Tee gegen Würmer
Salbei (Salvia officinalis)	Blätter zu schweißhemmendem Tee, der auch als Gurgelmittel vielseitig verwendet wird
Schafgarbe (Achillea millefolium)	blühendes Kraut bei Blutungen, Herzanfällen und Verdauungsstörungen; als Blutreinigungsmittel
Senf (Brassica nigra)	Samen zu hautreizenden Umschlägen oder Bädern, als Öl zu Einreibungen
Spitzwegerich (Plantago lanceolata)	Blätter als Hustentee
Stiefmütterchen, Wildes (Viola tricolor)	Tee gegen Hauterkrankungen
Tausendgüldenkraut (Centaurium unbellatum)	bitterstoffhaltig; gegen Magenleiden
Thymian (Thymus vulgaris)	appetitanregend, harntreibend, hustenlindernd
Wermut (Artemisia absinthium)	gegen Magenkatarrh, Verdauungsstörungen
Wollkraut s. Königskerze	

WICHTIGE GIFTE UND IHRE GEGENMITTEL

(bei schweren Vergiftungen stets Hilfe des Arztes erforderlich)

Gift	*Gegenmittel*
Alkalien	wie bei Laugenvergiftung
Ammoniak (Salmiakgeist)	wie bei Laugenvergiftung
Arsenik	gebrannte Magnesia, mit Wasser angerührt; Milch, rohe Eier; Brechmittel, Magenspülung
Atropin (s. a. Tollkirsche)	viel starker schwarzer Kaffee; Magenspülung mit Tanninlösung; gepulverte Holzkohle
Benzol (Benzin)	schwarzer Kaffee; frische Luft, Magenausheberung, künstliche Atmung; Bettwärme
Bilsenkraut (Skopolamin)	Magenspülung, Brechmittel
Blausäure (Steinobstkerne)	viel starker schwarzer Kaffee; Brechmittel, künstliche Atmung, Lösung (0,2%) von Kaliumpermanganat; Wasserstoffperoxyd; Herzmassage
Bleiverbindungen (besonders Bleizucker)	Brech- und Abführmittel; Milch
Brechnuß (Strychnin)	künstliche Atmung; Brechmittel; Magenspülung; Kohle
Brom (freies)	Eiweißlösung, Stärkekleister, gebrannte Magnesia in Wasser
Chlor (eingeatmet)	frische Luft; Trinken von verdünntem Alkohol, Einatmung von Wasserdämpfen oder von Salmiakgeist
Chloroform	künstliche Atmung, Strychnin, Hautreize
Essigessenz	Mischung aus gebrannter Magnesia mit Gummiarabikum
Fingerhut und Digitalispräparate	Magenspülung, Tierkohle in Verbindung mit Abführmitteln; Gerbstoffe; Senfteig auf die Haut; Brechmittel
Fisch- und Fleischgifte	Schwitzen, Hautreize; Magen- und Darmspülungen
Grünspan	viel Zucker, rohe Eier, gebrannte Magnesia; keinen Essig, kein Öl oder Fett
Herbstzeitlose	Brechmittel
Bienengift	Stachel ausziehen; Salmiakgeist, Ichthyol, Bleiwasser
Jod	Magenspülung mit Stärkeabkochung; Eiweißlösung, Milch, Haferschleim, Alkalien (stark verdünnte Lösung von Soda oder Pottasche)
Kaliumchlorat (Kalium chloricum)	Natriumbikarbonat; Kochsalzinfusion; Schwitzen; keine Säuren
Karbolsäure	Brechmittel; Kalkmilch, schleimige Getränke
Kleesalz s. Oxalsäure	
Kohlendioxyd (eingeatmet)	künstliche Atmung an frischer Luft, Verunglückten warmhalten
Kohlenmonoxyd (eingeatmet)	künstliche Atmung möglichst in Verbindung mit Sauerstoffgerät, Bürsten der Herzgegend und der Sohlen; Riechmittel
Kupferverbindungen (besonders Vitriol)	Holzkohle; gebrannte Magnesia in Milch (teelöffelweise); Eiweißlösung; keine Fette
Laugen	verdünntes Essigwasser, Zitronensaft, Milch, rohe Eier, schleimige Getränke
Lysol	Haferschleim, Milch, Eiweißlösung, Fette; viel Öl, kein Wasser
Morphium	Tierkohle in Verbindung mit Abführmitteln; viel starker schwarzer Kaffee, Rotwein (in beiden Gerbsäure wirksam); Hautreize (Senfteig); Füße wärmen, Kopf kühlen
Opium	wie gegen Morphium
Oxalsäure (besonders Kleesalz)	Kalkwasser
Phosphor	viel gebrannte Magnesia in Wasser; altes Terpentin tropfenweise, schleimige Getränke; keine Milch; keine Öle und Fette
Pilzgifte	Tierkohle, Abführmittel (Knollenblätterpilz: starker Kaffee)
Quecksilbersalze	Eiweißlösung; gebrannte Magnesia; Eisenpulver, Milch
Rattengift	Brechmittel, Magen- und Darmspülungen; Tierkohle; ferner wie bei Phosphor
Salizylpräparate	Tierkohle
Säure	Kalkwasser oder gebrannte Magnesia in Wasser, schleimige ölige Getränke, Seifenwasser, Milch, Eiweißlösung
Schwefelwasserstoff	frische Luft; Alkalien, Hautreize, künstliche Atmung
Strychnin	wie gegen Brechnuß

Sulfonal	Belebungsmittel (wie Kaffee, Kampfer); lauwarme Klistiere
Tollkirsche	Gerbsäure, Morphium
Veronal	Belebungsmittel; Magen- und Darmspülungen
Vitriol s. Kupferverbindungen	
Zyankali	wie gegen Blausäure

ERSTE HILFE BEI UNFÄLLEN

(Maßnahmen bis zum Eintreffen des Arztes)

Alkoholvergiftung. Rausch ausschlafen lassen; bei Nachlassen der Atmung, Stocken des Pulses Herz durch starken schwarzen Kaffee anregen.

Blutungen aus Blutadern (Venen: Blut dunkel) oder kleinen Schlagadern (Blut hell): verletztes Glied senkrecht nach oben halten; Druckverband; aus Schlagadern (Arterien): Fingerdruck auf zuführende Schlagader an oberflächlich liegender Stelle; Umschnürung des Gliedes zwischen Wunde und Herz durch elastischen Gurt (Hosenträger, Strumpfband) oder einfache Knebelpresse (improvisierte Aderpresse).

Elektrische Unfälle. Sofortiges Ausschalten des Stromes, Wegziehen des Verunglückten mit einem trockenen Stock oder trockenen Seil, Aufhebung des Erdschlusses durch Unterschieben eines trockenen Brettes usw. Der Retter muß ganz isoliert sein, z. B. durch Gummihandschuhe, Stehen auf einem Holz- oder Porzellangegenstand usw. Bei Atemstörungen künstliche Atmung, unter Umständen Herzmassage; evtl. Kaffee.

Erfrieren. Vorsicht: Erfrorene Teile brechen leicht; in warmem Raum Kleider abschneiden; vorsichtiges Auftauen durch nicht zu rasches Erwärmen; beim Nachlassen der Erstarrung vorsichtige Massage, leichte Bewegung; künstliche Atmung; Reizmittel (z. B. Weinbrand, Kaffee), nach Rückkehr des Bewußtseins heißer starker Kaffee, Wein.

Erhängen. Beim Abschneiden den Körper nicht aufschlagen lassen; frische Luft; künstliche Atmung.

Ertrinken. Mund und Rachen von Schlamm, Sand usw. säubern; Körper und Bauch nach unten, quer über das Knie legen, Kopf zurückbeugen und auf den Rücken drücken, damit verschlucktes Wasser ausfließt; dann künstliche Atmung. Nach Einsetzen der natürlichen Atmung Reiben des Körpers mit warmen Tüchern in Richtung nach dem Herzen; Wärmflaschen, heiße Ziegelsteine; nach Rückkehr des Bewußtseins Wein, warme Getränke.

Hitzschlag (Sonnenstich). Lagern mit erhöhtem Oberkörper. Kleider öffnen, Reizmittel, Abkühlung durch Übergießen mit Flüssigkeiten, künstliche Atmung. Nach Eintritt des Bewußtseins mit Wasser und Reizmitteln (Kaffee, Tee, Weinbrand) laben.

Knochenbrüche. Zweckmäßige Lagerung und Festlegung durch Notverbände (Handbinden, drei- und viereckige Armtragetücher), statt Schienen: Latten, Schirme, Stöcke, Pappe, gesundes Bein bei Oberschenkelbrüchen; Befestigung durch Binden, Tücher, Schienen.

Ohnmacht. Bei blassem Gesicht horizontal legen, bei gerötetem Gesicht Oberkörper hoch; enge Kleidung öffnen; frische Luft; Gesicht, Brust kalt waschen; Riechmittel (Salmiakgeist); Körper (Fußsohlen) reiben und bürsten; u. U. künstliche Atmung.

Steckenbleiben von Gräten oder Knochen. Schlucken von Brotkrumen, weichgekochten Kartoffeln, fetten Speisen, öligen oder schleimigen Getränken.

Verbrennungen. Leichte: Kühle Umschläge. Bestreuen mit Stärkemehl, Brandbinde, Kühlsalben. Schwere: vorsichtiges Entfernen der Kleider; oft Umschläge von Bleiwasser oder essigsaurer Tonerde; Brandblasen nicht entfernen; wunde Stellen mit trockenem, sterilem, besser Borsalben-, Öl- oder Brandverband bedecken. Schwerste: steriler Verband (Mull).

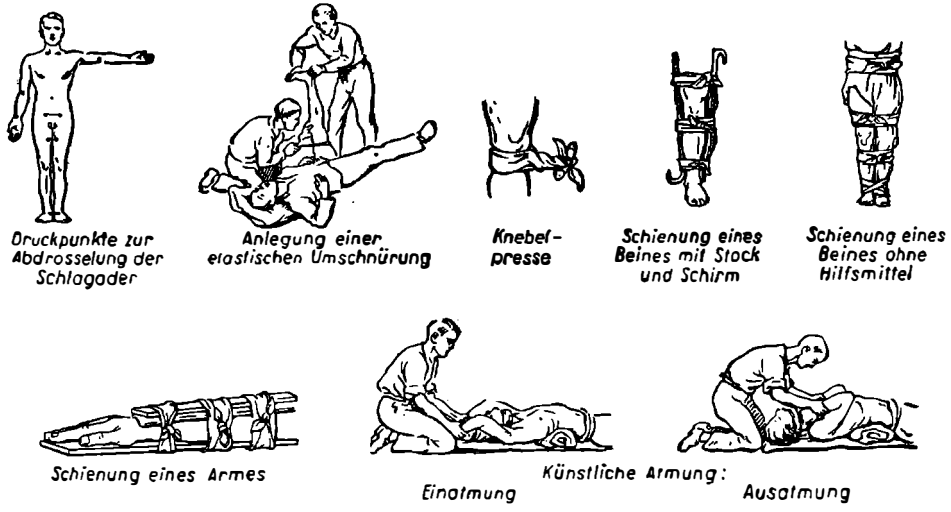
Vergiftungen. Das eingenommene Gift möglichst rasch aus dem Körper entfernen (Erbrechen, Aushebern, Magenspülung) oder unwirksam machen durch absorbierende Tierkohle oder durch neutralisierende Mittel (verschieden je nach Giftart). Bei Vergiftung mit Kohlenoxyd (Leuchtgas, Kohlendunst): frische Luft, Einatmen von reinem Sauerstoff, künstliche Atmung, belebende Mittel, Senfteige. S. a. Tabelle „Wichtige Gifte und ihre Gegenmittel".

Verschüttung. Nase und Mund reinigen; auf Knochenbrüche (häufig!) achten; künstliche Atmung (Vorsicht damit bei Rippenbrüchen). Lawinenverschüttete wie Erfrorene behandeln.

Wunden. Evtl. Blutung stillen (siehe oben): Verschmutzung vermeiden, Schmutz der Wundumgebung entfernen, Wunde nicht waschen, nicht mit Finger berühren; steriler Verband (Mull).

Künstliche Atmung. Den Verunglückten auf den Rücken legen. Gerollte Decke o. ä. unterschieben, daß der untere Brustkorbrand hochsteht. Nun wird die Zunge herausgezogen und am besten mit einer Binde befestigt. Dann Arme des Atemlosen vom Kopfe her ergreifen und langsam über den Kopf weit nach rückwärts führen (Einatmung) darauf Arme wieder nach vorn bewegen und gebeugt

fest auf den Brustkorb drücken (Ausatmung). So werden etwa 15 bis 20 Atemzüge in der Minute nachgeahmt. Stets in frischer Luft durchführen, wenn nötig, stundenlang. Reiben des Körpers, Kitzeln der Nasenschleimhaut.



Maßnahmen der Ersten Hilfe bei Unfällen

Tragen Verunglückter und Kranker. Am vorteilhaftesten sind vier Träger; auf jeder Seite des Verletzten oder Kranken stehen zwei, je einer in Brust- und Beckenhöhe. Die sich Gegenüberstehenden reichen sich die Hände, die erstgenannten unter Nacken und Kreuz, die letztgenannten unter Gesäß und Unterschenkeln des Kranken hinweg. Anheben und Niederlassen stets gleichmäßig. Zwei Träger können einen Kranken durch Anheben unter den Achseln und in den Knien fortschaffen oder dadurch, daß der Kranke auf den von beiden Seiten her unter dem Gesäß gereichten Händen sitzt und zugleich seine Oberarme um die Nacken der Träger legt.

XI. Wichtige Jahreszahlen

v. u. Z.	
um 3000	Den *Sumerern* ist das Plombieren der Zähne bekannt.
um 2000	In *Babylonien* und *Assyrien* gibt es einen hochentwickelten *Ärztestand*; die Medizin ist stark astrologisch orientiert und voller Dämonenglauben.
um 1550	Der Heilschutz der *Ägypter* umfaßt (nach dem „Papyrus Ebers") über 700 Arzneistoffe, von denen z. B. Rizinusöl und die Granatwurzel noch heute verwendet werden. Die Behandlung besteht in Diät, Fasten, Massage; auch Hypnose ist bekannt.
um 1000	Die Etrusker kennen den Zahnersatz, hauptsächlich zu kosmetischen Zwecken.
7. Jh.	*Asklepios* (*Äskulap*), der Heilgott der Griechen. Die Kranken wallfahren zu seinen Tempeln (heilender Tempelschlaf, Suggestion, Hypnose!), wo die Priester wesentliche medizinische Erfahrungen sammeln.
um 400	Der griechische Arzt *Hippokrates* trennt Medizin und Religion, legt auf Erfahrung und individuelle Krankenbehandlung den entscheidenden Wert und fördert ein hohes Berufsethos des Arztes (sog. „Eid des Hippokrates"); Begründer der selbständigen wissenschaftlichen Heilkunde.
3. Jh.	*Herophilos* und *Erasistratos* betreiben in Alexandria anatomische Studien an menschlichen Leichen, besonders am Gehirn, in das man von nun ab — statt wie bisher in das Herz — den Sitz des Denkens und Empfindens verlegt.
u. Z.	
2. Jh.	Der römische Arzt (griechischer Abstammung) *Galenus* (131 bis 201) faßt in seinen Schriften das gesamte medizinische Wissen der Antike zu einem System zusammen, das bis zum Ausgang des abendländischen Mittelalters maßgebend bleibt.

um 220	wurde von dem Griechen *Moschion* das erste *Hebammenlehrbuch*, ein Werk des Griechen Soranos aus Ephesos, herausgegeben.
977	In *Bagdad* wird ein Krankenhaus gegründet, an dem 24 Ärzte tätig sind; es hat u. a. eine innere und eine chirurgische Station sowie eine Station für Augenkranke.
um 1000	Der Tadshike *Avicenna* (arabisch: *Ibn Sina*) stellt die gesamte griechisch-arabische Medizin in seinem „Kanon" dar.
1140	Der Normannenkönig *Roger II.* erläßt für das Königreich Sizilien das erste weltliche Medizinalgesetz: Ärzte dürfen nur mit staatlicher Genehmigung praktizieren.
12. Jh.	Blütezeit der medizinischen Schule von *Salerno* (bei Neapel).
um 1300	Das Tragen von *Brillen* ist sicher erwiesen.
1316	Der italienische Anatom *Mondino de Liucci* (um 1275 bis 1327) verfaßt die erste auf Leichenöffnungen beruhende Anatomie.
1346—1352	Verheerende *Pestepidemie* in Europa, die die Bevölkerung um ein Viertel dezimiert.
1377	In Dubrovnik (früher Ragusa) wird außerhalb des Hafens eine *Quarantänestation* eingerichtet, in der sich Seuchenverdächtige 40 Tage aufhalten müssen.
13./14. Jh.	Blütezeit der medizinischen Schule von *Montpellier* (Südfrankreich).
1414	Erstes Auftreten der *Grippe* in Paris.
1452	Erste *Hebammenordnung* (in Regensburg).
1460	*Heinrich v. Pfolspeundt* schreibt das erste deutsche Werk über Chirurgie, die „Bündt-Ertzney".
1490	In Padua wird ein „anatomisches Theater" (Leichensektion vor Fachpublikum) errichtet.
1494/95	Bei der Belagerung Neapels durch die Franzosen tritt die *Syphilis* als furchtbare Seuche auf.
1527	Der Schweizer Arzt und Naturphilosoph Theophrast von Hohenheim (*Paracelsus*; 1493 bis 1541) beginnt als Professor in Basel seinen Kampf gegen die scholastische, sich auf Galenus stützende Medizin des Mittelalters, der gegenüber er eine chemisch-biologische Auffassung der Lebens- und Krankheitsvorgänge vertritt; *Reformator der Medizin.* In seiner Praxis wendet er vor allem chemische, aber auch volkstümliche Heilmittel an.
1543	Der Professor der Chirurgie in Padua *Vesalius* (1515 bis 1564) begründet mit seinem auf eingehenden Studien an menschlichen Leichen beruhenden Werke „De corporis humani fabrica" die moderne *Anatomie.*
1553	Der spanische Arzt *Serveto* beschreibt als erster den Lungen- (Kleinen Blut-) Kreislauf.
um 1600	Der englische Arzt *P. Chamberlen* († 1631) erfindet die Geburtszange, von ihm und seinen Nachkommen eigennützig als Berufs- und Familiengeheimnis gehütet.
1628	Der englische Arzt und Physiologe *William Harvey* (1578 bis 1657) beschreibt in seinem Werke „Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus" den doppelten (Kleinen oder Lungen- und Großen oder Körper-) Blutkreislauf, den er schon etwa ein Jahrzehnt vorher entdeckt hatte.
um 1640	Die *Chinarinde* wird als Heilmittel gegen die *Malaria* in Europa bekannt.
1658	Der holländische Arzt und Zoologe *J. Swammerdam* (1637 bis 1680) entdeckt die roten *Blutkörperchen* (beim Frosch).
1667	Der französiche Arzt *Jean Denis*, der spätere Leibchirurg Ludwig XIV., nimmt die erste *Bluttransfusion* (von Tier zu Mensch) vor.
1673	Der holländische Zoologe *A. van Leeuwenhoek* (1632 bis 1723) beschreibt die roten Blutkörperchen des Menschen; baut selbst Mikroskope.
1677	Leeuwenhoeks Schüler *van Ham* entdeckt die *Spermatozoen* (Samenfäden).
1721	Der Genter Chirurg *J. Palfyn* (1650 bis 1730) erfindet von neuem die *Geburtszange* als ein nunmehr unentbehrliches Instrument der Geburtshilfe.
1728	Der Franzose *Pierre Fauchard* begründet durch sein Buch „Le chirurgien dendiste" die moderne *Zahnheilkunde.*
1740	In *Berlin* sterben rund 16% der Bevölkerung an den *Pocken.*
1751	Gründung der ersten *Irrenanstalt* (in London) sowie einer *geburtshilflichen* Klinik in Göttingen.
1761	Der Wiener Arzt *L. Auenbrugger* (1722 bis 1809) veröffentlicht die von ihm entwickelte Untersuchungsmethode des Nachweises von Krankheitsherden durch Beklopfen des menschlichen Körpers (*Perkussion*).

1773 Bekämpfung der *Geschlechtskrankheiten* in Norwegen (in Dänemark seit 1788) durch unentgeltliche Behandlung der Kranken in Krankenhäusern.

1779 Gründung der ersten *Kinderklinik* (in London).

1796 Der englische Arzt *E. Jenner* (1749 bis 1823) führt die erste *Pockenschutzimpfung* aus.

1796 Der deutsche Arzt *S. Hahnemann* (1755 bis 1843) begründet die *Homöopathie*.

1804 Der deutsche Apotheker *Fr. W. A. Sertürner* (1783 bis 1841) entdeckt das *Morphium*.

1819 Der französische Arzt *Läennec* (1781 bis 1826) führt das Abhorchen des Körpers mittels des Hörrohrs (*Auskultation*) in die ärztliche Praxis ein.

1822—1895 *Louis Pasteur*, französischer Chemiker, Biologe, Mediziner. Er entdeckt, daß eine Entstehung von Pilzen nur aus deren Keimen möglich ist. Durch ihre Abtötung mit Hitze wird Keimfreiheit erzielt.

1826 Der Bauer *V. Prießnitz* (1799 bis 1851) gründet in Gräfenberg (Schlesien) die erste *Kaltwasserheilanstalt*.

1831/32 *Choleraepidemie* in Europa.

1840 Der deutsche Mediziner *J. Henle* (1809 bis 1885) spricht in seinen „Pathologischen Untersuchungen" die Überzeugung aus, daß Krankheiten durch lebende Erreger hervorgerufen werden („Contagium animalium").

1841 Der nordamerikanische Arzt *Ch. Jackson* (1805 bis 1880) entdeckt die schmerzbetäubende Wirkung des Äthers. Auf seine Veranlassung wird die *Äthernarkose* 1846 erstmals in Boston von dem Zahnarzt W. Morton beim Ziehen eines Backzahns und von dem Chirurgen *J. C. Warren* bei der Entfernung einer Halsgeschwulst angewendet.

1847 Der englische Gynäkologe *J. Simpson* (1811 bis 1870) benutzt erstmalig *Chloroform* als Narkosemittel; bis dahin Operationen bei vollem Bewußtsein.

1847 Der deutsch-ungarische Gynäkologe *I. Ph. Semmelweis* (1818 bis 1865) weist den infektiösen Charakter des *Kindbettfiebers* nach.

1848 Der katholische Pfarrer *S. Kneipp* (1821 bis 1897) beginnt in Wörishofen (Bayern) mit seinen *Wasserkuren*.

1850 Der deutsche Physiker und Physiologe *H. von Helmholtz* (1821 bis 1894) erfindet den *Augenspiegel*.

1850 Der Berliner Pathologe *L. Traube* (1818 bis 1876) begründet die moderne *Fiebermessung* (Thermometrie) am Krankenbett und schafft durch Versuche mit dem „Roten Fingerhut" die Vorbedingungen für die moderne Herztherapie mit Digitalispräparaten.

1852 Der niederländische Wundarzt *A. Mathijsen* (1805 bis 1878) führt den *Gipsverband* in die ärztliche Praxis ein.

1854 Der deutsche Arzt *Hermann Brehmer* (1826 bis 1889) begründet die moderne Behandlung der *Lungentuberkulose* in Heilstätten.

1854 Der russische Chirurg *N. I. Pirogow* (1810 bis 1881) führt die nach ihm benannte, noch heute geübte osteoplastische Fußgelenkoperation ein.

1858 Der Berliner Pathologe und Anthropologe *Rudolf Virchow* (1821 bis 1902) stellt die Lehre von der Zelle als Trägerin des Lebens auf und führt Krankheiten auf Zellveränderungen zurück; Begründer der *Zellularpathologie* und *Sozialhygiene*.

1859—1949 *N. F. Gamaleja*, sowjetischer Gelehrter. Er entwickelt u. a. ein Verfahren zur Regeneration durchschnittener und herausgetrennter Nerven.

1863 Der bedeutende russische Physiologe *I. M. Setschenow* findet im Froschhirn ein Zentrum, das die Antwort auf Außenreize unterdrücken kann (Hemmungszentrum).

1867 Der englische Chirurg *J. Lister* wendet bei der Wundbehandlung und bei Operationen Karbol als Desinfektionsmittel an und begründet damit die *Antisepsis* (Keimabtötung).

1870—1872 Schwere *Pockenepidemie* in Deutschland.

1872 berichtet der Russe *A. G. Polotebnow* (1838 bis 1907), daß Wunden nach Bestäubung mit Sporenpulver von Schimmelpilzen schneller abheilen, und sieht damit die Heileigenschaften eines später „Penicillin" genannten Inhaltsstoffes der Schimmelpilze voraus.

1874 In Deutschland wird der *Impfzwang* gegen die Pocken gesetzlich eingeführt.

1876 Der deutsche Landarzt *Robert Koch* (1843 bis 1910) weist nach, daß der Milzbrand durch Bakterien hervorgerufen wird, indem er diese in Reinkultur auf Nährböden züchtet und mit ihnen Infektionen ausführt; Begründer der medizinischen *Bakteriologie*.

1877	In Deutschland wird die *Fleischbeschau* gesetzlich vorgeschrieben, durch die fortan Trichinenerkrankungen weitgehend ausgeschaltet werden.
1879	Der Breslauer Dermatologe *A. Neißler* (1855 bis 1916) entdeckt den *Trippererreger*.
1880	Der Züricher Bakteriologe *K. J. Eberth* (1835 bis 1926) findet die *Typhusbakterie*.
1880	Der französische Arzt *A. Laveran* (1845 bis 1922) entdeckt den *Malariaerreger*.
1881	Dem Wiener Chirurgen *Theodor Billroth* (1829 bis 1894) gelingt die erste Magenresektion.
1882	*Robert Koch* entdeckt das *Tuberkelbakterium* und 1883 den *Choleraerreger*.
1884	Der russische Biologe *I. Metschnikow* (1845 bis 1916) entdeckt die bakterientötende Kraft der weißen Blutkörperchen (Phagozytose).
1884	Der Berliner Hygieniker *F. Löffler* (1852 bis 1915) findet den *Diphtheriebazillus*.
1886	Der Berliner Chirurg *E. v. Bergmann* (1836 bis 1907) und sein Assistent *Schimmelbusch* führen mit der Dampfsterilisation die *Asepsis* (Keimfreihaltung) allgemein in die Chirugie ein.
1889/90	Ein Grippeepidemie breitet sich über die ganze Erde aus.
1890	Der deutsche Bakteriologe *E. v. Behring* (1854 bis 1917) und der japanische Bakteriologe *S. Kitasato* (1856 bis 1931) heilen an Wundstarrkrampf erkrankte Tiere durch Einspritzen des Tetanusantitoxins und begründen damit die *Serumheilkunde*.
um 1890	Der sowjetische Physiologe und Experimentator *I. P. Pawlow* (1849 bis 1936) beginnt seine Untersuchungen über die Funktion der Verdauungsdrüsen und die bedingten (d. h. erst durch Assoziation und Übung erworbenen) Reflexe (Experiment mit der Scheinfütterung des Hundes).
1892	Der Berliner Bakteriologe *R. Pfeiffer* (geb. 1858) entdeckt die *Influenzabakterien*.
1892	Der Berliner Chirurg *C. L. Schleich* (1859 bis 1922) erzielt örtliche Schmerzbetäubung, indem er stark verdünntes Kokain unter die Haut einspritzt (Infiltrations- oder Lokalanästhesie).
1892	*Choleraepidemie* in Hamburg.
1892	Der deutsche Mediziner und Mitbegründer der Immunitätslehre *E. v. Behring* führt die Diphtherieserumbehandlung ein.
1892	Der russische Physiologe *D. I. Iwanowski* (1864 bis 1920) entdeckt bei Untersuchung der Mosaikkrankheit des Tabaks die Filtrierbarkeit der Viren.
1894	Der französische Hygieniker *A. J. E. Yersin* (1863 bis 1943) und der japanische Bakteriologe *Kitasato* finden unabhängig voneinander die *Pestbakterie*.
1895	Der Würzburger Physiker *Wilhelm Röntgen* (1845 bis 1923) entdeckt die nach ihm benannten Strahlen.
1898	Das französische Physikerehepaar *Pierre* (1859 bis 1906) und *Marie* (1867 bis 1934) *Curie* entdeckt das *Radium*.
1899	Der sowjetische Bakteriologe *N. F. Gamaleja* (1859 bis 1949) entdeckt die Erscheinung der Bakteriophagie (Auflösung der Bakterien durch sog. Phagen).
1901	Der Wiener Bakteriologe *K. Landsteiner* (1868 bis 1943) findet die Blutgruppen.
1901	Der russische Arzt *Sobolew* verwendet isolierte Langerhanssche Inseln aus Bauchspeicheldrüsen vom Kalb zur Heilung der Zuckerkrankheit beim Menschen.
1904	Der Münchener Röntgenologe *Rieder* begründet die Röntgenuntersuchung des Magens und Darms mit Hilfe der „Kontrastmahlzeit".
1905	Der deutsche Zoologe *F. Schaudinn* (1871 bis 1906) entdeckt zusammen mit dem Dermatologen *E. Hoffmann* (geb. 1868) den Erreger der Syphilis.
1906	Der Berliner Bakteriologe *A. v. Wassermann* (1866 bis 1925) führt die nach ihm benannte Reaktion zum Nachweis der Syphilis ein.
1910	Der Frankfurter Pathologe *P. Ehrlich* (1854 bis 1915) entdeckt zusammen mit dem japanischen Bakteriologen *Hata* (geb. 1873) als 606. Präparat einer Versuchsreihe das *Salvarsan* als Heilmittel gegen die Syphilis.
1912	Der polnische Chemiker *C. Junck* (geb. 1884) führt den Begriff „Vitamin" ein und isoliert 1914 als erstes das Vitamin B_1.
1913	Der sowjetische Arzt *W. Filatow* beginnt, neue Methoden zur operativen Behandlung von Augenkrankheiten zu entwickeln. Er ersetzt die Hornhaut entzündeter Augen durch die Hornhaut eben Verstorbener.
1918	Der schwedische Mediziner *R. Fähraeus* (geb. 1888) führt die Bestimmung der Senkungsgeschwindigkeit der Blutkörperchen in die ärztliche Praxis ein.
1918/19	Eine Grippeepidemie breitet sich über die ganze Erde aus.

seit 1920 Der sowjetische Chirurg *N. G. Stoiko* entwickelt die chirurgischen Methoden zur Behandlung der Lungentuberkulose weiter und erzielt als erster größere Heilerfolge durch *Kavernotomie* (Öffnung einer großen Kaverne mit nachfolgender offener Ausheilung).

1921 Das zur Bekämpfung der Schlafkrankheit von den Deutschen *O. Dressel, R. Rothe* und *W. Roehl* entwickelte *Germanin* wird in die Tropenmedizin eingeführt.

1922 Die kanadischen Mediziner *F. G. Banting* (geb. 1891), *J. J. Macleod* und *Best* finden das *Insulin* als Heilmittel gegen die Zuckerkrankheit.

1927 Der sowjetische Physiologe *J. P. Pawlow* veröffentlicht seine 1924 gehaltenen „Vorlesungen über die Arbeit der Großhirnhemisphäre". Er weist darin nach, daß die seelischen Vorgänge ein Produkt der höchstorganisierten Materie, des Gehirns, insbesondere der Großhirnrinde, sind.

1927 In England, in dem kein Impfzwang besteht, werden 14800 *Blatternfälle* festgestellt, in Deutschland dagegen nur 4.

1929 Der englische Bakteriologe *A. Fleming* (1881 bis 1955) entdeckt das *Penicillin* als bakterientötendes Heilmittel.

1932 Der sowjetische Gelehrte *W. W. Sukujew* entdeckt den Zerfall von Bakterien in kleinere, im Lichtmikroskop unsichtbare, vermehrungsfähige, lebende Teilchen, die später „Viren" genannt werden.

1934 Veröffentlichung der grundlegenden Arbeiten des sowjetischen Physiologen *A. D. Speranski* über die „Grundlagen der Theorie der Medizin"; ersetzt die Zellularpathologie *Virchows* durch eine Neuralpathologie.

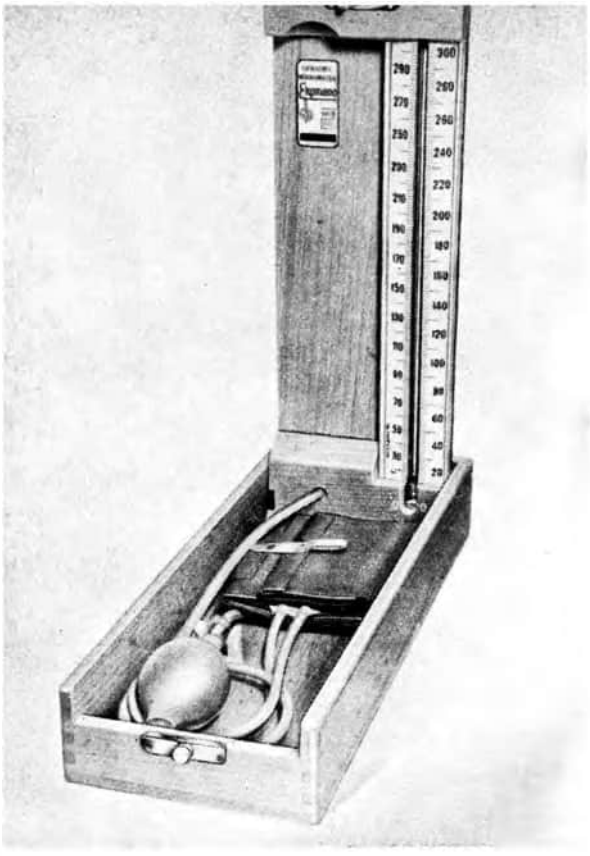
1935 führt der deutsche Arzt *G. Domagk* (geb. 1895) die Sulfonamide in die Heilbehandlung ein. Als erstes dieser bakterienabtötenden Heilmittel erscheint Prontosilalbum (Prontalbin) auf dem Markte.

1941 Veröffentlichung der Arbeit des sowjetischen Mediziners *K. M. Bykow* über die „Großhirnrinde und innere Organe".

1945 Eine Gruppe sowjetischer Ingenieure und Ärzte mit *I. Woronoj* und *B. Gudow* an der Spitze entwickelt einen Apparat zum Zusammennähen von Blutgefäßen.

1950 Dem sowjetischen Chirurgen *Demichow* gelingt es, durch chirurgische Experimente an Hunden der Herzchirurgie neue therapeutische Möglichkeiten zu zeigen.

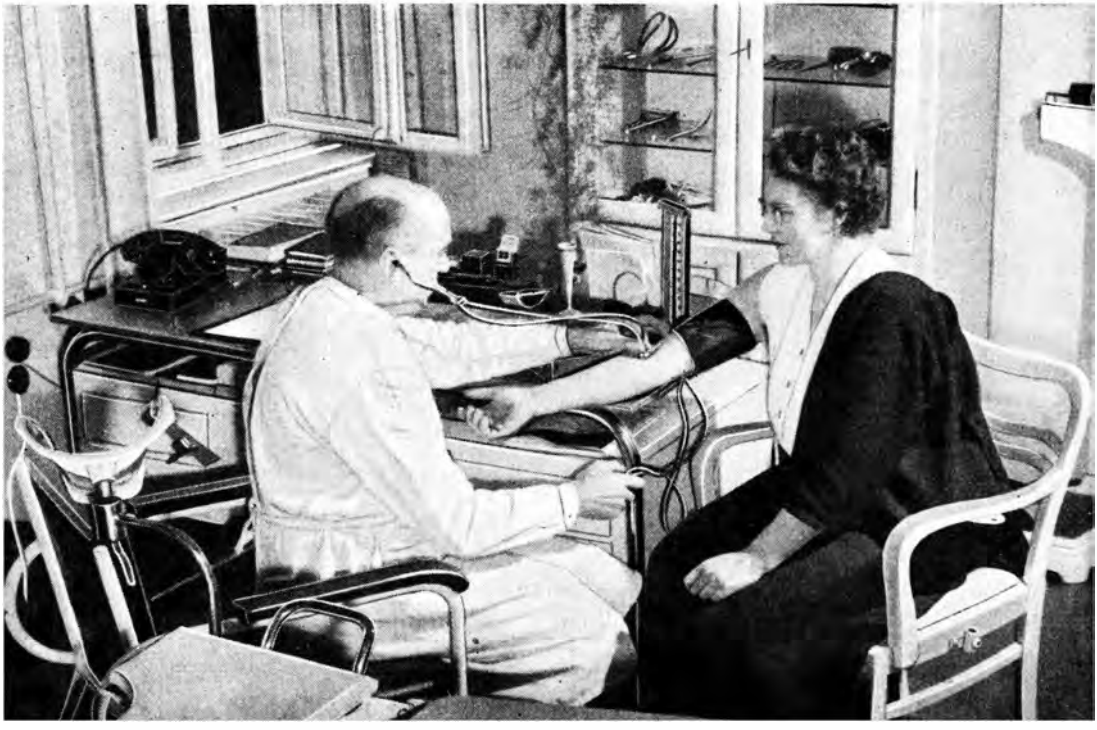
1956 Der deutsche Physiologe und Erforscher des Atmungsfermentes *O. Warburg* (geb. 1883) betrachtet als charakteristische Eigenschaft der Krebszellen ihren qualitativ besonderen Stoffwechsel, bei dem Gärungsvorgänge die Atmung überwiegen. Die Stärke der Gärung wird als Maß für die Bösartigkeit der Krebsgeschwulst angesehen.



Blutdruckmesser

Blutdruckmessung

Der Arzt liest den Druck, den das Blut auf die Oberarmarterie ausübt, an einem Blutdruckmesser ab



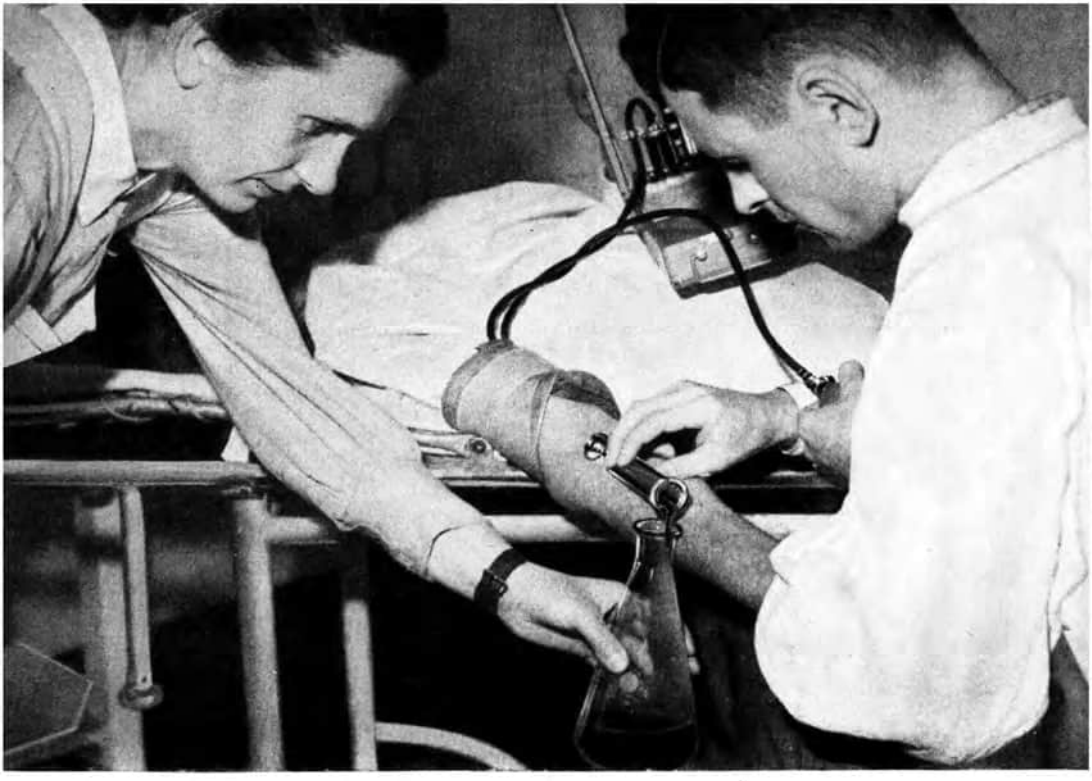


Inhalationsnarkose. Das rasch verdunstende Narkosemittel wird auf die Gesichtsmaske getropft. Die durch Verdunstung entstehenden Dämpfe werden vom Patienten eingeatmet

Narkose

Intravenöse Narkose. Dem Patienten wird die narkotisierende Flüssigkeit in die Vene eingespritzt





Blutentnahme vom Spender



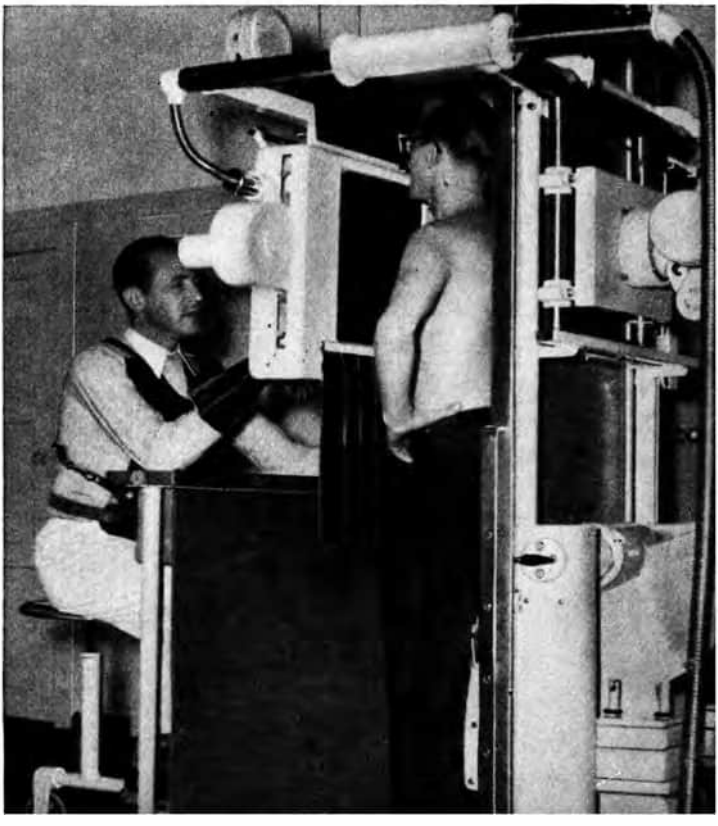
Blutübertragung

Einführen von konserviertem Blut in die Armvene des Patienten

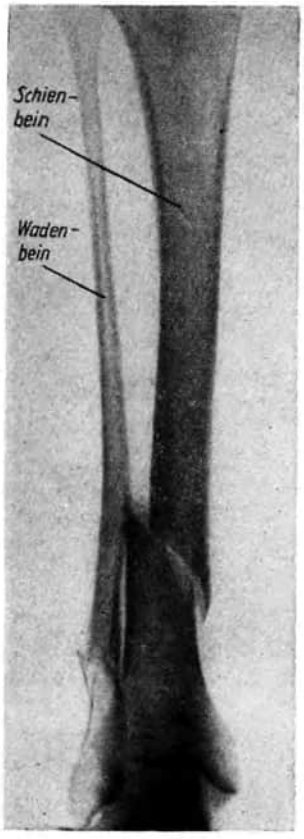


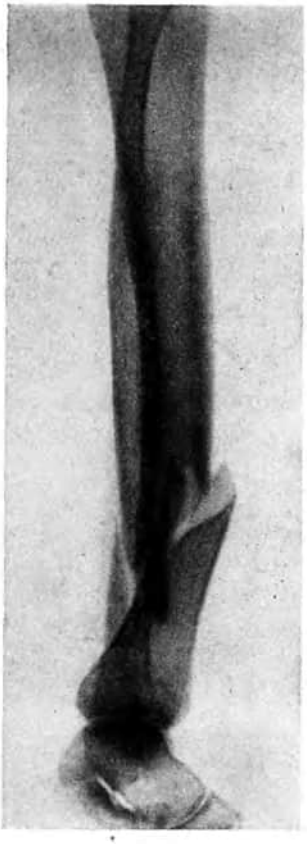
Motorisierter Röntgenzug

Röntgendurchleuchtung



Röntgendurchleuchtung des Brustkorbes



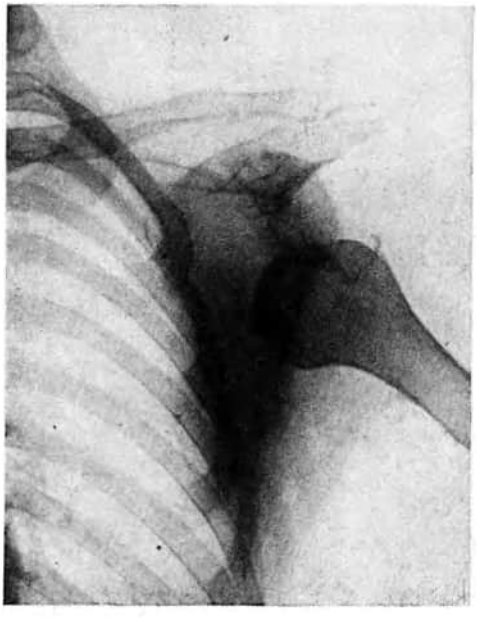


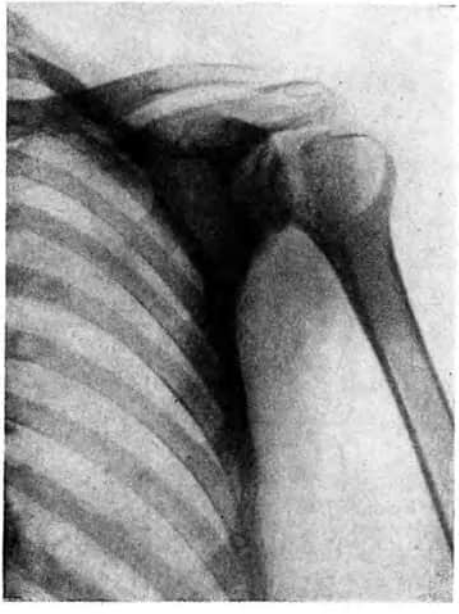
Unterschenkel mit Schrägbrüchen des Schienenbeins und des Wadenbeins

links Aufnahme von vorn

rechts Aufnahme von der Seite

Röntgenaufnahmen I





Ausgerenktes Schultergelenk *unten links*

Schultergelenk wieder eingerenkt *unten rechts*

Infolge unterschiedlicher Strahlendurchlässigkeit lassen sich im Brustkorb die Rippen, das Zwerchfell, das Herz und die Lungengefäßzeichnung gegeneinander abgrenzen



Röntgenaufnahmen II



Normaler Dickdarm. Durch Kontrastmitteleinlauf hebt sich der Darm von den übrigen Organen ab und kann in Lage und Form beurteilt werden





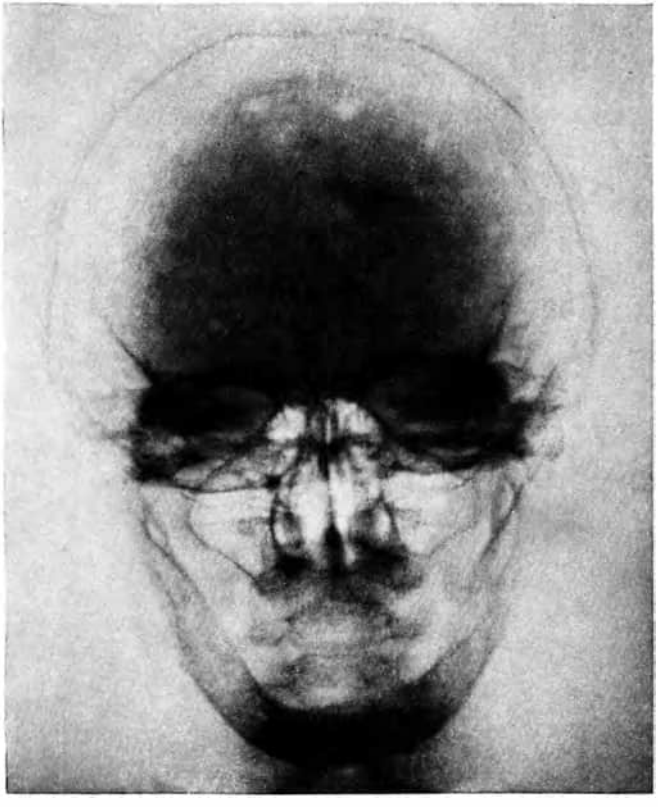
Röntgenaufnahmen III

Normaler Schädel von der Seite und von vorn

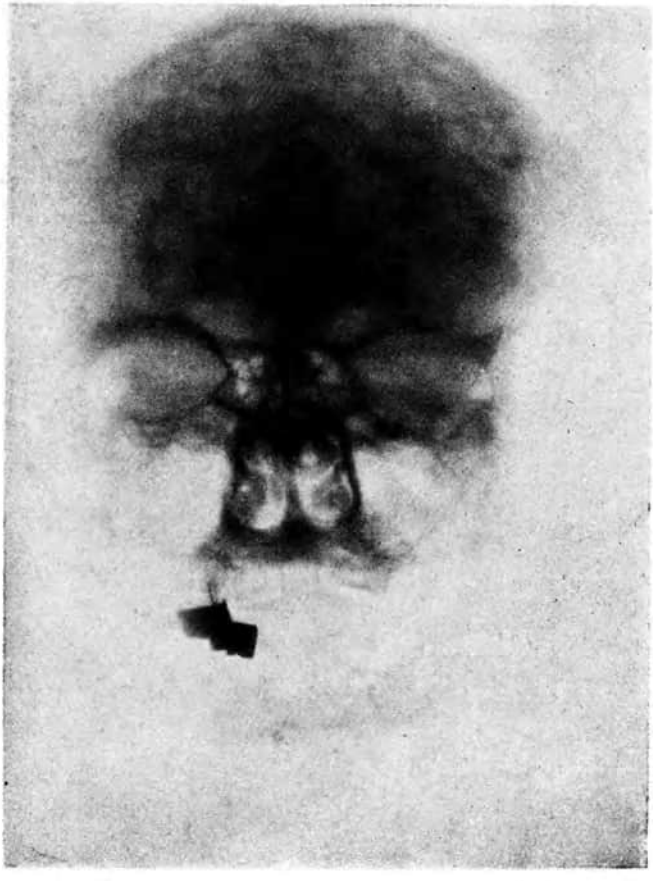
Röntgenaufnahmen IV



Umschriebene Wucherungen und Aufhellungen bei einer Geschwulsterkrankung der Plasmazellen des Knochenmarks (Plasmacytom)





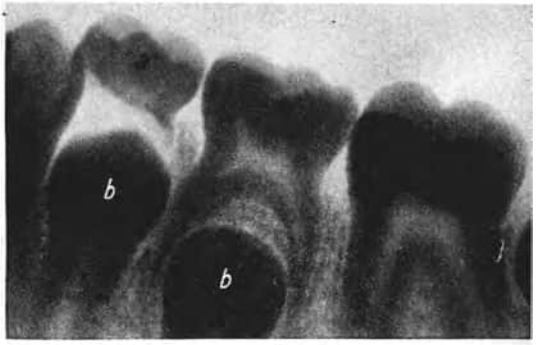


Röntgenaufnahmen V

Knochenumbauten mit Aufhellungen und streifig-strähniger Struktur bei chronischer Entzündung (Morbus Paget). Schädelaufnahmen von der Seite und von vorn

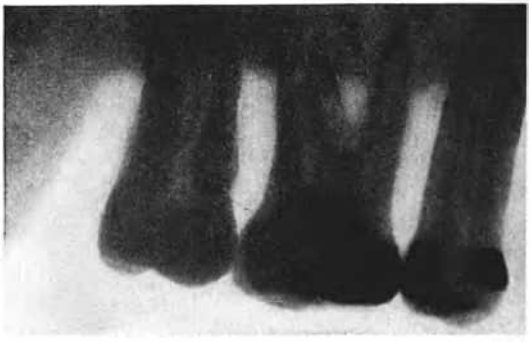


1



2

3



4



5



Zahn- und Kieferkrankheiten

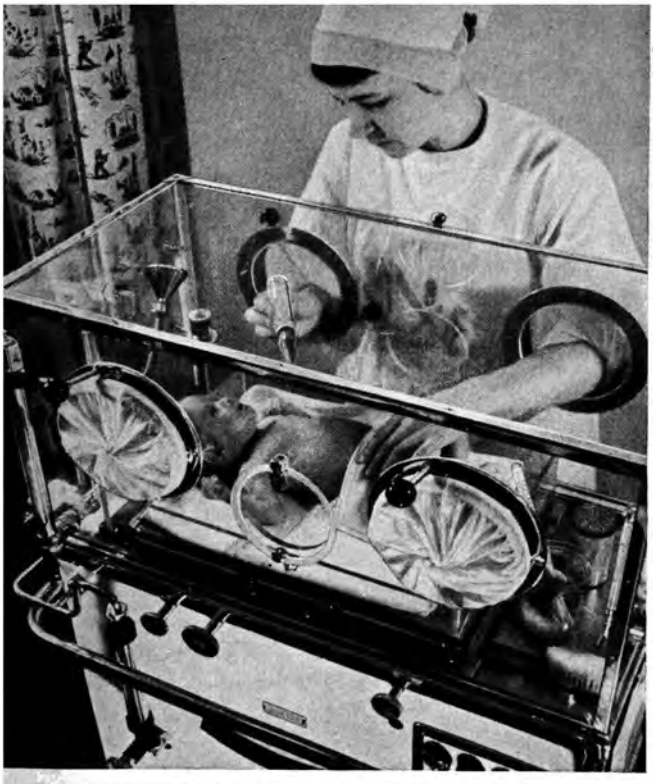
1 Idealgebiß eines fünfzehnjährigen Mädchens

2 Gebißwechsel. *a* Milchzahn kurz vor der Abstoßung, Wurzel bereits aufgesaugt; *b* nachdrängende bleibende Zähne

3 Paradentose. Knochenschwund deutlich erkennbar; Wurzeln nur noch mit den Spitzen im Oberkiefer stehend

4 Wurzelherd. Umgebender Knochen zerstört; Wurzelspitze resorbiert

5 Pflaumengroße Zyste im Unterkiefer, von einem Wurzelrest ausgehend. Die schwarzen Stellen der oberen Zähne sind Metallkronen bzw. Metallfüllungen



Inkubator mit künstlicher Sauerstoffzufuhr, Temperatur- und Feuchtigkeitsregelung für Frühgeburten

Medizintechnik



Eiserne Lunge

ALPHABETISCHES STICHWORTVERZEICHNIS

Das Stichwortverzeichnis enthält alle Begriffe, über die die „Kleine Enzyklopädie/Natur" etwas Wesentliches aussagt. Die Stichwörter sind streng alphabetisch geordnet. Die Alphabetisierung erstreckt sich auch auf die Buchstaben, die nach einem beim Stichwort gelegentlich auftretenden Komma stehen; so folgt auf „Ströme, Eisbedeckung" das Stichwort „Stromeinheit". Innerhalb von zusammengesetzten Stichwörtern auftretende Geschlechts-, Verhältnis-, oder Bindewörter blieben bei der Alphabetisierung außer Betracht. Beispiel: „Sonne, Bestrahlungsstärke" steht vor „Sonne als Energiequelle".
Zusammengesetzte Stichwörter sind dort eingeordnet, wo sie am ehesten gesucht werden, z. B. „elektromagnetisches Spektrum" unter „S" (Spektrum, elektromagnetisches); bei besonderer Wichtigkeit treten sie aber auch zweimal im Register auf.
Sind zu einem Stichwort mehrere Seitenzahlen angegeben, so verweist eine eventuell vorhandene halbfett gedruckte Zahl auf diejenige Seite, auf der die wesentlichsten oder ausführlichsten Angaben zu finden sind.
Die Umlaute „ä", „ö", „ü" nehmen keine Sonderstellung ein, sondern werden so behandelt, als ob „a", „o", „u" dastünde. Der Buchstabe „ß" ist wie „ss" eingeordnet.
Stichwörter fremdsprachlicher Herkunft sind meist als eingedeutschte Wörter behandelt, können also beispielsweise unter „C" oder „K" oder „Z" gefunden werden (Caesium — Zäsium, Cadmium — Kadmium). Die verschiedenen Möglichkeiten der Schreibweise sind also in Zweifelsfällen zu bedenken.
Der Gedankenstrich vor einem Stichwort steht entweder für das erste vollständige Wort oder für den durch einen senkrechten Strich abgetrennten ersten Teil des vorhergehenden Stichwortes.
Als weitere Suchmittel sind außer dem Hauptinhaltsverzeichnis auch die Inhaltsübersichten am Anfang der einzelnen Hauptabschnitte geeignet.
Das griechische Alphabet ist dem Stichwortverzeichnis auf Seite 877 angefügt.

A

Aal 698
—strich 741
Abakus-Rechnen 101
Abdämmungsdepression 533, 534
Abel, N. H. 103
Abenddämmerung 465
Aberration 106
Abfluß|faktor 514
—gebiete 513
abflußlose Gebiete 513
Abflußspende 514
abiotische Faktoren 577
abkürzen (runden) 10
Abplattung der Erde 429
Absatzgesteine 444
Abscheidungs|polarisation ... 319
—spannung 319
Abschlußgewebe 589
absolute Beträge, Rechenregeln 17
— Helligkeit 381, 382, 402, 408
— Luftfeuchtigkeit 266
absoluter Alkohol 355
— Betrag 7, **16**
— Nullpunkt 215
absolute Schneegrenze 501
absolutes Maßsystem 123
Absorptionsspektren 211
Abstammungslehre 601
— und Weltanschauung 601
absteigender Knoten 385
Abstoßung, elektrische 227
Abstoßungskraft 189
Abszissenachse 80, 81
Acetylcholin 782
Achard, F. C. 372, 681
Achse des Prismas 77
Achter, Geweih 752
Achttausender, Erstbesteigungen 492
Acker|boden, Zusammensetzung 675
—unkräuter 636, 643
Adaminaby-Stauanlagen 527
Adamsapfel 800
Adaptation 788
adäquater Reiz 786
Addieren, Rechenregeln 9
Addiermaschinen 31
Addition 5, **16**
—, korrespondierende 18
Additions|methode bei Gleichungen 38
—theoreme, trigonometrische 75
—theorem für Wahrscheinlichkeiten 44
Adelsberger Höhlensystem .. 542
Aderhaut 787
Adernin 808
Adhäsionskräfte 189
Adipinsäure 362
Adrenalin 357, 782, **812**
Adsorbat 285
Adsorbentien 285
Adsorption 285
Adsorptionsanalyse, chromatographische 285
Adsorptiv 285
Adventivpflanzen 641
Aero|mechanik 159
—photogrammetrie 557
Affen 713, 766, 767
—menschen, fossile 772
Afrika 478, 479, 481, 509, 511, 526, 535, 568, 773
—, Binnenseen 523
—, Depressionen 534
—, Flüsse 517
Afrika, Gebirge 490
—, Halbinseln 533
—, Inseln 531
afrikanische Gewässer, Tidenhub 546
— Inseln, Gebirge 491
— Menschenaffen, Verbreitung 769
Afrika, Stauanlagen 526
Agaven 643
Agfacolorverfahren 212
agglutiniert 795
Agglutinine 795
Agglutinogene 797
Aggregatzustand 188, **262**
—, Änderung 217
Aggteleker Höhlenwelt 542
Agricola, G. 371
ägyptische Längenmaße, System 152
ähnliche Dreiecke 63
Akkommodation des Auges .. 788
Akkorde 201
Akryl|harze 366
—säure 362
Aktiniden 326
—elemente 298, **326**
Aktinium 289, 295, **326**
Aktivierungsenergie 310
Aktivität 308
Aktivitätskoeffizient ... 308, 312
Aktivkohle 340
Akustik 156, **159**
Alaskagebirge 488
Alaune 344
Albatros 694, **728**
Albedo 384
— der Erde 384
Albumine 580, 801
Albumosen 801

Aldehyde 358, 359
Alder, K. 375
Aldosen 356
Alembert, J. d' 103
Aleuten 489
—gebirge 488
Alexander von Makedonien .. 566
Algebra 2
algebraische Gleichungen 36, 104
— Zahlen 36
Algenpilze 608, 652
Algorithmus, lösender 33
Alichanjan, A. J. 259
Alichanow, A. J. 259
aliphatische Amine 352
— Kohlenwasserstoffe 345
Alizarinfarbstoffe 351
alizyklische Kohlenwasserstoffe 349
Alkalien 324
Alkali|metalle 324
—metalloxyde 284
alkalische Lösung 313
Alkanal 358
Alkane 346
Alkene 347, 349
Alkine 348
Alkmäon aus Kroton, Arzt .. 761
Alkoholate 353
Alkohole **353**, 371
—, Benennung 353
Alkoholgenuß bei Kraftfahrern 826
alkoholische Gärung 582
Alkoholismus 824
Alkohol|toleranz 824
—vergiftung, Erste Hilfe 833
Allard 682
Allergie 826
allgemeine Mineralogie 445
allgemeingeographische Karten 559
Alligator 731
allochromatische Minerale .. 445
Allotropie 283
Aloe 662
Alpaka 334, 742
Alpen 482
—, Erstbesteigungen 493
—gletscher, Substanzverlust .. 511
—pässe 494
—veilchen 662
alpine Gebirge 499
Alpinismus 492
alpinotyper Baustil 437
Altai 486
—, Pässe 495
Alter 706, 814, 817, **819**
— der Erde **436**
— von Gesteinen 436
alternierende geom. Folge ... 41
Alters|bestimmung von Gesteinen 436
—sichtigkeit 209, **788**
Altgrad 144
—, Umrechnung 145
Altmenschengruppe 537
Altokumulus 465
Altostratus 465
Altwelt|affen 713
—-Tieraffen 766, 767
Aluminium 289, 294, 322, **332**, 372, 579
—karbid 336
—legierungen 334
—silikate 332
—sulfat 344
—wasserstoff 336
Aluminothermie 329, 332
Alumosilikate 332
Alveole 777
Amalgame 331
Amazonenstrom 518
Ambarzumjan, W. A. 426
Amblygonit 324
Amboß, Gehörknöchelchen .. 790
Ameise 737
—, Entwicklungszeiten 706
Ameisen|arten 691, 737
—igel 711
—säure 361
Amerizium ... 289, 295, 322, **327**
Amine 352
Amino|karbonsäuren 365
—plaste 366
—säuren **366**, 580, 802
Amitose 587
Ammoniak 336, 339
—synthese 336
Ammoniumsalze 336, 339
amorphe Minerale **445**
— Stoffe 285
Ampere 129, 151
Ampère, A. M. 151, 256
Amperesches Verkettungsgesetz 224
Amperesekunde 129
Amphibien 708
amphotere Hydroxyde 341
Amplitude 174, 175, 197
Amundsen, R. 431, 572, 574
Amylalkohole 354
Amylum 581
anadrome Fische 735
anaerobe Mikroorganismen .. 576
analoge Organe 597
Analogien 597
Analogierechner 32
Analyse 261
Analysen|methode, polarographische 374
—waagen **167**
Analysis 2
analytische Chemie 261
— Geometrie 54, **83**, 101
Ananasgallen 624
Anaphylaxie 826
Anaplasmiden 584
Anatolien 532
Anatomie, vergleichende **597**
Anden 489, 501
—, Pässe 496
Anderson, C. 259
Andrée, S. A. 572
Andrews, Th. 373
Andromedanebel 426
Aneignungswirtschaft ... 738, 765
Aneurin 808, 810
Angelfall 518
angewandte Geophysik 450
Angoraziege 740
Ångström 124, 151
Ångström, A. J. 151
Anheftung des Blattes 620
Anhydride, gemischte 341
Anilin **352**, 353, 372
animales Nervensystem 782
Anionen 286, 292, 312
Anionenaustauscher 357
—säule 357
anisotrop 278
Ankömmlinge (Passanten) ... 641
Anlagerungsreaktionen 249
Anlegegoniometer 446
Anode 318
Anodenbatterien 318
anodische Oxydation 318
Anomalie des Wassers 273
anomalistischer Monat 109
anomalistisches Jahr 110
Anordnungsbeziehungen 16
anorganische Säuren 341
— Stoffe 320
Anpassungsfähigkeit des Auges 788
Ansitz 750
Antagonismus von Parasympathikus und Sympathikus 782
Antarktika 479, 481, 509
—, Inseln 532
Antarktis 639, 728
—, Gebirge 490, 512
—, Halbinseln 533
Antenne 257
Anthozyane 357
Anthrachinon-(9, 10) 351
Anthrazen 351
anthropone Einflüsse 499
Anthropusgruppe 536
Anti|kathode 238
—klopfmittel 353
Antimon 289, 295, 322, **333**
Anti|neutrino 244
—neutron 244
—peristaltik 701
—proton 244
—sepsis 836
—teilchen 245
Anzeigepflicht bei Berufskrankheiten 823
Anziehung, elektrische 227
Anziehungs|kraft 189
—wirkung der Planeten 391
äolischer Transport 444
Aorta 797, 798
Apatit 337, 339
Apennin 483, 532
—, Pässe 495
Apexbewegung der Sonne ... 403
Apfelsorten 666
Aphelentfernung der Sonne .. 381
Apollonios von Perge 100
Apoplexie 824
Apothekergewichte, alte deutsche 140
Appalachen 488
Appletonschicht 465
Aprikosensorten 668
Äquator **428**, 429, 550
—, galaktischer 379
äquatorialer Regenwaldgürtel 535
äquatoriales Trägheitsmoment 188
Äquatorialsystem 377, **378**
—, *Grundlage für Zeitbestimmung* 379
Äquatorradius, Werte 429
äquimolare Lösungen 276
Äquinoktium 380
Äquivalente, elektrochemische 319
äquivalente Gewichtsverhältnisse, Gesetz 305
Äquivalent|gewicht 275, 305
—leitfähigkeit 319
Ar 127
Arabien 532
arabische Gebirge 487
Aralsee 522
Aräometer 172
Arbeit 128, 130, 172, **177**
— und Menschwerdung 765
Arbeitseinheiten 178
Arbeitskalender, gärtnerischer 671
—, landwirtschaftlicher 677
Archanthropinen 772

Archäophyten 641
Archaeopteryx 694, 762
Archimedes von Syrakus 100, 254
archimedisches Prinzip .. 192, 254
Archiometer 154
Argelander, F. W., Astronom 425
Argon 289, 294, 335
Argument 7
Aristarch von Samos 423
Aristoteles ... 253, 371, 603, 761
Aristyllos von Samos 423
arithmetische Zahlenfolgen .. 40
Arizonakrater 396
Arktis 502, 571, 728
Armbanduhr, elektrische 122
—, elektronische 122
Ärmelkanal 548
Armenisches Hochland 486
Armleuchtergewächse 608
Arnhemland 533
Arni 741
aromatische Alkohole 353
— Amine 352
— Halogenverbindungen ... 351
— Karbonsäuren 363
— Ketone 360
— Kohlenwasserstoffe .. 349, 351
aromatischer Zustand 349
Arrheniussche Gleichung 310
Arrhenius, S. 374
Arsen ... 289, 294, 335, 338, 339
Arsenate 339
arsenige Säure 339
Arsenik 339
Arsen|kies 339
—säure 339
—verbindungen 339
Art 607, 608
Artenzahl im Tierreich 683
— wichtiger Tiergruppen 685
Arterie 798
arterielles Blut 797
Arzneipflanzen 649, 831
Aschenanalysen 625
aschgraues Licht des Mondes 384
Asepsis 837
asiatische Gewässer, Tidenhub 546
— Inseln, Gebirge 487
— Menschenaffen, Verbreitung 769
Asien 478, 479, 481, 509, 511, 535, 566, 773
—, Binnenseen 522
—, Depressionen 534
—, Flüsse 516
—, Gebirge 485
—, Halbinseln 532
—, Inseln 529
—, Stauanlagen 526
Asklepios 834
Askorbinsäure 809, 811
Äskulap 834
Assalseesenke 534
Assimilation .. 265, 582, 619, 626
Assimilationstätigkeit und Licht 626
assimilatorische Vorgänge ... 782
Assoziation 635
— der Moleküle 269
assoziative Gesetze 9
Assuanhochdamm 526
Astat ... 289, 295, 335, 336, 337
Asteroiden 393
asthenischer Typ 775
Aston, F. W. 258
α-Strahlen 248, 258
α-Strahlen, Reichweite 242
Astronomie, babylonische ... 423
Astronomie, Fundamentalkoordinatensystem 379
—. Koordinatensysteme 376
astronomische Dämmerung .. 465
— Einheit 380, 381, 387
— Meßmethoden 557
— Ortsbestimmung 551
astronomischer Azimut 552
astronomisches Jahr 109
Asymptoten der Hyperbel ... 90
Atem|frequenz 799
—luftmenge beim Pferd 703
—muskulatur 799
—umfang 799
—zentrum 786
—züge, Zahl 702
Äthan 346, 347
Äthanal 359
Äthanol 354
Äther 357
—narkose 836
Athlētiker 775
athletischer Typ 775
Äthoxylinharze 367
Äthylalkohol 354
Äthylen 347
—isomerie 348
—kohlenwasserstoffe 347
Atlantik 479
Atlantischer Ozean 543
Atlas 490
—, Pässe 496
Atmosphäre der Erde 435, 464, 475, 480, 577
—, physikalische 194, 195, 262, 264
—, Schichten 464
—, technische 192, 194, 195, 262, 264
atmosphärische Bewegungen 467
Atmung 582, 799, 800
—, fetale 817
—, künstliche 833, 834
Atmungs|luft, Zusammensetzung 799
—material 582
—organe 794, 800
Ätna 456, 485
Atom|arten 286
—bindung 302
—bombe 259
Atome 261, 286
—, Aufbau 286
—, Elektronenhülle 290
—, Größe 286
Atomeisbrecher „Lenin“ 252, 259
Atome, Verbindungsfähigkeit 293
—, Wertigkeit 292, 293
Atomgewicht 305, 372
—, absolutes 290, 296, 373
Atomgewichte einiger Elemente, Gegenüberstellung 288
Atomgewicht, mittleres physikalisches 288
—, relatives 262, 287, 288, 289, 290, 305
Atomgewichts|bestimmung .. 287
—einheit, neue 290
—kommission, internationale 288, 374
Atomgitter 281
—, makromolekulare 300
Atom|hülle 286
—hypothese, erste 304
—kern 245, 286
—kraftwerk, erstes 259
—lehre, Begründer 371
—masse 286, 288
—modell 258, 374
Atom|physik 156
—prozent 274
—radius 286, 298
—säulen 259
—spaltung 259
—spektren 290
Atomvolumen 286
—, Periodizität 296
Atomwärme 220
— einiger Metalle 220
Atophan 360
Ätz|alkalien 324
—kalk 325
—natron 340
Auenbrugger, L., Arzt 835
Auenwälder 636
Auerbach, Ch. 606
Auerochse 740, 753, 755
Aufbau des menschlichen Körpers 776
— der Sterne 413
Aufdruck 192
Aufgehen der Saat 674
Auflösungsvermögen ... 241, 703
Aufnahmevermögen der Elektronenschalen 290
aufsteigender Knoten 385
Auftrieb 165, 192
Aufwachsverfahren 327
Augapfel 787
Auge 787
—, Anpassungsbreite 788
—, Anzahl der Nervenfasern 703
—, Durchschnitt 787
— des Edelreises 670
—, Empfindlichkeit 788
Augen|bindehaut 787
—brauen 787
—kammern 787
—lider 787
—muskelnerv 784
—rollmuskelnerv 785
—spiegel 836
—wimpern 781
Augsprosse 752
Auripigment 339
Ausatmung 799, 800
Ausbruchsformen der Vulkane 454
ausdauernde Gewächse 657, 662
Ausdehnungskoeffizient 216
—, kubischer 264
—, thermischer 269
Ausdehnung durch Wärme .. 216
Ausfällungsgesteine 444
ausgestorbene Tierriesen 692
Ausklammern von Zahlen ... 10
Auskultation 836
Auslese, natürliche 583
Ausnützung der Strahlenenergie 626
Aussatz 825
Ausscheidung 803
Ausscheidungsorgane 800
Außen|skelett 695
—winkel des Dreiecks 62
äußere Planeten 388
äußerer Augenmuskelnerv ... 785
äußeres Ohr 790
außereuropäische Sternwarten 420
außerirdisches Leben 576
Australien 479, 481, 509, 511, 527, 535, 570, 711, 773
—, Binnenseen 523
—, Depressionen 534
—, Flüsse 518
—, Gebirge 491
—, Halbinseln 533
—, Inseln 530

Australien, Stauanlagen 527
Australis 639
Australische Alpen 491
australische Gewässer, Tidenhub 547
— Inseln, Gebirge 492
Australopithecus 770
Autobahn 494
Automaten, lernende..... 35
automatische Bruchgrammauflage 167
autonomes Nervensystem ... 782
Autostraßen 494
autotroph 582
Avicenna 835
Avogadro, A., Physiker 255, 372
Avogadrosche Molekularhypothese 372
Avogadrosches Gesetz 264, 305
Axerophthol 808, 810
Axiome 1, 16, 53
Axolotl 690
Azalee 663
azeotropes Gemisch 355
Azetal|dehyd 358, 359
—harz 369
Azetate 362
Azetat|kunstseide 370
—seide 367
Azetobakter 265
Azeton 360
Azetylen 348
—kohlenwasserstoffe 348
Azetylzellulose 367, 370
Azide 339
Azimut 550
Azimutal|entwurf, flächentreuer von Lambert 562
—projektion 560
Azimutbestimmung 552
Azofarbstoffe 353
azyklische Kohlenwasserstoffe 345

B

Babinet, J. 154
Backzähne 697
Bacon, R. 254
Bacterium radicicola 265
Badigin 573
Baffin, W. 572
Bahnbeschleunigung 162
Baikalsee 534
Bakelite 357, 368
Bakterien..... 584, 585, 608
Bakterio|logie 836
—phagen 584
Balbao, V. N. de 570
Balgfrüchte 623
Balkan 484
—halbinsel 532
—, Pässe 495
Balkonpflanzen 666
ballistische Kurve 174
Balmer, J. J., Mathematiker.. 257
Baltischer Eisschlüssel..... 549
Bandenspektrum 211
Bandgenerator 241
Bandwürmer, Größe 691
— des Menschen 826
Bar 128
Bär 697, 762
Barbarossahöhle 540
Barbitursäure 364
Barents, W. 571
Barium... 289, 295, 322, 325, 579
Bariumsalze 325
Baer, K. E. v., Zoologe 762
Barkhausen-Sprünge 225
barn 242
Barnard, E. E., Astronom ... 425
Barnards Stern 399
Barometer 195, 472
—-Wettertabelle 474
barometrische Höhenbestimmung 555
— Höhenformel 265, 466
— Höhenstufe 466
Bartenwal, Skelett 600
Barth, H. 569
Basen 312, 340
—anhydride 338, 340
basische Oxyde..... 341
— Salze 343, 344
Basis des Logarithmensystems 27
Bass, Arzt 571
Bastardzucht..... 742, 744
Bastgeweihe 752
Batholith 437, 449
Bauch|deckenreflex 786
—pilze 653
Bauchspeichel 802
—drüse 802, 803, 811
Bauer, H., Biologe 606
Bauformel des Moleküls..... 300
Baumannshöhle 540
Bäume, berühmte 617
—, besonders alte 618
—, forstwirtschaftlich wichtigste 678
—, Höhe und Stammdurchmesser 617
—, Höchstalter 633
Baumläufer 718
Baur, E., Botaniker 682
Baustoffe, Dichte 169
Bauxit 332
Baeyer, A. v., Chemiker..... 374
Bazillen 584
Becquerel, H., Physiker 257
Bedecktsamer 609
Bedeckungsveränderliche 411
bedingter Reflex 786
Beebe, W. 545
Beere 623
Befehl, elektronischer 33
Befruchtung 592
Begattung 592
Behaim, M., Kosmograph ... 568
Beharrungsvermögen..... 164
Behring, E. v., Bakteriologe 837
Bein|nerv 785
—schienung 834
—zahl einiger Tiere 695
Beize 751
Bekämpfung der Bodenerosion 679
Bel 151
Beleuchtungsstärke 129, 131, 213
Bell, A. G. 151
Bellingshausen, F. G. v..... 573
Benoit 155
Benzaldehyd 358
Benzoesäure 363
Benzol 350
—kohlenwasserstoffe, homologe 350
Berg|bestei̇gungen 492
—gold 331
—gorilla 770
Bergius, F., Chemiker 374
Bergkristall 340
Bergland von Brasilien 490
— von Guayana 490
Bergland von Guinea 491
Bergmann, E. v., Chirurg ... 837
Bergwerksmaße, veraltete ... 134
Beringen von Vögeln..... 757
Bering, V. 567, 570
Berkelium 289, 295, 327
Bernoulli, D., Mathematiker 102, 255
—, J. 102
—, Joh., Mathematiker..... 102
—, N. 102
Bernoullische Gleichung 193
Bernsteinsäure 362
Berthold, H., Schriftgießer .. 154
Berthollet, C. L. 305
Berthollide 305
Berufe, dauernd gefährdete .. 823
Berufskrankheiten 823
Berührungs|ebene 561
—kegel 561
—punkt der Ebene 561
Berührungsreize, Mindestenergie 793
—, Unterschiedsschwelle 793
Berührungszylinder 561
—entwurf, winkeltreuer 562, 563
Beryll 325
Beryllium ... 289, 294, 322, 325
—salze 325
—wasserstoff 336
Berzelius, J. J., Chemiker ... 372
Beschleunigung ... 127, 162, 165
Beschleunigungen, Beispiele . 163
Beschleunigungs|gesetz 164
—rohre 241
Bessel, F. W., Astronom 425
Bestäubungssymbiose 578
Bestimmungsgleichungen 36
Betatron 241
Betäubungsmittel 826
Betriebsunfälle 823
Beugungsspektren 211
Beuteltiere 711
Bewegung, mechanische 160
Bewegungs|leistungen 705
—nerven 783
—täuschung 789
Bewegung, ungleichförmig beschleunigte 175
Bezoarziege 740
Bezugs|meridian 550
—niveau 550
—system 160, 186
Bhakra-Nangal-Stauanlage .. 526
Biber 712
Bicaz-Talsperre 525
Bidestilliertes Wasser 272
Biegungsfestigkeit 589
Bielascher Komet 394
Bienenkönigin 710, 737
Bienne 659
bikonkav 209
bikonvex 209
Bildmessung 557
Bildungsgewebe 588
Billroth, T., Chirurg 837
bimolekular 309
binäre Nomenklatur 681
Binärsystem 4, 32
Bindegewebe 590
Bindenschwein 743
Bindung, chemische..... 301
—, koordinative 302
—, metallische 261, 303
—, polarisierte 302
Bindungs|abstände..... 300
—energie 249
—kräfte, chemische 261

Bindungswinkel 300
Binnen|druck 267
—seen der Erde 520, 521
Binom 23
Binomialkoeffizient 23
binomische Formeln 23
biogene Sedimente 444
biogenetische Grundregel ... 594
biologische Menschwerdung 765
biologisches Gleichgewicht... 577
biologische Versuche zur Weltraumforschung..... 423
Biosatellit Sputnik II.... 421, 423
Biosphäre 391, 480, 577
Biostratigraphie 436
Biotin..... 809
biotische Faktoren..... 577
Biotop 577
Biozönose 577
Birnensorten 667
Bitter|mandelöl 359
—wässer 272
Black Hills 488
Black, J., Chemiker 255
Blasen|höhlen 538
—kammer 243
Blastoderm 595
Blastula 595
Blatt 619
Blätter, Lebensdauer 633
—magen 701
—pilze 655
Blatt|farbstoffe 285
—formen, wichtigste 620
—grund 619
—rand 619
—scheide 619
—spreite 619
—stiel 619
Blau|algen 608
—säure 364
—wal 694
Blei..... 289, 295, 322, 324, 332
—akkumulator 317
bleibende Härte des Wassers 271
bleibendes Gebiß 777
bleibende Zähne 778
Blei|glanz 332
—kristallglas..... 284
—lagermetalle 334
—legierungen 334
Bleiloch-Talsperre 524
Bleiweiß..... 332
Blinddarm 701, 801, 802
„blinder Fleck“ 788
Blindschleiche 690, 695, 700, 729, 757
Blitze 229
Blumenuhr Linnés 631
Blut 698, 794
—alkoholspiegel 824
—bild..... 795
—druck, Höhe 699, 798
Blüte 618, 619, 629
—, Bau 619
Blüten|formen 620
—, Größe 616
blütenlose Pflanzen 213
Blütenpflanzen 613
Bluten der Pflanzen 626
Blüten|stände 621
—teile 620
Blütezeiten 630
Blutfarbe 698
Blutfarbstoff 698, 794
—, Menge 699
Blut|gefäßnetz 797
—, geformte Bestandteile 794
Blut, Gerinnungszeit ... 699, 795
—geschwindigkeit 798
Blutgruppen 795, 837
—bestimmung 796, 797
—häufigkeit 796
Blutkörperchen 794
—, Zahl 698, 699, 794
Blut|kreislauf 797, 798
—kuchen 795
—menge 698, 794
—plasma 698, 795
—plättchen 698, 794, 795
—senkung 795
Blutspenden 797
—, Kreuzversuch 797
Blutungen aus Adern, Erste Hilfe 833
Blutungssaft 627
Blut|zellen..... 698, 795
—, Zusammensetzung..... 795
bodenanzeigende Pflanzen .. 636
Boden|arten, Einteilung 674
—druck 192
—erosion..... 679
—luft, Zusammensetzung ... 675
—reaktion 675
Bodensee..... 520, 522
Boden|welle 198
—zonen 481
Bogen|gänge 791
—maß 145
Bohr, N., Physiker 258, 374
Bohrsches Magneton 222
Boltzmann-Konstante .. 158, 194
Boltzmann, L., Physiker 257
Bolyai, J., Mathematiker 54, 104
Bolzano, B., Mathematiker .. 103
Bonner Durchmusterung 425
Bonobo 769
Boothia Felix 431
Bor 289, 294, 335, 340, 579
Bora 467
Borazit 340
Borax 340
Borchgrevink, C. 573
Bor|säure 340
—wasserstoffe 336
botanischer Garten 680
botanische Zeichen 614
Böttger, J. F., Alchimist 371
Bourdonsche Röhre 194
Boyle-Mariotte-Gay-Lussacsches Gesetz 263
Boyle-Mariottesches Gesetz 255, 263, 266, 267
Boyle, R., Chemiker ... 255, 371
Boyle-Temperatur 266
Bradley, J., Astronom ... 255, 425
Braggsche Gleichung 280
Braggsches Verfahren 280
Bragg, Sir W. H., Physiker .. 374
Bragg, W. L., Physiker 374
Brahe, T., Astronom ... 412, 424
Brandpilze 609
Branntkalk 325
Bratsk-Stauanlage 525
Braun|algen 608
—bär 691, 694, 715, 753
—eisenstein 330
Brauner Bär 689
Braunit 329
Braunstein 318, 329
Brech|kraft 788
—schere 697
Brechung an Linsen 209
— in planparallelen Platten .. 208
— im Prisma 209
Brechungsgesetz 207
Brechungs|verhältnis 207
—zahlen einiger Stoffe 208
—zahl und Konzentration ... 208
Bredichin, T. 425
Brehm, A., Zoologe 762
Brehmer, H., Arzt 836
Breite 53
—, ekliptikale..... 379
Breiten|bestimmung 551
—kreise 550
—lage, gleiche geographische 429
Breitnasen..... 767
Brenn|elemente 251
—haare 589
—punkt 205, 206, 207, 209
—punkte der Ellipse 88
—stoffelement 318
—stoffe, Rohdichte..... 170
—strahlen der Parabel 89
—weite 209
Brenzkatechin 356, 357
Bries 812
Briggs, H., Mathematiker ... 101
Briggssche Logarithmen 27, 28, 29
Brinellhärte 191
Broglie, L. de, Physiker 258
Brom 289, 294, 335, 336, 337
Brombeersorten..... 668
Bromcarnallit 337
Bromide 337
Brom|säure 336, 337
—wasser 337
Bromwasserstoff 337
—säure 337, 341
Bronchien 800
Bronze, erste 371
Bronzen 334
Bronzezeit, Funde 641
Brooksgebirge 488
Brot, Nährwert 805
Brown, R., Botaniker .. 373, 681
Bruce, W. T. 574
Bruchdehnung 190
Brüche, gemeine 12
Bruch|faltentektonik 437
—früchte..... 623
—rechnung 12
—tektonik 437
Brückenwaage 153, 167
Brunft 752
Bruno, G., Philosoph 424
Brust|fell 800
—korb, Maße 774
—umfang 775
Brut|dauer einiger Vögel 706
—knollen 592
—parasitismus 579
—reaktor 252
Bruttoformel des Moleküls .. 300
Brutzwiebeln 592
β-Strahlen 248
Buchenmischwälder 636
Buchformate 136
Buendia-Talsperre 525
Buhl, H. 568
Buna 348, 367
Bunsen, R. W., Chemiker 256, 372, 425
bürgerliche Dämmerung 465
bürgerlicher Monat 109
Büro für Maß und Gewicht, Internationales..... 154, 155
Busch, H., Physiker 259
Buschrosen 661
Butadien 348, 359
Butan 346, 347
Butlerow, A. N. 373
Buttersäuregärung 582

Butylen 348
Bykow, K. M., Mediziner ... 838
Byrd 572, 574
—, *Forschungsstation* 574

C

Caboto, G. 570
Cabral 570
Caillié, R. 569
Calciferol 809, 811
Calla 663
Calvin, M. 375
Camerarius, J., Botaniker ... 681
Camphan 349
Candela 129, 154, 212
Cannizzarosche Reaktion ... 358
Cão, D. 568
Capensis 639
Cardano, G. 101
Carnot, S., Physiker 256
Carpenter, S. 426
Carrel, A. 605
Cartier 570
Cäsar 424
Cascade Range 488
Cauchy, A. L., Mathematiker 103
Cavalieri, B. 101
Cavalierisches Prinzip 59
Cavendish, H., Physiker 255, 372
Celsius (°C) 129, 146, 215
Celsius, A., Naturforscher .. 151
Celsius-Temperatur 129
Cent 203
—rechnung 202
CGS-System 123, 154, 157, 166, 178
—, elektromagnetisches 123, 157
—, elektrostatisches ... 123, 157
—, Gaußsches 157
Chadwick, J., Physiker 259
Chalkogene 336, 337
Chalkogenide 336
Chalkosphäre 435
Challengerexpedition 574
Challenger II 575
Challenger-(II)-Tiefe 545
Chamäleon 730
Chamberlen, P., Arzt 835
Chancellor, R. 571
chaotische Nebel 406
Charakterarten 635
Charakteristik der Fische ... 733
— der Kriechtiere 728
— der Lurche 731
— der Säugetiere 710
— der Vögel 716
Charcot, J. 574
Chemie 371
—fasern 366, 367
—, organische 373
—, physikalische 371
—verfahren 451
chemische Bindung 301
— Bindung, Arten 301
— Elemente 579
— Elemente, Periodensystem 299, 320
— Energie 214
— Formeln 306
— Kinetik 309
— Kräfte 156
— Reaktionen 304
— Reaktionen, Ablauf 316
— Reaktionen, Beschleunigung 310
— Reaktionen, Grundgesetze 304
— Reaktionen, Triebkraft ... 311
— Sedimente 444
chemisches Gleichgewicht 304, 307
— Rechnen 305
— relatives Atomgewicht 287
— Volumengesetz 305
chemische Verwitterung 439
— Zusammensetzung des menschlichen Körpers ... 776
Chemismus 437, 439
Chemisorption 285
Cheopspyramide 121, 423
Chinhydronelektroden 316
Chinon 357
Chintchin, A. J. 45
Chlor 289, 294, 336, 337, 579
Chloral 359
—hydrat 359
Chloralkali-Elektrolyse 319, 320
chlorige Säure 337
Chloroform 351, 836
Chlorsäure 337
Chlorwasserstoff 337
—säure 337
Cholera 825
cholerisches Temperament .. 775
Chordatiere 684
Christobalit 282
Chrom 289, 294, 322, 328
Chromate 328, 341
chromatische Tonleiter . 201, 202
Chromatographie 285
Chromeisenstein 328
Chrom-Nickel-Stähle 334
Chromoproteide 580
Chromosomen 588
—theorie 593
Chromosphäre 382, 383
Chrom|säure 328, 341
—stahl 328
Chronometer 122
Chrysophyten 608
Chubbkrater 396
Chun, K. 575
cis-trans-Isomerie 348
Clarke 570
Claus, K., Chemiker 372
Clausius, R., Physiker 256
C^{14}-Methode 436
Coast Mountains 488
— Ranges 488
Cobalamin 809
Cohn, F., Botaniker 682
Columbium 328
Comotio cerebri 824
Compton, A. H., Physiker .. 258
Compton-Effekt 258
Conti, N. 566
Contusio cerebri 824
Cook, F. 572
—, J. 571, 572, 573
Corioliskraft 174, 186, 187
Correns, C. 605, 682
Cortez, F. 570
Corticosteron 812
Coulomb 129, 151, 228
—-Barriere 249
Coulomb, Ch. A. de, Physiker 151, 255
Coulombsches Gesetz für Magnetpole 223
γ-Strahlen 198, 248
Cunaeus 255
Curie 148, 151
—, Marie, Physikerin .. 257, 837
—, P., Physiker ... 151, 257, 837
Curium 289, 295, 322, 327
Curtis, H. D., *Astronom* 426
Cutis 743
Cuvier, G., Naturforscher ... 604

D

Dachs, Körpermasse 694
Dallmann 571
Daltonide 305
Dalton, J., Chemiker ... 305, 372
Daltonsches Gesetz 264
Damhirsch 752
—, Geweihentwicklung 753
Dämmerung 465
Dampfdruck 269
—erniedrigung 277, 312
—kurve einer Flüssigkeit 273
— des Wassers 273
Dampf, Verflüssigung 268
—zustand 268
Damwild 752, 753, 754
Daniell-Element 314, 315
Darfur 491
Darm 701, 801
—bakterien 585
—drüsen 811
—gefäßnetz 798
Darmlänge 701
— und Nahrung 701, 702
Darm|peristaltik 802, 813
—, rhythmische Zusammenziehung 702
darstellende Geometrie 54
Darwin, C. 577, 601, 604, 762
Darwinismus 602
Datums|bestimmung 119
—grenze 111
Dauer|flüsse 513
—gewebe 589
—modifikationen 594
—spasmen 786
—zellen 587
Davis, J. 571
Davisson, Physiker 259
Davy, H., Chemiker 372
Dawson, Geologe 570
DDR-Bevölkerung, Altersaufbau 822
—, Lebenserwartung 820
Death Valley 534
Debye-Hückelsche Theorie .. 308
Debye-Scherrer-Methode 447
Debye-Scherrer-Verfahren ... 280
Deck|gewebe 590
—knochen 695
Dedekind, R., Mathematiker 105
DEDERON 367, 369
Deformation 165
deformierbare Körper 183
Dehydrierung 314
dekadische Logarithmen 27
dekadisches System 4
Dekantieren 261
Deklination 378, 433, 434
—, magnetische 432
Delambre, J. B. 154
Delten, Größe und Wachstum 519
Demichow, Chirurg 838
Demokrit, Philosoph 100, 253, 371
denaturieren 355
Denis, J., Arzt 835
Dentition 778
Depressionen in ariden Gebieten 534
— der Erde 533
Descartes, R., Philosoph 101, 254
Deshnjow, S. 566
Desorption 285
Destillieren 261
destilliertes Wasser 272
Deszendenztheorie 601

Deutsche Antarktis-Expedition 1938 574
— Physikalische Gesellschaft 256
Deutsches Amt für Maß und Gewicht 155
— Amt für Meßwesen der DDR 155
Devon 442
Dezibel 151
—skala 147
Dezimalbrüche 12
— addieren 13
— dividieren 13
—, endliche 13, 15
— multiplizieren 10, **13**
—, nichtperiodische 25, 27
—, periodische 5, **13**
— subtrahieren 13
—, unendliche 13
—, unendliche reinperiodische 15
—, unendliche unreinperiodische 15
— verwandeln 15
Dezimal|system 4
—waage **154**, 167
Diagenese 444
Diagonale im Parallelogramm 66
— im Viereck 66
Diamagnetika 224, 225
Diamagnetismus 225
Diamant 208, 282, 335, **340**
Diaphragma 314
Diastase 354
Diäthyläther 357
diatonische Tonleitern 201
Diazoniumsalze 352
Diaz, Bartolomeu 568
Dichte 128, 168
— fester Stoffe, Beispiele 168
— von Flüssigkeiten, Beispiele 171
— von Gasen, Beispiele 171
— der Hochatmosphäre 421
—messung 171
— von Metallen 168
— der Minerale 448
—, mittlere 391, 411
— der Planeten 391
—, reziproker Wert 171
—verhältnis 168
— des Wassers 273
—zahl 168
Dickdarm 701, 801, 802
Dickenwachstum 588
Didot, A., Schriftgießer 153
Dielektrizitätskonstanten einiger Stoffe 229
Dielektrizitätskonstante, relative 229, 256, 269
Diels, O. 375
Differential|analysatoren 32
—- und Integralrechnung, Hauptsatz 99
—quotient 91, 93, 94
—quotient höherer Ordnung 95
—rechnung 2, **91**, 97, 102
Differentiation 92
— des Magmas 437
Differentiations|formel 98
—regeln 93
Differenz 5, 7
Differenzenquotient 91, 92
Differenzierbarkeit 92
differenzieren 92
diffuse Reflexion 205
Diffusion 262
Digitalrechner 32, 33
Dikarbonsäuren 362
Diketone 360
Dikotyledonen 588
Dimensionen 53, 158
dimensionslose Konstanten .. 158
Dinarische Gebirge 483
Dionysius Exiguus 121
Diophantos von Alexandria .. 100
Dioptrie 148, 788
Diphtherie 825
Dipole 302
Dipolmoment 222, 269
Dirac, P., Physiker 259
Disaccharide 356
Dismutation 358
disperse Systeme 260
Dissimilation 265
dissimilatorische Vorgänge .. 782
Dissonanz 201
Dissoziation, elektrolytische 270, 301, 312
Dissoziationsgrad 313
Distickstoff|monoxyd 339
—pentoxyd 339
—tetroxyd 339
—trioxyd 339
distributives Gesetz 9
divergente Reihe 42
divergent, mathematisch 41
Dividieren, Rechenregeln ... 10
divina proportio 65
Division 5, 7, 16
— durch Null 27
Divisor als Dezimalbruch ... 10
Dnepr 515
Döbereiner, W., Chemiker .. 373
Dobrotin, N. A. 259
Dodekaeder 76
Dolomit 325, 344
Domagk, G., Arzt 375, 838
Domestikations|herde 739
—orte 739
Domestikation von Tieren ... 738
Dominoraten 49
Donau 514, 515
Donner 229
Doppel|bindung 303
—brechung 208
—salze 344
Doppelsterne 388, **403**
—, Beispiele 404
—, leicht trennbare 404
Doppler, Chr., Physiker 256
Dopplereffekt 160
Dopplersches Prinzip 198, 402, 425
Dornbuschwälder 535
Drachenmonat 385
Drakensberge 491
Drake, Sir Francis 570
drakonitischer Monat .. 109, 385
drakonitische Umlaufszeit des Mondes 384
Dreh|achsen (Gyren) 278
—beschleunigung 163
Drehbewegung 179, 185
—, ungleichförmige 163
Dreh|eiseninstrument 235
—geschwindigkeit 161
—geschwindigkeiten, Meßverfahren 162
Drehimpuls 179, 187
—, Erhaltungssatz 188
Dreh|kristallmethode **447**
—moment **187**
—spiegelachsen 278
Drehspul|geräte 235
—spiegelgalvanometer 235
Dreh|zahlen 161
—zahlferngeber 162
Dreieck **61**
—, merkwürdige Punkte 63
Dreiecksnetzpunkte 554
Dreielektrodenröhre 238
Dreifingerregel 233, 234
dreigeteilter Nerv 785
Dreiphasennetz 237
Dreisatz, einfacher 18
—rechnung, zusammengesetzte 18
Dreiteilung des Winkels 61
dreiwertige Ionen, Farbe 297, 298
— Phenole 357
Drohnen 737
Dromedar 742
Dronte 755
Drosseln 719
Druck 128, 130, **192**, 193
—einheiten 192, 195
—festigkeit 131
—generator 241
—, hydrostatischer 276
—kraft der Zähne 778
—, osmotischer 276
Druckpunkte 780
—, Dichte 793
Druck|verband 833
—wasserreaktor 252
Drusen 445
Drüsen 811
—formen 812
—gewebe 590
—haare 589
Drygalski, E. v. 574
Dryopithecus 770
Dualsystem 4, 32
Duant 241
Dulong-Petitsches Gesetz ... 256
Dulong, P. L., Physiker 256
Dünge|mittel, Zusammensetzung 675
—salze 339
Dunkelwolken 407, 426
Dünndarm 801, 802
Duralumin 334
Durchflußgletscher 509
Durchläuferminerale 448
Durchmesser des Kreises 68
— roter Blutkörperchen 698
Durchschlagsfestigkeit 227
Durchschnittsgrößen einiger Völker 773
Dürer, A. 101
Duroplaste 366, **367**
Durtonleiter 201
dyadisches Zahlensystem 4
Dyn 128, 166
Dynamik 159
dynamische Elektrizität 227
— Kraftmessung 166
dynamischer Druck 193
dynamische Viskosität .. 128, 192
Dynamit 355, 364
Dynamometer 167
Dyprosium 289, 295

E

Ebbe 545, 546
ebene Fläche 55
— Koordinatensysteme 80
— Projektion 560
Eberth, K. J., Bakteriologe .. 837
Ebullioskopie 301
ebullioskopische Konstante .. 277
Echo 199
—lotungen 557

Echolot-Verfahren 453
echte Lösungen 273
Eckener, H. 572
Eckzähne 697
Edelgase 268, 335
—, Reaktionsträgheit 292
Edelgas|gehalt der Luft 265
—konfiguration ... 292, 302, 335
Edel|laubholzmischwälder ... 636
—metalle 324
—reis 670
—steine, Massemaße 139
Edertalsperre 524
Edison-Akkumulator 317
Efeu 666
effektive Temperatur 408
Ehrlich, P., Pathologe .. 373, 837
Eichen-Birken-Wälder 636
Eichenmischwälder, wärmeliebende 636
Eichhorn 712
Eidechsen 728, 729, 757
Eier, Jahres-Legeleistung 706
—, Nährwert 806
—stock 592, 815
Eigenbewegung der Sterne ... 402
Eigendissoziation 270
Eigenpolymerisation 369
Eigenpotentialmethode 452
Eigenschaften, temperaturabhängige 283
Ei|größe und Entwicklungstyp 707
—leiter 815
—, Masse und Zusammensetzung 749
Einatmung 800
Einfangsreaktionen 249
eingeführte Pflanzen 642
eingeschleppte Pflanzen 642
Eingeweidemuskeln 778, 779
einheimische Kriechtiere 729
— Lurche 731
— Vögel 716
— Wildrosen 661
Einheiten, veraltete und gesetzliche, Zusammenhang 130
Einheit, imaginäre 6
einheitliche Stoffe 260
Einheits|erde 665
—vektor 85
—zeiten 111
Einjahrspflanzen 630, 662
Einklammern von Zahlen 10
Einmaleins, großes und kleines 11
einseitiger Hebel 181
Einstein, A., Physiker ... 105, 258
Einsteinium 289, 295, 327
Einsteinsche Gleichung 304
— Relativitätstheorie 156, 258, 259
Einstellzeit des Ohres 791
Einsturzbeben 460
Eintagsblüher 630
Einteilung der Erdbeben 462
— der Pflanzen 608
— der Tiere 683
einwertige Alkohole 353, 354
— Phenole 356
Einzel|entwicklung 594
—*früchte* 623
Einzeller 582, 586, 683
Einzugsgebiete, größte 514
Einzugsgebiet des Flusses ... 513
Eis 273
—bär 691, 694
—bedeckung von Strömen ... 520
Eisen 282, 289, 294, 322, 329
Eisenbahntunnel 496
Eisengruppe 329
Eisen|kies 330
—legierungen 334
—metalle 298
—(II)-Salze 330
Eis|haushalt der Antarktis ... 512
—höhlen 539
—riesenwelt, Höhle 542
—sprosse 752
—vögel 721
—*zeiten, pleistozäne* 443
eiweißartige Substanzen, Bildung 583
Eiweiße 579
Eiweißfermente, katalytische Eigenschaften 581
Eizellen 592
Eka|aluminium 296
—bor 296
—*silizium* 296
Ekliptikalsystem .. 377, 378, 379
Ekliptik, Schiefe der 380
Ektoderm 595
Elaste 366, 367
elastische Körper 189
elastischer Stoß 180
elastische Umschnürung 834
Elastizitäts|grenze 190
—mechanik 159
—modul 189
Elbe 514
Elbursgebirge 486
—, Pässe 495
Elch 691, 694, 753
Elefant .. 691, 693, 694, 698, 703
Elektrik 451
elektrische Doppelschicht ... 315
— Energie 214
— Erscheinungen 156
— Feldenergie 238
— Fische 735
— Kräfte 156
— Messungen 450
elektrischer Strom, Grundeigenschaften 230
— Strom, Richtung 230
— Strom, Wirkungen 230
— Widerstand, Werte 231
elektrische Spannungen, Werte 230
— Stromstärken, Werte 230
— Verfahren 452
Elektrizität 227
—, Erste Hilfe bei Unfällen .. 833
Elektrizitäts|leiter 227
—menge 129
Elektrochemie 311, 372
elektrochemische Äquivalente 319
— Spannungsreihe 316
Elektroden 318
—potential 315
elektrodynamische Seismographen 459
Elektrolyse 261, 312, 318
—verfahren, technisch wichtige 319
Elektrolyte 276, 312
elektrolytische Dissoziation 270, 301, 312
— Leitfähigkeit 319
elektrolytischer Lösungsdruck 315
elektrolytische Wasserzersetzung 320
Elektrolytlösungen 318
Elektromagnete 226
elektromagnetisches Spektrum 199
elektromagnetische Strahlung 204
— Verfahren 452
— Wellen 195, 198, 199
Elektrometer 255
elektromotorische Kraft 315
Elektromotor, Modell 234
Elektron 239, 244
elektronegative Wertigkeit ... 293
Elektronegativität 293
Elektronen|bahnen 290, 291
—drall 291
—einfang 248
—hülle, Aufbau 290, 291
—masse 286
—optik 259
—paarbindung 302
—paare 300, 302
Elektronenschalen 290, 291, 292
—, innere 292
—, Unterteilung 290
Elektronen|spin 291
—theorie der Valenz 301
—, *Verteilung auf Energieniveaus* 292, 294
—*volt* 241
—zwilling 245
Elektronik 239
elektrophil 303
Elektroplattierung 320
elektropositive Wertigkeit ... 293
Elektro|skop 228
—valenz 301
Elementar|konstruktionen, geometrische 57
—ladung 286
—magnete 222
—teilchen 244, 245
Elemente 261, 296, 371, 448, 579
—, galvanische 314, 317
—, Hauptgruppen 298
—, Nebengruppen 298
— in Pflanzen 624
— im Sonnenspektrum 382
—, Wertigkeit 293, 296, 298
Element, Isotopenzusammensetzung 287
Elle, sächsische 153
Ellipse 87, 88
Ellipsoid 554
elliptisch polarisierte Welle .. 196
Ellis, J., Naturforscher 681
Elomagieren 318
Eloxieren 318
Emaille 285
Eman 148
Embryo 623, 817
—, menschlicher 817
Embryonalentwicklung 595
Emissions|nebel 406, 407
—spektren 211
Empedokles, Philosoph 371
Empfindlichkeit für Berührungsreize 793
Empfindungs|nerven 783
—zeit 791
Emulsion 802
Enantiostereoisomerie 356
enantiotrop 283
Endemiten 640
End|fläche 77
—geschwindigkeit, konstante 174
—gruppenbestimmung 301
endlicher Raum 53
endliche Zahlenfolgen 40
Endnerv 784
endogene Vorgänge 436
Endolymphe 783
endotherme Reaktionen 304, 309
— *Vorgänge* 311
Endsee 521
Energie 128, 172, 177, 214, 237, 413
—äquivalente 178

Energie|austausch 581
— der Bewegung 177
—einheiten 178
—erzeugung der Sterne 413
—, Prinzip der Erhaltung ... 213
—quellen der Sterne 415
—niveaus der Elektronenschalen 291
—satz der Mechanik 178
—umsatz des Körpers .. 702, 804
—verbrauch bei Steigarbeit .. 702
—zustände der Elektronen .. 290
enharmonische Töne 202
enharmonisch verwechselt ... 202
Entdeckung der Erde 565
Enten|rassen, wichtigste 748
—zucht 748
Entfernung als dritte Koordinate 380
Entfernungen im Sonnensystem 386
Entfernung des Mondes 384
Entfernungs|bestimmung, Methoden 380
—einheiten 381
—messungen, astronomische 380
Entfernungsmessung, Kurzwellenmethode 381
—, photometrische Methoden 381
—, trigonometrische Methode 380
Enthalpie 304
entmagnetisieren 226
Entoderm 595
Entropie 214
—satz 213
Entwässerung, Form 513
Entweichungsgeschwindigkeit 391, 411
Entwicklung **594**, 630, **706**
—, individuelle 595
Entwicklungsdauer bei Pflanzen 630
— bei Tieren 709
Entwicklungs|lehre 601, 602
—stufen des Lebens 819
—ursachen 601
Enzyme 814
Eötvös 151
Eötvös, R. v., Physiker 151
Ephemeridenzeit 107, 108
Epidermis 589, 743
Epikur 603
Epilepsie 824
Epiphyse 783, 812
episodische Flüsse 513
Epithel|gewebe 590
—körperchen 812
epithermische Neutronen 250
Epizentrum 458
epizonale Metamorphose 444
Epoxydharze 367
Erasistratos 834
Eratosthenes 423
Erbanlagen 593
Erbium 289, 295
erbliche Veränderungen 593
Erbregeln 593
Erd|abplattung, Werte 429
—achse 431
Erdalkali|metalle 325
—metalloxyde 284
Erd|altertum 442
—atmosphäre, Modell 421
Erdbeben 454, **458**
—gebiete Europas 464
—, Häufigkeit 460
—, starke 464
—, Stärke 461
Erdbeben|ursachen 460
—, Verteilung 462
—warte 459
Erdbebenwellen 460
—, Fortpflanzungsgeschwindigkeit 461
Erdbeersorten 669
Erd|bildmessung 557
—blitz 229
Erde 388, 390, 427, **428**, 509, 535
—, geologischer Bau 435
Erdellipsoid, gebräuchlichste Werte 429
Erde, mittlere Dichte 435
Erden für Zimmerpflanzen .. 665
Erd|inneres, geologische Vorgänge 439
—kruste, Tektonik 437
—kugel, Gradnetz 560
—magnetfeld 422
erdmagnetische Störungen .. 434
Erd|magnetismus 432
—mittelalter 441
—neuzeit 440
Erdoberfläche 478
—, Darstellung 558
—, geologische Vorgänge ... 439
—, horizontale Gliederung .. 479
—, hypsographische Kurve .. 431
—, vertikale Gliederung 481
Erdöl 345, 453
—lager 452
—vorkommen 452
—vorrat der Erde 428
Erd|rinde, chemische Elemente 435
—säuren 328
—stromverfahren 452
—teile 478, 479
—urzeit 443
—zeitalter 440
—zusätze 665
Erepsin 802
Erfolgsorgan 583
Erfrieren der Pflanzen, Ursachen 634
Erfrierungen, Erste Hilfe 833
Erg 128
Ergocalciferol 811
Ergußgesteine 437
—, mengenmäßige Verteilung 439
erhabener Spiegel 207
Erhaltung der Energie 213
— der Masse, Gesetz 304
Erhängte, Erste Hilfe 833
Erlen-Bruchwälder 636
Ernährung 800
Ernteertrag 676
— und Nährstoffentzug 676
Erosionsschäden 679
Erscheinungen auf der Sonne 382
Erstarren 217
— von Flüssigkeiten 269
Erstarrungs|gesteine 437, 448
—punkt 217, 269
—wärme 269
Erstbesteigungen 492
— in den Alpen 493
Erste Hilfe 822, **833**
Ertrunkene, Erste Hilfe 833
Eruptionen, solare 422
eruptive Protuberanzen 383
Erythrit 355
Erythroblastose 797
Erythrozyten 698
Essigsäure **361**
—bakterien 585
—gärung 582
essigsaure Tonerde 362
Ester 364, 581
— organischer Säuren 364
Etalon-Molekularuhr 122
Euglenen 608
Euklid, Mathematiker 100
euklidische Geometrie 54
Euklidischer Algorithmus ... 14
euklidischer Raum 54
Eulen 721, 722
—zeichen 756
Euler, L., Mathematiker 103
Eulersche Identität 7
Eulerscher Satz 59
Eurasien 479, 481
Europa 478, 479, 481, 509, 510, 535, 773
—, Binnenseen ... 520, 521, 522
—, Flüsse 515, 516
—, Gebirge 482
—, Halbinseln 532
—, Inseln 528, 529
europäische Gewässer, Tidenhub 546
— Inseln, Gebirge 485
— Sternwarten 418
Europa, Stauanlagen ... 524, 525
Europium 289, 295
eurysomer Typ 775
Eustachische Röhre 790
Eutektikum 333
Evolutions|faktoren 601
—theorie 601
ewiger Kalender 118
Exkrete 811
Exkretgewebe 590
Exkretion 811
Exkretionsdrüsen 811
exogene Vorgänge 439
Exosphäre 464
exotherme Reaktionen .. 304, 309
Expansion der Gase 194, 262
Expansionsphase 704
Expansion des Weltalls 417
Explorer I 426
Exposition 499
extragalaktische Nebel 408, 412, 415
— Nebel, Rotverschiebung .. 418
— Sternsysteme 417
Eyre 571
Eyresee 523
Eyre-See-Senke 534

F

Fadenpendel 174
Fähraeus, R., Mediziner 837
Fahrenheit (°F) 146, 215
Fahrenheit, G. D., Physiker 151, 255
Fahrstrahlen 88, 90
Faktoren der Evolution 601
Fakultät einer natürl. Zahl .. 10
Fallbeschleunigung 166, **172**
— im Meeresniveau 173
fallende arithm. Folge 40
— geom. Folge 41
Fall, freier 172, 173
—sucht 824
Fälschung von Piltdown 772
Faltengebirge 437
Familie 607, 608
Farad 129, 151
Faraday, M., Physiker 151, 256, 372
Faradaysche Gesetze 319
— Zahl 319

Farbblindheit, totale 789
Farbe des Lichtes 626
Farbempfindlichkeit des Auges 778
Farben 212
—index der Sonne 382
—kreis 212
—, unterscheidbare 788
Farbgläser 285
Farbmischung, additive 212
—, subtraktive 212
Farbsehstörungen 789
Farbtauben 748
Farne, geschützte 759
Farnpflanzen 609, 613
Fata morgana 208
Fauchard, P. 835
Fäulnisbakterien 585
Feder|kleid 716
—waagen 167
Fedtschenko, Naturforscher . 567
Feengrotten 540
Fehlingsche Lösung 358
Fehlzeichen im Zahlensystem 4
Feinbau der Kristalle 446
Feingehalt des Goldes 141
— des Silbers 141
Feinheitsmaße in der Spinnerei 140
Feld|energie 238
—linien, magnetische ... 223, 226
Feldstärke, elektrische 129
—, erdmagnetische 154
—, magnetische 129, 131, 222, 226
Feld|sterne 408
—waage 450
Felsentaube 747
Felsspaltengesellschaften 635
Fermat, P. de, Mathematiker 101, 102, 254
Fermentbildung 815
Fermente 582, **814**
Fermionen 245
Fermium 289, 295, **327**
Fernandez, D. 568
Ferrari, L. 101
Ferrite 225
Ferritkernspeicher 35
Ferro|chrom 328
—legierungen 334
—magnetika 224, 225
—magnetismus 225
—mangan 329
—*molybdän* 329
—silizium 340
—vanadin 328
—wolfram 329
feste Körper, mechan. Eigenschaften 188
— Rolle 181
— Stoffe 189
— Stoffe, Arten 278
— Stoffe, Merkmale 278
Festigkeit der Knochen 777
Festigungsgewebe 589
Festkörper, idealer 277
Festland, Gewässer 512
—, Gliederung 478, **480**, 481
—, horizontale Gliederung .. 480
Festlandsflächen und Bevölkerungsverteilung 471
Fette 581
Fett|härtung 336, 365
—säuren **361**, 802
Fetus 817
Feuchtigkeitsverhältnisse im Walde 678
Feuerkugeln 395
Feuerland 531
Fibrin 795
Fieber 749
Filatow, W., Arzt 837
Filchner, W., Forscher 567, 568, 574
Fingernägel 781
Finken 717
Finsch 571
Finsternisperioden 109
Finsternisse 385
Firn|felder 510
—grenze 501, 508, 509
Fischarten 733
— wichtiger Ströme 687
Fische 684, 696, 708, 733
—, Merkmale 733
Fischer, E. 373
—, F. 374
—, H. 374
Fisch, fliegender 734
—, Nährwert 806
Fitislaubsänger 695
Fixsterne 388
—, nächste 399
—, Spektralklassen 410
Fixsternhimmel 397
Fjorde 549
Fläche 53, **55**
— (Einheiten) 127
Flächen, beliebige 67
—berechnung, Übersicht ... 70
—, ebene 61
Flächeninhalt 70
— des Dreiecks 62, 76
Flächenmaße, antike 137
—, britisch-amerikanische ... 136
—, metrische 135
—, nichtmetrische 136, 137
—, russische 136
—, veraltete ländliche 137
—, veraltete preußische 137
Flächen|messung 58
—satz 188
flächentreu 560
flächentreue Netzentwürfe ... 562
Flächen|umfang 70
—verlust einiger Alpengletscher 511
Flachlandgorilla 770
Flachspulinstrument 235
Flamingo 726
Flamsteed, J., Astronom 424
Flaschen|glas 284
—zug 182
Flattertiere 711
Flechten 609
Fleckentätigkeit der Sonne ... 382
Fleckfieber 825
Fledermaus 700, 704
fleischfressende Pflanzen 614
Fleischfresser 582, 701
Fleisch, Nährwert 805
Fleißiges Lieschen 663
Fleming, A., *Bakteriologe* ... 838
Flemming 605
fließende Gewässer 512
fließender Strom, Kraftwirkung 233
Flimmerepithel 590
Flocculi 382
Flora 635, 639
Florenelemente 639
Florenreiche 639
— der Erde 640
Florida 533
Flugbilder einheimischer Greifvögel 722
Flügel|fläche von Raubvögeln 724
—schläge, Zahl 705
Flug|saurier 692
—tauben 748
—tiere, Spannweite 694
—zeit einheimischer Schmetterlinge 736
Fluor ... 289, 293, 294, **336**, 579
Fluoride 337
Fluorwasserstoff 337
Flußaal 735
Flüsse 513, 514
—, bedeutende 513, 514, 515
—, wasserreichste 514
Flußgebiet 513
flüssige Lösungen 273
Flüssigkeiten 269
—, bewegte 193
—, Dichte 171
—, mechan. Eigenschaften .. 188
—, Molekularkräfte 191
—, *Viskosität* 191, 194
Flüssigkeitsmanometer 194
Fluß, magnetischer 129, 131
—säure 337, 341
—spat 282, 336
—sperren 524
—system 513
—wasser 270
Flut 545, 546
fluterzeugende Kräfte 545
fluviatiler Transport 444
Föhn 467
Fokussierung 240
Folge, Definition 40
—, mathematisch 39
Folsäure 809
Formaldehyd 358, 359
Formationen 596
—, Stammesentwicklung 596
Formatreihen 135
Formelgewicht 306
Formen des Dreiecks 62
—lehre der Minerale 445
Formiate 361
Formtauben 748
Forrest 571
Forschungsreaktor 251
Forschung, stammesgeschichtliche 597
Forster, G., Naturforscher .. 571
—, J. R., Naturforscher 571
Forst|pflanzen, Benennung... 678
—samen 678
—wirtschaft 674
Fortbewegungsgeschwindigkeiten 705
Fortpflanzung **592**, **627**, **706**, **814**
Fortpflanzungszellen 815
Fossilarten 597
fossile Affenmenschen 772
— Lebewesen 596
— Menschen 772
— Menschenaffen 770
Fossilfunde 597
Fossilien 436
Foucaultscher Pendelversuch 187
Foureau, Forscher 569
Fourier, J. B. J., Mathematiker 103
Fourier-Reihen 42
Fournier, P. S., Schriftgießer 153
Fraktionierung 261
Franklin, J. 572
Franzium 289, 295, **325**
Französisches *Zentralmassiv* 484
Fraunhofer, J., Physiker 255, 425
Fraunhofersche Linien 211, 255, 383, 409
Fraunhoferspektrum der Sonne 423

freier Fall 174, 187, 253
fremdländische Lurche 732
— Vögel 725
Fremdlingsflüsse 513
Fremdstrommethoden 452
Frenkel, J. I., Physiker 375
Frequenz 127, 195, 790
—, Einheit 237
Frequenzen elektromagnetischer Wellen 199
Frequenz des Wechselstroms 237
Fresnel, A., Physiker 256
Frey-Wyssling, A. 606
Friedrich, W. 258
Frobisher 571
Frösche 691, 695, 696, 703, 704, 732
Frucht 621, 623
Fruchtbarkeit von Kräutern 627
Fruchtblätter 619, 621
Früchte, Dichte 170
—, Größe und Massewert .. 616
Frucht|formen 622
—knoten 619, 621
—stände 623
—wand 621
—wechselwirtschaft 681
Frühjahrsblüher 630
Frühlingspunkt 378, 379, 551, 553
—, Präzession 380
Frühlingssteppenpflanzen, geschützte 758
F-Schicht 421, 422
Fuchs 691, 694
Fuchs, Vivian 574
Fugazität 308
Fühlschwelle 791
Fumarolen 455
Fumarsäure 369
Fundamentalkoordinatensystem der Astronomie ... 379
Funkenschlagweite 228
Funkpeilung 433, 557
funktechnische Meßverfahren 557
Funktion 38
Funktionalgleichungen 36, 39
Funktionen, Differentialquotienten 92, 94
Funktion, rationale 95, 98
Funktionsgleichungen 36, 38
—, graphische Lösung 39
—, numerische Lösung 39
Funktionszentren des Gehirns 784
Funktion des Winkels 71
Furchungsperiode 595
Fuselöle 355
Futtermittel für Haustiere ... 749
—. Zusammensetzung 750

G

Gabler, Geweih 752
—krone 752
Gadolinium 289, 295
Gagarin, J. A., Kosmonaut 423, 426
Gal 151, 163
galaktische Konzentration der Sterne 399
galaktisches Magnetfeld 406
— System 377, 378, 379
galaktische Sternhaufen 405
Galaktose 356
Galaxis, Galaxien 415, 416
Galenus 834
Galilei, Galileo, Physiker 102, 122, 151, 156, 254, 424
Gall|äpfel 624
—bildungen im Pflanzenreich 624
Galle 802
Galle, J. G., Astronom 425
Gallen 624
—blase 803
—saft 802
—wege, Krankheiten 829
Gallium 289, 294, 322, 332
gallo-römische Zeit, Funde .. 642
Galmei 331
Galois, E., Mathematiker ... 104
Galois-Theorie 61, 104
galvanische Elemente 314
— Elemente, technisch wichtige 317
— Kette, Zelle 315
Galvano|plastik 320
—stegie 320
Gamaleja, N. F., Bakteriologe 836, 837
Gama, Vasco da 566, 568
Gameten 592
Gammadefektoskopie 253
Ganggesteine 439
Ganglien 783
—zellen 591, 783
Gans 695
Gänse|schläge, wichtigste 748
—zucht 748
Ganzton 202
Gardasee 522, 534
Garner 682
Garrison-Stauanlage 526
Garten|bau 666
—rosen 661
—, Zierpflanzen 657
gärtnerischer Arbeitskalender 671
Gärung 582
Gärungsbakterien 585
Gas|chromatographie 345
—druck 266
Gase, allgemeine Eigenschaften 194
—, Dichte und Litergewicht .. 171
—, Dichteverhältnis zu Luft .. 171
—, Kompressibilität 263
—, mechan. Eigenschaften .. 189
—, Viskosität 194
gasförmige Stoffe 262
Gas|gesetze, ideale 263, 266
—gleichung, universelle 263
—konstante, universelle 263
—mischungen 264
—, Normzustand 194
—öle 346
—theorie, kinetische 256
Gastrula 595
Gas|vermessung 454
—zustand, permanenter 268
Gattung 607, 608
Gatun-Stauanlage 527
Gauß 131, 151, 224
Gauß, C. F., Mathematiker 7, 54, 103, 104, 151, 154, 256
Gauß-Krüger-Meridianstreifensystem 563
Gaußsche Doppelwägung 168
Gaußsches CGS-System 157
Gaußsche Zahlenebene .. 6, 7, 81
Gay-Lussac, L. J., Physiker 255, 372
Gay-Lussacsches Gesetz 217, 264
Gebär|akt, Phasen 817
—mutter 815
Gebietsflächen, geschützte ... 761
Gebirge 481, 499
— der Erde 482
Gebirgs|gletscher 510
—tunnel 496
Gebiß 695, 697, 777
Gebißformen der Säugetiere .. 697
Gebrauchs|güter 284
—hunde 745
Geburt 816, 817
Geburtstagsraten 50
Geburtstermin, Errechnung .. 816
Gefäßpflanzen 613
Geflügel, Nährwert 805
Gefrierpunkt 217, 269, 273
Gefrierpunkte flüssiger Stoffe 217
Gefrierpunktserniedrigung 277, 312
—, molare 277
Gefrierpunkt Wasser ... 146, 215
Gegenmeridian von Greenwich 111
Gegenmittel gegen Gifte 832
Gehirn 703, 783
—erweichung 823
—, Längsschnitt 783
Gehörgang 790
Gehörn 752
Gehörwasser 790
Geier 726
Geiger-Müller-Zählrohr 243
Geißeltierchen 683
Geißfußveredelung 670
Geisteskrankheiten 823
Gekröse 802
gekrümmte Kurve 54
gelbe Strahlen 212
Gelb|messing 334
—sucht 825
Gelenke, wichtigste 777
gemäßigte Breiten 502, 504
gemeine Brüche 12
— Brüche addieren 14
— Brüche dividieren 15
— Brüche, echte 13
— Brüche erweitern 13
— Brüche, gleichnamige 13
— Brüche gleichnamig machen 14
— Brüche, Kehrwert 13
— Brüche kürzen 13
— Brüche multiplizieren 15
— Brüche, reziproker Wert .. 13
— Brüche subtrahieren 14
— Brüche, unechte 13
— Brüche verwandeln 15
Gemisch, eutektisches 333
gemischte Vulkane 454
— Zahlen 13
— Zahlen einrichten 14
Gemüse|anbau 673
—, Nährwert 805
—pflanzen 645
—samen, Keimfähigkeit 674
Gene 593
Generationswechsel 592
Generatormodell 237
Genetik 593
—, klassische 682
Genickstarre 825
Genotypus 594
Genußmittel 648
geochemische Erkundungsmethoden 451
— Untersuchungen 450
— Verfahren 454
Geodäsie 553, 556
—, mathematische Rechenflächen 554
geodätische Grundlagen 553
geodätischer Azimut 552
geographische Breite 550
— Breite, Bestimmung 551
— Koordinaten 550
— Länge 550, 552
— Pole 431

geographisches Milieu 498
geographische Sphäre 480
— Topographie 557
— Zonen 481, **498**
— Zonen, Besonderheiten .. 502
Geoid 173, 554, 555
—oberfläche 555
Geokorona 422
geologischer Bau der Erde ... 435
geologisches Alter von Tierformen 710
geologische Vorgänge im Erdinnern 436
— Vorgänge an der Erdoberfläche 439
Geometrie 2, **53, 54**
—, analytische 83
—, klassische Probleme 61
geometrische Algebra 100
— Körper 76
— Örter 56
geometrisches Mittel 17, 65
— Nivellement 555
geometrische Zahlenfolgen 40, 41
Geophon 452
Geophysik 435, 450
geophysikalische Erkundungsmethoden **451**
— Lagerstättenerkundung .. 445, **450**
Geophysikalisches Jahr, Internationales 421, 545, 565, 573, 574
Geosynklinalen 437
geothermische Tiefenstufe 435, 437
Gerade **54**
gerades Prisma 77
Gerade, vektorielle Darstellung 87
Gerätegläser 284
—, Zusammensetzung 284
Geräusch 200, 790
Gerinnehöhlen 538
Gerinnungszeit des Blutes ... 699
Germanide 336
Germanin 838
Germanit 332
Germanium 289, 294, 323, 324, **332**
germanotyper Baustil 437
Germer, Physiker 259
Geruchs|empfindungen 791
—qualitäten 792
Geruchssinn 791
—, Empfindlichkeit 792
Gesamt|hirnrinde 784
—impuls 179, 180
—strahlung der Sonne 428
gesättigte Kohlenwasserstoffe 346
— Lösungen 275
Geschiebe 444
—mergel 444
Geschlecht, Häufigkeit 818
geschlechtliche Fortpflanzung 592
Geschlechts|apparat, Reife .. 819
—dimorphismus 593
—krankheiten 826
—merkmale 592, 593
—organe 592, 814
—reife 818, 819
—trieb 592
Geschmack von Bromsalzen 792
Geschmacks|organe 792
—qualitäten 792
Geschmackssinn 792
—, Empfindlichkeit 792
—, Schärfe 704
geschützte Gebietsflächen ... 761
— Tiere und Pflanzen 757
Geschwindigkeit 127, 160
Geschwindigkeiten, Beispiele 160
—, Zusammensetzung 161
Geschwindigkeit, Maßeinheiten 160
Geschwindigkeits|konstante . 309
—messung 160
—parallelogramm 161
gesellschaftliche Entwicklung des Menschen 765
Gesetz der äquivalenten Gewichtsverhältnisse 305
— der Division 9
— von der Erhaltung der Masse 304
— von Gay-Lussac 217
— der konstanten Gewichtsverhältnisse 304
gesetzliche Einheiten, Tafel 123, 124, 127
gesetzliches Maßsystem in der DDR 123, **124**, 127, 155
gesetzliche Vorsätze 124
Gesetz der mehrfachen (multiplen) Gewichtsverhältnisse 305
— der Oktaven 296
— der Subtraktion 9
— der Verknüpfung 9
— der Winkelkonstanz 278
Gesichts|geburt 817
—nerv 785
Gesner, K., Naturforscher ... 762
Gestalt der Erde 428
Gesteine, Alter 436
—, Altersbestimmung 436
—, Dichte 169
—, Lagerungsformen 437
—, relative Altersdatierung .. 436
—, Umbildung 444
—, umgewandelte 448
—, Verwitterung 439
Gesteins|bildung, schematisches Diagramm 438
—hülle der Erde 480
gestreckter Winkel 55
Getreidestärke 354
Getrenntgeschlechtlichkeit ... 593
Gewächse für Einfassungen .. 661
Gewässer des Festlandes 512
—, Verunreinigung 755
Gewebe 587
—, Differenzierung 595
—, pflanzliche 588
—tiere 683
—, tierische 590
Gewebsatmung 799
Geweih|bildung 752
—entwicklung 752, 753
Gewicht 164, 165
—, Maßeinheiten 166
Gewichts|anteil bei Mischungen 274
—prozent bei Mischungen ... 274
—verlust in Flüssigkeiten 192
Gewitter 229
Gewürze 648
Geysire 455
Gezeiten 545
—kurve 546
—wirkungen 545
Ghats 487
Gibbon 766, 767, 768, 769
Gibbs-Helmholtzsche Gleichungen 311
Gifte und ihre Gegenmittel ... 832
Giftpilze 652
Gilbert, W., Physiker 254
Giorgisches Maßsystem 123
Gipfelhöhe der Gebirge 482
Gips, gebrannter 325
Giraffe, Größe 691
Gitter|ebenen 279
—energie 276
—*konstante* 279, 280
—, kubischraumzentriertes 321, 322
Glanz|kohlenstoff 340
—winkel 280
glasbildende Verbindungen .. 284
Glas, Dichte 169
—körper 787
—struktur 283
—zustand des Festkörpers .. 283
glatte Muskeln ... 704, 778, 779
Glauber, R., Chemiker 371
Glaubersalz 371
glazialer Transport 444
glaziale Sedimente 444
— Seebecken 521
gleichförmige Kreisbewegung 162
Gleichgewicht, biologisches .. 577
— von Kräften 183
Gleichgewichts|arten 184
—fläche 554
—organ 791
—sinn 790, **791**
Gleichgewichtsverschiebung durch Änderung des Druckes 309
— durch Konzentrationsänderung 308
— durch Veränderung der Reaktionstemperatur 309
gleichmäßig beschleunigte Bewegung 162
gleichnamige elektr. Ladungen 227
— Pole 222
gleichnamig machen 14
Gleichungen 35
—, Arten 36, 37, 38, 39
—, Grade 37
— mit mehreren Unbekannten 38, 83
—, Verwendung 36
gleich warme Tiere 699
Gleitreibung 175
Glenn, J., Kosmonaut 426
Gletscher, bedeutende 509
— der Erde 509
—, größte 510
—katastrophen 512
—kunde 509
—ströme 509
—typen 509
—volumen 510, 512
Gliadine 580
Glieder|füßer 708
—tiere 684
Gliederung der Erde 428
— der Pflanzen 618
Globulen 407
Globuline 580
Gloxinie *663*
Glukose 355, **581**
Gluteline 580
Glykogen 365, **581**, 803
Glykokoll 366, **580**
Glykol 355
Glykoproteide 580
Glyzerin 355, 581
—nitrat 355
Glyzin 366
Gold ... 289, 295, 323, 330, **331**
Goldener Schnitt 65
goldenes Pfund, Gewichtseinheit 153

Gold|fisch 734
—hähnchen 719
—legierungen 334
goldne Regel der Mechanik .. 181
Goldseifen 449
Golfstrom 547
Gon 145
Gonaden 592
Goniometrie 54
goniometrische Beziehungen 75
Gonokokken 827
Gonorrhoe 827
—erkrankungen, neugemeldete 827
Gorilla 691, 703, 713, 769
—, Schädel 770
Goethe, J. W. v. 372, 681
Gouin-Stauanlage 526
Graafsche Follikel 815
Graebe, K., Chemiker 373
Grad|abteilungskarten 558
—maß 58, 144
Graham 122
Grahamland 533
Gramm|äquivalent 275, 305
—atom 287, 290
Grammolekül 287, 301
Grande Dixence, Talsperre .. 525
Grannenhaar 739
Granulation 383
Graphit 282, 335, 340
—, künstlicher 340
Gräser, Halm und Blatt 619
Grasmücken 719
Gräten im Luftweg, Erste Hilfe 833
Graugans 748
Grauspießglanz 333
Gravi|meter 451
—metrie 451
gravimetrische Meßverfahren 450, 451
Gravitation 387
Gravitations|beschleunigung . 172
—energie 413
—gesetz 254, 387
—konstante 387
Greenwicher Ortszeit 111
Gregorianischer Kalender 110, 117, 118, 122, 424
Greifvögel 721
Grenz|kohlenwasserstoffe ... 346
—wert 41
—winkel der Totalreflexion .. 208
Grew, N., Botaniker 681
griechische Gebirge 483
Griffiths, I. H. E., Physiker .. 259
Grignard-Verbindungen 353
Grimmdarm 701, 801, 802
Grippe 825, 835
Gromow 573
Grönland 512, 531
Großbebenherde der Erde .. 463
Großbritannien 528
Größe der Erde 428
große Intervalle 202
Größen|täuschung 789
—vergleich Elefant—Blauwal 694
—verhältnisse im Sonnensystem 386
große Planeten ... 386, 387, 390
— Planeten, Bahnelemente 388, 389
— Planeten, charakteristische Größen 390
großer Körperkreislauf 797
Großes Jahr 110, 380
Größe einiger Tiere 691
Großhirn 783
Großhirnrinde 784
großmaßstäblich 558
Großseggengesellschaften ... 635
Großstadtvögel 722
größte Seen 521
Grubenkompaß 450
Grum-Grshimailo, Zoologe .. 567
Grün|algen 608
—blindheit 789
Grund|ebene 376
—einheiten 123
—elemente des Organismus .. 584
—fläche 77
—gebilde, geometrische 54
Grundgesetz für Drehbewegungen 187
— der Mechanik .. 164, 165, 187
Grund|gewebe 589
—rechenarten 5, 8
—ton 201, 202
—umsatz 702, 804
—zahl des Zahlensystems 4
Grünland|gesellschaften 635
—pflanzen 637
Grün|malz 354
—span 362
Guanako 742
Gudow, B. 838
Guericke, O. v., Physiker 254
Guldberg, C., Chemiker 373
Guldinsche Regeln 60
Gummi 627
—baum 663
Guß|eisen 330, 334
—harze 368
Gymnospermen 588
Gyren 278
Gyroide 278
Gyrokompaß 433

H

Haar 589, 780
—, Bau 780
Haare, Gesamtzahl 781
Haar|gefäße 797, 798
—hygrometer 266
—kleid, Umbildung 711
—röhrchen 191
—schafe 739
—, tägliches Wachstum 781
—zwiebel 780
Haber, F. 374
Haber-Bosch-Verfahren 374
Haeckel, E., Zoologe 594, 602, 762
Hafenzeit 546
Hafnium 289, 295, 323, 327, 328
Haftreibung 176
Hagenbeck, C. 763
Hagen-Poisenillesches Gesetz 193
Hahnemann, S., Arzt 836
Hahn, O. 259
Haie ... 691, 693, 695, 699, 733
Hakimitische Tafeln 424
Halb|affen 766, 767
—element 315
—esel 743
Halbinsel 532
Halbinseln 480, 527, 532
Halbkreis des Thales 57
Halbmetalle 320
—, Eigenschaften 321
halbpolare Doppelbindung .. 303
Halb|schatten 385
—stauden 659
halbsynthetische Fasern 367
Halbton 202
—, diatonischer 202
Halb|wertszeit 114, 245, 248
—winkelsatz 75
—wüste 504
—wüstenzone 506
Hales 681
Halley, E., Astronom ... 424, 425
Halm 618
—knoten 619
Halogene 336
Halogenide 336
Halogen|verbindungen, organische 351
—wasserstoffe 336
Hamilton, W., Mathematiker 104
Hämin 374
Hammer, Gehörknöchel 790
Hämoglobin 698, 794
harmonische Reihe 42
— Schwingung 196
harmonisch-reine Stimmung . 202
Harn 804
—blase 803
—röhre 814
Harnstoff 363
—harze 368
Harnwege, Krankheiten 830
Harrison, J. 122
Hartblei 334
Härte|grade des Wassers 271
— der Minerale 447
—skale nach Mohs 191, 447
hartes Wasser 272
Härte des Wassers 344
Hart|gewebe 370
—papier 370
—spiritus 359
Harvey, W., Physiologe . 603, 835
Harz 627
Harze, Dichte 169
Hase 753
Hasenartige 711
Hata, Bakteriologe 373, 837
Haubenhühner 746
Haufen von Sternsystemen ... 417
Hauptachse der Ellipse 88
Hauptachsengleichung der Ellipse 88
— der Hyperbel 90
Haupt|fluß 513
—höhlengebiete 538
—inseln 527
—nenner 14
—quantenzahl 290
—schlagader 797, 798
—wurzel 619
Haus|apotheke 830
—büffel 741
Hausen 735
Haus|ente 748
—esel 744
—gans 748
—geflügel, ältestes 747
—höckergans 748
Haushuhn 746
— und Ei 747
Haus|hund 744
—kaninchen 746
—katze 745
Hausmannit 329
Haus|mittel 822
—pferde 743
—rind 740
—schaf 739
—schwein 742
—taube 747
Haustierarten, Zahl 738

Haustiere 737, 739
—, Abstammung 739
—, erste 738, 739
—, Nutzung ..... 739ff.
—, Trächtigkeitsdauer 749
Hausyak 741
Hausziege 740
Haut 779
—bildungen 779
—farbe 780
—gewebe 589
—,Schnitt 780
—,Sinnesorgane 792
Hebel 181
—waagen 167
Hedin, S., Forscher 567
Hefner-Alteneck, F. v., Ingenieur 151, 155
Hefnerkerze 155, 212
Heide 635
—moore 636
Heisenberg, W., Atomforscher 258
Heitz, E., Biologe 606
Heizwert 307
Hektar 127
heliozentrische Bahn des Mondes 384
Helium 289, 294, 335
helle Nächte 466
hellere Sterne, Bezeichnung .. 402
Helligkeit, absolute bolometrische 408
— eines Gestirns 381
— des Kometen 394
— des Mondes 384
— der Planeten 391
— im Walde 678
hellste Sterne 402, 403
Helmholtz, H. v., Physiker 256, 413, 836
Helmont, Baptist van, Alchimist 371
Henle, J., Mediziner 836
Henlein, P., Handwerker 122
Henry 129, 151
Henry-Daltonsches Gesetz ... 276
Henry, J., Physiker 151
Heraklit, Philosoph 603
Herbst|blüher 630
—punkt 553
Herdentiere 738
Hering 733, 735
Hermannshöhle 540
Hernien 624
Herodot von Halikarnassos 566, 680
Heron von Alexandria, Mathematiker 100, 254
Heronische Formel 59, 76
Heronsball 254
Herophilos 834
Herrentiere 711, 764
—, heute lebende 768
—, Ordnung 767
—, Stammesgeschichte 766
Herrentierstammbaum 766
Herschel, F. W., Astronom .. 425
—, J. F. W., Astronom 425
Hertwig, O., Anatom 605
—, R., Zoologe 762
Hertz 127, 151, 237
Hertz, H., Physiker 151, 257
Herz 797, 798
—, Arbeitsleistung 798
—kammer 797
—krankheiten 829
—muskulatur 778
Herz|schlag, Dauer 799
—schläge, Zahl 798
—vorkammer 797
Hess, V. F., Physiker 258
heterogene Katalyse 311
— Reaktoren 251
— Stoffe 260
— Systeme 260, 307
heteropolare Bindung 301
— Stoffe 281
— Verbindungen 292
heterotroph 582
Heubazillen 585
Hevelius, J., Astronom 424
Hexaeder 76
hexagonales System 279
Hexite 355
Hexosen 355
Heyrovsky, J., Chemiker 374
HI-Gebiete 406
HII-Gebiete 406
Hilbert, D., Mathematiker ... 105
Hillary 568, 574
Himalaja 485, 500
—, Pässe 495
Himbeersorten 668
Himmels|äquator 379, 552
—körper des Planetensystems 386
—mechanik 159
—meridian 377
—photographie 399
—pol 380, 553
Himmelsrichtung 553
— und Deklination 433
Hindukusch 485
—, Pässe 496
Hinshelwood, Sir C. N. 375
Hinterindien 532
Hipparch, Astronom 424
Hippokrates von Chios, Arzt 100, 834
Hirn|anhang 783, 812, 813
—häute 783
—hautentzündung 824
—mark 783
Hirnmasse und Körpermasse 703
— von Mensch und Tier 784
—, mittlere 783
— einiger Vögel und Säugetiere 703
— einiger Wirbeltiere 703
Hirn|nerven 782, 784
—rinde, graue 783
Hirnschädel 695
—kapazitäten 773
Hirsch 691, 693, 694, 697
—kuh 752
Hirtenhund 745
Histone 580
historische Kalenderformen .. 115
— Stollen 498
— Tunnel 498
Hittorf, W., Physiker 257
Hitzetod bei Pflanzen 634
Hitzschlag, Erste Hilfe 833
Hoch|atmosphäre 421
—blätter 619
Hochdruck|gebiete 467
—polyäthylen 369
hochfrequenter Wechselstrom 237
Hochfrequenzwellen 198
Hochland von Adamaua 491
— von Äthiopien 490
— von Bihé 491
Hochländer der Erde 481
Hochland von Mexiko 488
— von Moçambique 491
Hochmoore 636
Hoch|polymere, Dichte 169
—seevermessung 557
Höchstalter für Bäume 617
— einiger Pflanzen 632
— einiger Tierarten 710
Hochstammrosen 661
höchstliegende Seen 521
Höchstwerte des Wachstums 628
Hochtemperaturdestillation .. 346
Hochwasser 545
Hochzeitskleid bei Tieren ... 593
Hoden 592, 814
—sack 814
Hoff, J. H. van't, Chemiker .. 373
Hofmann, A. W. v. 372
Hoggarmassiv 491
Höhe 53
— des Prismas 77
Höhen, bemerkenswerte 149
— des Dreiecks 62
—festpunkte 555
—festpunktfeld 555
—forschungsraketen 421
—gliederung der Kontinente . 481
Höhengrenzen 499
— und Exposition 499
Höhengürtel 499, 500, 501
— tropischer Gebirge 499
Hohenheim, T. v. (Paracelsus) 371, 835
Höhenlinien 564
Höhe über NN 555
Höhen|raketen 421
—satz im Dreieck 64
—strahlung 258, 265
Höhenstufen der Erdoberfläche 431, 499
—färbung 564
—gliederung der Erdoberfläche 481
Höhen|vieh 741
—wachstum einiger Bäume .. 630
Hohenwarte-Talsperre 524
höhere Alkohole 355
— Geodäsie 553
— Pflanzen 618
Höhle als Lebensraum 540
Höhlen 535
—, außereuropäische 543
—bildungen 539
—definition 535
—, deutsche 540
—einlagerungen 539
—eis 539
—entstehung 538
—, europäische 542
—fauna 540
—funde 536
—gebiete 538
—lehm 539
—phosphate 539
—systematik 538
—temperatur 539
—verbreitung 538
—vorkommen 538
—wetter 539
Hohlmaß, ältestes 153
Hohlmaße 137, 139
—, antike 139
Hohlräume, unterirdische ... 535
Hohlspiegel 205
—, Abbildungsgleichung 206
Hohltiere 683
Holarktis 639, 640
Hollenhühner 746
Holmium 289, 295
Holz|geist 354
—kohle 340

Holzverzuckerung 355
Hominiden 536
Hominoidea 766
homogene Gasphase 268
— Katalyse 310
— Mischungen 273
— Reaktoren 251
— Stoffe 260, **261**
— Systeme 261, 307
homoiotherme Tiere 699
homologe Organe 597
Homologien 597
Homöopathie 836
homöopolare chemische Bindung 292, 302
— Stoffe 281
Homo neandertalensis 536, 770, 772
— sapiens 764, 770, 772
Honigbiene 699, 705, 706, **737**, 748
—, Entwicklungszeiten 706
Hooke, R., Physiker 681
Hookesches Gesetz 189
Hopfe 721
Hörgrenze, obere 200
Horizontal|intensität ... 432, **434**
—seismographen 458
—system 376, **377**, 551
Horizont, Bestimmung 555
Hormonbildung 817
Hormone 596, 700, 812, **813**, 814
Hornbildungen 779
Hörnerv 785, 790
Hornhaut 779
— des Auges 787
Hör|schärfe 790
—schwelle **147**, 790
—vermögen 704
Houot, G. 545
Hubarbeit 177
Hudson, H. 570, 572
Hüftnerv 785
Huggins, W., Astronom 425
Huhn ... 696, 699, 702, 703, 746
Hühner, einfachkämmige ... 746
—rassen, wichtigste 746
—, rosenkämmige 746
—, Wirtschaftsrassen 747
Hüllenladung 286
Hulock 769
Hülsen 623
Humboldt, A. v., Naturforscher 372, 567, 570
Hummelnest 737
Hummer, Größe 691
Hund 695, 697, 698, 699, 701, 702 704, 707, **744**
Hunderassen, wichtigste 745
Huronsee 523
Hurrikan 468
Hussein, Kemal ed-Din 569
Huygens, Chr., Physiker 102, **122**, 153, 175, 254, 424
Huygenssches Prinzip ... 198, 211
Hyazinthe 663
Hybriden 741
Hybridisierung 302
Hydratation 312
Hydratationsenergie 276, 312
Hydride 336
Hydrieren 310, 346
Hydrierung 314
Hydrochinon 356, 357
hydrodynamisches Paradoxon 193
Hydro|graphie 564
—kultur bei Zimmerpflanzen 666
Hydrolyse 344, 581
Hydromechanik 159
Hydronalium 334
Hydroniumionen 312
Hydrosphäre 435, 480, **577**
hydrostatischer Druck .. 192, 276
— Druck, Gesetze 194, 254
hydrostatisches Gleichgewicht 413
— Organ 600
— Paradoxon 192
hydro|technische Anlage **524**
—thermale Lagerstätten 449
Hydroxoniumionen 312
Hydroxyde 341
Hydroxylapatit 339
Hyperbel 88, **90**
Hyperbelast 87
Hyperonen 245
Hypophyse 783, **812**, 813
Hypotenuse 64
hypotonische Lösung 277
Hypozentrum 458
hypso|graphische Kurve der Erdoberfläche 431
—metrische Kurve 481
Hystereseschleife 225

I

Iatrochemie 371
Ibn Battuta 566, 568
— Jūnus, Astronom 424
— Sina 835
ideales Gas ... **194**, **262**, 263, 308
ideal verdünnte Lösung 308
identische Gleichungen 36
Identität, Eulersche 7
idiochromatische Minerale .. 445
Idiosynkrasie 826
Idiotypus 594
Igel 712
Ikosaeder 76
imaginäre Einheit 25
— Zahlen 25
immergrüne Gewächse 662
Impuls 164
—erhaltungssatz 180
—satz 164
inadäquater Reiz 786
Indanthrenfarbstoffe 351
indifferentes Gleichgewicht .. 184
indirekte Meßverfahren 167
Indischer Ozean 479, 543
Indium .. 289, 294, 323, 324, **332**
Induktion 235, 254
—, magnetische ... 129, 131, **223**
Induktions|gesetz 235, 237
—konstante 223
—strom 235
Induktivität 129
Inertial|system 186
—zeit 107
Infektionskrankheiten 825
Infinitesimalrechnung 91
Influenz, elektrische 227, **228**
infrarote Strahlen 198
— Strahlung 204
Ingenhousz, J., Arzt 681
Inklination 434
—, magnetische 432
Inklinationsnadel 432
Inkreis des Dreiecks 64
— im regelmäßigen Vieleck .. 67
— des Vierecks 66
Inkretdrüsen 812
Inkrete 812, 813
Inkubationszeiten 825
Inlandeis 509
Innenohr 790
—, Schnitt 790
Innen|skelett 695
—winkel des Dreiecks 62
innere Organe, Erkrankungen 828
— Planeten 388
Insekten 736
insektenfressende Pflanzen, geschützte 759
Insektenfresser 711
—, einheimische 712
Insekten, geschützte 758
—, pilzzüchtende 737
—staaten 737
Inselkarten 558
Inseln 480, **527**
—, bedeutendste 527, 528
—, Gesamtfläche 527
—, Größe 527
instabiles Gleichgewicht 184
Insulin **812**, 838
Integral 91, 96
—, Bedeutung 97
—begriffe 96
—, bestimmtes 95, 97
Integrale häufiger Funktionen 98
Integral|rechnung 2, 91, **95**, 97, 102
—, unbestimmtes 97
Integration 96
—, partielle 98
Integrations|formel 98
—grenzen 96
Integration durch Substitution 98
Integrierbarkeit 96
integrieren 96
Integriergeräte 32
Intensität, magnetische 432
Interferenz|erscheinungen ... 280
— des Lichtes 255
—methode 554
— der Wellen 197
„Internationale Kerze“ 155
internationaler Naturschutz . 759
Internationales Erdellipsoid, Werte 429
— Geophysikalisches Jahr 421 545, 565, 573, 574
interplanetares Gas 422
interstellare Materie 405, 406, 408
interstellares Gas 411
interstellare Teilchen 405
Intersterilitätsgruppen 667
Intervalle 201, 202
Invar 334
Inversions|temperatur 267
—zentrum 278
Ionen 239, 261, 286, 303, 311, 312
—aktivität 319
—austauscher 357
—beweglichkeit 319
—beziehung 301
—bindung 301
—dissoziation des Wassers .. 313
—gitter, makromolekulare .. 300
—konzentration 319
—produkt des Wassers 313
—radien 298
—rohre 241
—verbindungen 306
Ionisationskammern 243
Ionisierungsspannung der Elemente 296
Ionosphäre 421, 464, 465
—, Erscheinungen 465
Iridium 289, 295, 323, **330**
Irland 528
irrationale Zahlen .. 25, 27, **105**
Irrlehren über den Menschen 765

Island 528
Isobare 264, **287**
Isobaren 472
Isochore 264
Isochronismus 122
Isodimorphie 281
Isohypsen 564
Isolation, Evolutionsfaktor .. 603
Isolatoren 227
—, elektrische Eigenschaften 228
Isolinien 564
isomere Alkohole 354
— Verbindungen 300
Isomerie **345**, 347, 348, 356, 360
Isomorphie 281
Isonitrile 364
Isonitrilreaktion 364
Isopren 348
Isopykne 264
isosmotische Lösungen 276
Isoseisten 458
Isotherme 263, 267
Isothermen realer Gase 267
Isotone 287
isotonische Lösungen 276
Isotope **240**, 245, 262, 286
—, künstliche 252
—, stabile 240
Isotopieeffekt 272
isotrop 278
Isotypie 283
Isozyanatplaste 369
Iwanowski, D. I., Physiologe 605, 837

J

Jackson, Ch., Arzt 836
Jagd 750
—arten 750
—fasan 753
—gesetz 750, 754
—hunde 745
—wesen, gesetzliche Regelung 750, 754
Jagdwild, Abschußziffern ... 753
—, ehemaliges 753
Jagdzeiten 751
Jahr 109
Jahreszahlen, wichtige:
Abschn. Erde 565
Abschn. Kraft 253
Abschn. Leben 603
Abschn. Maßeinheiten ... 152
Abschn. Mensch 834
Abschn. Pflanze 680
Abschn. Raum 99
Abschn. Stoff 371
Abschn. Tier 761
Abschn. Zeit 121
Jahreszeiten, astronom. Länge 110
jährliche Sonnenenergie 428
Jakobi, C. G. J., Mathematiker 103
Janski, K. G. 426
Jarowisationsstadium 629
Jenissei-Selenga 516
Jenner, E., Arzt 836
Jod .. 289, 295, 335, 336, 337, 579
Jodide 337
Jodoform 351
Jodsäure 337
Jodwasserstoff 337
—säure 337, 341
Johannisbeersorten 668
Johansen 572
Johnston, H. H. 763
Joliot-Curie, Irène, Physikerin 259
Joliot, F., Physiker 259
Jordangraben 534
Joule 152
Joule, J., Physiker *152*, 256
Joule-Thomson-Effekt 266
Julianischer Kalender 110, 116, 118, 424
Junck, C., Chemiker 837
Jungfernhäutchen 815
Jupiter 389, 390
—monde 392
Jura 441

K

Kabeljau 735
Kadmium 289, 294, 323, **331**
Kakteen 643, 664
Kalender **110**, **115**, 118, 122, 423, 424
—, ägyptischer 423
—, chinesischer 423
—, Gregorianischer 110, **117**, 118, 122, 424
—jahr 110
—, Julianischer 110, **116**, 118, 424
Kalifornium 289, 295, **327**
Kalimantan 529
Kalium 289, 294, 323, **324**
Kalium-Argon-Methode 436
Kalk|bevorzugende 637
—brennen 325
—, gelöschter 340
—kristallglas 284
—seifen 365
—zeiger 636, 637
Kalojanoff, A., Chemiker ... 375
Kalomelelektrode 316
Kalorie *128*, *214*
Kalorienbedarf 804
Kalorik 156, 213
Kalorimetrie 255
Kalotte 79
Kaltblüter 744
Kälte 214
—empfindung 793
—grenzen 499
—pole 432
—punkte 780, 793
—sinn 793
—tod bei Pflanzen 634
Kalzium 289, 294, 323, **325**
—karbonat 325, 343
Kambium 588
Kambrium 443
Kamele 742
Kamellie 664
Kamerunberg 491
Kammerton 200
Kampfer 349, 360
Kämpfer, E., Arzt 566
Kamtschatka 486
Kanalstrahlen 239
Känguruh 705
Kaninchen 695, 697, 699, **746**, **753**
—rassen, wichtigste 746
—zucht 746
Kannibalismus bei Raupen .. 736
Känozoikum 440
Kante, brechende 209
Kant, I., Philosoph 425
Kaolin 332
Kapazität, elektrische 129
Kap-Berge 491
Kapillaren *191*, **797**
Kapillarität 191
Kapseln 623
Kapteyn, J. C., Astronom ... 425
Karakorum 485
—, Pässe 495
Karakulschafe 740
Karat, Karätigkeit 141
Karbide 349
Karbidsprit 359
Karbolwasser 356
Karbon 442
Karbonathärte des Wassers .. 271
Karbonsäure|amide 363
—anhydride 363
—chloride 363
—derivate 363
Karbonsäuren . .. 358, **360**, 361
Karbonyl|gruppe 358
—verbindungen 358
karbozyklische Kohlenwasserstoffe 345
Karibisches Gebirge 490
Karlspfund 153
Karnotit 326
Karotinoide 348
Karpaten 483
—, Pässe 495
Karpfen 691, 733
Karrenweg 494
Karrer, P., Chemiker 374
Karten, alte deutsche 559
— der DDR, staatliche 559
—einteilung 558
Kartenelemente, physisch-geographische 564
—, sozial-ökonomische 565
Karten|gestaltung 558
—inhalt 564
— nach Inhalt 559
—inhalt, graphische Darstellungsmöglichkeiten 564
—kunde 558
— nach Maßstab 558
—maßstäbe 559
—netzentwürfe 560
—null 557
—, Projektionen 560
—projektionslehre 560
—redaktion 558
—technik 558
— nach Verwendungszweck . 559
Kartesische Koordinaten 80
Kartoffel 643, 676, 680
—käfer 762
—stärke 354
—, Vitaminverlust 806
—, Wasserbedarf 626
Kartographie 558
Karyokinese 587
Kaskadengebirge, Pässe 496
Kaspisee 522
katadrome Fische 735
Katalysatoren 310
Katalyse 310, 373
katazonale Metamorphose .. 444
Kathete 64
Kathode 318
kathodische Reduktion 318
Kationen 286, **292**, 312
Kationenaustauscher 357
—säule 357
Katze 695, 697, 699, 701, 703, 704, **748**
Katzenrassen, wichtigste 745
Kauen 778
kaufmännisches Rechnen ... 18
Kaukasus 486
—, Pässe 495
Kautschuk, synthetischer 359, 367
Kavernotomie 838

Keeler, J. E., Astronom 425
Kegel 78
—projektion 560, **561**
—schnitte 87, 102
Kehl|deckel 800, 801
—kopf 800
Keil 183
Keimblätter 618, 619
—bildung 595
Keimdrüsen 592, 812
— der Frau 815
— des Mannes 814
Keimfähigkeit von Gemüsesamen 674
Keimling 619, 621, 623
Keimungs|beginn bei Nutzpflanzen 628
—grenzen bei Nutzpflanzen .. 628
K-Einfang 248
Kelchblätter 619
Kelvin (°K) 129, 146, 215
Kelvin, Lord (Thomson, William) 152, 256
Kelvin-Temperatur 129, 152
Kennarten 635
Kennelly-Heaviside-Schicht .. 465
Kennziffer des Logarithmus . 30
Kepler, J., Astronom 101, 153, 254, 412, 424
Keplersche Gesetze 387
Kern|energie 413
—explosion 249
—fusion 249
—gebiet der Milchstraße 408
—gerüst 588
—isomere 245
Kernit 340
Kern des Kometen 394
—körperchen 588
—kräfte 245, 249
—ladung 286
—ladungszahl 240, 245, 248, 286, 287, **296**
—materie, mittlere Dichte ... 286
—membran 588
—modelle 245
—phasen 460
—photoeffekt 249
—physik 156, 239
—platten 243
—radius 286
Kernreaktionen 245, 249
—, künstliche 249
Kern|reaktor **250**, 328
—resonanzenmessung 450
—schatten 385
Kernspaltung 242, 245, 249
—, spontane 250
Kernspuren 243
Kernteilung, amitotische 587
—, mitotische 587
Kernverschmelzung 249
Kesselstein 271
Keto-Enol-Tautomerie 360
Ketone 359, 360
Ketosen 356
Ketten|brüche 15
—isomerie 347
—reaktion 250
—satz 18
Keuchhusten 825
Kiefer|apparat 695
—gelenk 695
kieferlose Fische 733
Kilimandscharo 490, **500**
Kilogramm 124, 128
Kilogrammolarität 274
Kilogrammprototyp 164
Kilo|kalorie 213
—parsek 381
—pond 128, **166**
Kimm 556
—tiefe 556
Kindbettfieber 836
Kinderkrankheiten 822
Kindesalter 818, 819
Kind, Wachstum 818
Kinematik 159
kinematische Viskosität . 128, 192
Kinematographie 788
kinetische Energie 172, **177**, 237, 262, 413
Kirchhoff, R., Physiker 256, 372, 425
Kirschensorten **667**
Kirschwochen 667
Kitasato, S., Bakteriologe ... 837
Kitzler 815
Kiwi 689, 725
Klammerausdrücke 10, 11
Klang 200, 790
—farbe 201
Klappsonnenuhr 122
Klassengesellschaft 765
klassische Genetik 682
— Mechanik 164
— Physik 156
klastische Sedimente 444
Klebereiweiße 580
Kleiber 718
Kleinasien 532
kleine Intervalle 202
— Planeten 386, **393**
— Planeten, System 393
kleinere Sterne, Bezeichnung 402
Kleiner Kaukasus 486
kleiner Körperkreislauf **797**
Klein, F., Mathematiker 104
Kleinhirn 783
—rinde 784
kleinmaßstäblich 558
kleinste Größen 585, 586
Kleist, E. J. v. 255
Kletter|pflanzen 662
—rosen 661
Klimaänderungen 476
Klimakterium 819
Klimapole 432
klimatisch bedingte Entwicklungsvorgänge der Pflanzen 470
klimatische Verhältnisse europäischer Großstädte 470
Klima|wandlung 476, 478
—zonen der Erde 444, 481
Klitoris 815
Kloake 711
Kloakentiere 711
Klonunterlagen 669
Klufthöhlen 538
Knall 200
Knallgas 336
—reaktion 318
Knebelpresse 834
Kneipp, S., Pfarrer 836
Kniegelenk 777
Knipping, P. 258
Knochen 695
—brüche, Erste Hilfe 833
—fische 600, 733
Knochengewebe 591
—, Aufbau 781
Knochen|kämme 695
—leisten 695
—, Wichte 777
Knöllchenbakterien 585
Knollengewächse 657
Knopfspießer, Geweih 752
Knorpel 695
—fische 600, 733
—gewebe 591
—, wichtigste 777
Knospung 592
Knoten 127, 389
—linie 389
Kobalt 289, 294, 323, 329, **330**
—kanone 252
Koboldmaki 767, 768
Koch, R., Arzt 836, 837
Kochsalz 343
—bedarf des Körpers 806
Koeffizient der Gleichung ... 37
Koerzitiv|feldstärke 225
—kraft 225
Kohäsions|druck 267
—kräfte 189
Kohlehydrierung 336
Kohlendioxyd 339
—ausscheidung bei Atmung . 799
—, Kreislauf 265
Kohlenhydrate 265, 580
—, wichtige 581
Kohlen|monoxyd 339
—säure 339
—stoff 282, 289, 294, 335, 339, 345, 579
Kohlenwasserstoffe 345, 346
—, Entstehung 583
—, Schmelzpunkte 347
—, Siedepunkte 347
Kohlrausch, F., Physiker 154
Koks **340**
Kolibri 727
Kollektor 234
Koelliker, A. v., Zoologe 762
Kollisionen von Sternsystemen 417
Kollodiumwolle 368
Kolloide 580
Kolmogorow, A. N., Mathematiker 45, 105
kolorimetrische Methode ... 313
Kolumbus, Christoph **570**
Kolur 379
—stern 553
— der Tagundnachtgleichen . 553
— des Winter- und Sommerpunktes 553
Koma 394
Kombinationen 42
Kombinatorik 42
kombinieren, Definition 42
Kometen 386, **394**
—hülle 394
Komitee für Maße und Gewichte, Internationales .. 154
kommunizierende Röhren ... 192
kommutative Gesetze *9*
Kompaß 432
—rose 433
Kompensation, magnetische . 167
Komplementär|farben 212
—luft 799
Komplementwinkel 55
komplexe Ionen 303
Komplexionen 42
Komplex|salze 344
—verbindung 582
Komposterde 665
Kompressibilität 189, 268, 269
Kompressibilitätskoeffizient 263
Komsomolskaja, Forschungsstation 574
Konaleder 743
Kondensationskerne 242

Kondensations|punkt 218
—wärme 218, 269
Kondensieren 218
kondensierte Säuren 341
— Stoffe 269
Kondensoren 210, 229
Kondor 694, 726
konform 560
Kongo-Luapula 517
kongruente Dreiecke 62
Kongruenz von Dreiecken .. 62
Königs|tiger 691, 694
—wasser 330
Konkav|linse 210
—spiegel 205
Konrad-Diskontinuität 435
Konsonanz 201
Konstantan 334
Konstanten, physikalische ... 158, 159
konstanter Faktor 93
Konstanzlehre 593, 601, 602
Konstitutions|typen 775
—wasser 344
Kontakt|gifte 311
—katalyse 311
kontinental 480
Kontinentalabhang 431, 481
kontinentaler Einfluß 480
Kontinentaltafel 431, 481
Kontinente 478
kontinuierliches Prismenspektrum 211
Kontinuitätsgleichung 193
Kontraktion des Muskels ... 779
Kontraktions|phase 704
—welle 779
—stromsystem 444
konvergent 41
konvergente Reihe 42
Konvergenz 41, 597
—kriterien 41
Konversion 250
Konvexspiegel 207
Konzentrations|maß 274
—polarisation 319
konzentrische Kreise 69
Koordinaten 80
—achsen 80
—ebenen 81
—, rechtwinklige 550
—, rechtwinklig-sphärische .. 551
Koordinatensysteme 80, 550
— der Astronomie, sphärische 376
Koordinationszahl 281, 286, 302
Kopernikus, N., Astronom .. 424
Kopf|geburt 817
—rechnen, blitzschnelles 50
Kopulation 670
Kopulieren 670
Kordillere von Mittelamerika 489
Kork|kambium 589
—zellen 589
Kornberg, A. 606
Korndichte 168
Korona 382
Koronararterien 786
Koronastrahlen 383
Körper 53, **55**, **76**, 165, 183, 189
—bautypen 775
—berechnung, Übersicht .. 79, 80
—, Deformation 165
—größe bei Menschen 773
—größen, extreme 774
—, Härte 190
Körpermasse beim Menschen 775
— von Raubvögeln 724
—, Zunahme 818
Körper|messung 58
—proportionen, Änderungen 774
—, schwimmender 192
Körperteile, Größenzunahme 818
—, schmerzempfindliche 794
—, Verhältnis zur Gesamtlänge 774
Körper|temperatur 699, 799
—temperaturen der Haustiere 749
—temperatur, Schwankungen 699, 700
Korpuskel 239
—strahlen 242
Korpuskular|strahlen 239
—strahlung 239
Korrosion 317
Korund 332
Kosinus 71, 72
—satz 75, 101
Koslow, Forscher 567
kosmischer Staub 407
kosmische Strahlen 198, 258
— Strahlung 412
— Strahlungsgürtel 465
Kosmopoliten 639
Kot 802
Kotangens 71, 72
Kovalenz 302
Kovolumen 267
Kraft 128, 130, **156**, **164**
—arm 181
—, dynamische Wirkung 164
Kräfte, äußere 179
—, innere 179, 180
—paar 185
—, parallele 183
—polygon 183
—, Zusammensetzung 183
Kraft, Maßeinheiten 166
—, Meßmethoden 166
—, statische Wirkung 165
—wirkungen zwischen Polen 222
Krakatau 457
Krankentransport 834
Krankheiten, allergische 826
—, funktionelle 786
—, wichtige 822
krankheitserregende Bakterien 585
Krankheitserreger 825
Krascheninnikow, S. P. 567
Krasnojarsk-Stauanlage 525
Kräuter, Fruchtbarkeit 627
—, Höchstalter 632
Kreidezeit **441**
Kreis 56, **67**, 87, 88
—abschnitt 69
— des Apollonius 61
—ausschnitt 69
—beschleuniger 241
—bewegung 160
—bogen 67
Kreisel 188
—kompaß 433
Kreis|fläche 69
— als geometrischer Ort 67
—inhalt 69
—laufgorane 794
—, Lehrsätze 68
—ring 69
Kreisumfang 69
— als Grenzwert 69
Kresole 357
Kretinismus 812
Kretschmer, E. 775
Kreuzotter 729
Kreuzung 593
Kreuzungsanalyse 593
Kriechtierarten, Zahlen 687
Kriechtiere 600, **728**, 729
—, geschützte 757
—, Merkmale 728
Krimgebirge 485
Kristall 261, **278**
—bildung 445
—chemie 280
Kristalle 445
—, Drehungsachsen 446
—, Eigenschaften 278
—, Raumgruppen 279
Kristall|feinbau, Bestimmungsmethoden 446
—gitter 189, 281
—gläser 284
kristalline Flüssigkeiten 278
Kristallisation 261
Kristallisationsdifferentiation 437
Kristall|klassen 278, 279
—physik 447
—struktur 278
—systeme 278, 279, 446
kritische Daten gasförmiger Elemente 268
— Dichte 268
— Isotherme 267
kritischer Punkt 267, 268
kritische Temperatur 373
Krokodil 693, 728, 731
Kronblätter 619
Krone 752
— des Zahnes 777
Kronstädter Pegel 555
Kropf 812
Kröten 732
Krumenfeuchtezeiger 637
Krummdarm 801
krumme Fläche 55
Krusenstern, I. F. v. 567
Kryoskopie 301
kryoskopische Konstante 277
Kryptodepression 533, 534
Krypton 289, 294, 335
Kuben 24, 25
Kubik|meter 58
—wurzeln 24, 26
—zahlen 22, 26
kubische Gleichungen 37, 101
kubischer Ausdehnungskoeffizient 216, 217
kubisches System 279
Kuckuck 707, 721
Kuenlun, Pässe 495
Kugel 78
—dreieck 79
—gelenk 777
—gestalt der Erde 480
—packung, dichteste 321, 322
—schicht 79
—segment 79
—sektor 79
—sternhaufen 405
—welle 197
—zone 79
—zweieck 79
Kühlmittel|kreislauf 250
— für Reaktoren 251
Kuhn, R., Chemiker 375
Kuh-Rud 486
Kuhstall, Höhle 540
Kuibyschew-Stauanlage 525
Kuiper, G. P. 426
Kulmination, untere 551
kulminieren 377
Kulttiere 745
Kulturpflanzen 641
Kummerower See 520, 534

Kumol 360
Kumulonimbus 465
Kumulus 465, 475
Kunlun 485
Kunsthorn 368
künstliche Asteroiden 393
— Atmung 833, 834
— Auslese 602
— Gewässer 512
— Zuchtwahl 602
Kunststoffe 368
—, glasfaserverstärkte 368
Kupfer 289, 294, 323, 324, **330**, 579
—glanz 331
—kies 331
—legierungen 331, 334
—schiefer 331
—seide 368
—vitriol 331
Kuriositäten im Pflanzenreich 614
— im Tierreich 689
Kurslinie 562
Kurve 53, **54**
—, gekrümmte 54
Kurvenschar 97
Kurvimeter 58
Kurzhaar 780
—katzen 745
Kurzhornrinder 741
Kurzsichtigkeit 209, 788
Kurztagspflanzen 630
Kürzungszahl, größte 14
Kurzwellenstrahlungen 426
Kurzzeichen, veraltete und neue 131
Küstenvermessung 557
Kutikula 590
Kybernetik 31, 105
kybernetische Maschinen 31

L

Lab|ferment 801, 814
—magen **701**
Labrador 533
Lachgas 339
Lachs 691, 733, 735
Lactoflavin 808
Ladogasee 521
Ladung, elektrische 129, 245
Ladungstrennung durch Reiben 227
Läennec, Arzt 836
Lagefestpunktfeld 554
Lagerpflanzen 613
Lagerstätten, Entstehung 449
—kunde 445, 449, **450**
Lagersteine für Uhren 122
Lagrange, J. L., Mathematiker 103, 255
Laichkrautgesellschaften 635
Lake Mead, Stauanlage 526
Lakkolithe 437
Laktose 356, 581
Lamarck, Entwicklungsgrundsätze 601
Lamarckismus 601
Lamarck, J. B., Naturforscher 601, 604, 762
Lamas 742
Lambda-Teilchen 244
laminare Strömung 193
— Umströmung 176
Lämmergeier, Spannweite ... 694
Landau, L., Physiker 259
Landengen 527, **533**
—, bekannteste 533
Landes|horizonte 555
—vermessung 553
Land|flächen der Erde 431
—halbkugel 480
—hühner 746
—karte 558
—saurier 692
Landschafts|schäden 755
—schutzgebiete 756
—zonen 498
Landsteiner, K., Bakteriologe 837
Landwirtschaft 674
landwirtschaftlicher Arbeitskalender 677
Länge 53
— (Einheiten) 127, 130
—, ekliptikale 379
Lange, F. A. 122
Länge, galaktische 379
—, gleiche geographische 430
Längen, bemerkenswerte 148
—bestimmung 552
—kreise 550
—maß, ältestes 152
Längenmaße, antike 135
—, britisch-amerikanische ... 134
—, metrische 132
—, nichtmetrische 133, 134
—, russische 134
— im Seewesen 134
— in der Spinnerei 134
—, veraltete preußische 134
Längen|messung 58
—wachstum sowjetischer Schuljugend 773
Langerhansscbe Inseln 812
Langhaar 780
—katzen 745
Langlois 153
Längswellen 196
Langtagspflanzen 630
Lanthan 289, 295, 323
Lanthaniden|elemente ... 297, 325
—kontraktion 297, 326
—, Wertigkeit 298
Laplace, P. S. de 103, 255, 425, 604
Lappjagd 751
Larsen 573
Larvenzeit einiger Lurche ... 707
Lasarew 573
Laskasche Faustregel 460
Lastarm 181
latentes Leben 596
Latenz|phase 704
—zeit 794
Latex 367
Laub|blätter 618, 619
—erde 665
Laue-Diagramm 258, 447
Laue, M. v., Physiker ... 258, 374
Laue-Verfahren 280
Lautal 334
Lautstärke 147, 200
—, Werte 200
Lava|höhlen 538
—vulkane 454
Laveran, A., Arzt 837
Lavoisier, A. L., Chemiker 371, 372, 604
Lawrence, E. O., Physiker .. 259
Lawrencium 289, 295, **327**
Leavitt, H. S., Astronomin .. 426
Lebedew, P. N., Physiker ... 257
Leben 576, **579**
lebende Eiweißkörper, Entstehung 583
— Materie 579
lebendgebärende Pflanzen ... 628
lebendgebärende Nichtsäugetiere 708, 729
Leben, Entwicklungsstufen .. 819
— auf der Erde, Entstehung.. 583
—, latentes 596
— der Pflanze 627
Lebens|ablauf 595
—alter, durchschnittliches ... 819
—bedingungen 576
Lebensdauer 595
— von Blättern und Nadeln . 633
— der Obstgehölze 669
Lebenserwartung 820
—, mittlere 822
Lebens|formen, einfache 584
—gemeinschaft 577
Lebensraum 577
— des Zugvogels 724
lebenswichtige Elemente 579
Leber 797, 802, 811
—egel 690
—gallengang 803
—gefäßnetz 798
—, Krankheiten 829
Lebewesen auf der Erde 577
—, fossile 596
—, größtes tierisches 694
—, Reizbarkeit 582
Leblanc, N. 372
Le Chatelier, H., Physiker ... 374
Leclanché-Element 318
Ledergewinnung 743
Lederhaut 779
— des Auges 787
Leerdarm 801
Leeuwenhoek, A. van, Zoologe 603, 762, 835
Legierungen 333
—, ferromagnetische 225
—, Heuslersche 225
—, leichtschmelzbare 334
Lehm 332
Lehre von den Mineralen ... 445
Lehrsätze, berühmte 59
Lehrsatz des Pythagoras 64
Leibniz, G. W., Philosoph 2, 102
Leichenschau 822
Leichhardt, L. 571
leichtes Wasser 272
Leicht|metalle 322
—wasserreaktor 251
Leidener Flasche 255
Leistung 128, 179
—, elektrische 232
Leistungen einiger Haustiere . 748
Leistungs|einheiten 179
—reaktor 252
Leiterschaukel 233
Leit|fähigkeit 254, 270, **312**, **319**
—fossilien 436
—gewebe 590
—strahl 81, 88, 89, 90
—wert, elektrischer 129
Lemur 767, 768
Lemurenartige 767
Lenard, Ph., Physiker 257
Lenin, W. I. 155, 258
Lenz, O., Geologe 569
Lenzsche Regel 236
Leonardo da Vinci 101, 122, 254
Leopoldina, Deutsche Akademie der Naturforscher 254
Leptonen 245
leptosomer Typ 775
Lerchen 718
Lettermetall 334
Leuchtdichte 129, 131
—, mittlere der Sonne 382

Leuchtkraft|klasse 409
— der Sonne 382
— eines Sternes 408
Leuchtöl 346
Leukipp, Philosoph 371
Leukozyten 698, 794
Levan, A., Zoologe 606
Leverrier 425
Lewis 570
Libanon 487
Libavius, A. 371
Libby, W. F., Chemiker 375
Licht 204
—, Ausbreitung 204
Lichtbrechung 207
— bei isotropen Medien 208
Licht, Entstehung 204
—geschwindigkeit 204
—jahr 381
—, linear polarisiertes 204
Lichtmeßkommission, Internationale 155
Licht|messung 212
—quant 239
—quantentheorie 258
—sekunde 381
—stadium 629
Lichtstärke 129, 131, 155, **212**, 213
— der Sonne 382
Lichtstrahl, Aufspaltung 208
Lichtstrom 129, 213
—, Einheit 213
Licht im Vakuum 207
—verhältnisse im Walde 678
—wahrnehmung 703
—, Zerlegung 211
Liebermann, K., Chemiker .. 373
Liebig, J. v., Chemiker 372, 604, 681
Lifschitz, E., Physiker 259
limnische Sedimente 444
Lindsay 571
Linearbeschleuniger 241
lineare Exzentrizität 88, 90
— Gleichungen 37, 38, **84**
— Gleichungen, graphische Lösung 84
linearer Ausdehnungskoeffizient 216, 217
lineare Verkleinerung 703
linear polarisierte Welle 196
Linearvulkane 454, **455**
Linien|blitz 229
—spektrum 211
Links|ablenkung 187
—system 82
Linné, K. v., Naturforscher 603, 681, 762, 764
Linse des Auges 787
Linsen 209
—gleichung 210
—, Maßeinheit 148
Lipase 814
Lipoide 581
Lipowitzmetall 334
Liquiduskurve 333
Lister, J., Chirurg 836
Liter 127, 164
—gewicht von Gasen, Beispiele 171
—molarität 274
Lithium 289, 294, 323, **324**, 579
Lithopon 325
Lithosphäre 435, 480, **577**
Lincci, M. de, Anatom 835
Livingstone, D., Forscher .. 569
Lobatschewski, N., Mathematiker 54, 103
Löffler, F., Hygieniker 837
Löffler, Geweih 753
Logarithmand 27
Logarithmen der natürlichen Zahlen, Tabelle 28, 29
—systeme 27
—tafeln 27, 28, 29, 30, **101**
Logarithmieren 6, 8, **27**
—, Grundbegriffe 27
logarithmischer Rechenschieber **31**
Logarithmus 27
Logik, mathematische **1**
Lokal|anästhesie 837
—elemente 317
lokales System 415
lokale Winde 467
Lomonossow, M. W., Chemiker 255, **371**
Longitudinalwellen 196, **197**
Lorentz, H. A., Physiker 257
Loriartige 767
Loschmidt, J., Physiker 257, 373
Loschmidtsche Zahl 257, 290, 306
lose Rolle 181
Löslichkeit 275
Löslichkeits|grade 275
—koeffizient 276
—kurven 275, 276
—produkt 276
Löslichkeit, Temperaturabhängigkeit 275
Löß 444
Lösungen 261, 273, 313
—, Konzentrationsmaße 273
Lösungswärme 276
Lösung, Zusammensetzung .. 261
Lote 334
Lot fällen 57
Lot, Lötigkeit 141
Löwe 691, 697, 705, 714
Loewy, M., Astronom 426
Loxodrome 562
Luchs 753
Lückzähne 697
Lues 827
Luft 264
—bildmessung 557
Luftdruck 264, 472
—, atmosphärischer 194, 466
luftelektrischer Ausgleich ... 229
Luftelektrizität 229
Luftfeuchtigkeit 266
— über dem Felde 677
— im Walde 679
Luft|hülle der Erde 264, **464**
—massen, nach Mitteleuropa gelangende 473
—röhre 800
—sauerstoffelement 318
—zirkulation, allgemeine 467
—, Zusammensetzung 265
Lumen 129, 213
Lumineszenz 204
Lunge 798, **800**
Lungen|arterie 798
—atmung 799
—bläschen 800
—entzündung 825
—krankheiten 828
—kreislauf 797
—tuberkulose 825
Lunik I 422, 426
Lunik III 384
Lunikflüge 422
Lupe 210
Lurcharten, Zahlen 687
Lurche 600, 707, **731**
Lurche, geschützte 758
—, Merkmale 731
Lutetium 289, 295
Lux 129, 213
Luxushunde 745
Lyell, Ch., Geologe 604
Lyman-Alpha-Linie des Wasserstoffs 423
Lymphe 798
Lymphgefäß|netz 797, 798
—system 798
Lymphknoten 798
Lymphozyten 794
Lymph|stämme 798
—zellen 698
Lysoform 358
Lyssenko, T. D., Biologe 606, 629, 682

M

Maarbildung 455
Macchien 535
MacClure 572
Mach, Maßeinheit 152
Mach, E., Physiker 152
Mach-Einheit 152
Mache, H., Physiker 152
Mackenzie 570
—-Athabasca 517
—gebirge 488
Madagaskar 531
Magalhães, Fernão de 570
Magdeburger Halbkugeln ... 254
Magen 701, 801
—aufenthalt der Speisen 801
—drüsen 811
—mund 801
—peristaltik 801
—saft 801
Magerrasen 635
magische Quadrate 48
— Zahlenquadrate 48
Magma 437
Magnalium 334
Magnesit 325
Magnesium .. 289, 294, 323, **325**
—silikate 325
Magneteisenstein 330
Magnetfeld 238, **405**, 406
—, homogenes 223, 226
— messungen 422
— von Strömen 224
Magnetik 451
magnetische Dipole 222
— Elemente europäischer Orte, Jahresmittel 434
— Erscheinungen 156
— *Feldenergie* 238
— Feldlinien 223
— Feldlinien, Dichte 223
— Feldlinien, Richtung 226
— Feldstärke 129, 131, **222**, 226
— Flasche 240
— Hysterese 225
— Induktion 129, 131, **223**
— Induktionslinien 224
— Leitfähigkeit 254
— Maßeinheiten 224
— Meßverfahren 450
— Mißweisung 432
— Pole 431
— Quantenzahl 291
magnetischer Fluß 224
— Meridian 432
magnetisches Feld 222
— Moment 222, 291
magnetisch weiche (harte) Stoffe 225, 226

Magnetisierung 221, 222
Magnetismus 221
Magnet|kiese, kanadische ... 330
—kompaß 432
—nadel 221, 432
Magneto|hydrodynamik 240
—meter 450
Magnetpole 221, 222
—, Coulombsches Gesetz ... 223
Magnet|steine 221
—trommeln 35
Magnitudenskale 461
Magnuseffekt 193
Mahlbewegung der Kiefer ... 695
Maifisch 735
Makarow, Ozeanograph 572
Makro|moleküle 345
—mutationen 594
makroseismische Bewegungen 462
Malaienhühner 746
Malaria 825
Maleinsäure 369
Malonsäure 362
Malpighi, H. 681
Maltose 354, 355, 356
Malzzucker 354, 356
Mammoth Cave 543
Mammut 440, 542, 693
Mangan 289, 294, 323, 329, 579
Manganin 334
—manometer 194
Mangan(II)-Salze 329
Manganspat 329
manisch-depressive Krankheit 823
männliche Fortpflanzungszelle 815
— Geschlechtsorgane 814
Manometer 194, 262
Mantelfläche des Zylinders .. 77
Mantisse des Logarithmus .. 30
Maracaibosee 523
Marggraf, A. S., Chemiker 372, 681
Marianengraben 454
marine Sedimente 444
Mariotte, E., Physiker 255
markhaltige Nerven 783
Mars 388, 390
Marsigli, Graf de, Naturforscher 762
Marsmonde 392
Marx, K. 181
Maschine, Definition 181
Maschinen, einfache 181
Masern 825
Masse 164
—bestimmung 167
— (Einheiten) 128, 130
Maßeinheiten 123, 151
— der Arbeit 132, 178
— der Astronomie 133, 380
—, besondere 132
— der Dichte 168
— des Druckes 132
— der Energie 132, 178
— früherer deutscher Länder 144
— für Kraft und Gewicht 166
— für Kraft und Masse ... 166
— der Leistung 132
—, magnetische 224
—, sonstige 146
— der Spektroskopie 133
— des spezifischen Gewichts 168
— einiger Staaten 142
— der Wellenlehre 133
Massemaße, antike 141
—, britisch-amerikanische ... 140
—, metrische 139
—, nichtmetrische 140
—, russische 140
Masse|maße, veraltete 140
—, Meßmethoden 166
— der Moleküle 301
Massen|defekt 245
—erhebung der Gebirge 499
—spektrograph 240. 258
—spektrometer 240
—wirkungsgesetz .. 307, 308. 373
—zahl 240. 245, 287
Masse der Planeten 391
—punkt 159
—unterschied, relativer 272
Maßlösungen 275
Maßstabszahl 558
Maßsysteme 123, 157
—, absolute 157, 257
— der Elektrodynamik 157
Maßsystem der Elektrotechnik, praktisches 123
Maßsysteme der Mechanik .. 157
Maßsystem, physikalisches 123, 158
—, praktisches elektrisches ... 157
—, typographisches 133, 153, 154
Maßzahlen von Geweben ... 615
— aus Natur und Technik ... 148
Mastdarm 801
materialistische Theorie von A. J. Oparin 583
Materie, lebende 579
Mathematik 1
—, altägyptische 99
—, angewandte 2
—, babylonische 99
—, chinesische 99, 100
—, elementare 2
—, griechische 100
—, höhere 2
—, indische 99. 100
—, reine 2
mathematische Kartographie 558
— Keilschrifttafeln 99
— Pole 431
mathematisches Pendel 174
mathematische Zeichen 51, 52
Mathijsen, A., Arzt 836
Matrizentheorie 258
Mattglas 285
Mauch, Karl 569
Mauersegler, Spannweite 694
Maul|esel 594, 744
—tier 594, 744
—wurf 712
Mauna Loa 456
maximale Luftfeuchtigkeit ... 266
Maxwell, Maßeinheit 152
Maxwell, J. C., Physiker 152, 256
Maxwellsche Elektrodynamik 156
Maya-Handschriften 105
Mayer, R., Physiker 256
Méchain 154
Mechanik 156, 159
— deformierbarer Körper .. 159
—, Energiesatz 178
—, goldene Regel 181
—, Grundgesetze .. 164, 165, 187
— starrer Körper 159
mechanische Energie 214
— Kraft 156
— Planetarien 421
mechanisches Gleichgewicht . 413
mechanische Wellen 195
mechanisch registrierende Seismographen 459
Medizinalgesetz, erstes 835
Medusen 592
Meer 543
—eis, Arten 549
—engen 548
Meeresalgen, Länge 616
Meere, Salzgehalt 544
Meereshöhe 555
Meeresspiegelanstieg, Ursache 545
Meeres|strömungen 547
—tiefen 544
Meerkatze 689
Meerwasser 270
—, Salzgehalt 270
Megaparsek 381
mehrbasige Säuren 341
mehrfache Sterne 403
— Sternsysteme 405
Mehrgitterröhren 238
mehrgliedrige Ausdrücke, Rechenregeln 10
mehrjährige Pflanzen 661
Mehrlingsgeburten 817
Mehrtagsblüher 631
mehrwertige Alkohole 353, 354, 355
Mehrzweckreaktor 252
Meilen 133
—säulen 153
Meisen 718
Melamin 366
Melaminharze 368
melancholisches Temperament 775
Mendelejew, D. I., Chemiker 373
Mendelevium 289, 295, 327
Mendel, G. 593, 604, 682
Mendelsche Regeln 593
Meneses 570
Meningitis 824
Mennige 332
Mensch 764, 766, 767
—, biologische Entwicklung .. 765
Menschenaffen 713, 766, 767, 769, 770
menschlicher Körper, Bestandteile 781
— Körper, elementare Zusammensetzung 781
— Körper, Maße und Proportionen 773
— Körper, Wasserhaushalt .. 804
menschliches Skelett 776
Mensch, Schädel 770
—, Stammbaum 771
—, Stammesgeschichte 764
—, Stellung im Tierreich 766
— und Tier, Beziehungen ... 737
Menstruation 815
Menthan 349
Menthol 349
Mentorverfahren 671
Mercalli-Cancani-Sieberg-Skale 461
Mercatorentwurf 562, 563
Mercatorkarte mit Loxodrome 563
Meridian 550
—bogen 554
—grade, Längen 429
—quadrant 429
—richtung 552
—streifensystem nach Gauß-Krüger 562
Merinoschafe 739, 740
Meristem 588
Merkaptane 356
Merkur 388, 390
Merz, A. 575
Mesoderm 595
Mesomerie 302
Mesonen 243, 244, 245
Mesosphäre 464
Mesozoikum 441

mesozonale Metamorphose .. 444
Meßbilder 557
messen 123
Messen der Polhöhe 552
Messing 334
—lote 334
Meßtischblatt 559
Metaldehyd (Meta) 359
Metalle 293, **321**
—, Dichte 168
—, Eigenschaften 321
—, Grenzwerte physikalischer Konstanten 324
—, physikalische Konstanten 322
Metallhydroxyde 340
metallische Bindung 321
Metallometrie 454
metallorganische Verbindungen 345, **353**
Metalloxyde 338
—, Reduktion 314
Metallstrukturen 322
Metamerie 358
Metamorphose ... 444, 681, 731
metastabil 283
metastabiles Gleichgewicht .. 184
— System 310
metasyphilitische Erkrankungen *827*
Meteore 394
—, stoffliche Zusammensetzung 395
Meteorexpedition 575
Meteorfälle 394
Meteorite 394, 395
Meteoriten|fälle 396
—funde 396
—krater 395
Meteoritenströme 394
—, jährlich wiederkehrende .. 395
Meteorologie 472
Meteorstrom der Perseiden .. 422
Meter 58, 127, **155**
Meter-Kilogramm-Sekunden-System 123
Meterkommission, Internationale 154
Meterkonvention 164
Methan 346, 347, 351
Methanol 354
—synthese 336
Methylalkohol 354
Methylnaphthochinon-Natriumbisulfit 811
Meton 423
Metonscher Zyklus 109
metrisches System 142, 153, 154, 155
Metschnikow, J., Biologe 837
Meutentiere 738
Meyer, H., Geograph 569
Michelson, A. A. 155, 257
Miklucho-Maklai 571
Mikro|meteorite 395, 422
—meterschraube 58
—*mutationen* *594*
—myzeten 584
mikroseismische Bewegungen 462
Milch|arten, Zusammensetzung 818
—drüsen **812**
—gebiß 777
—glas 285
—, Nährwert 806
—röhren 590
Milchsäure 365
—bakterien 585
—gärung 582
Milchschaf, ostfriesisches ... 740
Milch|straße 399, 403, 406, 415, 416
—straßenebene 399
Milchstraßensystem, Aufbau 407
—, Übersicht 408
Milch|zähne 778
—zucker 356, 581
Miller, St. L., Chemiker 606
Milliare 153
Millibar 195, 472
Milz 803, **811**
Mimose 583
Mineral|aggregate 445
—beschreibung 449
Mineralbildung 445
—, Phasen 448
Mineral, Definition 445
—dünger 681
Minerale, nach Dichte geordnet 448
—, geordnet nach Mohs 447
—, Verwendung 449
—, Zusammenvorkommen .. 449
Mineralfarben 329
mineralische Bodenbestandteile 675
Mineralogie 445
Mineralwässer 272
Minkowski, H., Physiker 258
Mintrop-Diskontinuität 435
Minute *106*
Mirny, Forschungsstation ... 574
Misch|elemente 262
—katalysatoren 311
—kristalle 281, 333
—polymerisation 369
Mississippi-Missouri 517
Mißweisung 433, 434
Misterde 665
Mistral 467
Mitose 587, 605
mitotische Teilung 588
Mitschurin, J. W. 605, 682
Mitschurinsche Züchtungen, Ergebnisse 671
Mitschwingungsgezeiten 546
Mittagslinien 550
Mittelamerika 535
—, Binnenseen 523
—, Gebirge 489
—, Inseln 531
mittelamerikanische Inseln, Gebirge 490
Mittelamerika, Stauanlagen . 527
mitteleuropäische Mittelgebirge 484
— Zeit 111, 113, 551
Mittelhirn 783, 784
Mittellinie 63
— im Trapez 66
Mittel|ohr 790
—punkt des Kreises 67
mittelschnelle Reaktoren 251
Mittelsenkrechte im Dreieck . 63
— einer Strecke 56
Mittel|sprosse 752
—*wasserführung* *513*
mittlere Dichte 391, 411
— Entfernung der Sonne ... 381
— Körpertemperatur bei Tieren 699
— Ortszeit 113
mittlerer Sonnentag 107, 108
— Sterntag 106
mittlere Sonne 107
— Sonnenzeit, Abweichungen 108
Mizar, Fixstern 553
MKSA-System 158
MKS-System .. 123, 157, 166, 178
Moderator 250, 251
Modifikationen 283
— einiger Stoffe 282
Modifizierung 311
Modul 7
Mofetten 455
Mohl, Hugo v., Botaniker .. 604
Mohorovičič-Diskontinuität .. 435
Mohssche Härteskala 191
Mol 287, 301
Molalität 274
Molaren 697
Molarität 274
Molche 731
Molekeln 300
Moleküle 261, **286**
Molekularbewegung 373
molekulardisperse Systeme ... 261
Molekulargewicht 264, 287, 301, 306
Molekularkräfte 188
— in Flüssigkeiten 191
Molekül|bahntheorie 303
—bindung 303
Moleküle, Aufbau 300
—, mittlere Geschwindigkeit . 194
—, polare 269
Molekül|gitter 281
—struktur 300
—uhren 108
Molenbruch 274, 307
Molltonleiter 201
Mol|masse 301
—prozent 274
Molvolumen einiger Stoffe .. 262
— der Gase 262
Molwärme einiger Gase ... 221
Molybdän 289, 294, 323, 328, **329**
—glanz 329
Molzahlen 307
Monat 109
Monatserdbeeren 669
Monatsnamen, alte deutsche . 121
— der Französischen Revolution **121**
Monazit 326
Mondbahn, Neigung 384
Monde der Planeten 386, 392
Mond|finsternis ... 109, 385, **386**
—forschung 422
—, Größenverhältnisse 383
—ionosphäre 422
—jahr 109
—phasen 109
—raketen 259
—rückseite, Aufnahmen 422
—sonnenjahr der Babylonier 423
—, Temperaturgegensätze ... 385
Monelmetall 334
Monge, G., Mathematiker ... 103
Monochord 202
monogene Vulkane 454
Monokarbonsäuren, gesättigte 361
—, ungesättigte 362
monoklines System 279
Monomere 368
monomineralische *Gesteine* .. 445
Monosaccharide ... 354, 355, 356
monotrop 283
Monozyten 792
Monsun 467, 468
—wälder 535
Moorerde 665
Moose 609
Moospflanzen 613
Mordraupen 736
Mont Pelé 456, 457
Moräne 444
Morgan, Th. H., Zoologe 593, 605
Morphinismus 824

Morphium ... 836
morphologische Einheiten ... 481
— Klimazonen ... 444
Morula ... 595
Moschion ... 835
Moseley, H., Physiker ... 374
Moskauer Papyrus ... 99
motorische Nerven ... 783, 785
— Rindenfelder ... 784
Mount Everest ... 485, 492
Monton, G., Astronom ... 153
Mufflon ... 753
Muller, H. J., Forscher ... 606
multiple Gewichtsverhältnisse, Gesetz ... 305
— Sklerose ... 824
Multiplikation ... 5, 7, 16
Multiplikationstheorem ... 44
Multiplizieren, Rechenregeln 9
Multiplizier maschinen ... 31
Mundhöhle ... 800, 801
„Münzgewichte", alte deutsche ... 140
Müritz ... 520
Murray-Darling ... 518
Muschenbroeck ... 255
Muskel|fasern ... 591
—gewebe ... 591
—kraft, absolute ... 778
Muskeln ... 704, 778
—, Leistungsfähigkeit ... 778
—, schnellste ... 779
Muskel|zellen ... 591
—zuckung, Dauer ... 704
—zusammenziehung ... 779
Muskulatur ... 778
Mutabilität ... 603
mutagene Agenzien ... 594
Mutationen ... 594
Mutations|druck ... 603
—theorie ... 602
Mutterkuchen ... 817
Muttermilch, Eiweißgehalt .. 818
—, Tagesmenge ... 818
Muttermund ... 815
Muzin ... 801
Myrte ... 664
Myzel ... 652

N

Nabelschnur ... 817
Nach|eiszeit in Norddeutschland, Gliederung ... 477
—erkrankungen ... 822
—hirn ... 783, 784
—schall ... 791
Nachtigal, G., Arzt ... 569
Nachtsehen ... 788
nachvulkanische Erscheinungen ... 455
Nacktsamer ... 609
Nadelerde ... 665
Nadeln, Lebensdauer ... 633
Nadelwälder ... 636
Nadelwaldgürtel der Nordhalbkugel ... 535
Nagetiere ... 711
—, einheimische ... 712
Nähr|gewebe ... 623
—hefe ... 810
—salze der Pflanzen ... 625
Nährstoff|entzug ... 676
—verhältnisse im Walde ... 678
Nahrungsbedarf des Menschen 804
Nahrungsmittel ... 643
—, Dichte ... 170
—, Vitamingehalt ... 807
Nahrungsmittel, Zusammensetzung ... 805
Nährwert ... 805
Nanschan ... 486
Nansen, F. ... 572
Naphthalin ... 351
Naphthene ... 345
Naphthole ... 356
Napier, John (Neper), Mathematiker ... 101, 152
Nare ... 742
Nares, G. ... 574
Nasenbein ... 791
Nasenhöhle ... 791
—, Längsschnitt ... 791
Nasenschleimhaut ... 791
Nashorn ... 691, 693, 694, 695
Natrium 289, 294, 323, 324, 336, 579
—chlorid ... 282
—karbonat ... 344
Natron-Kalk-Gläser ... 284
Natronlauge ... 340
Natur|denkmäler ... 756
—komplexe, zonale ... 498
—konstanten ... 158
natürliche Auslese ... 583, 602
— Gewässer ... 512
— Landschaft ... 480
— Logarithmen ... 27
— Zonen ... 498
— Zuchtwahl ... 601, 602
naturräumliche Einheiten ... 498
Naturschutz ... 750, 754
— in anderen Ländern ... 759
—arbeiten ... 760
—gebiete ... 756, 760
— -Kennzeichen ... 756
—, Organisation ... 756
—parks ... 760
—verwaltung ... 757
—, Ziele ... 755
Neandertaler ... 770
Neandertalergruppe ... 536
Nebelkammer, Wilsonsche .. 242
Neben|achse der Ellipse ... 88
—fluß ... 513
—hoden ... 814
—inseln ... 527
—meere ... 543
—nieren ... 812
—quantenzahl ... 291
—schilddrüsen ... 812
—winkel ... 56
—wurzel ... 619
Nebuliumlinien ... 406
Nechako-Stauanlage ... 526
negative Lösungswärme ... 276
— Magnetpole ... 222
Neigungswaage ... 155, 167
Neißler, A., Dermatologe ... 837
Nelkenwurm ... 690
Neodym ... 289, 295
Neoendemismus ... 640
Neoendemiten ... 641
Neon ... 289, 294
Neophyten ... 641, 642
Neotropis ... 639
Neper, Maßeinheit ... 152
— (Napier), J., Mathematiker 101, 152
Neptun ... 389, 390
Neptunium ... 289, 295, 323, 327
—reihe ... 249
Neptunmonde ... 392
Nernstsche Gleichung .. 315, 374
Nernstsches Wärmetheorem . 214
Nernst, W. ... 374
Nervatur der Blätter ... 619
Nerven ... 783
—fasern ... 783
—, Geschwindigkeit der Erregungsleitung ... 704
—gewebe ... 591
—knoten ... 783
—krankheiten ... 823
—paare ... 784
—stränge ... 783
Nervensystem ... 782
—, Leitungsgeschwindigkeiten 783
Nervenzelle ... 591, 783
Nervus ischiadicus ... 785
Nest|flüchter ... 707
—hocker ... 707
Netz|ebene der Kristalle ... 446
—ebenen ... 279
—entwürfe ... 561, 562
—haut ... 787
—magen ... 701
Neubürger (Adventivpflanzen) 641
Neue Kerze ... 155, 212
neue Sterne ... 411
Neugeborene, Verdoppelung der Körpermasse ... 709
Neugrad ... 127, 145
—, Umrechnung ... 145
Neuminute ... 127, 145
Neunerprobe ... 9
Neuner„wunder" ... 47
Neuritis ... 824
Neu|seeland ... 530
—sekunde ... 127, 145
—silber ... 334
neutrale Salze ... 343
Neutrino ... 244
Neutron 243, 244, 250, 259, 286
Neutronen|einfang ... 242
—fluß ... 251
—streuung ... 242
—zahl ... 248
Neuweltaffen ... 713, 766, 767
Newton, Maßeinheit 128, 152, 166
Newton, I., Naturforscher 2, 102, 152, 155, 254, 425
Newtonsche Axiome ... 164, 165
— Mechanik ... 159, 164
Newtonsches Gravitationsgesetz ... 387
Newtonsche Zeit ... 107
Newton-Simpsonsche Regel . 61
Niagarafälle ... 519
Nicaraguasee ... 523
Nicht-Blätterpilze ... 654
nichteuklidische Geometrie 54, 103, 104
nichteuklidischer Raum ... 54
Nichtleiter ... 227
Nichtmetalle ... 293
—, Eigenschaften ... 321
—, physikalische Konstanten. 335
Nichtmetalloxyde ... 338
Nickel 289, 294, 323, 329, 330, 334, 579
—elektroden ... 318
Niebuhr, K., Naturforscher . 567
Nieder|blätter ... 619
—druckpolyäthylen ... 369
niedere Geodäsie ... 556
— Pflanzen ... 618
— Pflanzen, Höchstalter ... 632
niederfrequenter Wechselstrom 237
Niederfrequenzwellen ... 198
Niederkalifornien ... 533
niederschlags|arme Gebiete . 469
—reiche Gebiete ... 469
Niederungsvieh ... 741
Niedrigwasser ... 545

Nieren 803, 811
—, Krankheiten 830
Nife 435
—akkumulator 317
Niger 517
Nikitin, A. 566
Nikolajew, A. G., Kosmonaut 426
Nikotinsäureamid 808, 811
Nil-Kagera 517
Nimbus 465
Niob(ium) . . 289, 294, 323, 328
Nippflut 545
Nitrile 364
Nitro|benzol 351
—glyzerin 355, 364
—gruppe 351
—verbindungen 351
nivale Zone 501
Niveaufläche 554
Nobelium 289, 295, 327, 375
Nomenklaturkarten 559
Nordamerika 479, 481, 509, 511, 535
—, Binnenseen 523
—, Depressionen 534
—, Flüsse 517
—, Gebirge 488
—, Halbinseln 533
—, Inseln 531
nordamerikanische Gewässer, Tidenhub 547
— Inseln, Gebirge 489
Nordamerika, Stauanlagen .. 526
Nordenskiöld, A. E., Geograph 572, 574
nördlicher Fixsternhimmel .. 397
Nordlicht 465
Nordostseekanal 528
Nordpol des Äquators, Wanderung 380
— der Ekliptik 380
—, galaktischer 379
Nordseekanal 528
Nordsüdlinie 553
Normal|bedingungen für Gase 262
—fallbeschleunigung 166
—höhenpunkt 555
Normalität der Lösung 275
Normal|lösungen 275
—meter 154
—null 550, 555
—potentiale, Beispiele 317
—volumen der Gase 262
—wasserstoffelektrode 315
Norm|druck 194
—temperatur 194
—volumen 194
Novae 412, 413
Novolake 368
Nowaja Semlja 528
Nukleonen 245
nukleophil 303
Nukleoproteide 580
Nuklid 245
Null 2, 5
— als Fehlzeichen 3, 4
—folge 41
—meridian 550
—meridiane, bekannte 560
Nullpunkt, absoluter 215
— des Koordinatensystems . 80
Null im Rechengebrauch ... 26
Numerus 27, 30
Nüsse 623, 646
Nutation 106, 188
Nutz|hunde 745
—pflanzen 643
Nutzungsformen der Haustiere 738

O

Oberer See 523
Oberfläche des menschlichen Körpers 774
Oberflächen|schwere 411
—spannung 191
—temperatur 408
Ober|fläche roter Blutkörperchen 698
—haut 779
—kiefer 697
—töne 201
Ob-Irtysch 516
Objektive 210
Obrutschew, Geologe 567
Obst 646
—bau 666
—gehölze, Ertrag 669
—, Nährwert 805
Ocha, Severo 606
offene Sternhaufen 405
Öffnungswinkel des Kegels ... 78
Oehlkers, F. 606
Ohm, Maßeinheit 129, 152
—, G. S., Physiker 152, 256
Ohmsches Gesetz 230
Ohnmacht, erste Hilfe 833
Ohr 790
—speicheldrüse 800
—steinchen 791
—trompete 790
Okapi 763
Ökotope 498
Oktaeder 76
Oktanzahl 347
Oktave 202
Oktaven des musikalischen Bereichs 790
Oktett-Theorie 301
Okulare 210
Okulation 670
Okulieren 670
Oktober-Drakoniden 394
Oleander 664
Olefine 347
Olein 365
Öl|pflanzen 644
—säure 362
Onegasee 521
Ontogenese 594
Oort, J. H., Astronom 426
Oparin, A. I., Biochemiker 583, 606
Operationszeichen 16
Optik 156, 204
optische Achse 209
— Doppelsterne 403
— Gläser 285
— Systeme 210
— Täuschungen 789
optisch registrierende Seismographen 459
Opuntien 643
Orang-Utan ... 691, 703, 713, 769
Orchideen, geschützte 759
Ordinatenachse 80, 81
Ordnungsprinzipien 607
Ordnungszahl des Elements .. 296
— im Periodensystem .. 286, 374
Orellana, F. de 570
Oreopithecus 770
Organbildung 595
Organe 587, 597
organische Chemie 345
— Halogenverbindungen ... 351
organisches Glas 368
organische Stoffe, Einteilung 345
organische Verbindungen ... 579
Organismen und Umwelt, Wechselwirkungen ... 577, 578
—welt 576
Organismus 587
—, chemische Zusammensetzung 579
Orion-Nebel 406
ornithologische Beobachtungsstätten 725
Orogenese 437
orographische Einheiten 481
Oerstedt, Maßeinheit 126, 152, 224
Oerstedt, H. C., Physiker 152, 256
Ortho|kieselsäure 340
—tellursäure 338
Ortsbestimmung 550
— durch Funkpeilung 557
Orts|kreis 57
—zeit 111, 113, 551
Osmium ... 289, 295, 323, 324, 330
Osmometer 276
Osmose 276
osmotischer Druck 276, 312, 315, 587
ostafrikanische Vulkanberge . 490
Ostalpen 500
Osterfest, Berechnung 120
osteuropäische Zeit 551
Ostwaldsche Stufenregel 283
Ostwaldsches Verdünnungsgesetz 313
Ostwald, W., Chemiker 373, 374
Oszillation 277
Oszillograph 234
ovales Fenster 790
Overweg, A. 569
Owen Falls, Stauanlage 526
Oxalsäure 362
Oxydation 314, 318. 581
Oxydations|stufen 293
—theorie 372
—vorgänge 311
Oxyde 338, 341
oxydieren 338
Oxy|hydrochinon 356, 357
—säuren 365
Ozeane 479, 543, 574
Ozeanien 509, 511, 535, 570, 773
—, Binnenseen 523
—, Gebirge 491
—, Inseln 530
ozeanisch 480
ozeanische Inseln 527
ozeanischer Einfluß 480
Ozon 338

P

Paarzeher 711
Paläo|endemismus 640
—endemiten 640
—geographie 437
Paläontologie 597
Paläo|tropis 639
—zoikum 442
Palfyn, J., Chirurg 835
Palladium 289, 294, 323, 330
Pallas, P. S. 567
Palmen 664
Pamir 486
Panamakanal 528
Pankreas 802, 803
Pansen 701
Panten 752

Pantothensäure 808
Panzerfische 600
Papageien 727
Papanin, I. D., Polarforscher 573
Papier|chromatographie 285
—formate 135
Papillen 792
Papin, D., Physiker 255
Papinscher Topf 255
Papuaschwein 743
Papyrus Rhind 99
Parabel 87, 89
parabolischer Spiegel 89
Paracelsus 371, 835
Paraffine 346, 347
Paraffinöl 346
Paragenese 449
parallel 55
Parallelen 56
—axiom 1, 54
Parallele ziehen 58
Parallel|flach 77
—grade, Längen 429
Parallelkoordinaten 80
—, rechtwinklige 80
Parallelkoordinatensystem, ebenes 80
— des Raumes 81
Parallelkreis 550
—, Umfangsberechnung 428, 429
Parallelogramm 66
Paramagnetika 224, 225
Paramagnetismus 225
Parameter 89
Paraná 518
Parasange 153
Parasiten 578
Parasitismus 578
Parasympathikus|hemmung . 782
—reizung 782
parasympathisches Nervensystem 782
Paratyphus 825
Parenchym 589
Parforcejagd 751
Pariahunde 745
Parkrosen 661
Parry, Sir W. E. 572
Parthenogenese 593
Partialtöne 201
partielle Mondfinsternis 385
— Sonnenfinsternis 386
Partikelwolken 422
Pascal, Bl., Mathematiker 102, 255
Pascalsches Dreieck 23, 100
Passate 468
Pässe, wichtigste 493
Paßhöhen 493
—, durchtunnelte 494
Passivierung 318
Paßstraßen, ältere 494
Pasteur, L., Biologe 604, 682, 836
Patellarsehnenreflex 785
Patentlog 160
pathogene Bakterien 585
Patina 362
Patkaigebirge 487
Paukenhöhle 790
Pauli-Prinzip 291, 374
Pauli, W., Physiker 258, 374
Pawlow, I. P., Physiologe 605, 786, 837, 838
Pawlows Lehren, Bedeutung . 786
Payer 572
Pazifik 479
Pazifischer Ozean 544
PC-Fasern 368, 375
Peary, R. 572
Pechblende 326
peléanische Tätigkeit 455
Pelikan, Spannweite 694
Pelite 444
Pendel, Arten 174
—bewegung 174
—uhr 102, 122
Penicillin 836, 838
Penis 814
Pentagramm 66
Pentite 355
Pentosen 355
Pepsin 801, 814
Peptidbindung 366
Peptone 801
Perbromate 336
Perchlorate 337
Perchlorsäure 336, 337, 341
perennierende Pflanzen 661
Perihelentfernung der Sonne 381
Periode im Periodensystem .. 291
Periodensystem der chemischen Elemente ... 299, 320
— der Elemente 258, 291, 296, 373
—, Spalten 298
—, waagerechte Reihen 296
Periode des Wechselstroms .. 237
periodische Flüsse 513
— Welle 195
— Winde 467
— Winkelfunktionen 74
Periodizität der Sonnenflecken 425
peripheres Nervensystem 782
Peripherie des Kreises 67
—winkel 68
Perjodate 337
Perjodsäure 337
Perkussion 835
Perlhuhn 747
—zucht 747
Perm 442
permanente Flüsse 513
— Härte des Wassers 271
— Magnete 221
Permanentmagnet 222, 226
Permanganate 341
Permeabilität 224
—, effektive 226
Permutationen 42
permutieren, Definition 42
Peroxyde 338
Perrhenate 329
Perrheniumsäure 329
Perspektive 54
perspektivische Täuschung .. 789
Pest 825
Petit, A. Th. 256
Petrolchemie 373
Petroleum 346
Peuerbach, G. 122
Pfeffer, W., Botaniker 605
Pfeiffer, R., Bakteriologe 837
Pfeilstern 399
Pferd 694, 697, 699, 701, 702, 704, 705, 707, 709, 743
—, Atemluftmenge 703
Pferderassen 744
Pferd-Esel-Bastarde 744
Pferdestärke 179
Pfingsten 120
Pfirsichsorten 668
Pflanze 582, 607
Pflanzen|anatomie 681
— mit anregenden Stoffen ... 648
—arten 597
—, Bau und Stoffwechsel 618
—, bodenanzeigende 636
—, chemische Bestandteile .. 624
Pflanzen, eingeführte und eingeschleppte 642
—entwicklung 628
—, erstes Auftreten 596
—fette 365
—fresser 582, 701
—, geschützte 757, 758
—gesellschaften 635
— mit irreführendem Namen 613
— und Jahreszeiten 470
—körper, Maße 615
—, Lebensraum 577
—ordnung 607
—, perennierende 661
—physiologie 681
Pflanzenreich 607
—, Einteilung 608
—, Kuriositäten 614
Pflanzen- und Tierwelt, Besiedlungsunterschiede 577
Pflanzen, Verbreitung 639
—, Veredelung 670
—wachstum 628
—, Wasserhaushalt 626
Pflanzenzellen 586, 587
—, osmotischer Druck 587
Pflanze, Teile 618, 619
— und Umwelt 635
pflanzliche Gewebe 588
pflanzlicher Körper, Grundelemente 584
Pflaumensorten 668
Pfortader 798
Pförtner 701, 801
Pfropfen 670, 671
Phänotypus 594
Phase 260
Phasengeschwindigkeit der Welle 195
Phellogen 589
Phenanthren 351
Phenolate 356
Phenole 356
Phenolharze 368
Phenoplaste 357, 368
Phenylgruppe 349
phlegmatisches Temperament 775
Phlorogluzin 356, 357
Phobos 392
Phonskala 147
Phosgen 363
Phosphate 344
Phosphoproteide 580
Phosphor 282, 289, 294, 335, 338, 339, 579
Phosphorit-Lagerstätten 339
Phosphorpentoxyd 339
Phosphorsäure 339, 341
—ester 364
photochemische Strahlenwirkung 212
Photogrammetrie 557
Photographie 331
photometrische Doppelsterne 405
Photon 239, 244
Photo|neutron 249
—periodismus 630
—periodizität 630, 682
—sphäre 382, 383
—theodolit 557
phreatische Ausbrüche 455
Phthalsäure 351, 363, 369
pH-Wert 313
Phyllochinon 809
Phylogenese 594
Physik 156
physikalische Größen 157

physikalische Konstanten 158, 159
— Konstanten gasförmiger Elemente ... 268
— Konstanten der Metalle 322, 324
— Konstanten der Nichtmetalle ... 335
— Maßsysteme ... 157, 166
physikalisches (physisches) Pendel ... 174, 175
— relatives Atomgewicht ... 288
physikalische Verwitterung .. 439
physikalisch-technische Einheiten ... 123, 155
Physikalisch-Technische Reichsanstalt ... 154, 257
Physik der Kometen ... 394
— der Sterne ... 408
physiologischer Tod ... 595
physische Doppelsterne ... 403
— Geographie ... 499
— Nutzungsform ... 738
— Veränderliche ... 411
Piazzi, G., Astronom ... 425
Piccard, A. ... 575
—, J. ... 545, 575
Pieper ... 718
piezoelektrischer Effekt ... 167
Piezoelektrizität ... 448
Pigment ... 780
Pikrinsäure ... 352
Pilze ... 608, 652
—, Fruchtkörperbildung ... 652
Pilzsammeln ... 652
Pincheffekt ... 240, 249
Pinguin ... 691, 728
Pioneer V ... 422
Pionerskaja, Forschungsstation ... 574
Pirogow, N. I., Chirurg ... 836
Pirol ... 717
Pirsch ... 750
Pithecanthropus ... 536, 772
Pizzaro, F. ... 570
Placodermi ... 600
Planck, Max, Physiker ... 257
Planetarien ... 418, 421
planetarische Nebel ... 406, 412
planetarisches Zirkulationssystem ... 467
Planetenbahn, aufsteigender Knoten ... 389
—, Länge des Perihels ... 389
—, Neigung ... 389
Planeten, Entfernungen ... 391
—, Größe ... 391
—, Lebensbedingungen ... 391
—, mittlere Temperatur ... 391
—monde ... 392
—, synodische Umlaufszeit .. 389
—system ... 386
Planetoiden ... 393
Plani|meter ... 32, 58
—metrie ... 53, **56**
Planspiegel ... 205
Plasma ... 239
—grenzschichten ... 581
—körper ... 586
plasmatische Vererbung ... 594
Plasmolyse ... 277
Plasmotypus ... 594
Plaste ... 366, **368**
plastische Körper ... 189
Plastizität ... 278
Plateaugletscher ... 510
Platin ... 289, 295, 323, **330**
—kombinationen im Thermoelement ... 233
—metalle ... 298, **330**
„platonische" Körper ... 76
Platonisches Jahr ... 110, 380
Platon, Philosoph ... 100, 121
Plattwürmer ... 684
Plazenta ... **711**, 817
plazentale Säuger ... 711
pleistozäne Eiszeiten ... 443
Plejade ... 287
Pleura ... 800
Plinianische Ausbrüche ... 454
Plinius, Schriftsteller ... 603, 680
Plöner See ... 520, 534
Pluto ... 389, 390, 426
Plutonismus ... 454
Plutonite ... 437
Plutonium ... 289, 295, 323, **327**
π-Mesonenpaar ... 245
pneumatolytische Lagerstätten 449
Pockenschutzimpfung ... 836
poikilotherme Tiere ... 699
Poincaré, H., Mathematiker . 105
Poise, Maßeinheit ... 128
polare Bindung ... 301
— Flüssigkeiten ... 269, 270, 271
polares Trägheitsmoment ... 188
Polarisation der Welle ... 196
Polarkoordinaten ... 81, 550
—, räumliche ... 82, 83
Polar|kreis ... 428
—lichter ... 432
—luft ... 473
Polarographie ... 319
Polar|radius, Werte ... 429
—stationen, sowjetische ... 573
—stern ... 380, 551, 552, 553
—tiere, Körpertemperaturen 699
—vögel ... 728
Pole der Erde ... 431
— des Grundkreises ... 376
Polhöhe ... 551, 552
Pollen ... 619
—körner, Größe ... 616
Polo, Marco ... 566
Polonium 257, 289, 295, 335, 337, **338**
Polotebnow, A. G. ... 836
Poly|akrylnitril ... 362, 369
—amide ... 369
—äthylen ... 369
Polyeder ... 76, 562
—projektion ... 560, **561**
Poly|esterharze ... 369
—formaldehyd ... 369
polyfunktionell ... 369
polygene Vulkane ... 454
Polygon ... 67
—winkel ... 76
Polykondensation ... 353, 369
polykonischer Entwurf ... 562
Polymere ... 368
Poly|merisation ... 369
—morphie ... 283
Polynom ... 36
Polypen ... 592
Poly|phosphate ... 343
—phosphorsäuren ... 343
—ploidie ... 592
—propylen ... 369
—saccharide ... 354, 356
—styrol ... 369
—urethane ... 369
—vinylazetat, PVA ... 369
—vinylchlorid, PVC ... 351, 370
Pond ... 128
Pontisches Gebirge ... 486
Popow, A., Physiker ... 257
Popowitsch, P. R., Kosmonaut ... 426
Population ... 602
Porzellan ... 371
Positions|schreibweise ... 3, 4
—system ... 4
positive Lösungswärme ... 276
— Magnetpole ... 222
Positron ... 242, 244, 248, 259
Postnova ... 412
Potential von Metallelektroden ... 316
—wall ... 249
potentielle Energie 172, 177, 237
potentiometrische pH-Wert-Messung ... 313, 316
Potenz, Basis ... 22
Potenzen, kuriose Identitäten 47
— von zehn ... 23
Potenz, Exponent ... 22
—funktion ... 98
—, Grundbegriffe ... 21, 22
Potenzieren ... 6, 8, **22**
—, Rechengesetze ... 22
Potenzwert ... 22
Praehomininen ... 770
Präkambrium ... 443
Prämolaren ... 697
Pränova ... 412
Praesapiensgruppe ... 537
Praseodym ... 289, 295
Präzession ... 106
Präzessionsbewegung ... 188
Preßholz ... 370
Prießnitz, V. ... 836
primäre Alkohole ... 354
— Höhlen ... 538
Primär|spannung ... 236
—spule ... 236
Primates ... 764, 766, 767
Primeldermatitis ... 664
Primfaktoren ... 12
primitivste Lebensformen ... 584
Primzahlen ... 12
Primzahl, größte ... 12
Prinzip des kleinsten Zwanges 276, 308
Prisma ... 77, 209
—, Begrenzung ... 77
Prismenspektren ... 211
Priestley, J., Chemiker ... 372
Probleme, berühmte ... 59
Proconsul ... 770
Produkt ... 5, 7
Produktengleichung ... 17
Produktionswirtschaft .. 738, 765
Programm|bearbeitung, elektronische ... 33
—steuerung, elektronische ... 3
progressive Paralyse ... 823, 827
Projektionen ... 54, 560
Projektions|planetarien ... 421
—zentrum ... 560, 561
projektive Geometrie ... 54
Prolan ... 817
Promethium 289, 295, 323, **326**
Promotoren ... 311
Pronyscher Zaum ... 179
Propan ... 346, 347
Proportionale, mittlere ... 17, 65
Proportionalitätsfaktor ... 177
Porportion, Definition ... 17
—, fortlaufende ... 17
—, stetige ... 17
Propylen ... 348
Prosimia ... 766, 767
Protaktinium 289, 295, 323, **326**
Protamine ... 380
Proteide ... 580
Proteine ... 580

Protisten ... 586
Proton ... 244, 286
Protonenpaar ... 245
Protophyten ... 586
Protoplasma ... 580
Protostern ... 414
Protozoen ... 586
Protuberanzen, aufsteigende .. 383
Prout, W., Chemiker ... 372
Proxima Centauri, Fixstern .. 399
Prozentrechnung ... 19
—, Grundansätze ... 19
Prshewalski, N. M. ... 567
Przewalskipferde ... 743
Psamnite ... 444
Psephite ... 444
psychische Nutzungsform ... 738
Psychotherapie ... 786
Psychrometer ... 266
Pteroglutaminsäure ... 809
Ptolemäus, Astronom 100, 254, 424
Ptyalin ... 801, 814
Pubertät ... 819
Pubertätszeit ... 819
Pufferlösungen ... 314
Puiseux, P., Astronom ... 426
Pulpa ... 777
Pulsation ... 411
Punkt ... 53, 54
—bestimmung ... 550, 551
—eruptionen ... 454
—gitter ... 280
—mechanik ... 159
—reihe der Kristalle ... 446
Pupille ... 787
Pupillenreflex ... 786
p-V-Zustandsdiagramm ... 267
Pykniker ... 775
pyknischer Typ ... 775
Pyknometer ... 172
Pyramide ... 77
Pyrenäen ... 483
—halbinsel ... 532
—, Pässe ... 495
Pyridoxin ... 808
Pyro|elektrizität ... 448
—gallol ... 356, 357
—meter ... 233
pyrophor ... 326
Pyrrophyten ... 608
Pythagoras von Samos 100, 253
Pythagoreer, Philosophenschule ... 423
pythagoreisches Komma ... 202
pythagoreische Stimmung ... 202
pythagoreische Zahlen ... 64
Pytheas von Massilia ... 571

Q

Quader ... 76, 77
Quadrant ... 81
Quadrat ... 25, 26, 66, 67
quadratische Gleichungen 37, 38, 85
Quadratmeter ... 58
Quadratur des Kreises ... 61
Quadrat|wurzeln ... 24, 25
—zahlen ... 22, 25
Quagga ... 755
Quallen ... 592
Quantenmechanik ... 258
Quantentheorie 156, 179, 211, 257, 258
— der Elektronenpaarbindung 303
Quarantänestation ... 835
Quartär ... 440
Quarte ... 202
Quarz ... 282
—glas ... 284
—uhr ... 108, 114, 122
Quastenflossen ... 600, 763
Quecksilber 289, 295, 298, 323, 324, 331
—barometer ... 254
—-Kompensationspendel ... 122
—sulfid ... 282
—thermometer ... 255
Quellen der Sonnenenergie .. 428
Quellwasser ... 270
Querder ... 735
quergestreifte Muskeln 704, 778, 779
Quer|summe ... 9
—summen, gleiche ... 46
—wellen ... 196
Quinte ... 202
Quintenz ... 154
Quintenzirkel ... 202
Quiros, P. F. de ... 571
Quotient ... 5, 7

R

Rabenvögel ... 716
Rachen ... 801
Räderuhren, erste ... 122
Radial|beschleunigung ... 162
—geschwindigkeit der Sterne 402
Radiant ... 127, 145
Radikand ... 24
radioaktive Elemente, Halbwertszeit ... 114
— Isotope ... 252
radioaktiver Zerfall ... 248, 309
radioaktive Strahlung, Maßeinheit ... 148
Radioaktivität ... 248
—, künstliche ... 259
Radio|astronomie ... 426
—metrie ... 451
radiometrische Erkundung .. 453
— Messungen ... 450
Radionuklide ... 246
— der Transurane ... 248, 249
Radiowellen ... 198
Radium 257, 289, 295, 323, 325, 837
Radius des Kreises ... 67
—vektor ... 81
Radizieren ... 6, 8, 24, 25
—, Grundbegriffe ... 24
—, Rechengesetze ... 24
Radon ... 289, 295, 335, 336
Rahmenkarten ... 558
Raketen|antrieb ... 180
—flug ... 258
Raleigh, J. W. Lord, Chemiker 374
Ramsay, Sir W., Chemiker .. 374
Raoult, F. N., Chemiker ... 374
Raoultsches Gesetz ... 277, 301
Rapassow, P. N. ... 568
Rappbodetalsperre ... 524
Rasenerde ... 665
Rasmussen, K. ... 572
Rassenlehre, faschistische ... 766
rationale Funktion ... 95, 98
Raubtiere ... 711
—, einheimische ... 714
—, fremdländische ... 714
Raubvögel ... 722, 724
Raude, E. ... 570, 571
Raum ... 53, 106, 376
—einheitsgewicht ... 168
—fahrt ... 423
—flugkörper ... 421
—gebilde ... 53
Raumgitter der Kristalle ... 446
—struktur ... 278
Raum|koordinaten ... 82
—laboratorium, automatisches ... 421
—lehre, Elemente ... 54
räumliche Bewegung der Sonne ... 381
Raummaße, britisch-amerikanische ... 138
— in der Forstwirtschaft ... 137
—, metrische ... 137
—, nichtmetrische ... 138, 139
—, russische ... 138
—, veraltete ... 139
Raum|produkt von Vektoren 87
—schiffe, erste sowjetische .. 426
Raumschiff-Satelliten ... 421, 423
Raumsonden ... 421
— der Lunik-Serie ... 422
Raum|station ... 426
—täuschung ... 789
—welle ... 198
Rauschgifte ... 826
Rauschgiftsucht ... 826
Raute, mathematisch ... 66
Ray, J., Biologe ... 762
Reaktionen, chemische ... 304
Reaktions|fähigkeit der Atome 290
—geschwindigkeit ... 309
—gesetz ... 164
—gleichung ... 304
—wärme ... 304, 311
Reaktor ... 251
—brennstoff ... 251
—, flüssigkeitsgekühlt ... 251
—gifte ... 251
—, metallgekühlt ... 251
reale Gase ... 266
Realgar ... 339
Reaumur (°R) ... 146, 215
Réaumur, R. A. F., Physiker 152
Reber, G., Astronom ... 426
Rechen|arten ... 8
—automat, elektronischer ... 4
Rechenautomaten ... 31, 32
—, Anwendung ... 35
—, Aufgaben ... 35
—, Befehlswerk ... 33
—, Ein- und Ausgabewerke 34
—, Konvertierung ... 33
—, Lochkartenleser ... 34
—, Programmbearbeitung ... 33
—, Programmierung eines Problems ... 33
—, Programmsteuerung ... 33
—, Speicher ... 34
—, Speichertechnik ... 35
—, Zugriffszeit ... 34
Rechen|geschwindigkeiten ... 33
—gesetze ... 8, 22, 24
Rechenmaschinen, elektronische ... 31, 32, 105
—, mechanische ... 31, 32
Rechen|operationen, Reihenfolge ... 10
—schieber, logarithmischer .. 31
Rechnen ... 2
— mit Atomen und Molekülen ... 305
— mit chemischen Gleichungen ... 306
—, Grundgesetze ... 9
—, kaufmännisches ... 18
—, numerisches ... 8
Rechteck ... 67
rechter Winkel ... 55
Rechtsablenkung ... 187

Rechtssystem 82
rechtwinkliges Dreieck 64
— Koordinatensystem .. 550, 551
Redox-Systeme 314
Reduktion **314**, 318, 581
Reduktions-Oxydations-Systeme 314
Reduktions|teilung 592
—vorgänge **311**
reduzieren 338
Reflektor 250
Reflex|bogen 785
—erregbarkeit 786
Reflexion 199, 452
— des Lichtes 204
Reflexions|gesetz 204
—goniometer 446
—methode 453
—nebel 407
—seismik 453
Reflexionsvermögen 205
— einiger Stoffe 205
Reflex|lehre 785
—zentrum 785
Refraktion **452**, 556
Refraktionsmethode 453
Regeldetri 18, 19
Regel von Dulong-Petit 220
regelmäßige Körper 76
regelmäßiges Vieleck 67
— Viereck 66
Regelstäbe 331
Regenbogen 211
—haut 787
Regeneration 595
Regen|mengen, jahreszeitliche Verteilung 469
—waldzone 506
—wasser 270
Regiomontanus, J., Astronom 101, 424
Reh 691, 694, 697, **752**, 754
Rehbock 752
—, Geweihentwicklung 752
Reibung 175
—, innere 192
Reibungs|arbeit 177
—elektrizität 227
—koeffizient 174
—koeffizienten, Vergleichsgrößen 176
Reibungswiderstand 165
— der Luft 174
Reichweite der Erdbeben ... 462
Reihen, Arten 41, 42
—, mathematisch 39, **41**
reine Geophysik 450
— Intervalle 202
Reinelemente 262
reine Stoffe 261
Reizbarkeit 582
Reizstärke 786
Rekombination 229
Rektaszension 107, 378
Rekursionsformel 40
relative Atommassen ... 288, 289
— Darmlänge und Nahrung 701
— Luftfeuchtigkeit 266, 677
— Permeabilität 224
relatives Molekulargewicht, Bestimmung 301
Relativitäts|mechanik 159
—theorie, spezielle 164, **241**, 259
Relief 564
— der Erde 480, **481**
—schummerung 564
Reliktendemismus 640
Remanenz-Magnetisierung .. 225
Ren 742
Rentier 691, 694
Reptilien 709
Reserveluft 799
Residualluft 799
Resite 368
Resitole 368
Resole 368
Resonanzleuchten 394
Resorzin 356, 357
Respirationsluft 799
Restvalenzbindung 303
Resultante 183
Resultierende 183
Retinol 808, 810
Retortenkohle 340
reversible Reaktionswärme .. 311
Reversionspendel 175
Reynoldssche Zahl 176, 193
Rezeptoren 792
Rhein 514
Rh-(Rhesus-) Eigenschaft ... 797
Rhenium ... 289, 295, 323, **329**
Rhodium 289, 294, 323, 324, 330
rhombisches System 279
rhomboedrisches System 279
Rhombus 66
Riboflavin 808
Richardson, J. 569
Richthofen, F. v., Geograph . 567
Richtungs|koeffizient 91
—täuschung 789
Rickettsien 584
Riech|fläche der Nasenschleimhaut 791
—nerv 784, 791
—stoffe 355
—zellen 791
Rieder, Röntgenologe 837
Riemann, B., Mathematiker 54, 96, 104
Ries, A., Mathematiker 101
Riesen 774
—gleitflieger 711
—hühner 746
— der Jura- und Kreidezeit .. 692
—krabbe, Größe 693
—meteoriten 395
—sterne, Durchmesser 410
— des Tertiärs und der Eiszeit 693
Riffhöhlen 538
Rila-Rhodopen 483
Rind 695, 696, 697, 699, 701, 702, 703, 709, **740**
Rindenfelder 784
Rinderrassen, deutsche 741
ringförmige Sonnenfinsternis 385, 386
Ring|raten 50
—spule 226
—stromgebiet 422
—system des Saturn 393
Ritzhärte 191
Robotron, Rechenmaschine . 35
Rochow, E. G., Chemiker ... 375
Rocky Mountains 488
— Mountains, Pässe 496
Roggeveen 571
Roh|benzin 346
—dichte 168
—eisen 330, 334
—kupfer 331
Rohlfs, G. 569
Rohöl 346
Röhren|charakteristik 238
—federmanometer 194
—pilze 654
Röhrichte 635
Rohrzucker 356, 581
rohstoffliche Nutzungsform .. 738
Rolle 181
Rollreibung 176
Römer, O., Astronom 255, 425
Röntgen, Maßeinheit ... 148, 152
—quant 248
—röhre 237, **238**
Röntgenstrahlen 198
—, Schutz 239
—, Streuung 258
Röntgenstrukturbestimmung 280
Röntgen, W. C., Physiker 152, 257, 837
Rosen 661
Roses Metall 334
Ross, J. C. 431, 572, 573
—, J. 572
Rost 330
—pilze 609
Rotalgen 608
Rotation 188
— der Milchstraße 403
— der Planeten 391
Rotations|dauer der Sonne .. 381
—ellipsoid 429
Rotblindheit 789
rote Blutkörperchen 698, 794
Roteisenstein 330
Rothirsch 752
—, Geweihentwicklung 752
Rotmessing 334
Rotverschiebung 402
—, philosophische Deutung . 417
Rotwild 752
Rübenzucker 356
Rubidium ... 289, 294, 323, **324**
Rubin 332
Rückenmark 782, 783, **785**
—nerven 782, 785
—schwindsucht 827
Rückkreuzung des Ures 741
Ruderalpflanzen 638, 643
Rudimente 601
ruhende Elektrizität 227
Ruhr 825
—kranke, Harnausscheidung 804
Rumford, Graf v. (B. Thompson), Physiker 255
Rund|mäuler 600
—spulinstrument 235
—würmer des Menschen 826
Runge, F. F., Chemiker 373
Ruß 340
Rüsseltiere 711
Ruthenium .. 289, 294, 323, 330
Rutherford, E., Physiker 258
Rutil 282, 328

S

Saat|menge 676
—tiefe 676
Saccharose 356, 581
Sachs, J., Physiologe 682
Saftraum 587
Sajan 487
—, Pässe 495
Säkularvariation 432
Salamander 691, 693, 731
Salizylsäure 366
Salpetersäure 339
salpetrige Säure 339
Salvarsan 373, 837
Salzbildung durch Neutralisation 343
Salze 312, 343, 581

Salz|gehalt der Meere, absolute Werte ... 544
—hydrate ... 275, 344
—säure ... 337, 341, 801
—schmelzen ... 318
—seen ... 521
—sümpfe ... 521
Samarium ... 289, 295
Samen ... 623
—, Größe und Massewert ... 616
—leiter ... 814
—mantel ... 624
—pflanzen ... 613
—schale ... 621, 623
—, Wasseraufnahme ... 628
—, Widerstandsfähigkeit ... 627
—zellen ... 592
Sammel|früchte ... 623
—spiegel ... 205
Samoilowitsch, R. ... 573
Sanduhr ... 113
Sanger, F., Chemiker ... 375
sanguinisches Temperament .. 775
Sanmönn-Stauanlage ... 526
São-Francisco ... 518
Sapper, A., Geograph ... 570
Saros ... 109
sashen ... 154
Satelliten ... 386
—, künftiger Wert ... 465
—, künstliche ... 421
Sättigungs|dampfdruck ... 269
—konzentration ... 275
Saturn ... 389, 390
—monde ... 392
—ringe ... 393
Satz des Archimedes ... 60
— des Cavalieri ... 59
— des Euklid ... 59
— vom Peripheriewinkel ... 68
— des Pythagoras ... 59, 64
— des Pythagoras der Trigonometrie ... 75
— des Thales ... 59, 68
Sauerkirschen ... 667
Sauerstoff 289, 293, 294, 314, 337, 344, 372, 579
sauerstofffreie Säuren ... 341
Sauerstoff, Kreislauf ... 265
—säuren ... 341, 342
Säugetiere ... 600, 710
—, aussterbende ... 758
—, eierlegende ... 711
—, Gebiß ... 697
—, geschützte ... 757
—, höhere ... 711
—, Körpermasse ... 694
—, Merkmale ... 710
—, Winterschlaf haltende ... 700
—, Zahnformeln ... 697
Säugling ... 818
Säuglingsalter ... 819
Saug|reflex ... 786
—vermögen ... 587
Säulenfestigkeit ... 589
Saumweg ... 494
Säure|anhydride ... 338, 341
—bevorzugende ... 637
säurebildende Oxyde ... 341
saure Lösung ... 313
Säuren ... 312, 341
saure Salze ... 343
Säurezeiger ... 636, 637
Saurier ... 692
Saussure, Th. de, Naturforscher ... 604
Savannenzone ... 506
Saxaulgehölze ... 535
Schachthöhlen ... 538
Schädel ... 695
— des Menschen ... 772, 776
— der Säugetiere ... 697
—vergleich Gorilla–Mensch .. 770
Schafrassen, deutsche ... 740
Schalen|aufbau der Erde ... 435
—modell ... 248
Schall ... 199
—dämmstoffe, Dichte ... 170
—dämmzahl ... 148
—geschwindigkeit ... 199
—, Maßeinheiten ... 147
—schwingungen, Übertragung 791
—stärke ... 200
—welle ... 199
Schamlippen ... 815
Scharlach ... 825
Scharniergelenk ... 777
Schattenstab ... 121
Schandinn, F., Zoologe ... 837
Schaufler, Geweih ... 753
Schaumstoffe ... 369, 370
Scheele, K. W., Chemiker 255, 372
Scheide ... 815
scheinbare Helligkeit 381, 382, 402
scheinbarer Durchmesser des Mondes ... 384
Scheinwerfer ... 206
Scheitel|gleichung der Parabel 89
—punkt ... 55
—wert ... 197
—winkel ... 55, 56
— des Winkels ... 55
Schelf ... 481
Schellfisch ... 735
Schenkel des Winkels ... 55
Schichten der Sonnenatmosphäre ... 382
Schicht|gesteine ... 448
—gitter ... 281
—liniendiagramm ... 447
—preßstoffe ... 370
—vulkane ... 454
Schiebelehre ... 58
schiefe Ebene ... 182
schiefes Prisma ... 77
Schienen eines Armes ... 834
Schild|drüse ... 812, 813
—knorpel ... 800
—kröten ... 728, 730
—vulkane ... 454
Schimpanse 691, 703, 704, 713, 762, 769
Schirokko ... 467
Schizophrenie ... 823
Schlacke, Dichte ... 169
Schlaf ... 633, 786
—äpfel der Heckenrose ... 624
—dauer ... 705, 787
Schlafen der Pflanzen ... 633
Schlaf|menge ... 786
—stellung ... 634, 705
—tiefe ... 786
Schlag|ader, Abdrosselung .. 834
—anfall ... 824
Schlagintweit, A. ... 567
Schlangen 691, 693, 695, 728, 729, 730, 757
Schlauch|pilze ... 608, 652
—würmer ... 684
Schleich, C. L., Chirurg ... 837
Schleiden, M. J., Botaniker .. 604
Schleim|drüsen ... 811
—pilze ... 608
Schleuderpflanzen, Wurfweite 627
Schliefer ... 711
Schließfrüchte ... 623
Schlingpflanzen ... 662
Schlotvulkane ... 454
Schluffböden ... 679
Schlund ... 800, 801
Schlußrechnung, allgemeine . 18
Schmalnasen ... 767
Schmarotzer ... 578
Schmelzdiagramm ... 333
Schmelzen ... 217
Schmelz|intervall ... 283
—punkt ... 189, 217, 273
—punkte fester Stoffe ... 218
—punktintervall ... 261
Schmelzwärme ... 217, 269
— einiger Stoffe ... 218
Schmerz|empfindung ... 793
—punkte ... 780, 793, 794
—schwelle ... 147
—sinn ... 793
Schmetterlinge, Raupenzeit .. 736
Schmidt, J., Biologe ... 763
—, O. ... 572
Schmiedeeisen ... 330, 334
Schmieröl ... 346
Schmirgel ... 332
Schmucksteine, nach Dichte geordnet ... 448
—, geordnet nach Mohs ... 447
Schnabeltier ... 711
Schnecken ... 708
Schnecke, Teil des Ohres ... 790
Schnee|decke, Dauer ... 501
—grenze, Höhenlage 501, 508, 509
Schneidezähne ... 697
Schnell|arbeitsstähle ... 334
—drehstähle ... 329
schnelle Neutronen ... 250
— Reaktoren ... 251
Schnitt|kegel ... 561
—zylinder ... 561
Schnurwürmer ... 684
Schoinos ... 153
Scholle ... 735
Schonzeiten ... 751
Schorlemmer, C. ... 373
Schoßhunde ... 745
Schoten ... 623
Schott, G., Ozeanograph ... 575
Schraffen ... 564
Schrägbeziehung im Periodensystem ... 298
Schraube ... 182
Schrödinger, E., Physiker ... 259
Schrot ... 334
Schubart, J. Chr. ... 681
Schuppentiere ... 711
Schütt|gewicht ... 168
—gewichte, Beispiele ... 170
Schüttwinkel ... 168
—, Beispiele ... 170
Schutzhunde ... 745
Schwabe, H., Astronom ... 425
schwache Basen ... 340
— Elektrolyte ... 312
Schwalben ... 720
Schwämme ... 683, 708
Schwammenauertalsperre ... 524
Schwanengans ... 748
Schwangerschaft ... 816
—, Frühnachweis ... 816
Schwangerschaftskalender ... 816
Schwann, Th., Biologe .. 604, 762
Schwanzmeise ... 695
schwarzer Körper ... 155, 407
Schwarz|kupfer ... 331
—wild ... 753
Schwefel 282, 289, 294, 335, 337, 338, 579

Schwefel|dioxyd 338
—kohlenstoff 338
—säure 338, 341
—trioxyd 338
—wässer 272
—wasserstoff 338
schweflige Säure 338
Schwein 695, 701, 702, 707, 709, 742
Schweinerassen, deutsche ... 743
Schweinfurth, G., Botaniker . 569
Schweißdrüsen 780, 811
Schweizer Jura, Pässe 494
Schweizers Reagens 368
Schwellkörper 814, 815
Schwendener, S., Botaniker .. 682
Schwere|beschleunigung 391
—druck 192
—messung 451
schweres Wasser 272, 374
Schwer|kraft 165, 166, 179, 184
—linie im Dreieck 63
—metalle 322
Schwerpunkt 183, 184, 185
— des Dreiecks 63
Schwerspat 325
Schwimm|badreaktor 252
—blase 600
—blattgesellschaften 635
Schwingkreis 237
Schwingung, elektrische 238
—, gedämpfte 175
—, harmonische 196
Schwingungs|amplitude 175
—bewegung 160
—dauer 175
Schwingung, sinusförmige ... 196
Schwingungs|mittelpunkt 175
—phase 195
—schreiber 234
—vektor 196
Schwingungsverhältnisse, Bestimmung 203
— der Intervalle 203
Schwingungs|weite 197
—zahl 195
—zahlen, relative 202
Scott, R. F. 574
Sechs|eck, regelmäßiges 67
—ender 753
Sechser, Geweih 752
Sedimentationsgeschwindigkeit 301
Sedimente 444
Sedimentgesteine 444
Sedimentieren 261
See|anemonen 689
—bär 689
—beben 464
—becken 520
Seebeck, Th. J., Physiker 256
See|-Elefant 689
—gang 548
—hund 689, 691, 697
—karten 557
—kühe 711
—lilien 689
—löwe 689
—meile 127
—moos 689
—nelken 689
Seen, Gesamtfläche 521
See|rosen 689
—schiffahrtskanäle, wichtigste 528
—vermessung 557
—wesen, Tageseinteilung ... 146
Segetalpflanzen 643
Segler 720
Segment, mathematisch 69
Sehkraft 703
Sehne, anatomisch 778
—, mathematisch 68
Sehnen|satz 68
—viereck 66
Sehnerv 784, 788
Seidenraupe, Zucht 761
Seifen 271
—gold 331
—lagerstätten 449
—minerale 449
Seismik 451
seismische Einheit 461
— Lagerstättenforschung ... 452
— Methode 450
— Wogen 464
Seismograph 458, 459
Seismographentypen 458
Seismologie 458
Seiten|druck 192
—fläche 77
Sekante 68
Sekantensatz 68
Sekrete 811
Sekretion 811
Sekretionsdrüsen 811
Sektor 69
sekundäre Alkohole 354
— Höhlen 538
Sekundär|reaktionen 318
—spannung 236
—spule 236
Sekunde 106, 146
—, gesetzliche Grundeinheit 122, 127
Sekundenpendel 175
Selbstinduktion 237
selbst|unfruchtbar 667, 668
—unverträglich 667, 668
Selektion 603
Selektions|druck 603
—theorie 602
— - und Mutationstheorie, Verbindung 602
selektiv wirkende Katalysatoren 310
Selen 289, 294, 335, 337, 338
selenige Säure 338
Selen|photozellen 338
—säure 338
Seltene Erden 297, 325
— Erdmetalle 297, 325
semipolare Doppelbindung .. 303
Semjonow, N. N. 375, 567
Semmelweis, I. Ph., Gynäkologe 836
Senebier, J., Naturforscher .. 604
Sengbusch, v., Botaniker 682
senkrecht 55
Senk|rechte errichten 57
—spindel 172
sensible Nerven 783, 785
sensorische Rindenfelder 784
Sertürner, Fr. W. A., Apotheker 836
Serum 795
—heilkunde 837
Serveto, Arzt 835
Setschenow, I. M., Physiologe 836
Sewerzow, Botaniker 567
Sexagesimalsystem 5
Sexualhormone 812
Sexualität 593
Shackleton, Sir E. H. 574
Shackleton Base, Forschungsstation 574
Sialzone 435
Sicherheitsgläser 284
Sichote-Alin 487
Sichtweite 556
siderischer Monat 109
— Umlauf des Mondes 384
siderisches Jahr 109, 110
siderische Umlaufszeit 388
Siebbein 791
Siebentausender, Erstbesteigungen 492
Sieb des Eratosthenes 12
Siebold, Th. v., Zoologe 762
Siebröhren 590
Sieden 218
Siedepunkt 218, 269
— einiger Stoffe 218
—intervall 261
—erhöhung 219, 277, 312
— Wasser 146, 215, 219
Siede|temperatur des Wassers 219
—wasserreaktor 252
Siemens, Maßeinheit 129, 152
—, W. v., Ingenieur 152, 257
Sierra Nevada 483, 488
— Nevada, Pässe 496
Sigma-Teilchen 244
Silane 340
Silber 289, 294, 323, 324, 330, 331
—bromid 337
—legierungen 334
—lote 334
—nitrat 331
Silikate 340
Silikatgläser 284
Silikone 353, 370
Silikon|harze 353
—kautschuk 370
—lacke 370
—öle 353, 370
Silizide 336
Silizium 289, 294, 335, 339, 340, 579
—dioxyd 282, 340
Silumin 334
Silur 443
Sima 437
—zone 435
Simia 766, 767
Simpson, J., Gynäkologe 836
Sinanthropus 770, 772
Singvögel, Nester 723
Sinin, N. N., Chemiker 372
Sinne 703
Sinnes|körperchen 780
—nerven 783
—organe 583, 787
—zellen 591
Sino-Tibet-Gebirge 485
—. Pässe 496
Sinter|bildungen 539
—säulen 539
Sinus 71, 72
—satz 75, 101
—welle 195
Skalar 85, 158
skalares Produkt 86
Skandinavien 532
Skandinavisches Gebirge 484
Skandium 289, 294, 323
Skelett 695, 776
—, Anzahl der Knochen 776
—knochen, Masse 776
—, Masse 695
—muskulatur 778, 779
—reste, Höhlenfunde 536
Skleroproteine 580
Skorpion, Größe 691
Smith, W. 573
Sobolew, Arzt 837
Soddy, F., Chemiker 374

Soffionen ... 455
solare Eruptionen ... 422
Solarkonstante ... 382, 391, 428
solarterrestrische Beziehungen 423
Solfatoren ... 455
Soliduskurve ... 333
Solvatation ... 270, 312
Solvay, E. ... 373
Solwässer ... 272
Somalihalbinsel ... 533
Sommer|annuelle ... 659
—blumen, einjährige ... 658
Sommerfeld, A., Physiker ... 258
Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante ... 158
Sonne, Bestrahlungsstärke .. 382
— als Energiequelle ... 426
—, Leuchtkraft ... 382
—, mechanisch-dynamische Größen ... 381
—, mittlerer scheinbarer Radius ... 381
Sonnen|aktivität ... 422
—apex ... 403
—atmosphäre ... 382
—aufgang ... 110
Sonnenenergie ... 428
—, gespeicherte ... 214, 428
Sonnen|fackeln ... 383
—finsternisse ... 109, 385
—flecken ... 382, 383, 425
—forschung ... 423
—monat ... 109
—parallaxe ... 426
—scheibe, Fläche ... 381
—stich, Erste Hilfe ... 833
Sonnenstrahlen, Energieinhalt 212
—, Parallelität ... 204
Sonnenstrahlung, ultraviolette 265
—, verwertete ... 428, 480
Sonnen|system ... 386
—tag ... 106, 107, 551
—uhr ... 113, 114, 122
—untergang ... 110
—zeit ... 106
Sonne, strahlungsenergetische Größen ... 382
—, wichtige Konstanten ... 381
Soranos aus Ephesos ... 835
Sörensen, S. P. L., Chemiker 374
Sowjet|skaja, Forschungsstation ... 574
—union ... 535
Sozialdarwinismus ... 765
Sozialismus ... 765
Spallation ... 249
Spaltalgen ... 608
spaltbares Material ... 250
Spaltbarkeit der Minerale ... 448
Spalteneruptionen ... 455
Spalt|früchte ... 623
—öffnungsapparate ... 589
—pflanzen ... 613
—pilze ... 584, 608
Spaltungsirresein ... 823
Spannung, elastische ... 165
—, elektrische 129, 228, 230, 235
— gesättigter Dämpfe ... 219
Spannungs|-Dehnungs-Diagramm ... 190
—koeffizient ... 264
—reihe, elektrochemische ... 316
Spateisenstein ... 330
Späteiszeit in Norddeutschland, Gliederung ... 477
Spatprodukt ... 87
Spechte ... 720
Speichel ... 801
Speicheldrüsen ... 800, 811
Speicher|stoffe ... 581
—technik, elektronische ... 35
Speise|pilze ... 652
—röhre ... 800, 801
Spektral|analyse 211, 256, 372, 408, 425
—bereich ... 198
—farben ... 211
—klassen von Fixsternen ... 410
—typ eines Sternes ... 408
Spektrum ... 198, 211
—, elektromagnetisches ... 199
Spemann, H., Zoologe ... 605
Speranski, A. D., Physiologe 838
Sperber, Spannweite ... 694
Sperma ... 814
Spermatozoen ... 815
Spermien ... 815
Spezialgläser ... 285
spezielle Mineralogie ... 448
spezifische Leitfähigkeit 231, 270, 319
spezifischer Widerstand ... 231
spezifisches Gewicht ... 168
— Volumen ... 171
spezifische Wärme ... 220
— Wärme einiger Flüssigkeiten ... 220
— Wärme einiger Gase ... 221
— Wärme einiger Metalle ... 220
Sphäre ... 376
sphärische Koordinaten ... 376
Spiegel|bildisomerie ... 356
—ebene ... 278
—, ebener ... 205
—eisen ... 329
—glas ... 284
Spießer, Geweih ... 752, 753
Spieß, F. ... 575
Spin ... 245, 291
spinale Kinderlähmung ... 825
Spinalnerven ... 783, 785
Spinquantenzahl ... 291
Spirillen ... 584
Spitzbergen ... 528
—, Schiffahrtssaison ... 478
Spitzenentladung ... 228
spitzer Winkel ... 55
Spitzhörnchen ... 766, 767, 768
Spitzkörnchenartige ... 767
spontane Mutabilität ... 594, 603
Sporen|pflanzen ... 613
—tierchen ... 683
Sprachübersetzung, automatische ... 35, 105
Sprengel, Chr. K., Botaniker 681
Springflut ... 545
Sproß|achse ... 618
—knospe ... 618, 619
—pflanzen ... 613
Sprossung ... 592
Sprung|temperaturen ... 232
—weiten ... 705
Spurenelemente ... 579
Sputnik ... 259, 421
Sputnik I ... 426
Sputnik II ... 422, 423
Sputniks, künftiger Wert ... 465
Stäbchen der Netzhaut ... 787
stabile Isotope ... 252
stabiles Gleichgewicht ... 184
Stabius, J. ... 122
Stachel|beersorten ... 669
—häuter ... 684, 708
Stahl ... 330, 334
—akkumulator ... 317, 318
—legierungen ... 334
Stalakmit ... 539
Stalaktit ... 539
Stammbäume ... 597
Stammbaum des Menschen .. 771
— des Tierreiches ... 598
— der Wirbeltiere ... 599
Stammbrüche ... 13
Stammesentwicklung 594, 596, 600
stammesgeschichtliche Forschung, Methoden ... 597
Stammfunktion ... 97
— eines Polynoms ... 98
— der Potenzfunktion ... 98
Ständerpilze ... 608, 652, 653
Standfestigkeit ... 185
Stanley, H. M., Journalist ... 569
Stanniol ... 332
Star ... 717
Stärke ... 356, 581
starke Basen ... 340
Stärkebildung in Pflanzen ... 625
starke Elektrolyte ... 312
Stärke der Erdbeben ... 461
—pflanzen ... 643
starre Körper ... 183
Starrkrampf ... 825
Statik ... 139
statische Elektrizität ... 227
Statistik, Aufgabe ... 45
—, mathematische ... 46
Stauanlagen ... 524
Staubblätter ... 619
Stäuben von Gräsern ... 632
Staubgehalt der Luft ... 266
Stauchversuch ... 190
Stauden ... 660, 662
Staudinger, H., Chemiker ... 374
Stau|druck ... 193
—mauer, höchste ... 525
—nässezeiger ... 637
—rohr ... 193
—raum ... 524
—seen ... 524
—stufen ... 524
Stearin ... 365
Stebbins, J., Astronom ... 426
Stefan-Boltzmannsches Gesetz 257
stehende Gewässer ... 512
Steigbügel, Gehörknöchel ... 790
steigende arithm. Folge ... 40
— geom. Folge ... 41
Steinerscher Satz ... 188
Stein|früchte ... 623
—gartengewächse ... 661
—kohlenvorrat der Erde ... 428
—zeit, Funde ... 641
Steißgeburt ... 817
St. Elias-Mts. ... 488
Stellenschrift ... 3
—, dezimale ... 4
Stellenwert ... 4
Steller, G. W. ... 567
Stellit ... 334
Stelzen ... 718
Stengel ... 619
Steppen|rasen ... 635
—zone ... 504
Steradiant ... 127
Sterbe|tafel ... 822
—wahrscheinlichkeit ... 822
Stereo|chemie ... 373
—isomerie ... 345, 356
—metrie ... 53
sterischer Faktor ... 310
Sterlet ... 735
Stern|anhäufungen ... 403
—bilder ... 379, 396
—dichte ... 399

Sterne, Bewegungsverhältnisse 402
—, chemische Zusammensetzung ... 411
—, hellere ... 402
—, kleinere ... 402
Sternengas ... 411
Stern|entstehung ... 414
—entwicklung ... 414
Sterne bis 20. Größe ... 398
—, Zustandsgrößen ... 408
Stern|haufen ... 405
—helligkeit ... 398
—himmel, Statistik ... 398
—karten ... 399, 400, 401
—leeren ... 405
—schnuppen ... 395
—ströme ... 403
—systeme ... 396, 416, 417
—tag ... **106, 107, 551**
—verdichtungen ... 405
—warten ... 418
—wolken ... 405
—wurm ... 690
—zeit ... 106
stetige Teilung ... 65
Stevin, S. ... 254
Stickstoff 289, 294, **338**, 345, 579
—dioxyd ... 339
—, Kreislauf ... 265
—oxyd ... 339
—wassersäure ... 339
—zeiger ... 637
Stifel, M. ... 101
Stilb ... 129, 212
Stimm|bänder ... 800
—bildung ... 800
—ritze ... 800
Stimmungen ... 202
Stint ... 735
St.-Lorenz-Seeweg ... 528
Stöberjagd ... 750
stöchiometrische Gesetze ... 304
stöchiometrisches Rechnen .. 305
Stockente ... 748
Stockwerkshöhlen ... 535
Stoff ... 260
—abgabe ... 581
—aufnahme ... 581
Stoffe, anorganische ... 320
—, feste ... 277
—, Festigkeit ... 190
—, flüssige ... 269
—, gasförmige ... 262
—, magnetische Eigenschaften ... 224
—, magnetisch harte ... 226
—, magnetisch weiche ... 225
—, makromolekulare ... 301
—, mechanische Eigenschaften ... 188
—, niedermolekulare ... 301
—, organische ... 345
—, systematische Einteilung . 260
—, Zustandsformen ... 262
Stoff|kreislauf ... *444*
—transport in Strömen ... 513
—umwandlung ... 581
Stoffwechsel ... 579, **581**, 800
— der Pflanzen ... 618
—prozeß ... 581
Stoiko, N. G., Chirurg ... 838
Stokes, Maßeinheit ... 128
Stokessches Gesetz ... 176
Stollen für Wasser ... 497
Stör ... 691, 735
Störche ... 722
Stoß ... 179
—ionisation ... 243
Stoßwelle, magnetische ... 422
Stradonitz, A. K. v., Chemiker 373
Strahl ... 54
Strahlen, Arten ... 198
—dosis, höchstzulässige ... 148
—energie, Ausnützung ... 626
—körper des Auges ... 787, 788
—kranz des Auges ... 787
Strahlflosser ... 600
Strahlung ... 204
—, elektromagnetische ... 204
— der Planeten ... 391
Strahlungs|druck des Lichtes 257
—feld, interstellares ... 407
—fluß ... 391
—gleichgewicht ... 413
—gürtel der Erde ... 422, 464
Strand|höhlen ... 538
—pflanzen, geschützte ... 759
Straß ... 284
Strassburger, E., Botaniker .. 605
Straßentunnel ... 496
Straßmann, F. ... 259
Stratokumulus ... 465
Stratosphäre ... 464, 465
—, Erscheinungen ... 465
Stratovulkane ... 454
Stratus ... 465, 475
Sträucher, Höchstalter ... 632
Strauß ... 689, 691, 693, 725
Strecke ... 54
—, gerichtete ... 7
— halbieren ... 57
Streckenteilung ... 65
Streck- oder Fließgrenze ... 190
Strell, M., Chemiker ... 375
Streufrüchte ... 623
Strich|maß ... 146
—rose ... 433
Stromboli ... 456, 457
Ströme ... 513
—, Eisbedeckung ... 520
Strom|einheit, absolute ... 154
—, elektrischer ... 230
strömende Elektrizität ... 227
Strom|stärke (Spannung, elektrische) ... 129, 230
—system ... 513
—systeme, längste ... 514
Strömungs|geschwindigkeit .. 160, 193
—probleme ... 193
—widerstand ... 176
Stromverbrauch ... 232
Strontium ... 289, 294, 323, **325**
Strontium-Rubidium-Methode 436
Strukturformel, Bindungsstrich ... 300
— des Moleküls ... 300
Struktur|isomerie .. 345, 347, 358
— des Reaktors ... 251
—typ ... 281
Struve, W., Astronom ... 425
Stubenvogelhaltung ... 757
Stückmaße ... *146*
Stufenwinkel ... 56
stumpfer Winkel ... 55
Stunde ... 106
Stunden|glas ... 113
—kreis ... 378
—winkel ... 378
Stützgewebe ... 591
Subarktis ... 502
Subkontinente ... 479
Sublimationskurve ... 272
subpolare Gebirge ... 499
Substitutionsmethode bei Gleichungen ... 38
Substitutionsreaktionen ... 349
Subtrahieren, Rechenregeln . 9
Subtraktion ... 5, 16
—, korrespondierende ... 18
Subtraktionsmethode bei Gleichungen ... 38
Subtropen ... 504, 506
—zone ... 504
subtropische Gebirge ... 499
Süchte ... 824
Südamerika 479, 481, 509, 511, 535, 711
—, Binnenseen ... 523
—, Flüsse ... 518
—, Gebirge ... 489
—, Halbinseln ... 533
—, Inseln ... 531
südamerikanische Gewässer, Tidenhub ... 547
— Inseln, Gebirge ... 490
Südamerika, Stauanlagen 527
südlicher Fixsternhimmel ... 398
Südpol des Äquators ... 380
— der Ekliptik ... 380
—, Forschungsstation ... 574
südwestafrikanische Gebirge . 491
Sueskanal ... 528
Sukujew, W. W. ... 838
Sulciman-Gebirge ... 487
Sulfanol ... 360
Sulfate ... 338
Sulfathärte des Wassers ... 271
Sulfide ... 338
Sulfitablaugen ... 355
Sulfonamide ... 352
Sulfonsäuren ... 352
Sumatera ... 529
Sumerer, Maß- und Gewichtssystem ... 152
Summe ... 5, 7
Summenformel des Moleküls 300
Supernovae ... 412
Supplementwinkel ... 55
Supra|leiter und Sprungtemperaturen ... 232
—leitfähigkeit ... 232
Suspension ... 795
Süß|kirschen ... 667
—wasser ... 271
Sverdrup, O. ... 572
Swammerdam, J., Zoologe ... 835
Symbiose ... 578
Symmetrie|achsen ... 278
—ebene ... 278
—elemente ... 278
—formen bei Blüten ... 621
— der Kristalle ... 278
—zentrum ... 278
Sympathikusreizung ... 782
sympathisches Nervensystem 782, 783
Synchronuhr, erste ... 122
Synchrophasotron ... 242
Synchrotron ... 242
Synchrozyklotron ... 241
synodischer Monat ... 109, 385
— Umlauf des Mondes 384
synodische Umlaufszeit ... 389
Synthese ... 261
—gas ... 346
synthetischer Kautschuk 359, 367
synthetische Waschmittel 355, 364
syntonisches Komma ... 202
Syphilis ... 823, **825, 827**
—erkrankungen, neugemeldete 827
Syrauer Drachenhöhle ... 541
System, abgeschlossenes 178
Systematik ... 607

Systematik der Kristalle 446
systematische Gruppen, höhere 608
Systeme, disperse 260
—, heterogene 260, 307
—, homogene 261, 307
—, metastabile 310
—, molekulardisperse 261
System, heterogenes 260
— der physikalisch-technischen Einheiten 123
— des Tierreiches 683
Szintillationszähler 453

T

Tabes dorsalis 824
Tafel der gesetzlichen Einheiten, Bemerkungen 124
— der gesetzlichen Maßeinheiten 127
Tag 106
Tageslänge und Entwicklung . 630
tagneutrale Pflanzen 630
Tagsehen 788
Taifun 467
Taiga 502
Taitao 533
Talent 152, 153
Talgdrüsen 780, 811
Talsperren 524
Tanganjikasee 523, 534
Tangens 71, 72
—satz 75
Tangente 68
Tangenten|satz 68
—viereck 66
—, zwei an einen Kreis 68
Tantal 289, 295, 323, 324, 328
Tarpane 743
Tasman, A. 571
Tast|empfindungen 792
—körperchen 792
—sinn 792
Tauben|rassen, wichtigste ... 748
—zucht 747
Tauchtiefen 545
Taupunkt 220, 266
—hygrometer 266
Taurus 486
—, Pässe 495
Taxonomie 607, 711, 716
Taylor, B., Mathematiker ... 102
Taylor-Reihen 42
Technetium ... 289, 294, 323, 329
technisches Eisen 330
— Maßsystem 123, 157, 166, 178
Teilbarkeitsregeln 13
Teilchen|beschleunigung 241
—konzentration 312
—, Nachweis 241
Teiler, größter gemeinsamer .. 14
Teilung, stetige 65
Tektogenese 437
Tektonik der Erdkruste 437
tektonische Beben 460
tektonischer Graben 437
Telegraphie, drahtlose 257
Tellur 289, 295, 335, 337, 338
—dioxyd 338
—trioxyd 338
Temperamenttypen 775
Temperatur 214
—ausgleich 216
—einheiten 129
Temperaturen, markante 215
Temperatur|grade, Umrechnung 147
—inversion 422
Temperatur|-Leuchtkraft-Diagramm 409
—, Maßeinheiten 146
—messung 214
— auf der Mondoberfläche ... 384
—skalen, Vergleich 215
— eines Sternes 409
— und Wachstum 629
temperierte Halbtöne 202
— Stimmung 202
Temperierung der Speisen ... 806
temporäre Härte des Wassers 271
— Schneegrenze 501
Tensing, N. B. 568
Terbium 289, 295
Terlezki, J. W. 259
Termiten 737
Terpenalkohole 355
Terpene 348, 349
terrestrische Messungen 557
— Photogrammetrie 557
Tertiär 440
tertiäre Alkohole 354
Testosteron 813
Tetra|äthylblei 353
—chlorkohlenstoff 351
Tetraeder 76
tetragonales System 279
Thales von Milet, Philosoph 100, 109, 423
Thallium 289, 295, 323, 332
Thaer, A. D., Arzt 681
thematische Karten 559
Theodolitgoniometer 446
Theophrast, Philosoph 680
Thermal|quellen 455
—wässer 453
Thermen, berühmte 455
Thermik 451
thermische Messungen 450
— Neutronen 250
— Reaktoren 251
— Säulen 251
thermisches Verfahren 453
thermische Zustandsgleichung 263
Thermit 332
thermoelektrische Spannungsreihe 256
Thermo|element 233
—elemente, Spannungen 233
Thermometer 214, 233
—grade, Umrechnung 215
thermonukleare Explosion, erste 259
Thermo|plaste 369, 370
—sphäre 464
—strom 233
Thiamin 808, 810
Thienemann, J., Ornithologe 762
Thio|alkohole 356
—äther 358
Thiophen 350
Thompson, B., Physiker 255
Thomson, J. J., Physiker 258, 259
—, W. 574
Thorianit 326
Thorium 289, 295, 323, 326
Thrombozyten 698
Thulium 289, 295
Thymusdrüse 812
Tibesti-Gebirge 491
Tide 545
Tidenhub 545
—, maximaler 546
Tiefdruckgebiete 467
Tiefen, bemerkenswerte 150
— unter dem Erdboden 151
Tiefengesteine 437
Tiefengesteine, mengenmäßige Verteilung 439
Tiefenstufen der Ozeane 431
Tiefsee|boden 431
—gräben 431, 481
—tafel 481
tiefste Seen 521
Tieftemperaturdestillation ... 346
Tienschan 486, 500
— -Expedition 568
—, Pässe 495
Tier 582, 683
Tierarten 597
—, ausgerottete 755
—, Höchstalter 710
— in verschiedener Meerestiefe 686
Tiere, aussterbende 758
—, geschützte 757
—, Lebensraum 577
—, ursprünglich in Deutschland nicht beheimatete ... 686
Tierformen, geologisches Alter 710
Tiergruppen und ihre Arten .. 710
— in Deutschland, Artenzahl 684
tierische Erreger von Gallen .. 624
— Gewebe 590
tierischer Körper, Grundelemente 584
tierische Verwandte des Menschen 766
— Zelle 587
Tierkörper, Bau und Leistungen 695
—, Maße 691
—, Wassergehalt 698
Tierkreis 379
—zeichen 379
Tier-Mensch-Übergangsfeld . 770
Tiernamen, irreführende 687
tierra caliente 499, 501
— fria 499, 501
— helada 499, 501
— templada 499, 501
Tier|riesen der Gegenwart ... 693
—stimmen 722
—weltriesen 692
Tiger 691, 694, 705, 714
—pferde 743
Tilgung eines Betrags, Tabelle 21
Timirjasew, K. A., Physiologe 605
Timocharis, Astronom 423
Tintenfisch 693, 699
Titan ... 289, 294, 323, 327, 328
—gewinnung 328
—legierungen 328
Titius-Bodesche Regel 393
Titow, G. St., Kosmonaut 423, 426
Tjio, Zytologe 606
Tocopherol 809
Tod 595, 633, 814, 819
Todd, Sir A., Chemiker 375
Todes|anzeichen 819, 822
—ursachen 819
Tokopherol 811
Tollwut 825
Toluol 350, 351
Tombak 334
Tombaugh, Astronom 426
Tone 200, 332
Töne 790
Ton|empfindlichkeit 790
—empfindung 790
—erde 332
Tongrenzen 791
—, Abnahme 790
Ton|höhe 200
—intervalle 200

Ton|leitern 201
—mergel 332
Tonne 128
Tonstufen 201
Tonus 778
Topfmagnet 226
Topographie 557
topographische Karten 558
Topologie 54
Tornado 467, 468
Torr 128, 152, 195
—, Umrechnung in mbar ... 472
Torrenssee 523
Torres, L. V. de 571
Torricelli, E., Physiker .. 152, 254
Torsionswaagen 167
Torus 60
totale Mondfinsternis ... 385, 386
— Sonnenfinsternis 385, 386
Totalintensität 432, 434
Totes Meer 534
Trächtigkeit, Dauer 707, 749
Tragen Verunglückter 834
Trägerschichten 370
Trägheit 164
Trägheits|gesetz 164
—kräfte, elementare 165
—moment 187, 188
Tragzeit bei Haustieren 749
— einiger Säugetiere 707
Trampeltier 742
— und Dromedar, Kreuzungen 742
Tränendrüsen 787
Transalai 486, 500
Transformations|intervall ... 283
—punkt 283
Trans|formator 236
—formieren 236
—fusion 797
Transhimalaja 486
—, Pässe 495
Trans|lation 188, 279
—lationsgitter 279
Transpiration 626
Transurane 249, 326
transversale Wellen 196, 198
Trapez 66
—regel 67, 96
Traube, L., Pathologe 836
Traubenzucker 356, 581, 802
Treib|jagd 750
—öle 346
Trenneffekt 285
Triadenregel 296
Triangulation 554, 670
Triangulieren 670
Trias 441
Trichinose 743
Tridymit 282
Triebkraft chemischer Reaktionen 311
trigonales System 279
Trigonometrie, ebene 54, 100, 101
—, sphärische .. 54, 79, 100, 101
trigonometrische Additionstheoreme 75
— Funktionen 70
— Funktionen am Einheitskreis 72
— Funktionen, Periodizität.. 74
— Funktionen, Vorzeichentabelle 73
— Funktionen: siehe auch Winkelfunktionen
— Höhenbestimmung 555
— Tafel 74, 101
triklines System 279
Trilateration 555
Trinkwasser 272
Tripelpunkte 273
Tripoljekultur 743
Tripper 825, 827
Trisektion des Winkels 61
Trocken|batterien 318
—grenzen 499
—rasen 635
Troglobien 540
Troglodyten 540
Troglophile 540
Trogloxene 540
Trommelfell 790
Tropen 506
Tröpfchenmodell 245
Tropfsteinbildungen 539
Tropikluft 473
tropische Gebirge 499
tropischer Monat 109
tropisches Jahr 110
tropische Wüstenzone 506
Tropo|pause 465
—sphäre 464, 465
Tropsch, H., Chemiker 374
Trotyl 352
Trübgläser 285
Trugschlüsse, rechnerische .. 46
Trümmer|besiedlung 638
—gesteine 444
Trunksucht 824
Truthuhn 747
—zucht 747
Trypsin 814
Tscheljuskin, S. I. 567
Tscherenkow-Strahlung 161
Tscherewitschny, Flieger 573
Tschermak, E. 605, 682
Tschirikow, A. 567, 570
Tschirnhaus, v., Mineraloge . 371
Tschkalow, W. P., Flieger ... 573
Tschomolungma 485, 492
Tsinlingschan 486
Tuffhöhlen 538
Tullasche Rheinkorrektur ... 755
Tulp, Anatom 762
Tunami 464
Tundra 502
Tundren-Lichtwälder 535
Tungusker Meteorit 396
Tunnel, bedeutendste 496
—effekt 250
— moderner Verkehrswege .. 497
Tupaias 766
turbulente Strömung 193
Turbulenzelemente 383
„Turm der Winde“ 121
Tuscaroraexpedition 574
Typenunterlagen 669
Typhus 825
typographisches Maßsystem 133, 153, 154

U

Übergangselemente 297
—, höhere Wertigkeitsstufen . 297
—, Zweiwertigkeit 297
Überriesen 411
übersättigte Lösungen 275
Übersättigungserscheinungen 268
Übersichtigkeit 788
Überstrukturen 333
überstumpfer Winkel 55
Überträger 311
Ubiquisten 640
Uhren 113
Ulbricht, W. 375
Ultrarot 788
ultrarote Strahlen 198
— Strahlung 204
Ultra|schall 200
—violett 788
ultraviolette Strahlen.... 198, 212
— Strahlung 204
Umfang des Dreiecks 62
— der Erde 428
umherschweifender Nerv 785
Umkreis des Dreiecks 63
— des regelmäßigen Vielecks 67
— des Vierecks 66
Umlagerungsreaktion 309
Umlaufszeiten des Mondes .. 384
Umrechnungstafeln für Maßeinheiten 132
Umwelt, biologisch 577
unbedingte Reflexe 785
unbekannte Zahlen erraten 49, 50
unbestimmtes Integral, Berechnung 98
Unbestimmtheitsrelation 258
unechte Brüche verwandeln . 14
uneinheitliche Stoffe 260
unelastischer Stoß 180
unendliche Reihe 41
unendlicher Raum 53
unendliche Zahlenfolgen..... 40
Unfälle, Erste Hilfe 833
ungenießbare Pilze..... 652
ungesättigte Alkohole 355
— Kohlenwasserstoffe 348
— Lösungen 275
ungeschlechtliche Fortpflanzung 592
ungleichnamige elektr. Ladungen 227
— Pole 222
Universal|empfänger 797
—indikatoren 313
universelle Gasgleichung 263
— Gaskonstante 263
Universum 417
Unken 731
Unkrautgesellschaften 635
Unpaarzeher 711
unpolare Bindung 302
— Flüssigkeiten .. 269, 270, 271
unregelmäßiges Vieleck..... 67
— Viereck 66
unsichtbares Licht 204
Unstetigkeitsstellen 96
unterbromige Säure 337
unterchlorige Säure 337
Untergrund|bahnen 498
—bahn-Tunnel 496
Unter|hautgewebe 779
—kiefer 697
—schiedsschwelle bei Tönen 790
—silur 600
—suchungen der Hochatmosphäre 421
—töne 201
—wassertunnel 496
Unverdorben, P., Chemiker.. 372
Unverträglichkeitsgruppen .. 667
unwillkürliches Nervensystem 782, 783
Ur 753, 755, 761
Ural 484
Uran 289, 295, 323, 326
—-Blei-Methode 436
—spaltung 327
Uranus 389, 390
—monde 392
Urey, H. C., Chemiker 374

Urformen des Lebens 583
Urgesellschaft 765
Urlibelle, Spannweite 694
Urmeter 154
Urobakterien 585
Urochsen 740
Urpilze 608, 652
Ursprung 376
Urteer 346
Urtierchen 683
Urville, Dumont de 573
Urvogel 762
USA, Stauanlagen 526
Uterus 711, 815

V

Vagina 815
Vakuum 194
—meter 194
Val 275, 305
Valdiviaexpedition 575
Valenz des Atoms 293
Valenzelektronen 292, 321
—, gepaarte 302
—zahl 298
Valenz|strich 300
—winkel 302
Vanadin 289, 294, 323, 324, 328
—stahl 328
van Allenscher Strahlungsgürtel 422, 464
van Ham 835
van't Hoffsche Gleichung 277
van't Hoffsche Regel 310
van't Hoffsches Gesetz 277
van der Waalssche Bindung .. 303
van der Waalssche Gleichung 267
van der Waalssche Kräfte ... 267
Variationen 42
variieren, Definition 43
Varitron 259
Vegetation 635
Vegetations|decke 480
—zonen 481
vegetative Annäherung 671
— Dystonie 786
— Fortpflanzung 592, 618
vegetatives Nervensystem ... 782
Vektor 7, 55, 85, 158
—addition 85
vektorielles Produkt 86
Vektor|multiplikation 86
—rechnung 85
—subtraktion 86
Venen 797
venöses Blut 797
Venturidüse 193
Venus 388, 390
veränderliche Sterne 411, 412
Verbindungen 261, 283
—, intermetallische 334
—, isomere 345
—, metallorganische 353
Verbrennungen, Erste Hilfe .. 833
Verbrennungs|energie 413
—prozesse 314
Verbrennungswärme 214
— einiger Stoffe 214
Verdampfen 218
— von Flüssigkeiten 269
Verdampfungswärme ... 218, 269
— einiger Stoffe 218
—, molare 269, 270
Verdauung 800
Verdauungs|fermente 800
—kanal 802
Verdauungs|organe 800
—trakt, Krankheiten 829
—vorgang 800
Verdoppelung des Würfels .. 61
verdünnte Lösungen 273
Verdunsten 220
Veredeln 670
Veredelungs|methoden 670
—wulst 671
Vereinigtes Institut für Kernforschung 259
Vererbung 592, 593
— der Blutgruppen 796
Vererbungs|regeln 682
—wissenschaft 593
vergällen 355
Vergiftungen 832
—, Erste Hilfe 833
Vergletscherung, Arten 509
— der Erde 509
Vergletscherungsflächen, Rückgang 512
Vergrößerungsspiegel 205
Verhältnis, arithmetisches ... 17
—, geometrisches 17
—, Maßzahl 17
—, mathematisches 17
— zweier Strecken 63
Verkleinerungsspiegel 207
Verkorkung 589
verlängertes Mark . 783, 784, 785
Vermehrung, ungeschlechtliche 618
Vermessungskunde 556
vermittelnd 560
Verschiebung, elektrische ... 129
Verschüttung, Erste Hilfe ... 833
Verschwelung 346
Verseifung 364, 365
Verstärkerröhre 237, 238
Versturzhöhlen 538
Verteilung von Land und Meer, Einfluß 480
Vertex 403
Vertikal 377
—intensität 432, 434
—seismographen 458
Verwerfungen 437
Verwerfungszonen 437
Verwitterung 439, 444, 480
Verwitterungsprodukte 444
Verzögerung 162
Verzögerungen, Beispiele 163
Vesalius, Chirurg 835
Vespucci, A. 570
Vesuv 456, 458, 483
Vibrionen 584
Vielecke 67
—, regelmäßige 58
—, unregelmäßige 58
Viel|faches, kleinstes gemeinschaftliches 14
—flächner 76, 561
—zeller 586, 683
Vier|eck 66
—farbendruck 212
—füßer 684
Vieta, F., Mathematiker 37, 101
Vietascher Wurzelsatz 37
Vigilien 146
Viktoriasee 523
Vikunja 742
Vinylchlorid 351
Violettblindheit 789
violette Strahlen 212
Virchow, R., Pathologe . 604, 836
Viren 584, 838
Viruskrankheiten 584
Viskose 370
—seide 370
Viskosität 128, 191, 192, 194, 283
Viskositätsmessung 301
visuelle Doppelsterne 404
Vitalkapazität 799
Vitaminbedarf des Menschen 810
Vitamine 806, 808
— der Futtermittel 749
Vitamin|präparate, DDR ... 809
—versorgung 810
Vitriole 344
Vögel 600, 716
—, aussterbende 758
—, Brutdauer 706
Vogeleier, Größe 707
—, Masseverhältnisse 708
Vögel, geschützte 757
Vogelherd 750
Vögel, Merkmale 716
Vogel|rufe, Raubvögel 722
—taxonomie 716
—warte Hiddensee 757
Vogelzug 724
—, Erforschung 725, 762
vollsynthetische Fasern 367
Vollwinkel 55
Volt 129, 152, 228
Volta, A., Physiker 152, 255
Voltasche Säule 255
Volta-Staudamm 526
Volumen|dilation 274
— (Einheiten) 127, 130
—gesetz, chemisches 305, 372
—kontraktion 274
— des menschlichen Körpers 774
Volumprozent 274
Vorderindien 532
Vorhof im Ohr 791
Vormenschen 770
Vorsteherdrüse 814
vorübergehende Härte des Wassers 271
Vorzeichen 16
Vorzugstemperatur bei Tieren 700
Vries, H. de 605, 682
Vulkane 454, 482
—, ständig tätige 457
—, wichtigste tätige 456
Vulkanfiber 370
vulkanische Beben 460
Vulkanismus 454
Vulkanite 437
Vulkan|katastrophen 457
—typen 454

W

Waagen für Nullabgleich 167
Waage, P., Chemiker 373
Waals, J. D. van der, Physiker 374
Wachhunde 745
Wachse 365
Wachstum 596, 706, 814
— der Fische 734
Wachstumsgeschwindigkeit in Blüten 629
— des Neugeborenen 709
Wachstumszonen 629
Wägestück, ältestes 152
wahre Ortszeit 113
wahrer Sonnentag 107, 551
— Sterntag 106
wahre Sonne 107
— Zeit 551
Wahrscheinlichkeit, Axiome . 45
—, Definition 43

Wahrscheinlichkeiten, bedingte ... 44
—, unbedingte ... 44
Wahrscheinlichkeitsrechnung. 43
—, Geschichtliches ... 45
Wald ... 535, 678
Wälder der Feuchtsavannenzone ... 535
Waldflächen der Erde ... 535
Waldpflanzen ... 637
—, geschützte ... 758
Wald|statistik ... 535
—steppenzone ... 504
—tundra ... 502
—verbreitung ... 535
—zone ... 502
Wale ... 689, 691, 699, 711, 715
Walroß ... 689, 691, 694, 697
Walsh, D. ... 545, 575
Walze ... 77
Wälzreibung ... 176
wandernde Fische ... 735
Wandertaube ... 756
Warburg, O. H., Physiologe 375, 606, 838
Warmblüter ... 744
—, kleinste ... 695
Wärme ... 213
—, Ausbreitung ... 216
—dämmstoffe, Dichte ... 170
—empfindung ... 793
—kapazität ... 220
—konvektionsströme ... 216
Wärmelehre ... 213
—, Hauptsätze ... 213
Wärme|leiter ... 216
—leitfähigkeit ... 216
—leitung ... 216
—leitzahlen ... 216
—menge ... 128, 214
—pole ... 432
—punkte ... 780, 793
—sinn ... 793
—strahlung ... 216
— und Temperatur ... 214
—tönung ... 304
—, Ursprung ... 214
Warren, J. C., Chirurg ... 836
Waschmittel, synthetische 355, 364
Wasser ... 270, 336, 480, 581
—, Ausdehnung ... 217
—bedarf von Nutzpflanzen .. 626
—büffel ... 741
Wasserdampf, gesättigter ... 219
—, überhitzter ... 220
—, ungesättigter ... 220
Wasser|enthärtung ... 357
—, Entkeimung ... 272
—fälle, höchste, mächtigste .. 518
—flächen der Erde ... 431
—führung von Flüssen ... 513
—gas ... 336
Wassergehalt von Organbestandteilen ... 782
— der Pflanzen ... 625
Wasser|halbkugel ... 480
—, Härte ... 271
—höhlen ... 538
—, Ionendissoziation ... 313
—kesselreaktor ... 252
—leitung in Baumstämmen .. 626
Wassermann, A. v., Bakteriologe ... 837
Wasser|masse der Wolken ... 428
—, mittlerer Ionengehalt ... 271
wasserreichste Flüsse ... 514
— Seen ... 521
Wasserscheiden ... 513
Wasserstoff 289, 294, 296, 314, 336, 345, 579
—brückenbindung ... 269, 303
—elektrode ... 315
—hülle der Erde ... 422
—ionenkonzentration ... 313, 675
Wasserstoffverbindungen ... 336
—, gasförmige ... 336
Wasser|stollen ... 496, 497
—tiefen ... 150
—uhr ... 113
—uhren, älteste ... 121
—verbrauch der Pflanze ... 626
—, Vergleich der Härtegrade 271
—, Zustandsdiagramm ... 272
wäßrige Lösungen ... 273
Watt ... 152, 179
Watt, J., Ingenieur ... 152, 255
Wawilow, S. I., Physiker ... 259
Weber, Maßeinheit ... 129, 152
Weber, W., Physiker 152, 154, 257
Wechsel|jahre ... 819
—strom ... 237
—tierchen ... 583
wechselwarme Tiere 699, 729, 731
Wechsel|wellen ... 460
—winkel ... 56
—wirkungskräfte ... 179, 308
Weck|amine ... 826
—reize, Stärke ... 787
Weddell ... 573
Wehen ... 817
weibliche Fortpflanzungszelle 816
— Geschlechtsorgane ... 815
Weicheisen|instrument ... 235
—platte, abschirmende ... 227
weiches Wasser ... 272
Weich|macher ... 370
—tiere ... 684
Weickmann, L. ... 572
Weidenlaubsänger ... 695
Weierstraß, K., Mathematiker 104
Weilsche Krankheit ... 825
Wein|geist ... 354
—maße ... 139
Weisheitszähne ... 778
Weismann, A., Zoologe ... 605
weiße Blutkörperchen ... 698, 794
Weiße Zwerge ... 409, 411, 412
Weißmeerkanal ... 528
Weißmessing ... 334
Weißsche Bezirke ... 225
Weitsichtigkeit ... 788
Welle im Ährenfeld ... 195, 196
Wellen ... 195
—, allgemeine Eigenschaften . 197
—berg ... 195
—, elektromagnetische ... 198
—gruppe ... 195
Wellenlänge ... 195
— des Lichtes ... 204
Wellenlängen elektromagn. Wellen ... 199
— von Farbtönen ... 788
Wellen|mechanik ... 259
—paket ... 195
—tal ... 195
Wellrad ... 182
Wels, Größe ... 691
Welt|achse ... 378
—all ... 376, 417
—bebenherde der Erde ... 463
—karte, Internationale .. 558, 562
—meer ... 478
—meere, Anstieg ... 512
Weltraum|flüge, bemannte 259, 423
—flug, erster bemannter ... 423
—forschung, Ergebnisse ... 421
Weltzeit ... 111, 112, 426, 551
Wendekreis ... 428, 429
Wenersee ... 521
Werchojansker Gebirge . 487, 500
Werkstoffe ... 369
—, organische großmolekulare 366
Wertigkeit der Atome ... 290
Wertigkeitsstufen der Elemente ... 293
Wespennest ... 737
westeuropäische Zeit ... 111
Wetterbeeinflussung ... 476
Wetterextreme ... 476
Wetterkarte ... 472
— von Europa ... 472
Wetter|regeln ... 474
—vorhersage, langfristige ... 476
Weyprecht ... 572
Whitford, A. E., Astronom .. 426
Wichte ... 130, 168
Widerstand, Anwachsen bei Temperaturzunahme ... 232
—, elektrischer ... 129, 230, 231
Widerstände, Vergleichswerte 231
Widerstands|beiwert ... 176
—thermometer ... 453
Wiederkäuermagen ... 701
Wiederkehrwellen ... 460
Wieland, H., Chemiker ... 606
Wiesenpflanzen, geschützte .. 758
Wild ... 750
—arten, deutsche ... 751
—besatz ... 754
—bret, Nährwert ... 805
—esel ... 743, 744
—fährten und -spuren ... 754
—huhn ... 746
—hühner, einheimische ... 723
—kaninchen ... 746
—pferde ... 743
—schäden ... 753, 754
—schwein ... 742, 753
—tauben, einheimische ... 723
—yak ... 741
Wilkes, Ch. ... 573
Wilkizki, B. A. ... 572
willkürliches Nervensystem 782, 783
Willm, P. ... 545
Wilson, C. T., Physiker ... 258
Wilsonsche Nebelkammer .. 242
Wimpern ... 787
Wimpertierchen ... 683
Winde, regelmäßige ... 467
Wind|höhlen ... 538
—hunde ... 745
—rose ... 433
—schutzstreifen ... 679
Windstärken ... 468
—, Häufigkeit ... 469
Winigradow, I. M., Mathematiker ... 105
Winkel ... 55
— in Alt- und Neugrad ... 145
—beschleunigung ... 127, 163
—, brechender ... 209
— (Einheiten) ... 127
Winkelfunktionen am Einheitskreis ... 71
— im rechtwinkligen Dreieck 70
— im schiefwinkligen Dreieck 75
— siehe auch: trigonometrische Funktionen
—, Verlauf ... 73, 74
Winkel|geschwindigkeit . 127, 161
— halbieren ... 58
Winkelhalbierende ... 56
— im Dreieck ... 64

Winkel|maße 144, 146
—messung 58
— an Parallelen 56
winkeltreu 560
winkeltreue Netzentwürfe ... 562
Winkler, C., Chemiker 374
Winterannuelle 630, 659
winterkalte Wüstenzone 504
Winter|ruhe 700
—schlaf 699, 700
—temperaturen auf Spitzbergen, Abweichungen 478
Wirbelkanal 785
wirbellose Tiere, geschützte .. 758
Wirbelstromtachometer 162
Wirbeltiere, erstes Auftreten . 596
—, Skelettformen 696
—, Stammesentwicklung 600
—, Vorderextremitäten 597
—, wechselwarme 731, 733
Wirbel, Zahl 695
wirkliches (reales) Gas 194
Wirkstoffe 809, 811, 814
Wirkung 179
Wirkungs|grad der Muskeln 779
—querschnitt 242
Wirtschaftstauben 748
Wirtsorganismus 578
Wisent 691, 694, 753, 761
—reservate 759
Wise, W. J., Polarforscher ... 573
Wismut 289, 295, 323, 324, 333
—glanz 333
—ocker 333
Witjastiefe 545, 575
Wißman, H. v. 569
Woche 109
Wofatite 357
Wöhler, F., Chemiker ... 372, 604
Wolf 691, 697, 699, 715, 744, 753, 762
Wolff, C. F., Physiologe 604
Wolf, M., Astronom 426
Wolfram 289, 295, 323, 324, 328, 329
—karbid 334
—legierungen 334
Wolga 515
—-Don-Kanal 528
Wolken|blitz 229
— der Troposphäre 465
Woll|haare 589, 739, 780
—handkrabbe 763
—nutzung bei Schafen 739
Woodmetall 334
Woronoj, I., Arzt 838
Wostok 421, 426
—, sowjetische Forschungsstation 432, 574
Wrangellgebirge 488
Wrangel, V. v. 572
Wunden, Erste Hilfe 833
Wundverschluß 795
Wurf 172, 173
Würfel 76
—raten 49
Wurf|höhe 174
—weite 174
Würmer 708
Wurm|erkrankungen 826
—fortsatz 802
Wurtzit 282
Wurzel|exponent 24
—füßer 683
—kanal 777
—knöllchen 624
—krebs 690
—kröpfe 624
Wurzel, math. 24
Wurzeln, gleichnamige 24
Wurzel des Zahnes 777
—haare 589
—satz, Vietascher 37
—ziehen 24
Wüstenzonen 504, 506

X

x-Achse 81
Xenon 289, 295, 335
Xi-Teilchen 244
Xylole 350

Y

y-Achse 81
Yak 741
— und Rind, Kreuzungen ... 741
Yangdsidiang 516
Yard 154
Yersin, A. J. E., Hygieniker .. 837
Young, Th., Mediziner 255
Ytterbium 289, 295
Yttererden 326
Yttrium 289, 294, 323
Yukatan 533
Yukon 517

Z

Zackelschafe 740
Zagros-Ketten 486
Zahl 1, 2
Zählen 2
Zahlenarten 5
—, Schema 6
Zahl, endliche 5
Zahlenebene, Gaußsche 6, 7
Zahlenfolgen 39, 40
—, Arten 40, 41
Zahlen|gerade 5
—pyramiden 46
Zahlenschrift, babylonisch-sumerische 3
—, sumerische 3
Zahlen|spielereien 46
—strahl 2
—systeme 4
—tafeln, babylonische 3
—theorie 12
Zahl, ganze 5
—, gemischte 13
—, gerade 5
—, größte dreiziffrige 48
—, imaginäre 6, 25
—, irrationale 6, 25
—, komplexe 6
Zählmaße 146
Zahl, natürliche 2, 5
—, negative 5, 16
— π, abgeleitete Werte, Tabelle 70
—, positive 5, 16
—, rationale 5
—, reelle 6
—, relative 16
—, Teilbarkeitsregeln 13
—, unendliche 5
—, ungerade 5
Zahlzeichen 3
—, arabische 4
—, griechische 3
—, indische 4
—, römische 3, 4
—, sumerische 3
Zahn 777
—arme 711
—bein 777
—durchbruch 778
—formel 697, 777
—gewebe, Aufbau 781
—höhle 777
—, Längsschnitt 777
—mark 777
—schmelz 777
—zement 777
Zapfen der Netzhaut 787
Zäsium 289, 295, 323, 324
—chlorid 282
—hydroxyd 341
Zaunkönige 695, 720
Zeemann-Effekt 257
Zehennägel 781
Zehnerpotenzen 23
—, Kehrwerte 24
Zehnersystem 4
Zeichen, mathematische ... 51, 52
Zeit 106
—bestimmung 551
— (Einheiten) 127
—extreme 114
Zeitgleichung 107
—, durchschnittliche Werte .. 107
Zeit|maße 106, 146
—messung 106
Zeitrechnung, bürgerliche ... 108
—, mohammedanische 122
— nach Olympiaden 121
Zeitzeichenempfang 551
Zelle 584, 586, 587
—, Differenzierung 587
Zellen|pflanzen 613
—staat 587
—, verhornte 781
Zell|gewebe 586, 587
—glas 370
—horn 370
—stoff 370
—streckung 629
—teilung ... 587, 588, 592, 629
Zellularpathologie 836
Zell|vergrößerung 596
—vermehrung 596
—verschmelzung 592
Zelluloid 370
Zellulose 355, 356, 370, 581
—azetate 370
—nitrate 370
Zellwolle 370
Zenitpunkt 551
Zentesimalwaagen 167
Zentimeter-Gramm-Sekunden-System 123
Zentral|körperchen 588
—nervensystem 583, 783, 785, 786
—vulkane 454
Zentrifugal|beschleunigung .. 172
—kraft 185, 186
—tachometer 162
Zentrifuge 186
Zentripetal|beschleunigung 162, 185
—kraft 185
Zentriwinkel 68
Zentrum, galaktisches 379
Zeolithen 324
Zer 289, 295, 323
zerebrospinales Nervensystem 782
Zerfallsreaktion 309
Zerfallsreihen, natürliche 249
—, radioaktive 249
Zerfallstheorie 258
Zeriterden 326
Zerreißfestigkeit 190

Zerreißversuch 190
Zersetzungsspannung 319
Ziegenrassen, deutsche 740
Ziegler, K. 375
Zier|pflanzen 657
—sträucher 662
Ziffer 1, 3
—, arabische 4
Ziffernrechengerät, elektronisches 105
Ziliarkörper 787, 788
Zimmer|linde 665
—pflanzen 662, 665
Zink 289, 294, 323, 331, 579
—blende 282, 331
Zinn 289, 294, 323, 332
—lote 334
Zinnober 331
Zinnstein 332
Zins|berechnung, Tabelle 20
—divisoren 19
Zinseszins, Tabelle 21
Zins|formel 19
—fuß 19
—rechnung 19
Ziolkowski, K. E. 258
Zirbeldrüse 783, 812
Zirkon|erde 328
—gewinnung 328
Zirkonium, Zirkon 289, 294, 323, 327, 328
zirkular polarisierte Welle ... 196
Zirkulation der Atmosphäre 478
Zirren 474
Zirro|kumulus 465
—stratus 465
Zirrus 465
Zoll|pfund 154
—verein 144, 154
zonale Naturkomplexe 498
Zonarstrukturen 445
Zonen, geographische 498
—gliederung des Festlandes .. 480
—zeiten 111, 112
zoologische Gärten 761, 762, 763
— Zeichen 690
Zotten 802
Zuchtwahl 601
—, künstliche 602
—, natürliche 602
—theorie 602
Zucker 580
—alkohole 356
—bildung in Pflanzen 625
—kranke, Harnausscheidung 804
—pflanzen 644
Zugfestigkeit 131, 190, 589
Zugvögel, Hauptzugwege ... 724
—, Wandergeschwindigkeit .. 724
Zunge 792
Zungen|muskelnerv 785
—schlundkopfnerv 785
Zürner, F. A. 153
zusammengesetzte Früchte .. 623
Zustandsänderungen idealer Gase 263
—, isobare 264
—, isochore 264
—, isotherme 263
Zustands|bedingungen der Stoffe 262
—funktionen 262
Zustandsgleichung, thermische 263
Zustandsgrößen extragalaktischer Nebel 415
— im Sterninneren 413
Zustandsvariable 262
Zuwachs in der Wachstumszone 629
Zweiersystem 4
Zweigbrüche 13
zweiseitiger Hebel 181
Zweistromhypothese 403
zweiwertige Phenole 357
Zwerge 774
Zwerg|hühner 746
—maus 695
—schimpanse 769
—spitzmaus ... 691, 694, 695, 712
Zwiebelgewächse 657
Zwillinge 817
zwischenatomare Kräfte 301
Zwischenhirn 783, 784
Zwitter 592
Zwitterionen 366
Zwölffingerdarm .. 701, 801, 802
Zyanide 364
Zyanidlaugerei 331
Zyklo|alkane 349
—alkene 349
Zyklone 468
Zykloparaffine 349
Zyklotron 241, 259
Zylinder 77
—entwurf, querachsiger 563
—koordinaten 82, 83
—projektion 560, 561
—spule 226

Griechisches Alphabet

Buchstaben		Name und deutsche Aussprache	Wiedergabe in Antiquaschrift	
Α	*α*	Alpha ['alfa:]	A	a
Β	*β*	Beta ['be:ta:]	B	b
Γ	*γ*	Gamma ['gama:]	G	g
Δ	*δ*	Delta ['delta:]	D	d
Ε	*ε*	Epsilon ['ɛpsilɔn]	E	e
Ζ	*ζ*	Zeta ['tse:ta:]	Z	z
Η	*η*	Eta ['e:ta:]	E	e
Θ	*ϑ*	Theta ['te:ta:]	Th	th
Ι	*ι*	Jota ['jo:ta:]	I	i
Κ	*κ*	Kappa ['kapa:]	K	k
Λ	*λ*	Lambda ['lambda:]	L	l
Μ	*μ*	My [my:]	M	m
Ν	*ν*	Ny [ny:]	N	n
Ξ	*ξ*	Xi [ksi:]	X	x
Ο	*ο*	Omikron ['ɔmikrɔn]	O	o
Π	*π*	Pi [pi:]	P	p
Ρ	*ϱ*	Rho [ro:]	R(h)	r(h)
Σ	*σ* / *ς*	Sigma ['sigma:]	S	s
Τ	*τ*	Tau [tau]	T	t
Υ	*υ*	Ypsilon ['ypsilɔn]	Y	y
Φ	*φ*	Phi [fi:]	Ph	ph
Χ	*χ*	Chi [çi: (ch wie in „ich")]	Ch	ch
Ψ	*ψ*	Psi [psi:]	Ps	ps
Ω	*ω*	Omega ['o:mega:]	O	o

BILDQUELLEN

QUELLENNACHWEIS FÜR FOTOTAFELN

Dr. P. Ahnert, Sonneberg. Mondoberfläche

Dr. Wilfried Andrä, Jena. Weißsche Bezirke (Grobkristallines Kobalt, Einkristall)

VEB Archimedes Rechenmaschinenfabrik, Glashütte/Sa; Foto-Brüggemann, Leipzig. Analogrechner

Astronomiska Institutiones, Lund/Schweden. Milchstraße (Himmelskarte)

Astrosowjet Moskau. Mondrückseite

E. Bartl, Jena. Orionnebel

Bildarchiv der Landwirtschaftsausstellung, Markkleeberg/Leipzig. Hochleistungskuh

Alfred Birkfeld, Leipzig. Lärche; Nestwurz; Bleiches Knabenkraut; Arnika

Birkhäuser Verlag, Basel u. Stuttgart. Sieg des Ziffernrechnens (aus: v. d. Waerden, Erwachende Wissenschaft, 1956)

Siegfried Birkner, Werdau/Sa. Dattelpalme

R. Brandt, Sonneberg. Sonnenflecken; Sonnenprotuberanz; Plejaden

VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer. Verkokung

Prof. Dr. K. v. Bülow, Rostock. Wanderdüne (Luvhang)

Deutsche Fotothek, Dresden. Ammonshorn; Trilobit; Fischechse; Schuppenbaum; Siegelbaum; Steinerner Wald

Deutsches Amt für Meßwesen, Berlin. Urmeter; Urkilogramm

Distribuidora Santiago C. A. Caracas. Angelfall (b)

Dr. Herbert Ecke, Bonn. Wacholder

VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld. Schmelzflußelektrolyse; Chlorkali-Elektrolyse; Vakuumtiefziehmaschine (Foto Brüggemann, Leipzig); Salzsäuregewinnung

VEB Farbenfabrik Wolfen. Autoklaven

Erich Fischer, Hamburg-Blankenese. Heiße Quellen; Eisriesenwelt-Höhle; Steilküste

VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. Aerobacter herbicola (aus: Schussnig, Handbuch der Protophytenkunde, Band I, 1953, nach A. L. Houwink u. W. von Iterson 1950); Bacillus polymyxa Prazmowski (aus: Schussnig, Handbuch der Protophytenkunde, Band I, 1953, nach G. Bringmann 1951); Affenbrotbaum; Eukalyptus; Korkeichenwald (aus: Dr. A. F. W. Schimper, Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage, 1935)

Forstbotanisches Institut, Eberswalde/Berlin. Pinie; Zypresse; Libanonzeder

Dipl.-Ing. Lothar Förster, Berlin. Radioteleskop

Foto-Grafik Georg Ebert, Berlin-Steglitz. Elektromagnet

Verlag Franckh, Stuttgart. Devils Tower (aus: Prof. Dr. K. v. Bülow, Geologie für Jedermann, Kosmosgesellschaft der Naturfreunde; National Park Service)

Prof. Dr. B. Baron von Freytag Löringhoff, Tübingen. Rechenmaschine von Schickard

Erich Fritzsch, Dresden. Sonnenuhr

VEB Galvanotechnik Leipzig. Trommelstraße; Galvanoanlage (Foto Brüggemann, Leipzig)

Dr. Hartsch, Dresden-Plauen. Wanderdüne (Leehang)

Kurt Herschel, Holzhausen/Leipzig. Fischabdruck; Farnabdruck; Sommereiche

Hans-Joachim Hertsch, Mosel bei Zwickau. Armbanduhr

Harro Hess, Berlin-Kaulsdorf. Stromboli

Prof. Dr. J. Hoppe, Jena. Venus; Mars; Jupiter; Saturn

Instituto Antartico Argentino, Buenos Aires. Antarktischer Eisberg

Karl-Marx-Universität Leipzig.
Abt. Landwirtschaftliche Zoologie (Foto Hans Hackethal, Leipzig). Watussirind
Geologisches Institut. Dünnschliffaufnahmen: Granit, Sandstein
Medizinisch-Poliklinisches Institut (Dr. Paul Richter). Röntgenaufnahmen II—V: Brustkorb, Dickdarm, Schädel
Röntgeninstitut. Röntgenaufnahme I: Knochenbruch

Siegfried Kaufmann, Halle. Regenbogen

Emil Kober jun. KG, Karl-Marx-Stadt. Blutdruckmesser (a)

Franz Küstner Nachf., Dresden. Analysen-Schnellwaage

laenderpress, Düsseldorf. Mexikanischer Vulkankegel

Frank W. Lane, Ruislip in England. Tornado (aufgenommen in Minnesota von Miß Lucille Handberg)

Max-Planck-Institut f. Aeronomie, Lindau über Northeim/Hann.; Dr. G. Lange-Hesse. Nordlicht

VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht". Winkler-Generatoren; Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

K. Löchel, Jena. Sonnenkorona

Anton Lübke, Bad Godesberg. Sternwartenuhr

VEB Maßindustrie Werdau; Foto-Winkelmann, Zwickau. Pneumatisches Druckregel- und Anzeigegerät; Hochdruck-Meß- und Steuergerät

Dr. Karl Menninger, Zahlwort und Ziffer, Bd. II, Göttingen 1958. Handabakus

Erich Mrugalski, Konstanz. Blitz

Gerd Müller, Leipzig. Edelkastanie; Winterlinde; Silberdistel; Diptam

Hellmut Opitz, Leipzig. Dederon-Aufwickelmaschine

K. Pietzsch, Freyburg/Unstrut. Frauenschuh; Kugelknabenkraut

Hans Rachel, Aschheim/München. Angelfall (a)

Ludwig Reinhardt, Kulturgeschichte der Nutztiere, München 1912. Altägyptische Haustiere; Zackelschaf

Erwin Reinsch, Berlin. Dreiphasen-Quecksilberdampfgleichrichter

Dr. E. Richter, Leipzig. Normales Gebiß; Gebißwechsel; Paradentose; Wurzelherd; Zyste

Kurt Richter, Bitterfeld. Moderne Sonnenuhr

U. Richter, Tautenburg bei Jena. Karl-Schwarzschild-Observatorium; 2-m-Spiegelteleskop

Dr. Schelcher, Gottleuba. Feuerlilie

Prof. Dr. Konrad Senglaub, Berlin. Korsisches Wildschaf

Springer-Verlag, Berlin. Keilschrifttafel (aus: O. Neugebauer, Mathematische Keilschrifttexte, Tafel 5, 1935)

Staatlicher Mathematisch-Physikalischer Salon, Dresden-Zwinger. Nürnberger Ei (b); Taschensonnenuhr

Dipl.-Ing. Dietrich v. Stockhausen, Dresden. Elmymeter

Technisch-Physikalische Werkstätten, Thalheim/Erzgeb. Elektronenstrahloszillograph

Joachim Terf, Leipzig. Birke; Zirbelkiefer; Tabakskiefer; Araukarie

B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig. Mathematischer Papyrus (aus: Wußing, Mathematik in der Antike); zum Huygensschen Prinzip; Interferenz von Wasserwellen (Foto Brüggemann); Interferenz zweier Wellensysteme

Titelblatt eines mathematisch-geographischen Werkes des 16. Jahrhunderts, Introductio geographica . . ., Ingolstadt 1533. Jakobstab

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk, Dresden. Gleichspannungs-Röntgengerät

Urania Verlag, Leipzig. Erdoberfläche vom Wettersatelliten aus (aus: Urania 6/61)

Verbundnetz Ost. Freiluftschaltanlage

Wissenschaftliche Zeitschrift der Techn. Universität, Dresden, Heft 1/62. Gleitentladung

A. Wolf, History of Science, London 1950. Rechenmaschine von Pascal

R. Wurch, Markkleeberg-West. Analysenwaage; Wägestücke

VEB Carl Zeiss Jena. Ferritkern; Elemente für logische Funktionen; Feinzeigermeßschraube; Universal-Meßmikroskop; Längenmeßmaschine; Lichtschnittmeßgerät; Sekundentheodolit; Spektralphotometer; UV-Spektrograph; Grippeviren (Elmilabor, Dr. Pröger); Kieselalge; Foraminifer; Wechseltierchen; Glockentierchen; Chromosom (a, b); Blattzellen; Zellteilungsstadien; Darmzellen vom Streifenmolch; Keimesentwicklung (Mikrolabor, Dr. Schönfeld)

Zentralbild, Berlin. Ziffernrechenautomat; Nürnberger Ei (a); Dynamo; Winderhitzer; Gipsschwefelsäurewerk; Neutronenaustrittskontrolle; Zyklotron; Mondoberfläche; Komet; Milchstraße; Spiralnebel: Andromedanebel; Matterhorn; Großer Geyser; Erdbeben; Lawine; Gletscher; Kumuluswolken; Wasserbüffel; Kamel; Rentier; Blindenführhund; Versuchstiere für Raketenflüge; Blutdruckmesser (b); Inhalationsnarkose; Intravenöse Narkose; Blutentnahme vom Spender; Blutübertragung; Röntgenzug; Röntgendurchleuchtung; Inkubator; Eiserne Lunge

Zentrale Farbbildagentur GmbH, Heidelberg. Arktischer Eisberg; Halo; Nordlicht

Zentralinstitut für Kernphysik Rossendorf bei Dresden. Kernreaktor

AUSFÜHRUNG DER GEZEICHNETEN FARBTAFELN

Lieselotte Finke-Poser, Radebeul (Knorpelfische und Knochenfische) · Kurt Herschel, Holzhausen/Leipzig (Pilze) · Michael Lißmann, Markkleeberg/Leipzig (Jagdtiere, Vom Aussterben bedrohte Tierarten, Ausgestorbene Tierarten, Geschützte Tiere) · Elisabeth Schlüter, Dresden (Genußmittelpflanzen, Tropische Gewürzpflanzen, Ölpflanzen) · F. W. Martin Wolff, Leipzig (Spektren, Farben, Minerale, Edelsteine, Südfrüchte I, Südfrüchte II, Käfer, Schmetterlinge, Vögel)

QUELLENNACHWEIS FÜR STRICHZEICHNUNGEN

Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig. Atomvolumen (aus: Dr. Heinrich Remy, Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 1954)

Gustav Fischer, Verlag, Jena. Längenwachstum (aus: Prof. Dr. med. Eva Schmidt-Kolmer, Psychometrie als Methode der exp. Hygiene; Zeitschrift für ärztliche Fortbildung)

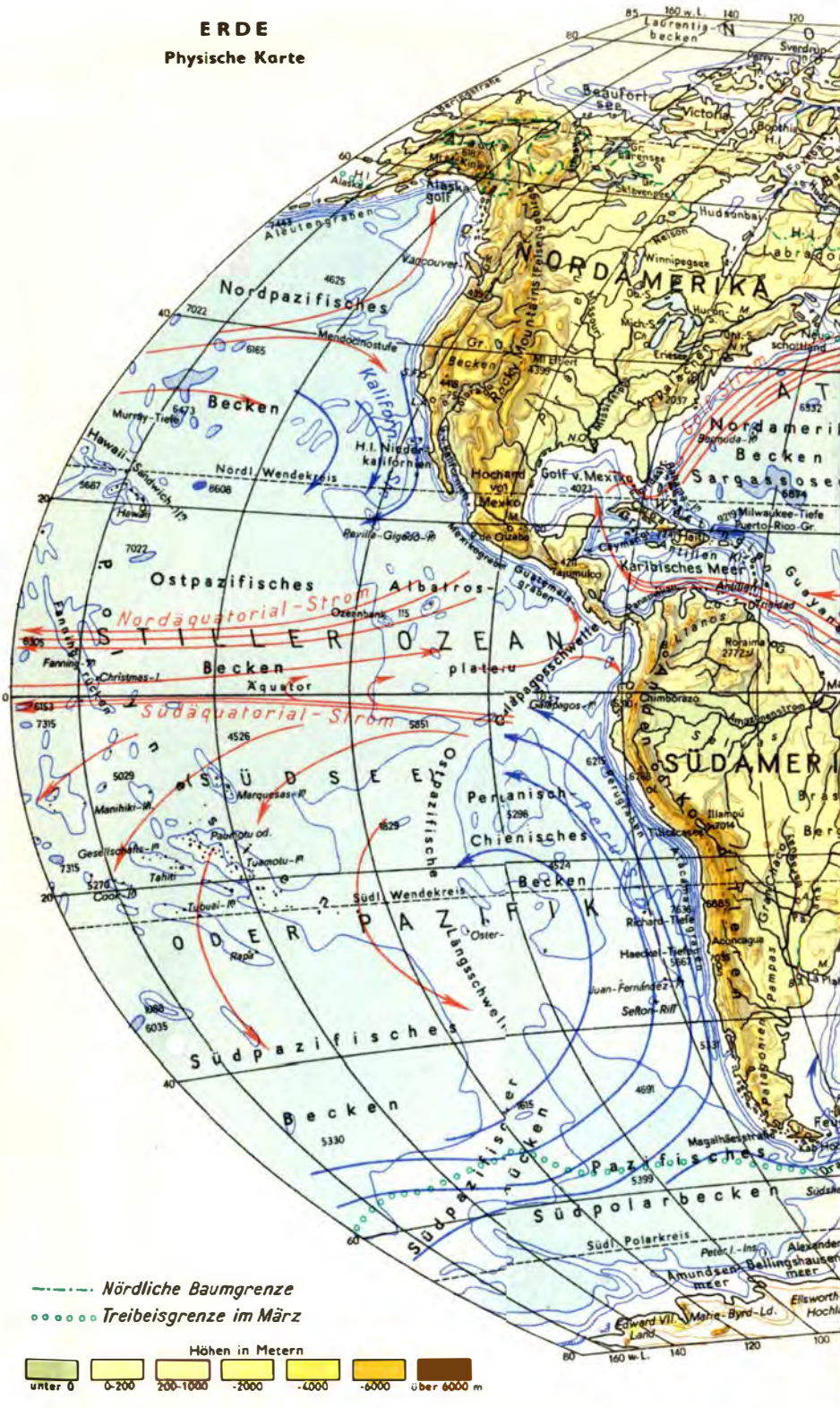
Springer-Verlag, Berlin—Göttingen—Heidelberg. Arten der Registrierung (aus: K. Jung, Kleine Erdbebenkunde, 1953)

AUSFÜHRUNG DER STRICHZEICHNUNGEN

Manfred Arnold, Leipzig · Heinz Bösel, Leipzig · Kurt Dornbusch (verst.), Leipzig · Kurt Herschel, Holzhausen/Leipzig · Dieter Hommel, Leipzig · Michael Lißmann, Markkleeberg/Leipzig · Karl Mohr, Wiederitzsch/Leipzig · Kurt Reinhold, Leipzig · Lothar Roth, Leipzig · Oswald Weise, Leipzig · F. W. Martin Wolff, Leipzig

ERDE

Physische Karte





Mdl der DDR 2038/7/62 K 3.


Maßstab des Mittelmeridians 1 : 100000000
O.Winkels Projektion
(Nachbildung nicht gestattet)
relativ kalte Meeresströmungen
relativ warme Meeresströmungen
Tiefen in Metern
0-200
200-2000
-4000
-6000
-8000
über 8000 m