LEHRBUCH DER PHYSIK

GRUNDSCHULE

Lehrbuch der Physik

für die Grundschule

6. bis 8. Schuljahr

Mit 328 Abbildungen

VOLK UND WISSEN VERLAG · BERLIN / LEIPZIG

Herausgegeben von Georg Sprockhoff

Unveränderter Nachdruck der dritten Auflage (1949)

Bestell-Nr. 6001 3,10 DM gbd. (2,50 DM bei Lieferung über die Schulen) · 796.–925. Tausend

Lizenz Nr. 334 · 1000/51 · I · 49/51

Satz: (III/18/154) B. G. Teubner, Leipzig C 1

Rotations-Kupfertiefdruck: (III/18/97) Deutsche Graphische Werkstätten VEB Leipzig

Inhaltsverzeichnis

Einleitung: Physik im Alltag 5

I. Von der Wärme 7

§ 1 Unser Thermometer 7
§ 2 Ausdehnung der Körper durch Erwärmung 12
§ 3 Ausbreitung der Wärme 17
§ 4 Am Herd und am Gaskocher. Die Wärmeeinheit 22
§ 5 Wir kochen und heizen 24
§ 6 Das Eis schmilzt. Schmelzen und Erstarren 28
§ 7 Verdampfen und Verdichten 30

II. Von den Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper. Von den Kräften 36

§ 8 Wir wägen. Von den Federwaagen 36
§ 9 Eine Mauer wird aufgerichtet 41
§ 10 Von den kleinsten Teilchen. Moleküle und ihre Kräfte 46
§ 11 Unsere Wasserleitung. Verbundene Gefäße 49
§ 12 An der Tankstelle. In der Waschküche. Vom Druck in Flüssigkeiten 51
§ 13 Beim Baden. Auftrieb 57
§ 14 Der Fahrradschlauch. Die Luft ist ein Körper 60
§ 15 Vom Luftdruck und seinen Wirkungen 63
§ 16 Vom Wetter 67
§ 17 Auf dem Spielplatz und am Arbeitsplatz. Hebel und Hebelgesetze 73
§ 18 Beim Hausbau. Rolle. Schiefe Ebene. Keil. Schraube 81
§ 19 Vom Fahrrad und von der Nähmaschine. Zusammengesetzte Maschinen 85
§ 20 Von Arbeit und Leistung. Die Goldene Regel der Mechanik 90
§ 21 Die Wärmekraftmaschinen 93

III. Vom Schall 97

§ 22 Schallausbreitung 97
§ 23 Unsere Musikinstrumente. Von den Tönen 101

IV. Vom Licht 109

§ 24 Die Lochkamera. Das Licht breitet sich geradlinig aus 109
§ 25 Die Mattscheibe. Die Zurückwerfung des Lichtes 112
§ 26 Die Linsen. Lichtbrechung 119
§ 27 Die Blenden. Lichtstärke und Beleuchtungsstärke 123
§ 28 Wir machen eine photographische Aufnahme 126
§ 29 Wir betrachten Lichtbilder. Der Bildwerfer 128
§ 30 Der Sehvorgang 129
§ 31 Optische Geräte für Fern- und Nahbeobachtung 135
§ 32 Das Sonnenlicht und die Farben 140
§ 33 Strahlen als Heilmittel 142

V. Magnetische und elektrische Erscheinungen 145

§ 34 Wir finden uns auf der Wanderung zurecht. Vom Magnetismus 145
§ 35 Die Steckdose und der elektrische Stromkreis. Die elektrische Spannung. Das Volt 149
§ 36 Kochplatte und Bügeleisen. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes .. 153
§ 37 Vom elektrischen Licht 157
§ 38 Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes 160
§ 39 Gleichstrom. Wechselstrom 162
§ 40 Von ruhender und von strömender Elektrizität. Die elektrische Ladung .. 164
§ 41 Vom Gewitter 167
§ 42 Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes. Das Ampere 170
§ 43 Taschenlampenbatterie und Akkumulator 173
§ 44 Der elektrische Widerstand. Das Ohm 176
§ 45 Die Kilowattstunde. Wie teuer ist die elektrische Arbeit? 178
§ 46 Elektrische Nachrichtenübertragung 181
§ 47 Vom elektrischen Kraftwerk. Erzeugung des elektrischen Stromes 185
§ 48 Der Elektromotor 191
§ 49 Von elektrischen Strahlen 194
§ 50 Elektrizität kann gefährlich werden 198

VI. Die Verrichtung von Arbeit durch Maschinen 200

§ 51 Kurze Übersicht über die Entwicklung der Maschinen 200
§ 52 Wasser- und Windkraftmaschinen 201
§ 53 Dampfkraftmaschinen 203
§ 54 Verbrennungskraftmaschinen 208
§ 55 Elektrische Kraftmaschinen 210
§ 56 Von der Energie 212

Sachverzeichnis 215

Physik im Alltag

Wohin wir schauen, sehen wir uns von natürlich entstandenen und künstlich erzeugten Dingen umgeben. Wir betrachten die Wolken, die über uns hinwegziehen, und stellen fest, daß der Regen aus ihnen zu uns herabfällt; wir hören den Kraftwagen auf der Straße vorüberfahren; wir bemerken, daß der Zeiger unserer Wanduhr ständig weiterrückt. Ein andermal schauen wir zu, wie der Nachbar seinen Garten sprengt. Überall beobachten wir im Haus und auf der Straße, in der Stadt und auf dem Lande Vorgänge, die uns in hohem Maße zum Nachdenken anregen. Mit vielen von ihnen werden wir uns in dem neuen Schulfach, der *Physik*[1]), zu beschäftigen haben.

Wir erkennen bald, daß uns die Physik gar nicht so fremd ist, wie man zunächst glauben könnte; wir haben es täglich und stündlich mit ihr zu tun. Wir schalten das elektrische Licht ein; wir schließen den tropfenden Wasserhahn in der Küche; die Mutter bügelt mit dem elektrischen Bügeleisen ein Kleid und wärmt das Essen auf dem Herd. Draußen am Brunnen werden die Eimer mit Wasser gefüllt; wir selbst pumpen mit der Luftpumpe Luft in den Fahrradschlauch. Sprache und Musik tönen uns aus dem Rundfunkgerät entgegen. Wie funktionieren alle diese Geräte? Wie sind die an ihnen beobachteten Erscheinungen zu erklären? Das sind Fragen, die uns immer wieder von neuem bewegen.

Die Antwort auf die Frage nach dem ursächlichen Zusammenhang der Dinge zu finden, ist die Hauptaufgabe aller Naturwissenschaften. Beschränken wir uns – wie es bei den eben genannten Beispielen der Fall ist – auf solche Vorgänge, bei denen eine Änderung in der Zusammensetzung der Stoffe nicht eintritt, so haben wir es mit *physikalischen Erscheinungen* zu tun. Dabei müssen wir auch solche Vorgänge ausnehmen, die mit irgendeiner Lebensäußerung verbunden sind. Unter den Naturwissenschaften kommt der Physik insofern eine besondere Bedeutung zu, als sie die Grundlage für das Verständnis aller Naturvorgänge überhaupt liefert.

Wie jede Naturwissenschaft, baut die Physik ihre Erkenntnisse auf der *Erfahrung* auf, die sie aus unmittelbarer Naturbeobachtung oder aus eigens dazu durchgeführten Versuchen ableitet. *Der Versuch, das Experiment,* bildet die Grundlage jeder wissenschaftlichen Naturbetrachtung. Die notwendige Voraussetzung ist dabei eine scharfe, unbeirrbare *Beobachtung,* in der wir uns

1) physis (griech.) = natürliche Beschaffenheit, Natur

immer mehr vervollkommnen müssen. Was an Erfahrung durch Beobachtung gewonnen wird, verarbeitet dann der denkende Verstand zur naturwissenschaftlichen Erkenntnis. Seit unvorstellbar langer Zeit haben die Menschen die Natur beobachtet und ihr Wissen über die Vorgänge in der Umwelt allmählich erweitert und nutzbringend angewendet. Aus ihren Arbeiten erwuchs, auf bescheidenen Anfängen fußend, unsere neuzeitliche Technik. Wenn uns heute das Telephon, das elektrische Licht, die Nähmaschine, das Fahrrad, der Rundfunk als Selbstverständlichkeiten erscheinen, so dürfen wir nicht vergessen, daß dazu die jahrhundertelangen mühevollen Vorarbeiten zahlreicher Männer und Frauen notwendig waren. Ohne eine vorangehende naturwissenschaftliche Forschung ist ein Fortschritt in der Technik nicht möglich. Manch einer dieser Forscher opferte sein eigenes Wohlergehen, seine Gesundheit, ja, sein Leben, um die wissenschaftliche Erkenntnis ein Stück voranzutreiben. Oft war eine Entdeckung oder Erfindung erst die Krönung der Arbeit eines ganzen Lebens.

Wir werden im Physikunterricht vorzugsweise von den Forschern hören, die auf physikalischem Gebiet tätig waren. Sie trugen dazu bei, uns das unverbrüchliche Wissen zu sichern, daß alles Naturgeschehen nach bestimmten Gesetzen abläuft. Durch ständiges, nie ermüdendes Beobachten, durch Verarbeiten der Versuchsergebnisse in strenger, wissenschaftlicher Denkarbeit gelang es den Physikern, immer tiefer in die Geheimnisse der Natur einzudringen und ihre Gesetzmäßigkeiten zu ergründen. Zahllose, oft sehr mühevolle Versuche gingen dem voraus. Wenn sie nicht zu dem gewünschten Erfolg führten, mußten sie mit großer Geduld unter ständiger Verbesserung der Versuchsbedingungen wiederholt werden. An dem Ringen um das physikalische Weltbild, wie es sich heute unseren Blicken bietet, haben die Forscher aller Kulturvölker Anteil.

Auch wir wollen nunmehr beginnen, in bescheidenem Umkreis in die physikalische Wissenschaft einzudringen; das Buch soll uns dabei Helfer sein. Wir müssen dabei stets an eins denken: Mit dem bloßen Nachlesen ist es nicht getan. Zum wahren Verständnis für physikalische Dinge werden wir nur gelangen, wenn es uns bei unserer Arbeit gelingt, eine Reihe wichtiger Voraussetzungen zu erfüllen:

Wir müssen uns an ein genaues und zuverlässiges Beobachten gewöhnen;

wir müssen lernen, das Zufällige vom Allgemeingültigen zu unterscheiden;

wir müssen uns bemühen, sorgfältig und unvoreingenommen über unsere Erfahrungen nachzudenken;

wir müssen die Ergebnisse unserer Gedankenarbeit durch eigene Versuche auf ihre Richtigkeit hin nachprüfen.

I. *Von der Wärme*

§ 1. Unser Thermometer

1. Ist es im Hausflur kalt oder warm? Wir empfinden die Wärme. Treten wir an einem kalten Wintertag von der Straße in den Hausflur, so freuen wir uns, ins „Warme" zu kommen. Wenn wir jedoch aus dem geheizten Zimmer in den gleichen Flur gehen, so meinen wir, es sei in ihm recht kalt.

Wir empfinden, ob die Luft unserer Umgebung kalt oder warm ist, ob uns friert oder ob uns warm ist. Bei festen und flüssigen Körpern stellen wir durch Anfassen oder durch Betasten fest, ob sie kalt, lau, warm oder heiß sind. Man empfindet also, welchen Wärmezustand der Körper hat. Aber dabei kann man, wie wir oben sahen, manchmal verschiedener Meinung sein und sich täuschen.

Stelle drei Schüsseln nebeneinander! In die linke fülle kaltes, in die rechte warmes Wasser so, daß du gerade noch mit der Hand hineinfassen kannst, ohne dich zu verbrühen! In der mittleren Schüssel mische kaltes mit warmem Wasser! Das Wasser in ihr ist dann lauwarm. Tauche deine Hände einzeln in die äußeren Schüsseln und dann beide in die mittlere. Deine Hände werden dabei zu verschiedenen Feststellungen über den Wärmezustand des Wassers in der mittleren Schüssel kommen, da die eine Hand (welche?) das Wasser als warm, die andere es als kalt empfinden wird. Vertausche die äußeren Schüsseln und wiederhole den Versuch!

Andere Beispiele für die Täuschung beim Feststellen des Wärmezustandes durch das Gefühl: Nach kaltem Abbrausen in der Badeanstalt empfinden wir auch im Winter das Wasser im Schwimmbecken als angenehm warm. Der Keller scheint im Winter warm und im Sommer kühl zu sein, obwohl er im ganzen Jahr fast den gleichen Wärmezustand hat.

Suche weitere Beispiele! Erkläre die Täuschung deines Wärmeempfindens!

Wir erkennen, daß die Ausdrücke heiß, warm, lau, kühl und kalt zur einwandfreien Kennzeichnung des Wärmezustandes nicht ausreichen. Es bedarf dazu der Angabe eines zahlenmäßig feststellbaren *Wärmegrades*, den man als „Temperatur"[1]) bezeichnet.

2. Ein Thermometer wird „geeicht" – Die Messung der Temperatur. Um die Temperatur unserer Umgebung ohne Täuschung durch den Wärmesinn einwandfrei bestimmen und messen zu können, müssen wir uns nach einem zuverlässigen Meßgerät umsehen. Ein solches ist das *Thermometer*[2]).

---

1) temperáre (lat.) = mäßigen, mildern 2) thermós (griech.) = warm; métron (griech.) = Maß

Beschreibe die Thermometer, die ihr zu Hause habt! Welchen *Zwecken* dienen sie? Welche *Einteilungen* findest du auf ihnen?

Abb. 1 zeigt ein **Zimmerthermometer,** das mit Quecksilber gefüllt ist. Dieses Thermometer besteht aus einer engen, überall gleich weiten Glasröhre, die an einem Ende zu einer Kugel oder einer anders geformten, meist länglichen Erweiterung aufgeblasen und am anderen Ende zugeschmolzen ist. Die Kugel und der untere Teil der Röhre enthalten *Quecksilber*, der obere Teil ist luftleer. Quecksilber ist eine silbergraue, schwere, aber leicht bewegliche Flüssigkeit, die merkwürdigerweise als Metall angesehen werden muß; es ist flüssiges Metall. Bei einer Erwärmung der Umgebung des Thermometers beobachten wir ein Ansteigen des Quecksilberfadens, während eine Abkühlung der Umgebung ein Absinken herbeiführt. Es ist dies dadurch zu erklären, daß sich das Quecksilber, wie wir später erfahren werden, beim Erwärmen ausdehnt, beim Abkühlen dagegen zusammenzieht. Dem wechselnden Stand des Quecksilberfadens wird jeweils eine bestimmte Temperatur zugeordnet. Man erreicht dies dadurch, daß man das Thermometer mit einer Skala versieht, die man in einer ganz bestimmten Weise eicht. Wie dies geschieht, werden wir weiter unten sehen.

Abb. 1 Zimmerthermometer

Abb. 2 Fieberthermometer

Statt mit Quecksilber kann das Thermometer auch mit gefärbtem Weingeist (Alkohol) gefüllt sein. In jedem *Haushalt* sollte ein Zimmerthermometer vorhanden sein. Welchen Meßbereich umfaßt es in der Regel? Beachte, daß das Thermometer in Augenhöhe und an einer vom Ofen entfernten Wand (nicht Außenwand) aufgehängt wird! Warum?

Beschreibe ein **Badethermometer!** Ein kaltes Bad soll etwa 20° und ein warmes Bad 35° haben. Was ergibt sich daraus für den Umfang des Meßbereiches? Das Badethermometer muß beim Ablesen stets im Wasser verbleiben.

In der Küche benutzt die Mutter in Verbindung mit dem Einkochapparat das **Einkochthermometer.** Zum Schutze gegen Beschädigungen ist es in eine Blechröhre eingebaut. Seine Skala reicht gewöhnlich von 30° bis 110° und ist mit besonderen Eintragungen versehen; es sind darauf die Temperaturen angegeben, die beim Einwecken verschiedener Speisen eingehalten werden müssen. Sieh dir eine solche Skala an und stelle fest, welche Temperatur z. B. zum Einkochen von Obstsäften, von Marmelade und von Fleisch angewendet werden muß!

Das Fieberthermometer (Abb. 2) darf in keinem Haushalt fehlen. Seine Gradeinteilung reicht von 35° bis 42°. Warum sind bei ihm die einzelnen Grade noch in Zehntelgrade eingeteilt? Wie ist auf der Skala die normale Bluttemperatur des menschlichen Körpers, 37°, kenntlich gemacht? Wie wird das Thermometer zur Messung der Körperwärme benutzt? Der Quecksilberfaden darf vor und bei der Ablesung der Temperatur nicht zurückgehen. Deshalb weist die Steigröhre

des Thermometers knapp über dem Quecksilberbehälter eine Verengung auf. Durch diese wird das Quecksilber beim Steigen wohl hindurchgetrieben, kann aber beim Sinken der Temperatur nicht wieder zurück. Vor einem neuen Gebrauch des Fieberthermometers muß man das Quecksilber stets mit einem kräftigen Ruck in das untere Gefäß zurückschleudern.

Wie wird ein Thermometer „geeicht", d. h. wie wird seine Gradeinteilung festgelegt? Um ein Versuchsthermometer zu eichen, wird es in einen Trichter mit schmelzenden Eisstückchen und dann in die Dämpfe siedenden Wassers gehalten. In beiden Fällen kennzeichnet man auf dem Thermometer genau die Stelle, an der der Quecksilberfaden jeweils endet (Abb. 3 und 4).

Abb. 3 Schmelzpunkt des Eises

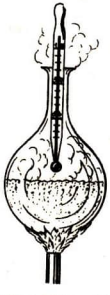


Abb. 4 Siedepunkt des Wassers

Im schmelzenden Eis und ebenso in den Dämpfen von siedendem Wasser liegt das Ende des Quecksilberfadens immer in ganz bestimmter Höhe.

Den Punkt, auf den sich der Quecksilberfaden im schmelzenden Eis einstellt, bezeichnen wir mit 0° (Schmelz- oder Gefrierpunkt).

Der Stand, den das Quecksilber in den Dämpfen des siedenden Wassers erreicht, wird mit 100° bezeichnet (Siedepunkt). So oft die Versuche auch wiederholt werden, immer wieder stellt sich der Quecksilberfaden gleich hoch ein. Nach Festlegung dieser beiden Punkte teilt man den Abstand zwischen dem Schmelzpunkt und dem Siedepunkt in 100 gleiche Teile oder Grade. So entsteht die heute in Deutschland und in vielen anderen Ländern übliche, von dem Schweden *Celsius* eingeführte hundertteilige Thermometerskala. In allen wissenschaftlichen Arbeiten hat sie internationale Geltung.

Den Schmelzpunkt des Eises und den Siedepunkt des Wassers nennt man die Fest- oder Fixpunkte des Thermometers. Die Skalenstrecke zwischen beiden, Fundamentalabstand genannt, wird in hundert gleiche Teile oder Grade eingeteilt.

Um Temperaturen über 100° oder tiefere unter 0° zu messen, wird die Einteilung über die Festpunkte hinaus fortgesetzt.

Die Grade über Null werden mit „+" [plus[1]], die Grade unter Null mit „–" [minus[2]] bezeichnet. Hinter die Gradzahl wird der Buchstabe „C" (Celsius) gesetzt. Was bedeuten also +4°C, –17°C, +37°C?

Außer der heute weitverbreiteten Celsiusskala gibt es noch zwei andere Thermometerskalen. Der Franzose *Réaumur* teilte den Fundamentalabstand in 80 Grade

1) plus (lat.) = mehr 2) minus (lat.) = weniger, geringer

ein; ältere Thermometer zeigen noch die nach ihm benannte Skala neben der Celsiusskala. Die erste Thermometerskala schuf *Fahrenheit.* Er teilte den Abstand zwischen den beiden Fixpunkten in 180 Grade ein und setzte den Nullpunkt tiefer an. Die Fahrenheit-Einteilung wird zur Zeit noch in England und Amerika benutzt.

Einige Temperaturen:

Elektrischer Lichtbogen ..	etwa 4000° C	Gelbglut der Metalle.....	etwa 1100° C
Flamme des Schweißbrenners.....	„ 2000° C	Holzfeuer.....	„ 800° C
Weißglut der Metalle	„ 1300° C	Rotglut der Metalle	„ 700° C
Kohlenfeuer	„ 1200° C	Menschlicher Körper	„ 37° C
		Tiefste erzielte Temperatur	— 273° C

3. Woher kommt die Wärme? Wärmequellen. Im Winter spendet der **Ofen** unserer Stube die Wärme. Holz und Kohle brennen in ihm. Unsere große *natürliche Wärmequelle* ist die **Sonne.** Wir sehen die Sonne als gelblichweiße Scheibe am Himmel stehen. Sie ist eine glühende Kugel von gewaltiger Größe. Ihr Durchmesser beträgt 1 390 000 km, ist mithin reichlich dreieinhalbmal so groß wie die Entfernung des Mondes von der Erde.

Die Sonnenwärme ist lebensnotwendig für Mensch, Tier und Pflanze. Ohne die wärmende Sonne wäre sehr bald alles Wasser der Erde zu Eis erstarrt und alles Leben auf der Erde unmöglich.

Die Wärmeeinstrahlung von der Sonne her ist aber nur bis zu einer verhältnismäßig geringen Tiefe von Einfluß. Schon in ein bis zwei Metern unter der Erdoberfläche sind tägliche Temperaturschwankungen kaum festzustellen, und steigen wir zwanzig und mehr Meter unter die Erdoberfläche hinab, so treffen wir auf Temperaturen, die das ganze Jahr gleich bleiben. Vom Wechsel der Jahreszeiten, von Sommer und Winter, ist dort unten nichts mehr zu merken.

Dabei wollen wir nicht vergessen, daß auch die Erde in ihrem Inneren warm ist. Warum vergraben sich z. B. Wassertiere in der kalten Jahreszeit im Schlamm? In den Bergwerken, die häufig mehrere Hunderte von Metern unter der Erde liegen, leiden die Bergleute oft unter großer Wärme. Die Häuer arbeiten mit entblößtem Oberkörper. Diese Feststellungen lehren, daß die Temperatur beim Eindringen in die Erde allmählich zunimmt. Beim Hinabsteigen um je etwa 30 m erhöht sich die Temperatur jeweils um 1°. Erkläre das Auftreten von heißen Quellen!

Wir besuchen eine Schmiede. (*Künstliche Erzeugung der Wärme.*) Beim Betreten der Werkstatt erblicken wir den Meister am Schmiedefeuer. Er schüttet mit einer Schaufel Kohlen in die Glut. In der Hitze des Schmiedefeuers wird das Eisen weich und formbar. Kohle und andere **Brennstoffe** liefern bei der Verbrennung die Wärme. Unterscheide: Steinkohle, Koks, Braunkohle, Braunkohlenbriketts, Torf, Holzkohle! Welche Kohlenart verwendet der Schmied? Welche Kohlenarten bevorzugt man im Haushalt?

Welche anderen Brennstoffe als die genannten kennst du noch?

An der Bohrmaschine sehen wir, wie der scharfe Stahlbohrer in das Eisen eindringt. Du willst nach Abschalten der Maschine ein paar Eisenspänchen vom Bohrer mit dem Finger abstreifen; aber du fährst erschreckt mit der Hand zurück; der Bohrer ist glühend heiß.
Auch beim *Feilen* und *Sägen* werden Werkzeug und Werkstück warm. Im Winter reibt man die Hände aneinander oder am Mantel, um sie zu erwärmen. Drücke eine Münze auf ein rauhes Brett und reibe sie hin und her! Erkläre das Heißlaufen von Radachsen! Wie wird es verhindert?

Durch Reiben entsteht Wärme.

Ein Nagel kann auch durch Hammerschlag glühend heiß gemacht werden. Die Erzeugung der Wärme durch *Reibung* hat von jeher eine besondere Rolle gespielt. Beschreibe und erkläre das *Feuerbohren* bzw. *Feuerquirlen* der Indianer (Abb. 5) und versuche es selbst; überlege, ob sich jede Holzart dazu verwenden läßt! Streiche leicht mit einem Zündholz über die Reibfläche einer Streichholzschachtel! Verstärke den Druck und führe die Reibung mit einer größeren Geschwindigkeit aus! Du erwärmst dadurch den Streichholzkopf so stark, daß er entflammt. Erkläre auch das Feuerschlagen mit Stahl, Feuerstein und Zunder, wie es früher allgemein im Gebrauch war, ehe die Zündhölzer aufkamen!
Ganz ähnliche Vorgänge wie beim Feuerschlagen spielen sich übrigens in unseren neuzeitlichen Feuerzeugen (Abb. 6) ab. Wir erkennen in ihnen als wichtigsten Bestandteil den Zünd- oder Feuerstein. Beim Drehen des Rädchens werden durch Reibung wie bei einer Stahlfeile Teilchen vom Zündstein abgerissen, die infolge der Reibungswärme ins Glühen geraten. Sie entzünden den Benzindampf oberhalb des Dochtes. In gleicher Weise entzünden die Funken des Gasanzünders das aus den Düsen der Kochstelle austretende Leuchtgas.
Auch der elektrische Strom erzeugt Wärme. Der elektrische Kocher, das elektrische Bügeleisen, die Glühlampen und das Heizkissen sind Beispiele für die mannigfachen Geräte, die elektrischen Strom in Wärme verwandeln. Bei der Besprechung dieser Geräte werden wir erfahren, wie solche Umwandlungen vor sich gehen.

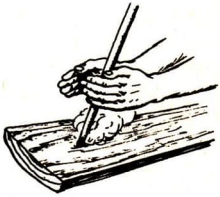


Abb. 5 Feuerquirlen der Indianer

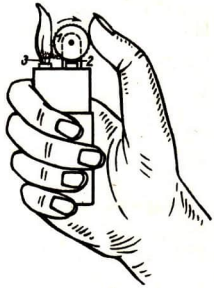


Abb. 6 Neuzeitliches Feuerzeug
1. Gezähntes Rad (Feile),
2. Zündstein, 3. Docht

Wärme kann durch Verbrennen, durch Reiben, durch Schlagen und durch den elektrischen Strom erzeugt werden.

Das Verbrennen ist ein *chemischer* Vorgang. Wir werden später lernen, daß Wärme auch bei vielen anderen chemischen Vorgängen frei wird.

§ 2. Ausdehnung der Körper durch Erwärmung

1. Die Suppe läuft über – Ausdehnung der Flüssigkeiten. Die Mutter hat den Suppentopf auf den warmen Herd gesetzt. Versehentlich hat sie ihn bis oben an den Rand gefüllt, aber doch nicht so voll, daß von dem Inhalt etwas über den Rand läuft. Nun erwärmt sich der Topf, und es dauert gar nicht lange, so merken wir an einem Zischen auf dem heißen Herd, daß Flüssigkeit über den Rand des Topfes rinnt. Wie ist das zu erklären? Eine ähnliche Erscheinung beobachtet man beim Kartoffelkochen, wenn die Mutter die Kartoffeln nicht ganz mit Wasser bedeckt und einen Deckel verwendet, der in den Topf hineinpaßt. Da kommt es vor, daß das Wasser über dem Deckelrand steht, bevor die Kartoffeln kochen.

Folgender Versuch gibt uns die Erklärung: Ein Kochkolben wird bis obenan mit gefärbtem Wasser gefüllt und durch einen Gummistopfen mit einer langen, engen Glasröhre fest verschlossen (Abb. 7). Eine Papiermarke zeigt den Wasserstand in der engen Röhre an. Erwärme das Wasser vorsichtig und verfolge das Steigen des Wasserstandes! Beobachte den entgegengesetzten Vorgang beim Abkühlen!

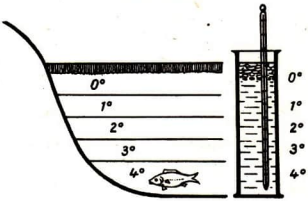
Vergleiche dieses Verhalten mit dem Steigen und Fallen der Flüssigkeitssäule im Thermometer!

Flüssigkeiten dehnen sich bei Erwärmung aus und ziehen sich bei Abkühlung zusammen.

Abb. 7
Ausdehnung von Wasser bei Erwärmung

Verfolge das Verhalten des Wassers beim weiteren Abkühlen! Bringe in ein hohes Standglas eiskaltes Wasser und eine dicke Schicht Eisstücke! Sodann rühre gut um und lasse das Glas ruhig im Zimmer stehen! Nach einiger Zeit tauche langsam ein Thermometer ein! Du stellst fest, daß die Temperatur an der Oberfläche 0° C beträgt und gegen den Boden des Gefäßes allmählich bis 4° C zunimmt (Abb. 8). Das Wasser von 0° C ist leichter als das Wasser von 4° C.

Abb. 8
Temperaturverteilung im Wasser beim Abkühlen



Um die Ursache für diese Zusammenhänge zu erkennen, führen wir in den oben benutzten Kolben mit Hilfe eines doppelt durchbohrten Stopfens neben der Glasröhre ein Thermometer ein und stellen den Kolben in eine Kühlmischung (Schnee oder Eisstückchen und Salz). Die gleichzeitige Beobachtung des Wasserstandes

und des Thermometers zeigt, daß sich das Wasser während der Abkühlung bis zu 4° zusammenzieht und sich bei weiterem Abkühlen bis auf 0° wieder ausdehnt.

Das Wasser zieht sich also beim Abkühlen nicht ständig zusammen und dehnt sich umgekehrt beim Erwärmen nicht ständig aus; es nimmt bei 4°C seinen kleinsten Raum ein. Die gleiche Raummenge Wasser ist also bei 4°C vergleichsweise schwerer als bei höheren oder tieferen Temperaturen.

Diese auffallende Eigenschaft, durch die sich das Wasser von allen anderen Stoffen unterscheidet, spielt im Haushalt der Natur eine äußerst wichtige Rolle. In der kalten Jahreszeit werden Seen und Teiche von der Oberfläche her abgekühlt. Die abgekühlten Schichten sinken wegen ihrer größeren Schwere zunächst nach unten. Sobald jedoch an der Oberfläche die Temperatur von 4° unterschritten wird, sinkt das Oberflächenwasser nicht mehr auf den Boden des Sees, weil es nun wieder leichter ist als das Wasser am Grunde (4°). Deshalb gefrieren stehende Gewässer von der Oberfläche aus und nicht vom Grunde her. Diesem Verhalten des Wassers ist es zu verdanken, daß bei genügender Tiefe der Gewässer das Leben von Tieren und Pflanzen im Wasser auch in strengster Winterzeit möglich bleibt.

Bei starkem Frost gefriert oft das Wasser in der Wasserleitung oder in den Heizkörpern. Das Eis, das sich gebildet hat, zersprengt die Röhren. Hieraus müssen wir schließen, daß sich das Wasser beim Gefrieren ausdehnt. Das Wasser verhält sich anders als andere Flüssigkeiten, die sich auch beim Erstarren noch zusammenziehen.

Fülle ein Probiergläschen 10 cm hoch mit eiskaltem Wasser und markiere genau den Stand der Wassersäule! Tauche das Gläschen in Schnee, dem etwas Kochsalz beigemischt ist, und nimm es nach einiger Zeit, wenn alles Wasser im Probiergläschen zu Eis erstarrt ist, wieder heraus! Die entstandene Eissäule ist ungefähr 11 cm lang.

Wasser von 0° dehnt sich beim Gefrieren etwa um ein Zehntel seines Rauminhaltes aus.

Hierauf beruht die Sprengwirkung des Eises. Eine mit Wasser gefüllte, fest verschlossene Flasche zerspringt beim Gefrieren des Wassers. In die Spalten der Gesteine sickert Wasser, im Winter gefriert es dort und treibt die Felsen auseinander; darauf beruht zum Teil die Verwitterung der Felsen und Gesteine. Wodurch wird der Ackerboden im Winter aufgelockert? Weshalb friert die Hauswasserleitung in der Nacht leichter ein als am Tage? Warum läßt man an strengen Wintertagen das Wasser aus den Hähnen ständig schwach laufen? Warum genügt nicht das Abstellen der Hauswasserleitung in der Nacht, wenn nicht die Leitungsrohre gleichzeitig entleert werden? Erkläre, aus welchem Grunde Wasserleitungsrohre im Freien mindestens 80 cm unter der Erdoberfläche verlegt werden müssen! Beachte, daß sich das Wasser beim Erstarren anders verhält als die meisten anderen geschmolzenen Körper! Geschmolzenes

Eisen zieht sich beim Erstarren zusammen. Das kann man auch an geschmolzenem Stearin oder Paraffin beobachten, wenn man ein paar Kerzenreste in einer Blechschachtel schmilzt und dann erstarren läßt.

Abb. 9 Luft dehnt sich beim Erwärmen aus

2. Ein Fahrradschlauch platzt – Ausdehnung der luftförmigen Körper. An heißen Sommertagen stellt ein Radfahrer sein Rad niemals in die heiße, pralle Sonne. Stets sucht er zum Abstellen den Schatten eines Hauses oder Baumes auf. Beachtet er diese Vorsichtsmaßnahme nicht, so gibt es unter Umständen eine „kleine Explosion": ein Schlauch des Rades platzt mit lautem Knall. Ein einfacher Versuch soll die Erklärung bringen.

Tauche eine Kochflasche, durch deren durchbohrten Verschlußstopfen ein Glasrohr eingeführt ist (Versuchsanordnung s. Abb. 9), mit dem Ende des Rohres in Wasser und umfasse die Flasche mit deinen warmen Händen! Was zeigen die entweichenden Luftblasen? Bestreiche die Kochflasche vorsichtig mit einer schwachen Flamme! Beobachte bei der Abkühlung das Emporsteigen des Wassers in der Glasröhre! Erkläre diese Erscheinung! Wiederhole den Versuch nach Füllung der Flasche mit Leuchtgas!

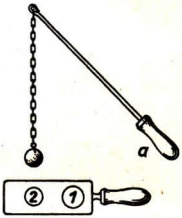


Abb. 10 Ausdehnung fester Körper beim Erwärmen

Die Luft und andere Gase dehnen sich beim Erwärmen sehr stark aus, beim Erkalten ziehen sie sich wieder zusammen.

3. Ausdehnung der festen Körper. Wir beobachten folgende Erscheinungen: Beim Feuermachen im Küchenherd erblickt man die Flamme durch die Ritzen und Fugen zwischen den Platten oder Ringen. Ist der Herd aber erst heiß, so sind alle Zwischenräume verschwunden. – Wenn der Drogist oder der Chemiker bei einer Chemikalienflasche mit eingeschliffenem Glasstöpsel den fest im Flaschenhals sitzenden Stöpsel lockern will, hält er den Flaschenhals vorsichtig über eine Flamme, um ihn durch Erwärmen zu weiten. (Die Flasche darf keinen feuergefährlichen Stoff enthalten!) – Eine Messingkugel (Abb. 10), die mit einer Kette an dem Halter *a* befestigt ist, gleitet durch das Loch 1 einer Messingplatte gerade noch hindurch, nicht aber durch das Loch 2, das etwas kleiner ist als 1. Die erwärmte Kugel fällt nicht mehr durch die Öffnung 1. Die kalte Kugel kann man andererseits durch das Loch 2 hindurchführen, sobald man die Platte vorher erwärmt hat. Kühlt sich die Platte wieder ab, so kann man die Kugel nicht mehr zurückführen. Wie kann man sich helfen?

An einem Eisendraht, den man zwischen zwei Pfosten einer Stuhllehne spannt (Abb. 11), hängt man ein Gewicht oder einen anderen schweren Körper in der

Mitte auf. Man erwärmt den Draht durch Bestreichen mit einer Gas- oder Spiritusflamme. Was geschieht?

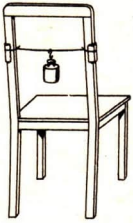


Abb. 11
Was geschieht bei der Erwärmung des Drahtes?

Die festen Körper dehnen sich beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen wieder zusammen.

Mit dieser Erkenntnis kann man eine sehr große Anzahl von Vorgängen des täglichen Lebens deuten:

Einmachegläser springen leicht, wenn man heiße Früchte hineinschüttet. Das gleiche geschieht häufig mit dickwandigen Flaschen, wenn heiße Flüssigkeiten eingefüllt werden. – Warum ist es für den Zahnschmelz schädlich, zu heiße oder zu kalte Speisen mit den Zähnen in Berührung zu bringen? – Eisenbahnschienen würden sich bei starken Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter werfen und verziehen, wenn sie lückenlos verlegt würden. Warum kann man diesem Übelstand durch kleine Zwischenräume, sog. Schienenstöße (Abb. 12), begegnen? – Auch der Schmied kennt die Wärmeausdehnung der festen Körper sehr gut und nutzt diese Naturerscheinung aus, wenn er einen Eisenreifen auf ein Rad aufziehen will (Abb. 13). Wie geht er dabei vor? – Ebenso muß der Brückenbauer an die Ausdehnung der Körper denken. Die Träger eiserner Brücken sind nur an einem Ende fest mit dem Widerlager verbunden, während sie mit dem anderen Ende auf Walzen liegen (Abb. 14).

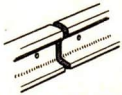


Abb. 12 Schienenstoß

Nenne weitere Beispiele!

Abb. 13 Der Schmied zieht einen eisernen Radreifen heiß auf

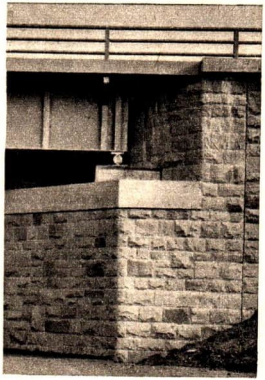


Abb. 14 Brücke mit Walzenlager

Abb. 15
Eisen-Zink-Streifen biegt sich bei Erwärmung (die Krümmung ist stark übertrieben gezeichnet)

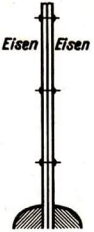


Abb. 16
Doppelstreifen aus Eisen biegt sich bei Erwärmung nicht

Auf Straßen mit Asphaltpflaster kann man mitunter beobachten, daß sich dieses im Sommer wölbt und daß es im Winter reißt. Auch in einer Zementdecke kann man Risse und Sprünge nach Temperaturschwankungen feststellen.

Wir sehen, daß die Erscheinungen der Wärmeausdehnung im *Haushalt*, im *Handwerk* und in der *Technik* eine große Rolle spielen.

Die Ausdehnung und die Zusammenziehung der Körper bei Temperaturänderungen erfolgt mit großer Kraft.

Wir legen uns noch die Frage vor, ob sich alle festen Körper *gleich* stark ausdehnen. Ein Versuch gibt uns Aufklärung:

Ein Eisen- und ein Zinkblechstreifen (Abb. 15) sind aufeinandergenietet, mit dem unteren Ende fest eingeklemmt und werden erhitzt. Der Doppelstreifen biegt sich nach der Eisenseite zu. Welches Metall dehnt sich stärker aus? Ein Doppelstreifen aus Eisen zeigt dagegen beim Erhitzen keine Krümmung (Abb. 16).

Die Größe der Ausdehnung ist für jeden Stoff eine andere.

Während eiserne Träger im Mauerwerk mit Spielraum eingelassen werden müssen, baut man Pfeiler, Decken, Brücken, Masten usw. aus Eisenbeton so, daß die Eisenstäbe fest und vollständig im Beton liegen. Warum fehlen hier die Zwischenräume? Zement (Beton) und Eisen können beim Bau fest miteinander verbunden werden, weil ihre Ausdehnung fast gleich groß ist, nicht aber Eisen und Mauerwerk.

In der Technik spielt die Ausdehnung durch Erwärmung eine große Rolle. Ingenieure und Techniker müssen für ihre Berechnungen genau wissen, wie sich die einzelnen Stoffe ausdehnen. Deshalb haben die Physiker alle Stoffe auf ihre Ausdehnung durch Wärme untersucht. Die Meßergebnisse hat man in Zahlentafeln zusammengefaßt, aus denen für jeden Stoff entnommen werden kann, um welchen Teil seiner Länge sich ein Körper bei Erwärmung um 1° C ausdehnt.

Bei Erwärmung um 100° C dehnen sich aus:

ein 1 m langer Eisenstab	um 1,2 mm	ein 1 m langer Zinkstab	um 3,0 mm
„ 1 m „ Kupferstab	„ 1,6 mm	„ 1 m „ Glasstab	„ 0,9 mm.

Alle Körper dehnen sich beim Erwärmen aus, und zwar die festen am wenigsten, die flüssigen etwas mehr, die luftförmigen am stärksten. Die Ausdehnung geht mit großer Kraft vor sich. Bei der Abkühlung ziehen sich die Körper wieder zusammen.

Rechne:

1. Eine 30 m lange Eisenbahnschiene erwärmt sich vom Winter zum Sommer um 40° C. Um wieviel mm dehnt sie sich dabei aus?
2. Ein 500 m langes Teilstück des kupfernen Oberleitungsdrahtes einer Straßenbahn kühlt sich bei einem Temperatursturz um 20° C ab. Um wieviel verkürzt es sich dabei?
3. Eine eiserne Brücke hat eine Stützweite von 120 m. Man rechnet zwischen Sommer und Winter mit einem Temperaturunterschied von 50° C. Welchen Spielraum muß das auf Rollen lagernde Brückenende haben?

§ 3. Ausbreitung der Wärme

1. Kachelofen oder eiserner Ofen? Wärmeleitung. Wenn die Mutter im Winter den Kachelofen heizt, dauert es eine ganze Weile, ehe man die vom Feuer abgegebene Wärme beim Berühren der Außenwand des Ofens verspürt, aber nach einiger Zeit ist der ganze Ofen warm. Der Feuerhaken, mit dem man im Feuer schürt, wird bald auch an dem Ende warm, das nicht vom Feuer umgeben ist.

So zeigt uns die tägliche Erfahrung, daß sich der Ofen und viele andere Körper auch an den Stellen erwärmen, die nicht unmittelbar mit einer Flamme in Berührung kommen. Die Wärme geht also von den erwärmten Stellen des Körpers auf die benachbarten kalten Stellen über. Sie breitet sich im Körper aus.

Ein solcher Wärmeübergang heißt Wärmeleitung. Sie erfolgt immer von den warmen Stellen eines Körpers zu den benachbarten kälteren hin.

Bei einem eisernen Ofen geht dieser Vorgang viel schneller vor sich. Wenige Minuten nach dem Anheizen ist die Wärme durch den eisernen Mantel des Ofens hindurchgedrungen, und man spürt alsbald beim Berühren ihre Wirkung. Eisen leitet die Wärme schneller fort als Kacheln. Führe folgenden Versuch aus:

Fasse eine Stricknadel und einen ebenso dicken, gleich langen Kupferdraht an dem einen Ende an und halte beide *zu gleicher Zeit* mit dem anderen Ende in eine Flamme! Welchen der beiden Körper wirst du zuerst fallen lassen müssen? Wiederhole denselben Versuch mit einer Stricknadel und einem Glasstab von gleicher Länge! Die Stoffe leiten die Wärme verschieden gut. Körper, die die Wärme schnell weiterleiten, heißen **gute Wärmeleiter.** Zu ihnen gehören alle Metalle, wie Silber, Kupfer, Zink, Eisen und Blei. **Schlechte Wärmeleiter** sind Holz, Wolle, Stroh, Papier und Glas.

Nun wird uns auch klar, warum man in der Küche den heißen Suppentopf mit dem Topflappen vom Herd nehmen kann, ohne sich die Finger zu verbrennen.

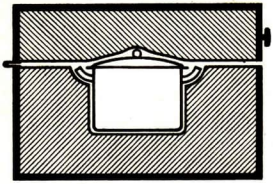


Abb. 17 Kochkiste

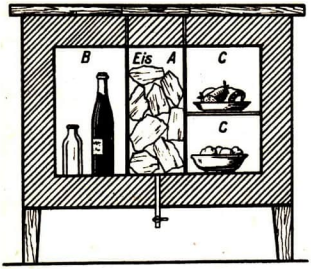


Abb. 18 Eisschrank

Abb. 19
Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter

Wenn man im Bett liegt, deckt man sich mit einem Federbett zu. Darf man sagen: Das Federbett wärmt mich? Nein! Das Bett schützt uns nur davor, daß unsere Körperwärme an die Umgebung abgegeben wird. Die lockeren, lufthaltigen Stoffe (Federn) verhindern die Wärmeabgabe.

Die Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter. Das wirkt sich jedoch nur dann aus, wenn sie *kleine* Räume ausfüllt, da sonst andere Möglichkeiten der Wärmeausbreitung in ihr bestehen.

Gute und schlechte Wärmeleiter, unter ihnen auch lufthaltige Stoffe, wie Holzwolle oder Watte, werden im Hause in der mannigfachsten Weise verwendet. Will die Hausfrau beim Kochen an Brennstoff sparen, so benutzt sie eine Kochkiste (Abb. 17), in die der Kochtopf genau hineinpaßt. Sie kocht das Gemüse und andere Gerichte nur kurz an und stellt den Topf dann schnell in die Kochkiste. Diese ist innen mit Werg, Wolle, Stoffresten, zerknülltem Zeitungspapier, Holzwolle oder Watte ausgepolstert und verhindert so, daß die Wärme nach außen abgegeben wird. Auch beim *Eisschrank* (Abb. 18) sind die Wände mit schlechten Wärmeleitern ausgekleidet, damit von außen keine Wärme in den Innenraum des Eisschrankes eindringen kann. (Bau der Kühlhäuser und Eiskeller.)

Ein Versuch zeigt uns, zu welcher Gruppe der Wärmeleiter das Wasser gehört. In ein Probiergläschen bringen wir ein mit Draht beschwertes Eisstückchen, das im Wasser untersinkt (Abb. 19). Wir können das Wasser im oberen Ende des Gläschens zum Sieden bringen, ohne daß unten das Eis schmilzt.

Wasser ist ein schlechter Wärmeleiter.

2. Die Warmwasserheizung - Wärmeströmung. Die Warmwasserheizung in großen Schulgebäuden ist eine *Sammel-* oder *Zentralheizung,* bei der durch *einen* Ofen mehrere Heizkörper erwärmt werden.

Folgender Versuch soll uns die Ausbreitung der Wärme in der Warmwasserheizung veranschaulichen. Wir füllen ein ringförmiges Glasrohr mit Wasser (Abb. 20), dem einige Sägespäne beigemischt sind, und erwärmen das Rohr dann an einer Knickstelle. Das Wasser beginnt zu strömen.

Ähnliches zeigt ein weiterer Versuch: Wir stellen ein mit Wasser gefülltes Gefäß aus dünnem Glas über eine Flamme. Es dauert nicht lange, bis sich auch die oberen Wasserschichten erwärmen. Wirf in das Glasgefäß ein paar Kristalle von übermangansaurem Kali und beobachte die Verfärbung des Wassers! Halte den Brenner so, daß die Flamme nur die Mitte des Bodens trifft!

Das Wasser steigt in der Mitte nach oben und sinkt an den Wänden wieder ab (Abb. 21). Das Wasser strömt. Die am Boden aufgenommene *Wärme* wird vom Wasser in alle Teile des Gefäßes getragen. Man spricht in diesem Sinne von einer *Wärmeströmung* im Wasser.

Auf diesem Strömungsvorgang beruht die *Warmwasserheizung* (Abb. 22). Warmwasserheizungen werden für einzelne Stockwerke oder für ganze Gebäude gebaut. Vom Heizofen (Kessel), der im Keller steht, führt ein Steigrohr *S* durch alle Stockwerke zum offenen Ausdehnungsgefäß *A* auf dem Dachboden des Hauses. In den Stockwerken sind die Heizkörper an die Steigleitung *S* angeschlossen. Das in den Rippen der Heizkörper abgekühlte Wasser fließt in die Falleitung *F* und gelangt wieder in den Heizkessel zurück. Warum muß das Ausdehnungsgefäß *A* vorhanden sein?

Erkläre nun auch die Wirkungsweise eines Kühlers bei einem Kraftwagen (Abb. 23)!

Abb. 20

Wärmeströmung in einem Rohrring. (Schütte in die Öffnung etwas Sägemehl oder Farbstoff)

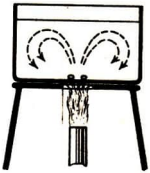


Abb. 21

Wärmeströmung in einem Becherglas

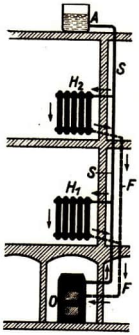


Abb. 22

Warmwasserheizung

S Steigleitung
F Falleitung
A Ausdehnungsgefäß

Abb. 23

Wasserströmung im Kühler eines Kraftwagens

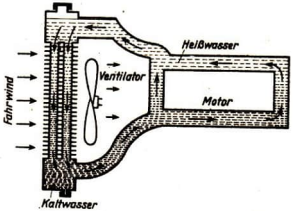


Abb. 24 Wie wir Luftströmungen im geheizten Zimmer nachweisen

Abb. 25 Es zieht! — Luftströmungen durch die geöffnete Tür

Auch die Luft im geheizten Zimmer strömt (s. Abb. 26 u. 30).

Zeichne auf einen alten Heftdeckel eine gleichmäßige Schneckenlinie und schneide diese aus! Stecke eine Stricknadel in eine Streichholzschachtel, die du vorher mit Sand gefüllt hast! Auf die Spitze der Stricknadel setze die ausgeschnittene und auseinandergezogene Schnecke! Stelle diese Anordnung auf einen geheizten Ofen oder einen Heizkörper. Beschreibe die Beobachtungen (Abb. 24)!

Öffne die Tür eines geheizten Zimmers ein wenig, und halte eine brennende Kerze ganz unten, in halber Höhe und ganz oben vor den Spalt! Die Kerzenflamme zeigt die Richtung des Luftstromes an (Abb. 25). Du kannst feststellen:

In der Luft breitet sich die Wärme wie im Wasser durch Strömungen aus. Was beobachtest du beim Öffnen des Fensters in einem geheizten Zimmer?

Halte über den geheizten Ofen eine kleine Daunenfeder und lasse sie los! Was geschieht?

Erwärmte Luft steigt nach oben, weil sie leichter ist als kalte Luft. Wenn sie sich abkühlt, sinkt sie herab (Abb. 26). Auf der Luftströmung beruht auch die Wirkung des Lampenzylinders (Abb. 27) und des Schornsteines. Gib die nötigen Erläuterungen!

Jetzt verstehen wir auch, warum die Luft sich nur dann als schlechter Wärmeleiter erweist, wenn sie durch Zwischenwände (Federn, Holzwolle, Stoffasern usw.) in kleine Räume eingeschlossen ist. Die Wärmeausbreitung durch Luftströmungen wird dadurch verhindert.

Wärmeströmungen sind naturgemäß nur in Gasen und Flüssigkeiten möglich, nicht in festen Körpern und auch nicht im luftleeren Raum.

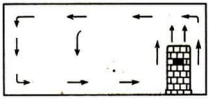


Abb. 26 Wie die Luft im geheizten Zimmer strömt

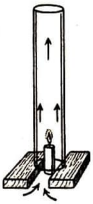


Abb. 27 Luftströmung im Lampenzylinder

3. Wir sonnen uns – Wärmestrahlung. Wir blicken aus verschiedenen Entfernungen ins offene Herdfeuer. Dabei empfinden wir je nach der Entfernung eine mehr oder weniger starke Wärmeeinwirkung auf unsere Gesichtshaut. – Wir vergleichen an sonnigen Wintertagen den Stand zweier Thermometer, von denen das eine von der Sonne beschienen wird, während das andere im Schatten hängt. – Wir stellen uns vor einen elek-

trischen Strahlofen (Heizsonne). Bringen wir zwischen uns und die Heizsonne ein Brett oder eine Blechtafel, so bemerken wir eine deutliche Beeinträchtigung der Wärmewirkung.

Wir erkennen aus unseren Beobachtungen, daß Wärme übertragen werden kann, ohne daß die dazwischenliegenden Körper daran beteiligt sind. Diese Art der Wärmeübertragung nennt man *Wärmestrahlung*.

Die Erwärmung ist um so stärker, je näher der Wärme empfangende Körper dem Wärme strahlenden Körper steht. Halten wir vor die heißen Kacheln des Ofens in gleicher Entfernung ein Stück weiße und ein Stück schwarze Pappe, so fühlt sich nach kurzer Zeit die schwarze Pappe bedeutend wärmer an als die weiße.

Dunkle Körper nehmen mehr Wärme auf als helle; diese werfen die Wärmestrahlen teilweise zurück.

Bestreiche eine Seite eines Becherglases mit weißer und die andere Seite mit schwarzer Farbe! Gieße in dieses Gefäß heißes Wasser! Halte dann die Hände in einiger Entfernung vor die Flächen! Du wirst einen deutlichen Unterschied in der Wärmewirkung bemerken.

Dunkle Flächen strahlen die Wärme stärker aus als weiße, helle Flächen. Außerdem ist festzustellen, daß eine rauhe Fläche mehr Wärme aufnimmt und sie stärker abstrahlt als eine glatte Fläche.

Durch diese Tatsachen können wir viele Erscheinungen und Einrichtungen unserer Umwelt erklären. Warum bevorzugen wir im Sommer helle, lichte Kleidung? Aus welchem Grund verspürt man bei einem Sonnenbad unter der schwarzen Schwimmhose stärkere Erwärmung als unter einem hellen Badeanzug? Warum soll eine Wand hinter dem Spalierobst möglichst dunkel angestrichen sein?

Die von einem warmen Körper ausgehenden Wärmestrahlen sind unsichtbar. In der Nähe eines stark geheizten Ofens empfinden wir die Wärmeausstrahlung oft recht lästig, ohne daß wir irgendwelche Strahlen sehen. Die Wärmestrahlen nehmen ihren Weg auch durch den luftleeren Raum, sonst könnte z. B. die Wärme von der Sonne nicht zur Erde gelangen. Doch gibt es Stoffe, die für Wärmestrahlen wenig durchlässig sind, z. B. Glas.

In diesem Zusammenhang wollen wir auch an die *Thermosflasche* denken (Abb. 28). An einer zerbrochenen Thermosflasche können wir feststellen, daß die Flasche zwei Glaswände besitzt. Diese schließen bei der unbeschädigten Flasche einen luftleer gepumpten Raum ein. Der luftleere Raum bietet den besten Wärmeschutz, da er jede Wärmeleitung ausschließt. Auch ein Wärmeaustausch durch Strömung ist im luftleeren Raum unmöglich. Dringt Luft in den Zwischenraum zwischen den Wänden, so ist es mit der Schutzwirkung vorbei. Denn wenn Luft auch ein schlechter Wärmeleiter ist, so würde bei der geringen Dicke der Luftschicht doch bald ein Temperaturausgleich durch

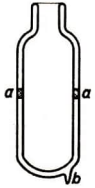


Abb. 28
Glasgefäß der Thermosflasche (Schnitt)
a Asbeststützen
b Ansatzröhrchen zum Auspumpen der Luft; wird nach dem Auspumpen zugeschmolzen

Wärmeleitung eintreten. Auffallend ist, daß die Doppelwand der Thermosflasche innen versilbert ist. Dadurch wird erreicht, daß Wärmestrahlen wie Lichtstrahlen an einem Spiegel zurückgeworfen werden, so daß sie die Wand weder von außen nach innen, noch von innen nach außen durchdringen können. Durch die sinnreiche Bauart der Thermosflasche werden Wärmeverluste durch Wärmeleitung, -strömung und -strahlung weitgehend ausgeschaltet.

§ 4. Am Herd und am Gaskocher - Die Wärmeeinheit

1. Wärmemenge und Gasverbrauch. Wir stellen zwei zugedeckte, dünnwandige Aluminiumtöpfe von gleicher Größe mit Wasser zu gleicher Zeit dicht nebeneinander auf die heiße Herdplatte. Der erste Topf enthält 1 l, der zweite 3 l Wasser. Wir ermitteln für jeden Topf die Zeit, die vom Augenblick des Aufstellens bis zum Beginn des Siedens vergeht. Es sind dies bei 1 l ungefähr 7 Minuten, bei 3 l etwas mehr als 20 Minuten. Ist die Herdplatte gleichmäßig warm, so ist die Annahme berechtigt, daß jeder Topf von ihr in gleichen Zeiten gleichviel Wärme aufnimmt. Wir erkennen aus dem Versuch, daß etwa dreimal soviel Wärme nötig ist, um die dreifache Menge Wasser zum Sieden zu bringen.

Steht ein Gaskocher zur Verfügung, so kann man die Töpfe zu gleicher Zeit auf zwei gleich stark eingeregelte Gasflammen stellen. Auch hier verstreicht etwa die dreifache Zeit, bis die 3 l Wasser zu sieden beginnen. Wir dürfen annehmen, daß beide Gasflammen in gleichen Zeiten gleichviel Gas verbrauchen und gleichviel Wärme liefern, die an die Wassertöpfe abgegeben wird. Wieder ergibt sich, daß 3 l Wasser dreimal soviel Wärme benötigen, um zum Sieden zu kommen, als 1 l Wasser.

Wir können in diesem Sinne geradezu von einer dreifachen *Wärmemenge* sprechen, die der Topf mit der dreifachen Wassermenge aufnimmt. Wir dürfen uns allerdings durch diesen Ausdruck nicht zu der Annahme verleiten lassen, daß die Wärme ein Stoff sei. Das Wasser wie jeder andere Körper erfährt beim Erwärmen nicht die geringste Gewichtszunahme.

Die zugeführte Wärme läßt sich nicht einfach mit einem Thermometer messen; mit ihm können wir nur die Temperatur feststellen. *Temperatur* und *Wärmemenge* sind zwei ganz verschiedene Begriffe, die man nicht verwechseln darf. Wir dürfen z. B. bei unserem Versuch aus der Gleichheit der Temperaturen zweier Wassermengen keinen voreiligen Schluß auf die Gleichheit der zugeführten Wärmemengen ziehen. Diese sind, wie wir sahen, auch von den Wassermengen abhängig.

2. Vergleich von Wärmemengen. Wenn der Ausdruck *Wärmemenge* wirklich einen Sinn haben soll, müssen wir sie auch zahlenmäßig angeben, d. h. also messen können. Dazu fehlt uns aber bisher eine Einheit. Wir können Wärmemengen weder in Gramm auf einer Waage abwägen, noch in Kubikzentimetern mittels eines Meßglases angeben. *Wärme ist kein Körper.* Wir sind also darauf angewiesen, uns eine Einheit für die Messung von Wärmemengen neu zu schaffen. Führe zu diesem Zweck folgenden Versuch aus:

Erhitze über einer Spiritus- oder Gasflamme in einem dünnwandigen Gefäß nacheinander 500, 750 und 1000 g Wasser! Bestimme nach jeder halben Minute die erreichte Temperatur und fülle eine Tabelle nach folgendem Muster aus! Bedenke, daß die Flamme in jeder halben Minute die gleiche Wärmemenge liefert! Erkläre die kleinen Abweichungen in deinen Beobachtungen! Lassen sie sich vielleicht bei der Wiederholung des Versuches vermeiden?

Beispiel:

Wassermenge in g	Anfangs-temperatur	Temperatur nach halben Minuten 1	2	3	4	5	mittl. Temperatur-erhöhung je halbe Minute
500 g	18°	23,8°	29,5°	35,2°	40,7°	46°	5,6°
750 g	18°	21,8°	25,6°	29,3°	32,8°	36,2°	3,6°
1000 g	18°	20,9°	23,7°	26,4°	29,1°	31,6°	2,7°

Wir erkennen: In gleichen Zeiträumen steigt bei gleichmäßiger Wärmezufuhr die Temperatur einer bestimmten Wassermenge immer um den gleichen Betrag. Je größer die Wassermenge ist, desto geringer ist in gleichen Zeiträumen die Temperaturerhöhung.

Wir können daraus schließen, daß für gleiche Temperatursteigerungen einer bestimmten Wassermenge immer die gleiche Wärmemenge erforderlich ist.

Diese Erkenntnis benutzen wir, um eine Einheit für die Wärme festzusetzen. *Wir betrachten als Wärmeeinheit die Wärmemenge, die 1 g Wasser aufnimmt, wenn seine Temperatur um 1° C steigt.* Wir nennen diese Wärmemenge eine **Kalorie**[1]) (abgekürzt cal).

Für praktische Messungen hat man noch eine tausendmal so große Einheit eingeführt, die **Kilogrammkalorie** (abgekürzt kcal). Eine Kilogrammkalorie ist die Wärmemenge, die 1 kg Wasser aufnimmt, wenn seine Temperatur um 1°C steigt. 1 kcal = 1000 cal.

1 g Wasser verbraucht also 1 cal, wenn es sich von 14°C auf 15°C oder von 30°C auf 31°C oder von 57,5°C auf 58,5°C erwärmt usw. Zum Erwärmen einer größeren Wassermenge ist eine entsprechend größere Wärmemenge erforderlich. Um z. B. 50 g Wasser um 1°C zu erwärmen, müssen wir dem Wasser 50 cal zuführen. Wollen wir 50 g Wasser um 25°C erwärmen, so brauchen wir 25 · 50 cal = 1250 cal.

Rechne:

1. Welche Wärmemenge braucht man, um 1 kg Wasser um 4° C zu erwärmen?
2. Wieviel kcal sind nötig, um 5 kg Wasser von 15° C auf 20° C zu erwärmen?
3. Wieviel kcal werden verbraucht, um 100 kg Wasser von 22° C gerade zum Sieden zu bringen?
4. Um wieviel Grad steigt die Temperatur von 8 kg Wasser, denen 56 kcal zugeführt werden?
5. Einer Wassermenge von 45 kg und 38° C werden 90 kcal zugeführt. Auf wieviel Grad steigt die Temperatur?

1) cálor (lat.) = Wärme

3. Brennstoffe im Haushalt. Zum Heizen, Kochen und Backen wird meistens *Kohle* verwendet. Ein erheblicher Teil der geförderten Kohle wird im Haushalt verbraucht. Die Kohle dient aber nicht nur als *Brennstoff*, sondern sie ist auch ein wichtiger *Rohstoff*, aus dem z.B. *Düngemittel, Treibstoffe, Farbstoffe, Arzneimittel* und viele andere *chemische Produkte* gewonnen werden.
Auch das Holz dürfen wir nicht nur als willkommenen Brennstoff ansehen, sondern wir wollen daran denken, daß Holz ein wichtiger Bau- und Werkstoff und darüber hinaus Rohstoff für *Papier, Zellstoff, Zellwolle u.a.* ist. Daraus ergibt sich für jeden Brennstoffverbraucher die Pflicht, möglichst sparsam mit diesem wertvollen Rohstoff umzugehen.
Ein Brennstoff ist um so brauchbarer, je mehr Wärme er bei seiner Verbrennung entwickelt. So werden, wie Versuche gezeigt haben, beim Verbrennen von je 1 kg unserer üblichen Brennstoffe folgende Wärmemengen frei:

Brennstoff	*je 1 kg entwickelte Wärmemenge*		
lufttrockenes Holz	etwa	3000	kcal
Rohbraunkohle	„	2000—3200	„
Braunkohlenbriketts	„	4500—5000	„
Steinkohle	„	7300—8000	„
Koks (aus Steinkohle)	„	6800—7200	„

Für die Verwendbarkeit eines Brennstoffes sind außerdem aber seine Reinheit, seine Neigung zu Schlacken- und Aschenbildung, sein Preis, die Transportmöglichkeiten und andere Einflüsse entscheidend.
Der elektrische Strom in der Kochplatte liefert uns mit jeder verbrauchten Kilowattstunde 860 kcal. Die Gasflamme erzeugt bei einem Gasverbrauch von 1 m^3 eine Wärme von etwa 4000 kcal. Die elektrisch erzeugte Wärme und die in der Gasflamme entstehende Wärme sind im allgemeinen wesentlich teurer als die bei Verbrennung von Kohle freiwerdende Wärme. Trotzdem nimmt man das beim Kochen und Backen in Kauf, weil der Gasherd und die elektrische Kochplatte sich durch ihre bequeme und saubere Handhabung auszeichnen und eine stärkere Zusammenfassung der Wärmewirkung gestatten.
Allgemein läßt sich die Frage nach dem billigsten Brennstoff nicht beantworten; sie kann immer nur im einzelnen Fall unter Berücksichtigung der örtlichen Umstände entschieden werden.

§ 5. Wir kochen und heizen

1. Unsere Zimmeröfen. Beobachte, wie die Mutter den *Kachelofen* heizt! Im Feuerraum des Kachelofens werden die Kohlen aufgeschichtet und entzündet. Eine sparsame Hausfrau verwendet dabei nur so viel Holz, wie zum Entzünden der Kohle notwendig ist. Wird altes Papier zum Anfeuern benutzt, so muß es vorher gut zusammengeknüllt werden. Durch das Gitterwerk der Ofentür hat die zum Verbrennen nötige Luft freien Zutritt. Im Innern des Ofens befinden sich sog. Züge. Das sind vielfach gewundene Gänge, durch die die heißen Rauchgase in den Schornstein (die Esse) gelangen. Auf diesem langen Wege geben die

Verbrennungsgase ihre Wärme zum erheblichen Teil an die Kacheln des Ofens und an die inneren Bauteile ab, die die Wärme bis an die Außenfläche weiterleiten. Viele Hausfrauen pflegen den Verbrennungsvorgang durch Schließen der Ofentür zu unterbrechen, bevor die Kohlen ausgebrannt sind. Sie glauben, dadurch ein längeres Warmbleiben des Ofens zu erreichen. Die Behauptung, daß die Kohlen dann langsam weiterbrennen und somit den Kacheln längere Zeit weiter Wärme zuführen, ist falsch. *Ohne Luftzufuhr ist eine Verbrennung unmöglich;* das Feuer erlischt, es sei denn, daß die Ofentür nicht dicht schließt und immer noch Luft in genügender Menge eintreten kann. Die unverbrauchten Kohlenreste bleiben zwischen der Asche liegen. Bei mangelhafter Luftzufuhr verbrennen die Kohlen unvollständig, sie schwelen, und mit den Rauchgasen gehen wertvolle, noch brennbare Stoffe verloren. Man soll die Luftzufuhr erst dann stark mindern, wenn die gasförmigen Bestandteile verbrannt sind und die Briketts nur noch glühen. Schon vorher wird man, sobald das Feuer lebhaft brennt, die vielfach vorgesehene Anheizklappe schließen. Besitzt der Kachelofen einen Rost, so muß die Tür zum Feuerraum kurz nach dem Anheizen geschlossen werden, damit die eintretende Luft durch die Tür zum Aschenraum und von dort durch den Rost dem Brennmaterial zugeführt wird (Abb. 29). Welcher Vorteil für die Verbrennung ergibt sich daraus?

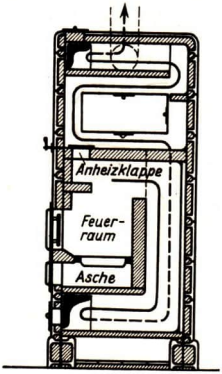


Abb. 29 Kachelofen (lotrechter Schnitt)

Eiserne Öfen erwärmen sich zwar viel schneller als Kachelöfen, erkalten aber auch viel schneller, so daß kurze Zeit nach dem Erlöschen des Feuers ihre Heizwirkung aufhört. Leicht brennbare Stoffe (Holz, Kohlen, Papier) dürfen in der Nähe des Ofens nicht aufbewahrt werden. Kleider müssen in größerer Entfernung von ihm getrocknet werden, um Brandgefahr zu vermeiden. Wie gelangt die Wärme zu den Kleidungsstücken (vgl. § 3, 3)?

Wir betrachten die Abb. 30. Wenn man die entstehenden Luftströme beobachtet, so erkennt man, wo die Heizkörper der Zentralheizung zweckmäßigerweise aufgestellt werden müssen. Der Heizkörper *H* steht einmal in der Ecke des Zimmers, dem Fenster gegenüber, das andere Mal unter dem Fenster. Beschreibe die Luftströmung in beiden Fällen! Achte auf die Temperatur der verschiedenen Luftschichten! Welche Stellung des Heizkörpers ist vorzuziehen? Warum?

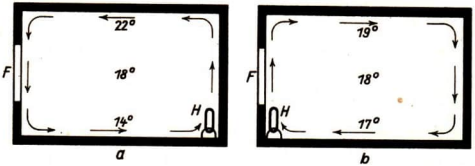


Abb. 30 Wo soll der Heizkörper stehen? Luftströmung im Zimmer, abhängig von der Stellung der Heizkörper.
F Fenster, *H* Heizkörper

2. Wir kochen mit Gas. Leuchtgas verwendet man im Haushalt nur selten zum Heizen von Öfen, um so größer und wichtiger aber ist der Gasverbrauch in der Küche beim *Gasherd* und beim *Gaskocher*. Das Leuchtgas steht immer zur Verfügung; es ist keinerlei Arbeit mit dem Heranschaffen von Brennmaterial verbunden. Feste Verbrennungsrückstände fallen nicht an, brauchen also nicht beseitigt zu werden. Das Kochen mit Leuchtgas ist sauber, die Töpfe setzen keinen Ruß an. Ein anderer Vorzug liegt in der weitgehenden Regulierbarkeit der Flamme, so daß bei achtsamer Bedienung ein unnötiger Brennstoffverlust vermieden werden kann.

Jede Kochstelle ist mit einem Gasbrenner (Abb. 31) versehen. Das Gas reißt beim Ausströmen aus einer Düse Luft mit sich, so daß stets ein Luft-Gas-Gemisch die Flamme speist. Wird das Gas ohne Luftbeimischung verbrannt, so erhalten wir keine vollständige Verbrennung, die Gasflamme rußt wie die Kerzenflamme, unverbrannter Kohlenstoff scheidet sich am Topfboden ab. Die Flamme wird durch einen Brenndeckel in viele kleine Flämmchen zerlegt. Schiebe unter einen mit Wasser gefüllten Kochtopf für kurze Zeit einen Pappdeckel von der Größe des Topfbodens, und bestimme mittels der angekohlten Stelle die Temperaturverteilung!

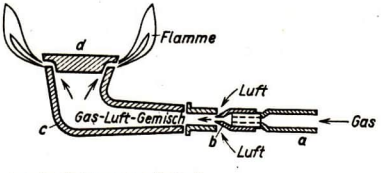


Abb. 31 Gasbrenner am Gasherd.
a Gasrohr, *b* Ausströmdüse, *c* Brennerrohr, *d* Brenndeckel

Jeder Brenner kann auf „Klein" gestellt werden; die Sparflamme hat etwa den zehnten Teil des Gasverbrauchs der normalen Flamme. Diese kleine Flamme genügt meist, um Speisen, die einmal zum Kochen gebracht sind, am Kochen zu erhalten.

Die Verbrennungswärme wird am besten ausgenutzt, wenn der Gefäßboden von der Flamme ganz bedeckt wird. Ist der Boden viel größer, so wird der Luftzutritt und damit die Verbrennung behindert. Bei zu kleiner Bodenfläche steigt viel warme Luft ungenützt an den Seiten empor. Die an einem Kochtopf aufsteigende Wärme kann dazu benutzt werden, ein oder zwei Töpfe, die auf den unteren Topf aufgesetzt werden, zu erwärmen. Das ist das sog. „*Turmkochen*" (Abb. 32).

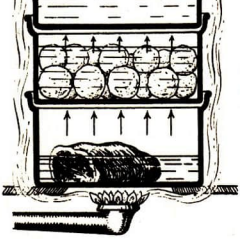


Abb. 32
Vorteilhafte Ausnutzung der Wärme durch Turmkochen

Die in diesen Töpfen enthaltenen Speisen werden erst auf dem vollen Feuer angekocht und dann zum Garkochen aufeinandergesetzt.

Der Preis des Leuchtgases wird nach der Zahl der verbrauchten Kubikmeter (m^3) berechnet. Wie teuer ist 1 m^3 Leuchtgas? – Wieviel beträgt eure durchschnittliche Monatsrechnung? – Lies den Stand eures Gasmessers ab (Abb. 33)!

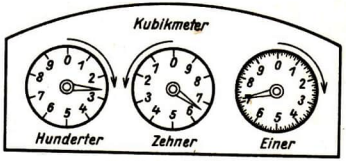


Abb. 33 Wieviel zeigt der Gasmesser an?

Regeln für sparsamen Gasverbrauch:

Setze nie mehr Wasser zum Kochen auf, als unbedingt nötig ist! Vergiß nie, den Topf mit einem Deckel zu bedecken!

Schalte den Sparbrenner ein, wenn die Speisen kochen!

Verwende ein Turmkochgerät und stelle die Töpfe aufeinander, indem du sie durch Topfringe miteinander verbindest!

Kesselstein in den Töpfen beeinträchtigt das Kochen! Er leitet die Wärme schlecht.

3. Das richtige Herdfeuer. Beim Kohlenherd in der Küche (Abb. 34) ist darauf zu achten, daß die Feuerstelle nicht zu groß ist und nicht zu tief liegt. Ist sie zu groß, so tritt zuviel Luft ein, die den Verbrennungsgasen Wärme entzieht und sie ungenützt in den Schornstein entführt. Das ist bei zu großem Rost (Abb. 35) der Fall. Er muß abgemauert werden; undichte Stellen sind mit Lehm zu verschmieren; denn „falsche Luft", die durch Spalten in der Herdsohle oder in der Herdplatte in den Feuerraum eintritt, führt in gleicher Weise zu Wärmeverlusten.

Ist die Feuerstelle zu tief (Abb. 36), so schlägt die Flamme zu wenig an die Herdplatte. Die Töpfe sollen immer dicht über dem Feuer stehen, damit die Böden der Töpfe im Bereich der höchstmöglichen Temperatur liegen.

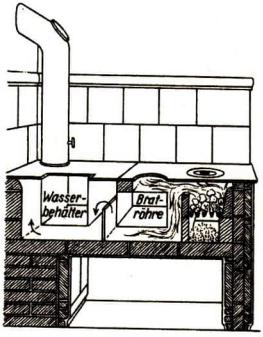


Abb. 34 Kohlenherd

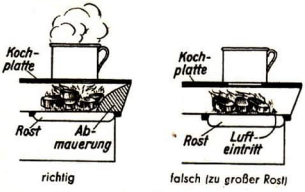


Abb. 35 Falschluft beim Kohlenherd

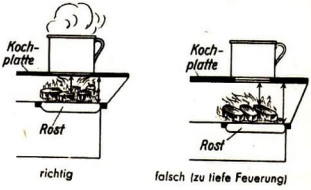


Abb. 36 Unvollständige Ausnutzung der Verbrennungswärme

Sind die Kohlen oder die Holzstücke richtig angebrannt, so wird die *Abzugklappe*, durch die die Rauchgase unmittelbar in den Schornstein eintreten, geschlossen. Die heißen Gase müssen nun den längeren Weg durch die *Gänge* (Züge) des Herdes einschlagen und geben einen Teil ihrer Wärme an die Bratröhre und an den Wasserbehälter ab. Auf diese Weise wird z. B. das Abwaschwasser vorgewärmt, und gleichzeitig erhitzen sich die Kacheln des Herdes und heizen die Küche.
Im Ofen ist stets auf *guten Zug* zu achten (Ausräumen der Asche vor dem Anfeuern, Entfernen der Flugasche und des im Ofenrohr angesetzten Rußes von Zeit zu Zeit). Besonders muß beachtet werden: Neuen Brennstoff nie auf die Glut, sondern stets daneben legen! Den Rost stets gleichmäßig mit Kohle bedecken! Vor dem Garkochen rechtzeitig mit dem Nachlegen von Brennstoff aufhören! Warum?
Bei der Verbrennung von Kohle im Herd und Ofen wird nur ein Teil der aus der Kohle erzeugten Wärme ausgenutzt, ein beträchtlicher Rest wird von den Rauchgasen ungenützt durch den Schornstein ins Freie abgeführt. So gelingt es selbst bei einem gut gebauten Ofen kaum, mehr als $\frac{50}{100}$ bis $\frac{60}{100}$ der Verbrennungswärme zu Heizzwecken nutzbar zu machen. Verstopfen sich durch unsachgemäßes Heizen (Verbrennen von größeren Mengen Papier oder Pappe, vorzeitiges Schließen des Ofens) die Züge, so sinkt die Wärmeausnutzung beträchtlich.

Warum muß der Schornsteinfeger in gewissen Abständen eine Reinigung des Schornsteins vornehmen? — Warum läßt sich das Feuer schwerer anzünden, wenn die Sonne auf das Dach des Hauses scheint? Weshalb verbrennt man in diesem Falle erst etwas Papier?

§ 6. Das Eis schmilzt - Schmelzen und Erstarren

1. Schmelzen - Zustandsformen des Körpers. An einem kalten Wintertag nehmen wir einen Eiszapfen mit nach Hause. Wir legen ihn auf einen Teller, und er fängt an zu tropfen und zu schmelzen. Der Teller ist bald voll Wasser, und an der Oberfläche schwimmt noch ein kleiner Rest, ein winziges Eisstückchen. Eis ist die feste Zustandsform des Wassers.
Beim Schmelzen verwandelt sich das Eis in Wasser. Eis und Wasser bestehen aus dem gleichen Stoff. Sie unterscheiden sich aber in ihren *Zustandsformen*. Erwärmt man Fett, das bei Zimmertemperatur fest ist, in einer Pfanne, so *schmilzt* es. Nimmt man die Pfanne vom Feuer, so wird das Fett beim Abkühlen wieder fest. Man sagt, es *erstarrt*.
Durch Erwärmen werden die meisten Körper flüssig. Beim Abkühlen erstarren sie wieder.

Schmelzen ist der Übergang aus der festen in die flüssige Zustandsform. Erstarren ist der Übergang aus der flüssigen in die feste Zustandsart.

Auch Schnee ist nichts anderes als festes Wasser. Wir bringen ein Glas voll Schnee ins warme Zimmer. Der Schnee beginnt zu schmelzen. Mittels eines eingetauchten Thermometers beobachten wir seine Temperatur. Das Thermometer zeigt so lange 0° C an, bis der gesamte Schnee geschmolzen ist. Dann steigt die

Temperatur. Der Schmelzpunkt des Eises liegt bei 0°C. Während des Schmelzens bleibt die Temperatur unverändert. Die Temperatur, bei der Schnee und Eis schmelzen, wird **Schmelzpunkt** des Eises genannt. Bei derselben Temperatur gefriert umgekehrt das Wasser, wenn ihm Wärme entzogen wird; sie heißt deswegen auch der **Gefrierpunkt** des Wassers. Vgl. § 1, 2.

Von den reinen Gebrauchsmetallen hat Zinn den niedrigsten Schmelzpunkt. Er liegt bei 232°C. Kühlt sich geschmolzenes Zinn wieder ab, so erstarrt es bei der gleichen Temperatur, bei der es geschmolzen ist. Das gilt im allgemeinen für jeden festen Körper von einheitlicher Zusammensetzung.

Bei sehr hohen Temperaturen schmelzen auch Körper, die man in flüssigem Zustand kaum zu sehen bekommt. So wird z. B. bei der Glasbereitung Sand zusammen mit Kalkstein und Soda geschmolzen. Die Vulkanausbrüche zeigen, daß in den tieferen Schichten der Erde Gesteine flüssig sind.

Erhitzt man ein Stück Papier im Probierröhrchen, so zersetzt es sich, ohne zu schmelzen. Das trifft für die meisten tierischen oder pflanzlichen Stoffe und für die aus ihnen hergestellten Erzeugnisse zu, z. B. für Pappe, Papier, Leder. Sie „verkohlen" beim Erhitzen.

Nenne Körper, die du im festen und flüssigen Zustand kennst, und solche, die sich nicht schmelzen lassen, weil sie sich vorher zersetzen!

Schmelzpunkte bzw. Erstarrungspunkte einiger Stoffe in °C:

Wolfram	3380	Silber	960	Zinn	232
Platin	1773	Kochsalz	800	Schwefel	119
Eisen	1535	Aluminium	659	Eis	0
Kupfer	1084	Zink	419	Quecksilber	– 39
Gold	1064	Blei	327	Alkohol	– 114

Lötzinn (Legierung aus Blei und Zinn) schmilzt bereits bei 180°C. Legierungen haben meist einen tieferen Schmelzpunkt als ihre Bestandteile.

Lösungen, d. h. Flüssigkeiten, in denen andere Stoffe gelöst sind (Kochsalzlösung), haben tiefere Erstarrungspunkte als die reinen Flüssigkeiten. Denke an das Streuen von Viehsalz im Winter! Seewasser gefriert nicht bei 0°C, sondern erst bei – 2,5°C.

2. Die Schmelzwärme. Wir werfen einige Eisstückchen in Wasser von Zimmertemperatur. Nach gründlichem Umrühren sinkt die Temperatur schnell bis nahe 0° C. Nachdem wir noch einige Eisstückchen hinzugegeben haben, lassen wir das Gefäß längere Zeit im warmen Zimmer stehen und beobachten die Temperatur bei ständigem Rühren. Sie bleibt auf 0°C stehen, bis das letzte Stückchen Eis geschmolzen ist. Dieser Versuch zeigt uns, daß zunächst eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, um das Eis zu schmelzen. Erst wenn alles Eis geschmolzen ist, führt die weitere Zufuhr von Wärme zu einer Temperaturerhöhung. Die ausschließlich beim Schmelzen verbrauchte Wärme wird **Schmelzwärme** genannt. Sofern sie zahlenmäßig angegeben wird, wird sie auf 1 kg des festen Stoffes bezogen.

Für Eis beträgt die Schmelzwärme 80 Kilokalorien.

Das ist eine beträchtliche Wärmemenge, mit der man 1 kg Wasser von Zimmertemperatur (20° C) bis zum Sieden erhitzen kann. Wenn umgekehrt eine Flüssigkeit erstarrt, gibt sie die gleiche Anzahl von Wärmeeinheiten an die Umgebung ab. Deshalb wird z. B. strenger Frost in der Umgebung großer gefrierender Seen etwas gemildert, weil durch das Gefrieren des Wassers Wärme frei wird. Umgekehrt wird beim Übergang vom Winter zum Frühling ein großer Teil der Sonnenwärme zum Schmelzen von Eis und Schnee verbraucht.
Bringt man Eis oder Schnee durch Mischen mit Salz zum Schmelzen, so kühlt sich die Lösung bis weit unter 0° C ab. Stellt man eine Kühlmischung aus drei Gewichtsteilen Eis und einem Gewichtsteil Salz her, so kann man in ihr den Inhalt in sie eingetauchter Gefäße mit Wasser oder anderen bei gleicher Temperatur erstarrenden Flüssigkeiten zum Gefrieren bringen. So wird z. B. Fruchteis hergestellt. Schnee und Eis schmelzen durch warmen Regen bedeutend schneller als durch die Strahlen der Sonne. Erkläre die Kühlwirkung des schmelzenden Eises im Eisschrank durch die Schmelzwärme!

Rechne:

1. Eine Eismaschine erzeugt 1500 kg Eis. Wieviel Kalorien mußte sie dem Wasser beim Gefrieren entziehen?
2. Ein Eisblock von 3,4 kg soll geschmolzen werden. Welche Wärmemenge muß ihm dabei zugeführt werden?

§ 7. Verdampfen und Verdichten

1. Das Wasser siedet. Um die Vorgänge beim Kochen und Sieden genau verfolgen zu können, bringen wir Wasser, dem einige Sägespäne beigemengt sind, in einem Becherglas zum Sieden. Zur Beobachtung der Temperatur stellen wir ein Thermometer in das Becherglas. Wir können der Reihe nach folgende Erscheinungen wahrnehmen:

1. Die kalte Außenwand des Wasserglases *beschlägt*, wenn wir zum Erhitzen eine Gasflamme benutzen. Beim Verbrennen des Leuchtgases entsteht Wasserdampf, der sich an der kalten Außenwand des Gefäßes wieder zu Wasser verdichtet. Beim Erwärmen auf einem Herd ist dieser Vorgang nicht zu beobachten.

2. Das Wasser im Becherglas gerät in *strömende Bewegung*. Man erkennt dies an den Sägespänen, die im Wasser zu kreisen beginnen. Die Temperatur des Wassers steigt gleichmäßig an.

3. An der Innenwand des Glases bilden sich *kleine Bläschen*. Lösen wir sie mit einem Glasstab von der Wand, so steigen sie an die Oberfläche empor. Bei etwa 60° C hört die Bläschenbildung auf. Daraus ist zu schließen, daß es sich um ein Gas handelt, das im Wasser gelöst ist und sich beim Erwärmen ausscheidet. Man hat nachgewiesen, daß es *Luft* ist. In frischem Wasser ist immer Luft aufgelöst, die beim Erwärmen des Wassers in Form von Bläschen sichtbar wird.

4. Bei weiterer Erwärmung bilden sich am Boden des Glases *Dampfblasen*. Beim Hochsteigen verschwinden sie aber wieder und erreichen nicht die Oberfläche, weil sich in den kälteren Wasserschichten der Wasserdampf wieder zu Wasser verdichtet. Das geschieht etwa zwischen 80° und 90° bis 95°C. Der Vorgang ist von einem singenden Geräusch begleitet, das deutlich zu hören ist.

5. Bei noch höherer Temperatur hört das „Singen" auf. Es tritt jetzt eine Dampfbildung im Innern der Flüssigkeit ein, bei der *alle Dampfblasen bis zur Oberfläche* steigen. Das Wasser brodelt; es *siedet*. Das geschieht bei etwa 100°C.

6. Legt man jetzt auf das Becherglas einen kleinen Deckel, so kann man beobachten, wie ihn der Dampf anhebt. Man hört das Klappern des Kochtopfdeckels. *Der Wasserdampf hat eine ganz bedeutende Spannkraft.* Er kann den Kochtopfdeckel heben und kann sogar geschlossene Gefäße sprengen, wenn ihm kein Ausweg geschaffen wird.

7. Ein trockener Deckel, den man in drei bis fünf Zentimeter Entfernung über das siedende Wasser hält, *beschlägt*. Aus einem dichten Nebel schlagen sich kleine Tröpfchen auf dem Deckel nieder. Der Wasserdampf verdichtet sich wieder zu Wasser. Auch der Nebel ist kein „Wasserdampf" mehr. Er besteht aus feinverteilten Wassertröpfchen, die in der Luft schweben. Sie sind so klein, daß sie nicht wie andere Körper ohne weiteres zu Boden sinken. Wasserdampf selbst ist unsichtbar.

Wie kommt es aber, daß sich unter dem Kochtopfdeckel Wassertröpfchen abscheiden? Durch den kalten Deckel tritt eine Abkühlung ein. Sobald dem Wasserdampf beim Siedepunkt Wärme entzogen wird, verdichtet er sich zu Wasser. Man sagt, der Dampf kondensiert.

Als Verdampfen bezeichnet man den Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand infolge Wärmezufuhr. Sofern sich der Vorgang nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Flüssigkeit abspielt, nennt man ihn Sieden. Unter Verdichten oder Kondensieren versteht man die Verflüssigung des Dampfes durch Wärmeentzug.

Alle Dämpfe besitzen eine gewisse Spannkraft, weil sie einen größeren Raum einnehmen als die Flüssigkeit, aus der sie entstanden sind. So bilden sich aus 1 l Wasser von 100°C bei „normalem Luftdruck" rd. 1700 l Wasserdampf von gleichem Druck.

Warum müssen wir bei der Bestimmung des Siedepunktes den „normalen Luftdruck" zugrunde legen?

Der Luftmantel unserer Erde übt auf die Erdoberfläche einen Druck, den **Luftdruck**, aus. Auf hohen Bergen ist der Luftdruck geringer, weil die darüberstehende Luftschicht weniger hoch ist (s. § 15, 2). Dementsprechend brauchen auch die aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dampfblasen nur eine geringere Spannkraft zu besitzen. Das Wasser siedet auf hohen Bergen bei einer niedrigeren Temperatur. So siedet es auf dem Montblanc (4800 m) schon bei 84°C. Auf den hohen Bergen des Himalaja ist die Siedetemperatur so gering, daß sie nicht einmal zum Eierkochen ausreicht; das Eiweiß kommt nicht zum

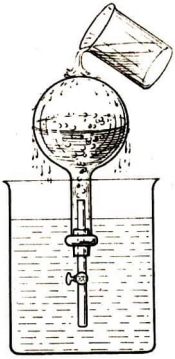


Abb. 37 Sieden unter vermindertem Druck

Gerinnen. Die Siedetemperatur hängt also vom Luftdruck ab, der auf die betreffende Flüssigkeit einwirkt. Auch jeder andere auf dem Wasser lastende Druck beeinflußt den Siedepunkt. Das kann man an folgendem Versuch sehen: In einem Kolben (Abb. 37) bringt man Wasser zum Sieden. Man entfernt dann die Flamme und verschließt den Kolben, so daß kein Wasserdampf mehr entweichen kann. Das Sieden hört auf. Dreht man den Kolben um und übergießt ihn mit kaltem Wasser, so beginnt das Wasser im Kolben von neuem zu sieden. Das Wasser siedet selbst dann noch bei erneutem Übergießen, wenn der Kolben so weit abgekühlt ist, daß man ihn in der Hand halten kann.

Was zeigt uns dieser Versuch? Beim Verschluß des Kolbens im Augenblick des Siedens wurde eine bestimmte Menge Wasserdampf mit eingeschlossen. Durch die äußere Abkühlung verdichtete sich ein Teil des Dampfes und wurde wieder zu Wasser. In dem Kolben entstand über dem Wasser ein Raum mit vermindertem Druck. Dies hat ein Absinken der Siedetemperatur zur Folge. Hält man den Kolben nach mehrmaligen Siedeversuchen in ein Wassergefäß, so daß der Kolbenhals mit seiner Öffnung unter der Wasseroberfläche liegt, und öffnet dann den Verschluß, so dringt das Wasser in den Kolben ein. Wir erkennen daraus, daß tatsächlich über der Wasseroberfläche ein Raum mit vermindertem Druck vorhanden war. Die frühere Angabe, daß das Wasser bei 100°C siedet, muß dahin ergänzt werden, daß der auf eine Flüssigkeit ausgeübte Druck den Siedepunkt mitbestimmt. Bei 100°C siedet das Wasser unter normalem Luftdruck.

Die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit unter normalem Luftdruck siedet, heißt der Siedepunkt dieser Flüssigkeit.

Im Hochgebirge siedet das Wasser bereits unter 100°C; man kann dort also in den üblichen Kochtöpfen das Wasser nicht bis auf 100°C erhitzen. Da man infolgedessen viele Speisen, insbesondere Fleisch, nicht garkochen könnte, muß an hochgelegenen Orten ein sog. Schnellkochtopf verwendet werden. In ihm läßt sich die Temperatur auf 100°C und sogar auf über 100°C steigern. Er besteht aus einem fest verschlossenen Gefäß, aus dem der Wasserdampf nur durch ein Sicherheitsventil entweichen kann. Durch die Dampfansammlung wird der Druck innerhalb des Gefäßes höher als der normale Luftdruck; entsprechend steigt die Siedetemperatur. Auch in den Kesseln neuzeitlicher Dampfmaschinen und Lokomotiven siedet unter dem Druck des Dampfes das Wasser erst bei 150° bis 250°C, ja bis 400°C.

Siedepunkt einiger Stoffe. Gießt man ein wenig Spiritus in ein Probiergläschen und hält es in siedendes Wasser, so beginnt der Spiritus bald zu sieden. Taucht

man ein Thermometer ein, so steigt die Temperatur annähernd auf 78°C. Die verschiedenen Flüssigkeiten haben verschiedene Siedepunkte. Wasser siedet bei 100°C, Spiritus bei 78°C und Äther bei 35°C. Fette kann man weit über 100°C erhitzen, ohne daß sie zu sieden anfangen. So siedet Leinöl erst bei 316°C. Erkläre, warum Fleisch, Gemüse und andere Nahrungsmittel beim Braten und Kochen in Fett in kürzerer Zeit weich werden als beim Kochen in Wasser!

2. Zum Garkochen genügt eine kleine Flamme - Verdampfungswärme. Erhitze das unter normalem Druck im Becherglas siedende Wasser weiter und beobachte das Thermometer! Es ist nun schon ein großer Teil der Flüssigkeit verdampft, aber die Quecksilbersäule des Thermometers bleibt stehen. Wir erkennen, daß die Temperatur trotz fortgesetzter Wärmezufuhr während des Siedens nicht weiter ansteigt. Die nach dem Siedebeginn dem Wasser zugeführte Wärmemenge wird nur benötigt, um das Wasser in Dampf zu verwandeln. Man nennt diese ausschließlich zur Aufrechterhaltung des Siedevorganges verbrauchte Wärmemenge **Verdampfungswärme.** Sofern sie zahlenmäßig angegeben wird, bezieht man sie wie die Schmelzwärme auf 1 kg der zu verdampfenden Flüssigkeit.

Die Verdampfungswärme des Wassers ist außerordentlich groß; sie beträgt 539 kcal. Diese Wärmemenge reicht aus, um fast 7 l Wasser von Zimmertemperatur (20°) bis zum Sieden zu erhitzen.

Denke also daran, daß du beim Kochen viel Feuerung sparen kannst! Denn zum Garkochen ist es nur notwendig, die Speise eine gewisse Zeit auf 100°C zu halten. Stelle beim Kochen auf Gas die Flamme klein, sobald die Flüssigkeit im Kochtopf zu sieden beginnt!

Warum wärmt man Speisen, die leicht anbrennen, in einem zweiten Topf mit Wasser auf („Kochen im Wasserbad")? Wie wärmt der Tischler seinen Leim?

Rechne:

1. In einer chemischen Fabrik werden stündlich 3200 kg Wasserdampf verbraucht. Wieviel kcal sind zu seiner Erzeugung notwendig?
2. Ein kleiner Tauchsieder gibt in der Minute rd. 3 kcal ab. In welcher Zeit bringt er 0,5 kg Wasser von Zimmertemperatur (20° C) zum Sieden?

3. Die Wäsche trocknet - Verdunsten. Auf einer Wanderung hat uns ein Gewitterregen überrascht und unsere Kleider völlig durchnäßt. Die wieder herauskommende Sonne trocknet sie aber bald. Auch die Pfützen auf den Wegen und der nasse Boden trocknen wieder aus. Wo ist das Wasser geblieben?

Wir legen ein Stück gut durchfeuchtetes Löschpapier unter ein umgekehrtes, möglichst kühles Trinkglas. An den Wänden des Glases setzen sich nach einiger Zeit Wassertröpfchen an wie im Winter an den kalten Fensterscheiben.

Wenn die Sonne unsere durchnäßten Kleider trocknet, so verschwindet das Wasser. Es verwandelt sich in Dampf. Es *verdunstet.*

Den Wasserdampf kann man, wie wir bereits beim Sieden feststellten, in der Luft nicht sehen. Erst bei der Abkühlung schlägt er sich in Form von Wasser-

tröpfchen nieder. Hauche an eine Fensterscheibe und sieh, wie der ausgeatmete Wasserdampf sich bei der Abkühlung an der Scheibe verdichtet, und wie die Feuchtigkeit dann wieder verdunstet! Im Gegensatz zum Sieden, bei dem überall in der Flüssigkeit Dampf entsteht (Blasenbildung), erfolgt das Verdunsten *bei niedrigerer Temperatur* und *nur an der Oberfläche.*

Rascher als Wasser verdunstet z. B. Äther, den der Arzt benutzt. Gieße etwas Äther auf ein Uhrglas und blicke von der Seite darauf! Man kann sehen, wie der Ätherdampf über den Rand des Uhrschälchens quillt. (Vorsicht! Keine Flamme in der Nähe!) Nach einiger Zeit riechen wir den Ätherdampf im ganzen Zimmer. — Tränke je einen Streifen Fließpapier mit Wasser, Petroleum, Spiritus, Benzin und Äther! Drücke sie nebeneinander an die Fensterscheibe und stelle fest, in welcher Reihenfolge die Streifen herabfallen!

Die verschiedenen Flüssigkeiten verdunsten verschieden schnell.

Im Garten oder auf dem Hofe wird Wäsche zum Trocknen aufgehängt. Die Wäsche besteht aus gewebten Stoffen, in deren Poren beim Waschen viel Wasser eindringt. Bei welchem Wetter trocknet die Wäsche besonders schnell? Trocknet Wäsche auch bei Frostwetter? Das Wäschetrocknen beruht auf dem Verdunsten des Wassers. Die Verdunstung wird beschleunigt durch die Vergrößerung der Oberfläche (Auseinanderhängen der Wäsche), durch Erwärmen (Sonne) und ferner durch das Beseitigen des Wasserdampfes aus der Nähe des Wäschestückes (Wind).

Warum werden die Fenster des Wäschebodens beim Trocknen der Wäsche geöffnet?

Verdunsten heißt der Übergang einer Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand an ihrer Oberfläche. Die Verdunstung findet bei jeder Temperatur unterhalb des Siedepunktes statt.

Flüssigkeiten verdunsten um so schneller, je höher ihre Temperatur, je trokkener die Luft, je größer die Oberfläche ist, und je schneller der Dampf fortgeführt wird.

Nenne Beispiele aus deiner Erfahrung! Denke an das Ausbreiten des Grases bei der Heuernte, an das Trocknen der Anstrichfarben und an den Fönapparat!

Ist beim Verdunsten Wärme notwendig, um den Übergang in den gasförmigen Zustand herbeizuführen? Mache dir folgendes klar: Durch Besprengen des Fußbodens verschaffen wir uns im Sommer Abkühlung. In nasser Kleidung frieren wir bei windigem Wetter besonders. Weshalb bleibt das Wasser in porösen Tonkrügen kühler als in undurchlässigen Gefäßen? Butterkühlung in porösem Tonzeug! Wie hilft man sich, wenn im Winter, besonders bei Zentralheizung, die Luft im Zimmer zu trocken geworden ist? Die Frage, ob beim Verdunsten Wärme verbraucht wird, kann man bei richtiger Beobachtung vorstehender Beispiele beantworten. Beim Verdunsten entzieht die verdunstende Flüssigkeit ihrer Umgebung Wärme. Je schneller die Verdunstung erfolgt, um so größer ist die erzielte Abkühlung.

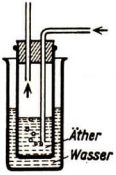


Abb. 38 Abkühlung durch Verdunstung

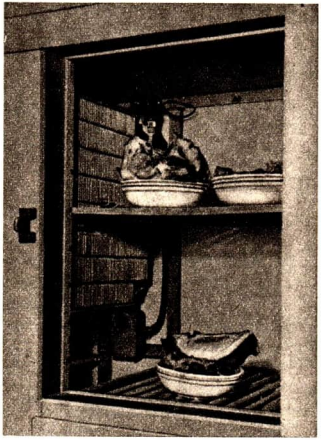


Abb. 39
Blick in den Kühlschrank einer Werkküche. Links sind die Kühlrippen der Kühlschlangen sichtbar. Diese werden von Dämpfen sehr tiefer Temperatur durchströmt.

Schnell verdunstende Flüssigkeiten (z. B. Äther) können eine recht erhebliche Abkühlung bewirken, die sogar bis zum Erstarren von Wasser, das sich in der Umgebung befindet, führt. In den Raum zwischen zwei ineinandergesteckten Reagenzgläsern bringen wir etwas Wasser, und in das innere Glas Äther (Abb. 38). Wird der Äther durch Hindurchblasen von Luft (Blasebalg!) zum schnellen Verdunsten gebracht, so gefriert das Wasser zwischen den Gläsern.

Beim Verdunsten einer Flüssigkeit wird Wärme verbraucht, die der Umgebung entzogen wird.

Eismaschinen und Kühlschränke nutzen den Wärmeverbrauch bestimmter Flüssigkeiten beim Verdunsten zur künstlichen Erzeugung von Eis und zur Kühlhaltung von Lebensmitteln aus (Abb. 39). Ausreichende Kühlanlagen sind für die Frischerhaltung von Lebensmitteln von großer Bedeutung. Sie spielen in der Wirtschaftsplanung bei der Versorgung der Bevölkerung mit leicht verderblichen Lebensmitteln eine große Rolle.

II. *Von den Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper — Von den Kräften*

§ 8. Wir wägen - Von den Federwaagen

1. Die Küchenwaage und die Lumpenwaage - Federwaagen und Elastizität. Bevor wir ein Paket zur Post tragen, wägen wir es. Warum? Wir legen es auf die *Küchenwaage*. Wir schauen uns das Innere der Waage an (Abb. 40) und sehen zwei Schraubenfedern nach Art der Abb. 41a, die *zusammengedrückt* werden, wenn man das Paket auf den Teller der Waage legt. Dabei senkt sich eine Zahnstange, deren Zähne in ein Zahnrad greifen. Mit dem Zahnrad dreht sich ein Zeiger; er zeigt auf einer Skala das Gewicht an.

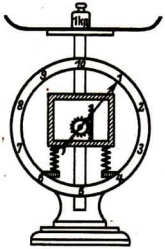


Abb. 40 Küchenwaage

Abb. 41a Schraubenfeder (Druck)

Abb. 41b Schraubenfeder (Zug)

Beim Altwarenhändler, zu dem wir Altmaterial, Lumpen, Papier oder Altmetall tragen, können wir eine Waage sehen, die man als *Federwaage* oder auch als *Lumpenwaage* (Abb. 42) bezeichnet. Auch bei ihr ist eine Schraubenfeder (Abb. 41b) der wichtigste Bestandteil. An ihr *hängt* aber die Last und zieht die Feder auseinander. Ein Zeiger gleitet dabei über eine in Gewichtseinheiten geeichte Skala.

Abb. 42 Federwaage (Lumpenwaage)

Eine Feder kann auf Druck oder Zug beansprucht werden.

Wir belasten eine Zug- oder Druckfeder aus Stahldraht mit verschiedenen, aus gleich

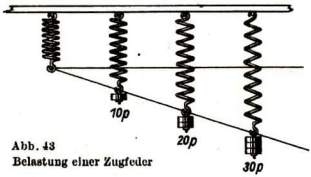


Abb. 43 Belastung einer Zugfeder

großen Stücken zusammengesetzten Gewichten und messen jedesmal die Länge der Feder (Abb. 43). Die Ergebnisse tragen wir in eine Tabelle ein. Man findet, daß die Feder jeweils um gleiche Stücke gedehnt bzw. zusammengedrückt wird, wenn das belastende Gewicht immer wieder um den gleichen Betrag zunimmt.

Beispiel:

Belastung	Länge der Feder	Gesamt-verlängerung	Zunahme der Verlängerung
—	22 cm	—	—
1 Gewichtsstück	24,4 cm	2,4 cm	2,4 cm
2 Gewichtsstücke	26,8 cm	4,8 cm	2,4 cm
3 Gewichtsstücke	29,2 cm	7,2 cm	2,4 cm

Sobald die Feder nicht mehr belastet wird, nimmt sie die ursprüngliche Länge wieder an.

Umwickeln wir einen Bleistift etwa zwanzigmal mit einem dünnen Eisendraht, so erhalten wir eine Drahtwendel, die einer Schraubenfeder ähnlich sieht. Ziehe diese „Feder" auseinander! Wie du siehst, behält die Eisendrahtwendel ihre bei der Dehnung angenommene Länge im Gegensatz zu den Schraubenfedern in der Küchen- oder Lumpenwaage bei.

Alle wirklichen Federn dagegen nehmen nach Aufhören der Belastung wieder ihre ursprüngliche Länge an. Man nennt sie wegen dieser Eigenschaft *elastisch*.

Elastische Körper. Neben den Schraubenfedern sind auch die in den Abb. 44 und Abb. 45 dargestellten Federn in Gebrauch. Welchen Zweck haben sie? Wo finden elastische Federn Verwendung? Nenne elastische Stoffe! Prüfe eine Messerklinge, ein Stahllineal, eine Stricknadel!

Alle elastischen Stoffe lassen sich – bis zu einer gewissen Grenze – zusammendrücken, dehnen oder biegen, ohne zu zerbrechen oder sich dauernd zu verformen. Sie nehmen ihre ursprüngliche Form wieder an, sobald die Beanspruchung aufhört (Druck-, Zug- und Biegungselastizität).

Abb. 44 Blattfeder

Abb. 45 Uhrfeder

Eine fallende Stahlkugel prallt von einer Stahlplatte zurück. Daß sie sich im Augenblick des Aufprallens abplattet, erkennen wir an dem Fleck, den sie nach dem Aufprall auf eine berußte Platte aufweist (Abb. 46) bzw. auf dieser hinterläßt. Nach dem Abspringen von der Unterlage nimmt sie wieder ihre Kugelgestalt an, ebenso wie sich auch Eindrücke in die elastische Unterlage wieder ausgleichen.

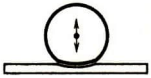


Abb. 46 Abplattung einer elastischen Kugel (Berührungsfläche übertrieben breit gezeichnet)

Unelastische Körper. Eine auf eine Unterlage aufprallende Bleikugel springt nicht zurück. Sie behält ihre

Abplattung bei, ihr fehlt die Fähigkeit, ihre ursprüngliche Gestalt wiederzugewinnen. Deswegen bezeichnet man Blei als *unelastisch* oder *plastisch*. Nenne andere plastische Körper! Forme eine Kugel aus Knetmasse und versuche damit Ball zu spielen, wobei du sie gegen die Wand wirfst!

Festigkeit. Was geschieht, wenn eine Messerklinge (die Spitze eines Taschenmessers) zu stark gebogen wird? Auch der elastische Körper kann ohne Zerstörung der Körperform nur in bestimmten Grenzen verändert werden. Jeder Körper besitzt eine bestimmte *Festigkeit*. Die Festigkeit der verschiedenen Werkstoffe ist der Technik genau bekannt und wird bei allen Bauten berücksichtigt.

2. Gewicht ist Kraft - Gewicht und Masse. Ziehe, wie die Abb. 47 zeigt, eine Federwaage auseinander! Du brauchst *Kraft*. Je größer die Kraft ist, die auf eine Feder einwirkt, um so mehr wird diese auseinandergezogen bzw. zusammengedrückt. Das gleiche können wir durch Gewichte erreichen, die wir an die Federwaage hängen oder auf sie drücken lassen. Denn das Gewicht eines Körpers ist eine Kraft.

Wir können uns leicht davon überzeugen, wenn wir einen Ziegelstein längere Zeit mit ausgestrecktem Arm halten. Wir haben das Gefühl, als zöge jemand den Arm nach unten. Die wirkende Kraft ist auf die Erde hin gerichtet. Man nennt sie *Schwerkraft*.

Wir können demnach Federwaagen dazu verwenden, um Kräfte bzw. Gewichte miteinander zu vergleichen und sie zu messen. Es ist dazu nur erforderlich, daß wir die Federwaage in einer geeigneten Einheit eichen.

Welche Einheit kommt dafür in Frage?

Abb. 47 Mit der Federwaage messen wir Muskelkräfte.

Wir sind es von der Umgangssprache her gewöhnt, Gewichte in Kilogramm oder Gramm anzugeben. Und doch dürfen wir uns in der Physik diesem Brauch nicht anschließen. Denn das Gramm und das Kilogramm sind im Grunde genommen gar keine Gewichtseinheiten, sondern Masseneinheiten.

Wir müssen streng unterscheiden zwischen der *Masse*, die einen Körper ausfüllt, und dem *Gewicht*, das diese Masse infolge der Schwerkraft besitzt.

Daß es sich dabei um zwei ganz verschiedene Größen handelt, wird uns sofort durch folgende Überlegung klar: Wir wägen einen Körper, z. B. einen Normalziegelstein, mit Hilfe einer Federwaage. Der Zeiger zeigt 3 Gewichtseinheiten an. Doch ist diese Anzeige nicht an allen Orten der Erde die gleiche. Nehmen wir dieselbe Wägung am Äquator vor, so ist dort der

Zeigerausschlag etwas geringer; wir lesen dort 2,991 Gewichtseinheiten ab. Wandern wir dagegen mit unserer Federwaage zum Pol, so nimmt der Ausschlag um ein geringes zu; die Federwaage zeigt am Pol 3,006 Gewichtseinheiten an. Wir ersehen daraus, daß ein Körper nicht überall auf der Erde das gleiche Gewicht besitzt; es nimmt bei einer Verlagerung des Körpers vom Pol zum Äquator hin ein wenig ab. Diese Tatsache erklärt sich aus der Abplattung der Erde an den Polen, in erster Linie aber daraus, daß die Wirkung der Schwerkraft, der der Körper unterworfen ist, auf dem Wege zum Äquator, wenn auch nur wenig, so doch in zunehmendem Maße infolge der Erdumdrehung verringert wird. Von Einfluß auf das Meßergebnis ist ferner noch die Höhenlage der Meßstelle, doch wollen wir hier darauf nicht näher eingehen. Wir nehmen sie der Einfachheit halber in Meereshöhe an.

Zu ganz anderen Erfahrungen führt eine Wägung mit der Hebel- oder Kaufmannswaage, die wir in §17, 2 näher kennenlernen werden. Die Wägung erfolgt an ihr, indem wir den zu wägenden Körper mit genormten Metallklötzen, die wir „Gewichtsstücke" nennen, ins Gleichgewicht bringen. Wir erreichen dies z.B. bei einem Normalziegelstein durch Auflegen von 3 Kilogrammstücken. Daran ändert sich im Gegensatz zur Federwaage nichts, wenn wir dieselbe Wägung am Äquator oder am Pol vornehmen. Auch die Höhenlage unserer Meßstelle ist darauf ohne Einfluß.

Wie können wir uns den zwischen beiden Meßergebnissen liegenden scheinbaren Widerspruch erklären? Wir müssen folgendes berücksichtigen: Die Federwaage ist ein Kraftmesser. Wir messen mit ihrer Hilfe das *Gewicht* des Körpers, d.h. die Kraft, die ihn zu Boden zieht. Diese aber ist im gewissen Rahmen ortsabhängig. Mit der Hebelwaage ermitteln wir überhaupt keine Gewichte; sie dient uns zum Vergleich von *Massen*, d.h. zum Vergleich dessen, was die Körper erfüllt, was ihre Körperlichkeit erst ausmacht. Die Masse eines Körpers aber ist, solange er als Ganzes bestehen bleibt, unveränderlich; sie ist an allen Orten die gleiche. Die Einheiten der Masse sind die uns bekannten *Kilogramm* (kg) und *Gramm* (g). Als solche wurden sie z.B. in § 4 zur Mengenangabe des Wassers bei der Prägung des Begriffs der Wärmemenge verwendet.

Da freilich am gleichen Ort Körper von gleicher Masse auch gleiche Gewichte haben, hat es sich im Alltagsgebrauch eingebürgert, die Worte Kilogramm und Gramm auch zur Bezeichnung der Gewichtseinheiten zu verwenden. Eine streng wissenschaftliche Denkweise aber muß fordern, daß zwei so verschiedene physikalische Größen, wie es Masse und Gewicht sind, auch in den Einheiten unterschieden werden. Es sind deshalb für das Gewicht besondere Einheiten eingeführt worden, und zwar das *Kilopond* (kp) und das *Pond*[1]) (p): 1 kp = 1000 p.

Wir haben zu merken:

1 kg ist die Masse eines Liters Wasser bei 4° C.

1 kp ist das Gewicht eines Liters Wasser bei 4° C in Meereshöhe bei einer geographischen Breite von 45°.

1) póndus (lat.) = Last.

3. Masse und Gewicht auf der Erde, auf dem Monde, auf der Sonne. Unter Verwendung der genannten Einheiten stellen wir noch einmal fest:

Ein Normalziegelstein hat an allen Orten der Erde eine Masse von 3 kg. Sein Normgewicht beträgt 3 kp. Am Äquator wiegt der Stein nur 2,991 kp, am Pol 3,006 kp.

Es ist sogar gelungen zu berechnen, wie sich sein Gewicht ändern würde, wenn es möglich wäre, den Ziegelstein auf den Mond zu bringen. Auch dort wäre die Masse des Steins unverändert 3 kg; sein Gewicht betrüge aber entsprechend der geringeren Schwerkraft an der Mondoberfläche nur etwa $\frac{1}{6}$ seines Normgewichtes auf der Erde, also rd. 0,5 kp.

Noch auffälliger werden diese Unterschiede, wenn wir uns mit unserem Ziegelstein auf die Sonne versetzt denken, wobei wir uns die Sonnenoberfläche als fest vorstellen und von außergewöhnlich hohen Temperaturen absehen. Nach wie vor beträgt die Masse des Steins 3 kg.

Der Stein ist aber auf der Sonne einer 28mal so großen Schwerkraft unterworfen wie auf der Erde. Mithin beträgt sein Gewicht auf der Sonne das 28fache seines Normgewichtes auf der Erde; er wiegt auf der Sonne 84 kp. Nehmen wir ferner an, daß die menschlichen Muskelkräfte bei diesem Gedankenexperiment auf der Sonne die gleichen wie auf der Erde blieben, so wäre es auf der Sonne nur einem ungewöhnlich starken Menschen möglich, einen Stein mit der Masse von 3 kg hochzuheben.

4. Was ist schwerer: Kork oder Eisen? — Die Wichte. An eine Federwaage hängen wir ein Brett. Es wiegt 1 kp. Wird das Brett durch einen Eisenkörper von gleichem Gewicht, am einfachsten durch ein Kilogrammstück, ersetzt (Abb. 48), so zeigt die Federwaage zwar das gleiche Gewicht an. Ein einfacher Vergleich lehrt uns aber, daß das Brett einen viel größeren Rauminhalt einnimmt als der Eisenkörper. Vergleiche den Rauminhalt einer großen Tüte voll alter Flaschenkorken mit dem Rauminhalt einer Eisenmenge von gleichem Gewicht! Prüfe Holz und Blei in gleicher Weise!

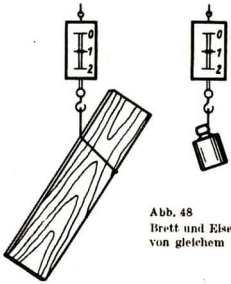


Abb. 48
Brett und Eisenkörper von gleichem Gewicht

Körper aus verschiedenen Stoffen haben bei gleichem Gewicht verschiedene Rauminhalte (Abb. 49).

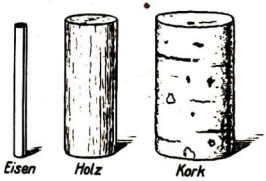


Abb. 49 Gleiches Gewicht — verschiedene Rauminhalte

Wir füllen die eine von zwei gleich großen Schachteln mit trockenem Sand, die andere mit Eisenfeilspänen und ermitteln ihr Ge-

wicht. Es ergibt sich: Körper aus verschiedenen Stoffen haben bei gleichem Rauminhalt verschiedenes Gewicht.

Um aus dem Rauminhalt eines Körpers sein Gewicht und umgekehrt aus seinem Gewicht den Rauminhalt errechnen zu können, muß man das Gewicht eines cm³ des Stoffes kennen, aus dem der Körper besteht.

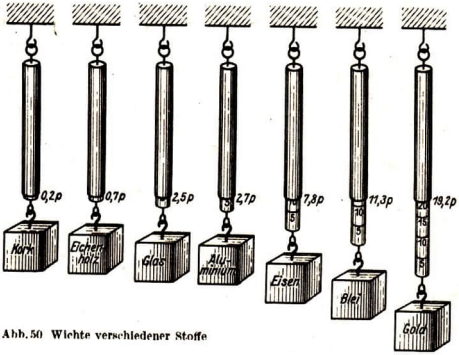


Abb. 50 Wichte verschiedener Stoffe

Aus Abb. 50 kann man die mit empfindlichen Federwaagen festgestellten Gewichte je eines cm³ verschiedener Stoffe entnehmen.

Das in p *gemessene Gewicht von 1* cm³ *eines Stoffes wird als seine Wichte (oder sein spezifisches Gewicht) bezeichnet. Die Maßeinheit der Wichte ist* p *je* cm³ (p/cm³).

Wichten (in p *je* cm³*)*

Platin	21,4	Kupfer	9	Wasser	1
Gold	19,2	Eisen	7,8	Eis	0,9
Quecksilber	13,6	Aluminium	2,7	Spiritus	0,8
Blei	11,3	Glas	2,5	Holz	0,5–0,9
Silber	10,5	Kohle	1,2–1,5	Kork	0,2

Aufgaben:

1. Wie schwer ist eine Eisenplatte von 1 m Länge, 0,80 m Breite und 0,8 cm Dicke? (Gewicht in p = Rauminhalt in cm³ · Wichte).
2. Wieviel wiegt eine Bleiplatte von gleichen Abmessungen?
3. Welchen Rauminhalt hat ein Eisstück mit einem Gewicht von 1 kp?

§ 9. Eine Mauer wird aufgerichtet

1. Das Lot - Der Schwerpunkt. Der alte Zaun des Hofes soll durch eine feste Mauer ersetzt werden. Der Maurer hat sie schon bis zur halben Höhe aufgebaut. Er steht auf einem Gerüst und setzt Stein auf Stein. Ein Ziegelstein, der zu weit über seine Unterstützungsfläche hinausragt, fällt herunter. Hebe ihn auf und lasse ihn nochmals fallen! Wiederhole den Versuch mit einem beliebigen Körper! Alle Körper, die wir nicht unterstützen oder die wir nicht festhalten, fallen senkrecht nach unten. Sie folgen der Schwerkraft.

Abb. 51 Wozu verwendet der Maurer das Lot?

Wir beobachten die Arbeit des Maurers. Von Zeit zu Zeit unterbricht er seine Arbeit mit der Mauerkelle. Mit einem *Lot* oder *Senkblei* prüft er den Aufbau der Mauer (Abb. 51).

Fertige dir aus einem Faden und einem kleinen Metallkörper ein Lot an! Prüfe mit ihm, ob der Schrank, der Tür- oder Torpfosten senkrecht stehen!

Der am Faden hängende Metallkörper des Lotes kann nicht fallen, da er, wenn auch nur an einem Punkte, unterstützt ist. Der Faden stellt sich unter der Wirkung der Schwerkraft senkrecht ein. — Der Ziegelstein lag, ehe er herunterfiel, mit einer Fläche auf der Mauer. Trotzdem fiel er herab; die Unterstützung reichte nicht aus, um die Wirkung der Schwerkraft aufzuheben. — Ergänze deine Feststellung durch folgenden Versuch: Suche nach Abb. 52 dein Lineal in einem Punkte zu unterstützen, so daß es, in waagerechter oder schräger Lage auf der Fingerspitze schwebend, nicht fällt! Beobachte die Lage des Unterstützungspunktes! Führe den gleichen Versuch mit einem Ziegelstein oder mit einer mit Sand gefüllten, zugeklebten Schachtel durch! Wiederhole den Versuch mit dem Lineal, indem du das eine Ende des Lineals beschwerst! Wie mußt du den Unterstützungspunkt verschieben?

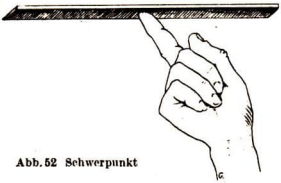


Abb. 52 Schwerpunkt

Der Punkt, bei dessen Unterstützung ein nur der Einwirkung der Schwerkraft unterworfener Körper in *allen Lagen* in Ruhe bleibt, heißt Schwerpunkt. Bei regelmäßig geformten Körpern, z. B. einer Kreisscheibe, einer Kugel, einem Würfel u. a. m., liegt der Schwerpunkt im Körpermittelpunkt, wenn das Gewicht gleichmäßig über den ganzen Körper verteilt ist. Bei ungleichmäßiger Verteilung des Gewichtes ist er mehr nach der schweren Seite hin verlagert.

2. Das Stehaufmännchen - Vom Gleichgewicht. Baue nach folgenden Angaben einen „Stehauf“: Verschließe ein ausgeblasenes Ei am stumpfen Ende mit Gips! Durch die andere Öffnung fülle etwas kleingehacktes Blei und einige Paraffinstückchen (alte Kerzenstummel) ein! Die obere Öffnung überklebe mit Papier, dann tauche

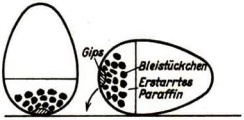


Abb. 53 Stehauf

das Ei in heißes Wasser und laß es in aufrechter Stellung wieder abkühlen. Durch Anmalen gib dem Ei das Aussehen eines Männchens! Erkläre den „Stehauf", indem du auf die Lage des Schwerpunktes achtest (Abb. 53)!

Der Schwerpunkt eines beweglichen Körpers sucht stets eine möglichst tiefe Lage einzunehmen. Hat er die tiefste Lage erreicht, die bei der gewählten Unterstützung möglich ist, so ist der Körper in sicherem Gleichgewicht.

a) Alle frei hängenden Körper sind in *sicherem* (*stabilem*) Gleichgewicht.

Kennzeichne an deinem Lineal den Schwerpunkt durch einen Punkt S auf der Außenfläche – wo liegt der Schwerpunkt in Wirklichkeit? – und stecke durch das Loch A einen Bleistift (Abb. 54a)! Lege den Bleistift quer über zwei aufrecht nebeneinandergestellte Schachteln, so daß das Lineal zwischen beiden herabhängt! Stelle fest, wie der Schwerpunkt im Vergleich zum Unterstützungspunkt liegt, wenn das Lineal zur Ruhe gekommen ist!

Der Schwerpunkt eines hängenden Körpers hat die tiefste Lage, wenn er senkrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt. Der Körper befindet sich dann im sicheren (stabilen) Gleichgewicht. Bei einer Störung des Gleichgewichts kehrt er selbsttätig in die alte Lage zurück.

Warum hängen manche Bilder immer schief?

b) Versuche das Lineal auf dem Bleistift zwischen den beiden Schachteln in aufrechter Stellung ins Gleichgewicht zu bringen (Abb. 54b). Vielleicht gelingt es dir bei einigem Bemühen. Wo liegt dann der Schwerpunkt? Man spricht in diesem Fall von einer *unsicheren* (*labilen*) Gleichgewichtslage; denn es genügen die geringsten Erschütterungen, um dieses Gleichgewicht zu stören. Dabei geht der Schwerpunkt wieder in die tiefste Lage über.

Ein hängender Körper befindet sich im unsicheren (labilen) Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt. Bei einer noch so geringen Verschiebung geht der Schwerpunkt in eine tiefere Lage über.

c) Schneide einen Pappstreifen wie ein Lineal, durchbohre ihn im Schwerpunkt und unterstütze ihn, wie oben angegeben, durch einen Bleistift! Beobachte das Gleichgewicht (Abb. 54c)!

Decken sich Schwerpunkt und Unterstützungspunkt, so kann der Schwerpunkt weder steigen noch fallen. Der Körper ist in jeder Lage in Ruhe. Er ist in *beständigem* (*indifferentem*) Gleichgewicht.

Fallen Schwerpunkt und Unterstützungspunkt zusammen, so ist der Körper im beständigen (indifferenten) Gleichgewicht.

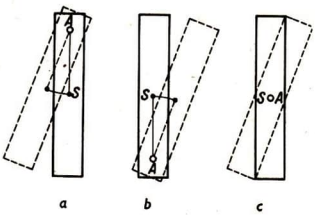


Abb. 54 Die verschiedenen Arten des Gleichgewichtes

Nenne Körper im beständigen Gleichgewicht! In welchem Gleichgewicht sind die Räder deines Fahrrades?

Stecke zwei Gabeln in einen Flaschenkork! Klemme dann ein Geldstück in den Kork und setze das Ganze nach Abb. 55 auf eine Nadelspitze! Wo liegt der Schwerpunkt der Anordnung? In welchem Gleichgewicht befindet sich die Vorrichtung?

Abb. 55 Wo liegt der Schwerpunkt?

3. Von unseren Möbeln und Gebrauchsgegenständen - Die Standfestigkeit. Wir kippen einen Stuhl ein wenig zur Seite und lassen ihn wieder los. Was geschieht? (Vgl. Abb. 56a und b.) Da er von allein in seine alte Lage zurückkehrt, befindet er sich nach Abschnitt 2 im sicheren Gleichgewicht. Dem scheint zu widersprechen, daß nach unseren Feststellungen der Schwerpunkt beim sicheren Gleichgewicht senkrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt. Wo aber befindet er sich beim Stuhl? Der Zwiespalt in unseren Aussagen wird sofort gelöst, wenn man bedenkt, daß der Stuhl kein hängender Körper ist, sondern fest auf der Unterlage steht. Er besitzt eine *Standfestigkeit*. Dasselbe gilt für alle unsere Möbel und Gebrauchsgegenstände, sofern sie nicht hängen, sondern auf einer Unterlage stehen. Sie alle sind mehr oder weniger standfest.

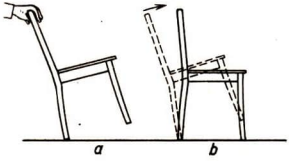


Abb. 56 Standfestigkeit eines Stuhles

Ein stehender Körper befindet sich immer im sicheren Gleichgewicht, auch wenn seine Standfestigkeit nur gering sein sollte.

Wovon die Standfestigkeit im einzelnen abhängt, wird uns an folgenden Beispielen klar:

a) Um einer Tischlampe einen festen Stand zu geben, macht man ihren Fuß möglichst schwer. Ihr Schwerpunkt kommt dadurch tief zu liegen. – Aus dem gleichen Grunde stehen niedrige Wein- oder Biergläser sicherer als langstielige, hohe. – Kraftfahrzeuge, die sich durch eine große Kippsicherheit auszeichnen sollen, baut man niedrig, so daß ihr Schwerpunkt möglichst tief liegt. – Warum ist bei einem hochbeladenen Heuwagen auf schlechten Wegen die Gefahr des Umkippens größer als bei einem leeren Wagen?

b) Wir stellen eine Zigarrenkiste auf ihre verschiedenen Flächen und versuchen, sie umzuwerfen. Dies gelingt bei der großen Unterstützungsfläche nicht so leicht wie bei der kleinen. Ebenso steht eine Kerze, die man mit ihrer Endfläche auf eine kleine Holz- oder Pappscheibe klebt, viel fester, als wenn man sie ohne

diese auf den Tisch stellt. – Aus welchem Grunde werden Tischlampen mit einem möglichst breiten Fuß versehen? – Drei Unterstützungspunkte genügen, um einen Gegenstand sicher aufzustellen. Denke dabei an die Stative von Photographenapparaten, Fernrohren u. dgl.! Trotzdem bevorzugt man wegen der größeren Unterstützungsfläche meist vierbeinige Tische, obwohl sie nicht immer fest aufstehen, sondern häufig wackeln. – Warum stehen Kutscher auf dem fahrenden Wagen mit gespreizten Beinen sicherer?

c) Eine hochkant aufgestellte, leere Zigarrenkiste läßt sich leichter umwerfen als eine gleich große und ebenso aufgestellte, die mit Sand gefüllt ist. – Ein voller Eimer steht fester als ein leerer, weil er schwerer ist als dieser. – Warum kippt bei einem Stoß eine leere Flasche leichter um als eine volle?
Man erkennt:

Ein Körper steht um so fester, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, je größer seine Unterstützungsfläche ist, je schwerer er ist.

Unter welchen Umständen fällt ein Körper um? Aus Abb. 57 können wir entnehmen, welche Umstände dafür bestimmend sind, daß ein Körper nicht mehr in seine frühere Lage zurückfällt!

Ein Körper fällt um, wenn das vom Schwerpunkt aus gefällte Lot nicht die Unterstützungsfläche trifft.

Beobachte die Haltung von Arbeitern, die eine schwere Kiste schleppen! Du trägst selbst einen schweren Koffer oder einen Eimer voll Kohle. Welche Haltung nimmst du ein?

Unser Schwerpunkt liegt im Körper ungefähr in der Höhe des Nabels. Tragen wir eine Last, so verschiebt sich der Schwerpunkt nach der Seite der Last hin an den Rand unserer Unterstützungsfläche oder gar darüber hinaus. Gefühlsmäßig beugen wir uns nach der der Last entgegengesetzten Seite, um den Schwerpunkt wieder über die Unterstützungsfläche zu schieben. Stelle dich mit einer Körperseite so an die Wand, daß die geschlossenen Füße dicht an der Scheuerleiste stehen! Warum gelingt dir das nicht? Stelle dich dicht mit dem Rücken und den Füßen an die Wand und mache dann eine Rumpfbeuge mit vorgestreckten Armen! Warum bringt das keiner fertig?

Unser Gehen ist verhindertes Fallen. Erkläre das!

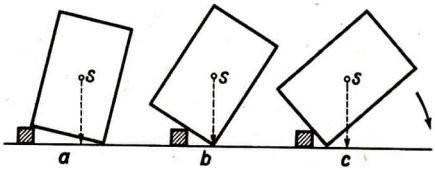


Abb. 57
In welchem der drei Fälle fällt der Körper um?

§ 10. Von den kleinsten Teilchen - Moleküle und ihre Kräfte

1. Holz und Eisen werden bearbeitet - Teilbarkeit, Moleküle, Kohäsion. Wir beobachten einen Tischler oder einen Zimmermann bei ihrer Arbeit. Wir sehen, wie sie Bretter oder Leisten zersägen. Sägespäne fallen als kleine Holzteilchen in Mengen zu Boden.
Wir schauen einem Schlosser zu, der einen Schlüssel feilt. Dabei entstehen Eisenfeilspäne, die bald Schraubstock und Fußboden bedecken. Wir sehen also, daß sich Holz und Eisen mit Säge und Feile in kleine Teile zerlegen lassen, die wieder Holz und Eisen sind.
Lassen sich auch Wasser und Luft teilen? Suche andere Beispiele!

Alle Körper sind teilbar.

Wir zerreiben kleine Teilchen eines Zuckerwürfels zu Staub.
Selbst dann, wenn die entstehenden Zuckerstäubchen so fein sind, daß wir sie gerade noch sehen können, lassen sie sich weiter in noch kleinere Zuckerstäubchen teilen, die man nun freilich mit bloßem Auge nicht mehr getrennt wahrnehmen kann; man bedarf dazu eines Mikroskopes. Wohl gibt es Möglichkeiten, diese kleinen, nur noch mikroskopisch sichtbaren Zuckerteilchen in immer feinere Zuckerteilchen zu zerlegen, so daß man immer stärkere Vergrößerungen anwenden muß, um sie noch zu sehen. Doch kann man solche Verfahren nicht beliebig weit fortsetzen. Aus Gründen, die wir jetzt noch nicht überschauen können, ist man zu der Überzeugung gelangt, daß der Teilbarkeit eine Grenze gezogen ist. Man nimmt an, daß alle Körper aus *kleinsten* Teilchen bestehen, die sich nicht weiter zerlegen lassen.

Man nennt diese kleinsten Massenteilchen Moleküle.[1])

Sie sind so klein, daß sie selbst mit Mikroskopen stärkster Vergrößerung nicht mehr sichtbar gemacht werden können. Die Zahl der Moleküle, aus denen ein Körper besteht, ist infolgedessen ungeheuer groß. Trotzdem aber ist es den Forschern gelungen, sie für einige Stoffe mit ziemlicher Genauigkeit zu berechnen. So enthält 1 cm^3 Luft bei 0° und normalem Luftdruck 27 Trillionen Moleküle.

Um uns von dieser Zahl eine Vorstellung zu verschaffen, denken wir uns 1 cm^3 Luft auf den Raum ausgedehnt, den unsere Erde einnimmt, und die in dem Kubikzentimeter enthaltenen Moleküle gleichmäßig auf den ganzen Raum verteilt. Die Erde hat einen Rauminhalt von etwa 1 Billion km^3, das sind 1 Trillion Würfel mit einer Kantenlänge von 10 m. Man müßte somit in jedem dieser Würfel rund 27 Moleküle unterbringen, um zu demselben Verteilungsverhältnis zu kommen, wie beim ursprünglichen Kubikzentimeter Luft.
Ebenso hat man heute Kenntnis von der Größe eines solchen Moleküls. Der Durchmesser eines Moleküls ist nur wenig größer als der 10 000 000ste Teil eines Millimeters.

Der Schlüssel, den wir beim Schlosser sahen, die Eisenbahnschienen, die gewaltigen Träger großer Brücken, die Lokomotiven, sie alle bauen sich aus einer unvorstellbar großen Zahl von Molekülen auf. Ebenso ist es bei allen anderen Körpern.

1) moles (lat.) = Masse; molécula = kleine Masse.

Muß man sich da nicht wundern, daß sich nicht alle Körper in Staub auflösen, daß die Moleküle nicht auseinanderfallen? Wir müssen annehmen, daß sich die Moleküle eines Körpers gegenseitig festhalten, daß zwischen ihnen eine Kraft wirksam ist, die das Auseinanderfallen verhindert.

Die Kraft, durch die die Moleküle eines Stoffes zusammengehalten werden, heißt Zusammenhangskraft oder Kohäsionskraft.[1])

So haben sich die Moleküle des Zuckers beim Auskristallisieren aus einer Zukkerlösung zu einem festen, harten Kristall zusammengefügt. Das gleiche geschieht, wenn geschmolzenes Eisen beim Guß erstarrt. Doch kann man durch bloßes Zusammendrücken, und mag es noch so kräftig erfolgen, niemals aus Zuckerstäubchen einen Zuckerkristall oder aus Eisenfeilspänen ein Eisenstück erhalten. Die Zusammenhangskraft zwischen den Molekülen wird erst dann wirksam, wenn sie sich gegenseitig noch stärker nähern, als man es durch Zusammenpressen erreichen kann.

Bei der Bearbeitung von Werkstoffen, bei der Späne abgehoben werden, z. B. auch beim Zurechtfeilen des Schlüssels, muß der Schlosser diese Kraft überwinden. Ihr entspricht die „Festigkeit" des Körpers (s. S. 38).

Beobachte das Abtropfen des Wassers von einem zum Trocknen aufgehängten Wäschestück! Die Tropfen lösen sich von ihm unter dem Einfluß der Schwerkraft. Die Moleküle der flüssigen Körper halten weniger fest zusammen als die der festen Körper; sie sind leichter beweglich.

Wir wissen, daß das Wasser beim Erhitzen verdampft.

Ein Teil der Wassermoleküle verliert den Zusammenhang mit den übrigen und tritt in den Luftraum über. Der Dampf breitet sich in der Luft aus. Das deutet darauf hin, daß die Zusammenhangskraft zwischen den Wassermolekülen, aus denen der Dampf besteht, nur noch sehr gering sein kann.

Die Zustandsform eines Körpers und die Zusammenhangskraft seiner Moleküle stehen in enger Beziehung zueinander:

Bei festen Körpern sind die Molekularkräfte sehr groß. Die Moleküle haften so fest aneinander, daß sie sich nur durch großen Kraftaufwand voneinander trennen lassen.

Bei flüssigen Körpern sind die Molekularkräfte geringer. Die Moleküle haften wohl aneinander, sind aber leicht gegeneinander verschiebbar.

Bei gasförmigen Körpern sind die Molekularkräfte sehr gering. Sie reichen nicht mehr aus, um die Moleküle aneinanderzubinden; diese sind frei beweglich.

2. Vom Leimen und Anstreichen - Die Adhäsion. Wieder sehen wir dem Tischler zu. Die schmalen Kanten zweier behobelter Bretter will er zusammenleimen. Er wärmt die Kanten vor und bestreicht sie mit warmem Tischlerleim. Mit einer Zwinge preßt er die Leimfuge fest zusammen. Wie lange muß die Leim-

1) cohaerére (lat.) = zusammenhängen.

stelle trocknen? Wie verfährt der Tischler bei der Verwendung von Kaltleim? Versucht man, zwei gut verleimte Bretter auseinanderzubrechen, so splittert eher das Holz, als daß die Leimfuge aufbricht. Niemals hielten die Bretter zusammen, wenn nicht der Leim als Bindemittel verwendet worden wäre. — Ein zerbrochenes Kreidestück kann man durch Aufeinanderpressen der Teile nicht wieder zusammenfügen. Es gelingt nicht, die einzelnen Moleküle so weit zusammenzudrücken, daß ihre Zusammenhangskraft wieder wirksam wird. Macht man aber mit der Kreide auf die Tafel einen Strich, so haften die Kreideteilchen an der Tafel. — Der Anstreicher bestreicht die Decke mit Farbe; sie haftet am Mörtelputz der Decke. Die Schwerkraft ist nicht imstande, die Kreide- und Farbteilchen nach unten zu ziehen.

Die Kraft, mit der sich Moleküle verschiedener Körper festhalten, wird als Anhangskraft oder Adhäsionskraft[1]) bezeichnet.

Lege zwei angefeuchtete Glasplatten aufeinander und versuche sie zu trennen! (Grund für die Anfeuchtung?)

Die Adhäsionskraft wirkt nur auf geringe Entfernungen.

Ohne Adhäsion wäre ein Schreiben, Malen und Zeichnen unmöglich. Erkläre nun den Vorgang des Leimens und Kittens!

3. O weh, ein Tintenklecks! - Die Kapillarkraft. Wir haben einen Tintenklecks gemacht. Schnell ein Löschblatt her! Eine Ecke wird abgerissen und mit ihr die Tinte aufgesogen. Woher hat das Löschpapier seine Saugfähigkeit? Halte das Löschblatt gegen das Licht! Es besteht aus lauter feinen Fasern, zwischen denen sich noch feinere Lücken, Poren genannt, befinden. Diese allerfeinsten Zwischenräume sind mit engen Röhrchen vergleichbar, die man **Haarröhrchen** nennt. In ihnen steigt die Tinte empor.

Folgender Versuch soll uns die Erklärung für die Saugwirkung der Haarröhrchen geben: Wir tauchen verschieden enge Glasröhrchen in gefärbtes Wasser (Abb. 58). In den Glasröhrchen, die auch **Kapillaren**[2]) genannt werden, steht das Wasser verschieden hoch. Je enger das Röhrchen, desto höher steht die Flüssigkeit. Beobachte die Wasseroberfläche in den Röhrchen! Die Moleküle des Glases und die Moleküle des Wassers ziehen sich stärker an, als es die Moleküle des Wassers untereinander tun.

Die Adhäsion zwischen Glas und Wasser ist größer als die Kohäsion des Wassers.

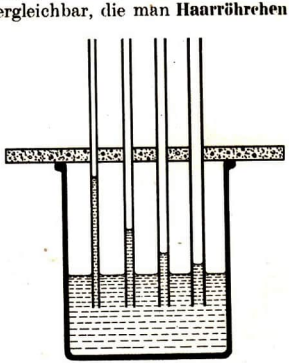


Abb. 58 Saugwirkung von Haarröhrchen mit verschiedenem Durchmesser

1) adhaerére (lat.) = anhaften.

2) capillus (lat.) = Haar.

Dies ist bei allen Flüssigkeiten der Fall, die feste Körper benetzen. Daß Wasser eine benetzende Flüssigkeit ist, können wir in jedem Wasserglas beobachten. Wir sehen, daß sich der Rand der Wasseroberfläche um einige Millimeter an der Glaswand emporwölbt. Die Ursache dafür ist die gleiche, wie wir sie für das Hochsteigen des Wassers in Haarröhrchen fanden.

Abb. 59 Haarröhrchen in nicht benetzender Flüssigkeit

Stelle zwei Glasplatten in nahem Abstand und einander gleichlaufend in Wasser. Nähere beide Scheiben einander! Das Wasser steigt zwischen beiden Glasscheiben empor, es wird emporgehoben. Wende diese Beobachtung auf die Haarröhrchen an!

Das Aufsteigen des Wassers in Haarröhrchen bezeichnet man als Kapillarität.

Ein anderes Verhalten zeigen nichtbenetzende Flüssigkeiten, wie Quecksilber (Abb. 59). Sie steigen nicht in Haarröhrchen hoch; ihre Oberfläche senkt sich in den Haarröhrchen etwas.

Der Haarröhrchenwirkung begegnen wir vielfach. Der Lampen- und der Feuerzeugdocht saugen sich mit Petroleum und Benzin voll. Welche Aufgabe hat der Kerzendocht? Tauche ein Stück Zucker mit einer Ecke in Kaffee oder einen Schwamm in Wasser! Erkläre das Auftrocknen eines nassen Fußbodens mit einem Wischlappen! – Überzeuge dich, daß ein trockener Ziegelstein Wasser aufsaugt! Aus diesem Grunde wird Mauerwerk, das auf feuchtem Grund steht, von unten her naß. Beim Hausbau werden daher die Grundmauern durch Einlegen von geteerter Pappe abgedichtet. – Die Haarröhrchenwirkung spielt in der Natur eine große Rolle. Die Pflanzen enthalten in ihren Wurzeln, Stämmen, Stengeln und Blättern Haarröhrchen, mit deren Hilfe sie das Wasser aus dem Boden saugen und bis in die Spitzen der Blätter heben. – Haarröhrchen sind für den Wasserhaushalt des Ackerbodens von großer Bedeutung. Sie durchziehen den Boden und lassen das Bodenwasser bis zur Ackeroberfläche emporsteigen, wo es verdunstet. Welche Bedeutung hat also von diesem Gesichtspunkt aus das Eggen, Aufreißen, Hacken des Ackerbodens, wodurch die Haarröhrchen zerstört werden? Welche Bedeutung hat umgekehrt das Walzen?
In einzelnen Fällen gilt es, die Kapillarität zu verhindern. Denke an das „geleimte" Schreibpapier, an das Anstreichen des Holzes mit Ölfarbe und an das Teeren von Kähnen!

§ 11. Unsere Wasserleitung - Verbundene Gefäße

1. Der Wasserturm - Warum steigt das Wasser in der Hausleitung nach oben? Im Hause, im Garten und im Stall werden täglich große Mengen Wasser verbraucht. Zum Kochen, bei der Wäsche und als Trinkwasser muß das Wasser klar und rein verwendet werden. Zur Versorgung ganzer Ortschaften mit einwandfreiem Wasser legt man Wasserleitungen an. In Gebirgsgegenden fängt man das klare Quellwasser so auf, daß man es in einen großen Behälter leitet.

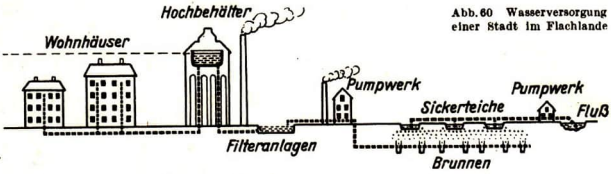


Abb. 60 Wasserversorgung einer Stadt im Flachlande

Abb. 61 Wasserhahn (Ventilhahn)

Vom Grunde dieses Behälters, der „*Brunnenkammer*", die über dem Ort liegt, der mit Wasser versorgt werden soll, fließt das Wasser durch Röhren in die Höfe und Häuser. Im Flachland tritt an die Stelle der Brunnenkammer ein *Wasserturm* mit einem *Hochbehälter* (Abb. 60). Aus Tiefbrunnen wird das Grundwasser gehoben und durch Maschinen in den Hochbehälter gepumpt. Steht Grundwasser in hinreichender Menge nicht zur Verfügung, so verwendet man statt dessen auch das Oberflächenwasser der Flüsse und Seen, nachdem es in Sicker- und Filteranlagen von Schmutz und anderen Beimischungen befreit ist. Aus dem Hochbehälter des Wasserturms fließt das Wasser durch Rohre in die Häuser. Ob man im Keller oder im vierten Stock eines Stadthauses den Wasserhahn (Abb. 61) öffnet, überall strömt das Wasser mit kräftigem Strahl heraus.

Wie ist es zu erklären, daß das Wasser bis in das höchste Stockwerk der Häuser emporsteigt?

Zwei Glasröhren verbinden wir durch einen Schlauch und füllen sie teilweise mit Wasser. Bei Bewegung der Röhren bleiben die Oberflächen der Flüssigkeit in beiden Röhren in gleicher Höhe (Abb. 62a).

Ein Gefäß, das mit mehreren ungleich weiten und verschieden geformten offenen Röhren versehen ist, wird mit Wasser gefüllt. Das Wasser steht in den Röhren (Schenkeln) gleich hoch (Abb. 62b). Neigen wir das Gefäß, so stellen sich die Flüssigkeitsspiegel in allen Röhren wieder gleich hoch ein. Sie liegen in ein und derselben waagerechten Ebene. Gefäße, die wie die oben erwähnten Röhren untereinander in Verbindung stehen, heißen *verbundene Gefäße.*

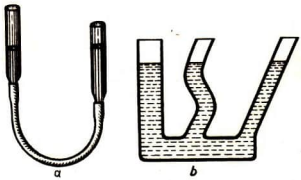


Abb. 62a und b Verbundene Gefäße

In verbundenen Gefäßen steht die Flüssigkeit gleich hoch.

Beobachte und erkläre die Wirkungsweise der Abflußröhre an der Gießkanne und an der Kaffeekanne! Erkläre das Wasserstandsglas am Dampfkessel oder am Kessel einer Warmwasserheizung (Abb. 63)! Ersetze in der oben zuerst beschriebenen Versuchsanordnung das eine Glasrohr durch eine zugespitzte Glasröhre und hebe die Einfüllröhre möglichst hoch! Beim Einfüllen von Wasser entsteht ein „Springbrunnen".

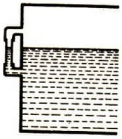


Abb. 63 Wasserstandsglas

Abb. 64 Wasserwaage

In verbundenen Gefäßen, bei denen der eine Schenkel kürzer ist als der andere, sucht die Flüssigkeit im kürzeren trotzdem bis zum Flüssigkeitsspiegel im langen Schenkel aufzusteigen. Sie spritzt aus dem kürzeren Schenkel heraus.
Wende das, was du über verbundene Gefäße gelernt hast, auf den Bau unserer Wasserleitung an! Warum erreicht ein Springbrunnen nicht die Höhe seines Hochbehälters?

2. Ist die Platte waagerecht? - Die Wasserwaage. In jedem mit Wasser gefüllten Glas sehen wir, daß die Wasseroberfläche waagerecht liegt. Dasselbe gilt aber auch für jede andere Flüssigkeit.

Eine ruhende Flüssigkeitsoberfläche ist stets waagerecht.

Visiert man über die Oberfläche der Flüssigkeit in den Schenkeln eines U-Rohres, so kann man dadurch eine waagerechte Linie festlegen. Zur Feststellung der Waagerechten an Gegenständen und Geräten aller Art benutzt man aber einfacher die *Wasserwaage* (Abb. 64). Sie besteht aus einem leichtgekrümmten, beiderseitig geschlossenen Glasrohr, das, in einem Schutzrahmen liegend, auf einer Metalleiste befestigt ist. Das Glasrohr ist mit Wasser gefüllt und enthält eine Luftblase. Die Luftblase nimmt im Rohr immer die höchste Stelle ein. Steht sie in der Mitte des Ausschnittes, so ist die Unterlage waagerecht.

Prüfe mit einer Wasserwaage, ob der Tisch, der Schrank, die Fensterbank usw. waagerecht sind! Schranktüren lassen sich zuweilen nicht zuschließen und öffnen sich dann von allein. Prüfe mit einer Wasserwaage, nach welcher Seite sich der Schrank neigt! Achte auf die Wasserwaage an Personenwaagen, an photographischen Apparaten, an den Kaufmannswaagen!

§ 12. An der Tankstelle - In der Waschküche - Vom Druck in Flüssigkeiten

1. Druck und Druckkraft. Mit unseren Stiefeln sinken wir im tiefen Schnee ein, mit unseren Skiern hingegen nicht. Leute, die ein Moor überqueren wollen, binden sich Bretter unter die Schuhe. Ein ins Eis Eingebrochener wurde von

einem Manne gerettet, der, auf einem Brette liegend, die Einbruchstelle erreichte. Erkläre dies und beachte dabei, daß das Gewicht eines Körpers eine Kraft ist!

Eine drückende Kraft wird *Druckkraft* genannt. Die auf eine Fläche wirkende Druckkraft verteilt sich gleichmäßig auf die gesamte Fläche.

Die auf 1 cm² der gedrückten Fläche wirkende Druckkraft wird als Druck bezeichnet.

Bei gleicher Druckkraft ist der Druck auf die Unterlage um so kleiner, je größer die gedrückte Fläche ist.

Der Druck von 1 kp auf eine Fläche von 1 cm² heißt eine Atmosphäre (1 at), genauer eine technische Atmosphäre.

Ein Ziegelstein wiegt rd. 3 kp; seine Kanten haben eine Länge von 24 cm, 12 cm, $6\frac{1}{2}$ cm. Wir legen ihn mit seiner größten Fläche von 288 cm² auf den Tisch. Die auf die Tischplatte ausgeübte Druckkraft beträgt 3 kp, der Druck dagegen, den die belastete Stelle auszuhalten hat, $3\ \text{kp} : 288\ \text{cm}^2 = \frac{3}{288}\ \text{kp/cm}^2$, also fast genau 0,01 at. Legen wir den Stein mit der kleinsten Fläche von 78 cm² auf den Tisch, so ist die Druckkraft die gleiche. Der Druck dagegen wächst an auf $3\ \text{kp} : 78\ \text{cm}^2 = \frac{3}{78}\ \text{kp/cm}^2$, das sind rd. 0,04 at.

Rechne:

Wenn wir eine Nähnadel in eine Holzplatte stechen, so üben wir eine Druckkraft von etwa 1 kp aus. Die Nadelspitze ist keineswegs wirklich spitz, sondern hat eine Fläche von etwa 0,05 mm² (wieviel cm² sind das?). Berechne den Druck in at!

2 Der Wagenheber – Wie sich der Druck im Wasser fortpflanzt. Eine schlauchlose Fahrradpumpe füllen wir vollständig mit Wasser und verschließen sie fest (mehrmals umkehren und Luft herausdrücken!). Schlagen wir mit dem Hammer auf den Kolbenstiel, so haben wir den Eindruck, als sei die Pumpe mit einem festen Körper gefüllt. Falls keine Luft in den Schaft getreten ist, läßt sich der Kolben nicht hineindrücken.

Flüssigkeiten lassen sich fast gar nicht zusammendrücken.

Eine Glaskugel mit mehreren Öffnungen nach allen Seiten (Abb. 65) und mit einem angesetzten Druckzylinder füllen wir vollständig mit Wasser. Drücken wir auf den Kolben, so spritzt das Wasser gleichmäßig aus allen Öffnungen. Die Ursache hierfür ist in dem Druck zu suchen, den wir auf das Wasser ausüben! Da das Wasser nicht nur aus denjenigen Öffnungen der Glaskugel herausspritzt, die dem Kolben gegenüberliegen, sondern aus allen Öffnungen, so schließen wir:

Ein Druck, der auf eine Flüssigkeit ausgeübt wird, pflanzt sich in dieser nach allen Seiten mit gleicher Stärke fort.

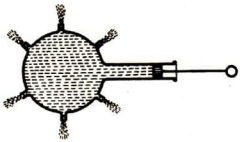


Abb. 65 Allseitige Druckfortpflanzung

An größeren Tankstellen, an denen Kraftwagen gewaschen und repariert werden, können wir beobachten, wie Wagen mit dem hydraulischen[1]) *Wagenheber* (Abb. 66) gehoben werden. Um den Vorgang zu verstehen, betrachten wir das in Abbildung 67 wiedergegebene Gerät.

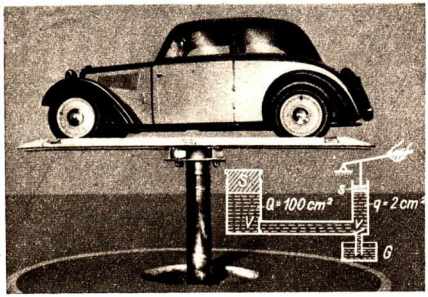


Abb. 66 Hydraulischer Wagenheber

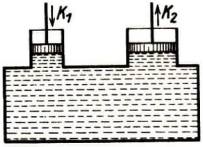


Abb. 67 Drucküberträgung

Auf einem vollständig mit Wasser gefüllten Kasten (Abb. 67) befinden sich zwei verschieden große Zylinder mit dichtschließendem Kolben. Der Querschnitt des Kolbens K_1 beträgt 5 cm². Der Kolben K_2 hat einen Querschnitt von 15 cm². Drücken wir in der Pfeilrichtung auf den Kolben K_1 mit einer Kraft von 10 kp, so entsteht im Wasser ein Druck von 10 kp : 5 cm² = 2 kp/cm² = 2 at. Dieser Druck pflanzt sich im Wasser nach allen Seiten fort und wirkt somit auch auf den Kolben K_2 in der dort gezeichneten Pfeilrichtung. Auf 1 cm² des Kolbens K_2 wirkt mithin eine drückende Kraft von 2 kp. Die gesamte auf den Kolben K_2 ausgeübte Druckkraft beträgt demnach 15×2 kp = 30 kp. Mit einer aufgewendeten Kraft von 10 kp erzielen wir also eine Hubkraft von 30 kp. Allerdings müssen wir den Kolben K_1 dreimal so tief eindrücken, wie sich K_2 heben soll.

Nun verstehen wir, wie beim Wagenheber (Abb. 66) die durch einen kleinen Elektromotor betriebene Druckpumpe infolge der allseitigen Ausbreitung des Druckes im Wasser den im Querschnitt 50mal so großen Stempel, der den Wagen trägt, mit der 50fachen Kraft nach oben drückt. Einrichtungen dieser Art bezeichnet man auch als hydraulische Pressen.

3. Am Waschzuber - Bodendruck, Seitendruck, Aufdruck. Wir haben in § 11, 1 gesehen, daß in Städten, die eine Wasserleitung besitzen, der Wasserturm (Hochbehälter) die Möglichkeit schafft, Wasser bis ins oberste Stockwerk eines Hauses gelangen zu lassen. Das Wasser im Hochbehälter übt eine Druckkraft auf das Wasser in den Zuleitungsröhren aus und läßt es in den Steigleitungen emporfließen.

1) hydraulikos (griech.) = durch Wasser (Flüssigkeit) getrieben.

Wir öffnen einen Wasserhahn und versuchen, mit dem Finger den Wasseraustritt zu verhindern. Wir verspüren die Wirkung des Wasserdruckes.

Öffnet man den Bodenverschluß eines mit Wasser gefüllten Waschzubers, so kann man am ausfließenden Wasserstrahl beobachten, wie der Druck mit sinkender Wasseroberfläche abnimmt. Auch das im Keller und im vierten Stock eines Hauses ausfließende Wasser zeigt Druckunterschiede. Der Druck ist um so größer, je tiefer wir uns unter dem Wasserspiegel des Hochbehälters befinden.

Der Druck des Wassers hängt von der Höhe der über dieser Stelle befindlichen Wassersäule ab.

Der Bodendruck. Um uns in die Zusammenhänge Einblick zu verschaffen, benutzen wir die in Abb. 68 wiedergegebene Waage. Sie trägt auf dem kürzeren Arm ihres Waagebalkens eine Verschlußplatte P, die den Boden eines zylindrischen Gefäßes R bildet. Füllt man Wasser in den Zylinder, so lastet es mit seinem ganzen Gewicht auf dem Boden. Die gegen den Boden wirkende Druckkraft wird durch das Gewicht G gerade ausgeglichen, wenn das Wasser die Höhe h im Gefäß R erreicht. Gießen wir mehr Wasser in den Zylinder, so öffnet sich die Platte, und das überschüssige Wasser fließt ab. Wählt man ein anderes Gegengewicht, so ändert sich die Wasserhöhe entsprechend. Setzen wir an die Stelle des Zylinders R das trichterförmige Gefäß S in die Fassung über P, so ist, wie der Versuch ergibt, die Druckkraft gegen den Boden die gleiche, obwohl wir in S bis zur Höhe h eine größere Menge Wasser hineingießen müssen als in R. Auch beim Aufsetzen des nach oben verjüngten Gefäßes T messen wir die gleiche Bodendruckkraft, obwohl sie in diesem Falle größer ist als das Gewicht der Flüssigkeit im Gefäß.

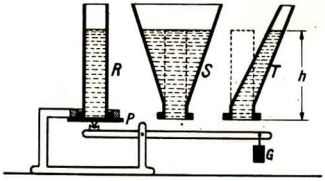


Abb. 68 Wovon hängt der Bodendruck ab?

Wir kommen zu dem merkwürdigen Ergebnis: *Die Druckkraft des Wassers gegen den Boden eines Gefäßes ist von der Form des Gefäßes unabhängig; sie ist so groß wie das Gewicht der Wassersäule, die senkrecht über der Bodenfläche zu denken ist* (in Abb. 68 punktiert gezeichnet).

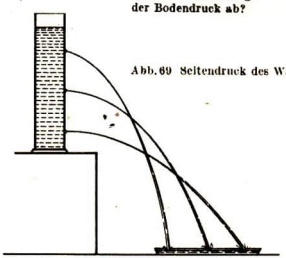


Abb. 69 Seitendruck des Wassers

Beschränken wir uns auf die gegen ein Flächenstück von 1 cm² des Bodens wirkende Druckkraft, so erhalten wir den *Bodendruck*. Er ist wie die Bodendruckkraft von der Form des Gefäßes unabhängig; er ist allein abhängig von der Höhe der Wassersäule über dem Boden, gemessen bis zur Wasseroberfläche.

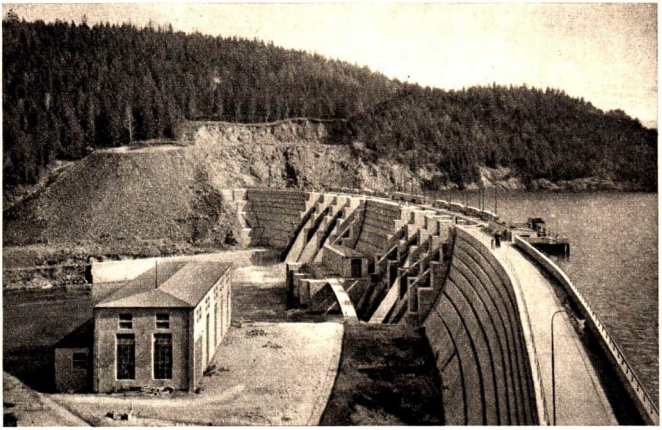


Abb. 70 Zschopautalsperre bei Kriebstein in Sachsen, erbaut 1927—1930
Länge der Sperrmauer 230 m, Höhe der Sperrmauer 28 m, Staubeckeninhalt 11,6 Mill. m³

Der Seitendruck. Wird ein mit Wasser gefüllter Waschzuber seitlich undicht, so spritzt das Wasser an der Seite heraus. Das Wasser übt einen *Seitendruck* aus; der in Abb. 69 dargestellte Versuch zeigt uns, daß der Seitendruck wie der Bodendruck mit der Höhe der Wassersäule über der Druckstelle zunimmt. Aus diesem Grund wird auch die Sperrmauer einer Talsperre so gebaut, daß sie nach unten hin stärker wird (Abb. 70). Ebenso wird sie im Bogen von einer Talwand zur anderen geführt, damit sie dem Wasserdruck besser gewachsen ist. Aus welchem Grunde errichtet man Talsperren?

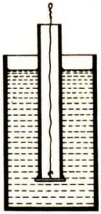


Abb. 71 Aufdruck

Der Aufdruck. Wir verschließen ein unten abgeschliffenes Glasrohr mit einer Metallscheibe, die wir mittels einer Schnur festhalten, und tauchen es in Wasser (Abb. 71). Der Einfachheit halber wollen wir bei den folgenden Betrachtungen von vornherein annehmen, daß der Querschnitt der Röhre 1 cm² betrage.

Lassen wir die Schnur los, so fällt die Metallscheibe überraschenderweise nicht herunter, sie wird durch einen aufwärts wirkenden Druck des Wassers gegen den Röhrenrand gepreßt. Soll die Platte abfallen, so müssen wir das Glasrohr bis zum äußeren Wasserspiegel mit Wasser füllen.

Der aufwärts gerichtete Druck des umgebenden Wassers ist also genau so groß wie der nach unten wirkende Druck im Glasrohr; er wird *Aufdruck* genannt.

Der Aufdruck ist ebenso groß wie der Bodendruck an gleicher Stelle.

Es läßt sich nachweisen, daß auch der Seitendruck an dieser Stelle die gleiche Größe hat.

Der Druck im Innern einer Flüssigkeit wirkt nach allen Seiten und ist in allen Richtungen gleich groß. Er ist gleich dem Gewicht der Flüssigkeitssäule, die über einer waagerechten Fläche von 1 cm² senkrecht steht und bis zur Flüssigkeitssäule reicht.

Da dieser Druck, der an jeder Stelle der Flüssigkeit als Bodendruck, Seitendruck, Aufdruck wirksam werden kann, durch das Gewicht der Flüssigkeit selbst hervorgerufen wird, heißt er *Gewichts- oder Eigendruck* der Flüssigkeit.

Im nachlässigen Sprachgebrauch werden die Druckkräfte selbst gelegentlich fälschlicherweise als Drücke bezeichnet. Druckkraft und Druck sind jedoch zwei verschiedene Begriffe, die man nicht miteinander verwechseln darf.

Abb. 72 Der Taucher geht ins Wasser.

4. Vom Tauchen. In der Badewanne oder beim Baden in flachem Wasser merkt man nichts vom Druck des Wassers. Tüchtige Schwimmer, die in der Lage sind, einige Meter unter die Wasseroberfläche hinabzutauchen, verspüren schon den Wasserdruck. Ein Schwammtaucher erreicht günstigstenfalls 10 m Tiefe, ein Taucher mit Taucheranzug (Abb. 72) kann nicht tiefer als 30 m hinabtauchen. Die größte in einer Stahlkugel erreichte Tiefe beträgt 923 m. Warum bereitet es Schwierigkeiten, in große Wassertiefen vorzudringen?

In einer Wassertiefe von 10 m befindet sich über der Fläche von 1 cm² eine Wassersäule, die 1000 cm hoch ist und 1 kp wiegt.

Der Wasserdruck beträgt also in 10 m Tiefe 1 kp/cm² = 1 at.

In der größten Meerestiefe bei 11000 m herrscht ein Druck von 1100 kp/cm² = 1100 at. Auf jeden cm² eines an dieser Stelle versenkten Gegenstandes wird also eine Druckkraft von 1100 kp ausgeübt. Könnten wir an diese Stelle eine Schulwandtafel der üblichen Größe bringen, so würde auf sie eine Druckkraft einwirken, die etwa dem Gewicht von 7 Güterzügen entspricht. Nun ist einzusehen, warum man nicht in große Meerestiefen hinabtauchen kann.

Rechne:

1. Die Wasserleitung eines Hauses ist an einen Hochbehälter angeschlossen, dessen Wasserspiegel 32 m über dem Erdboden liegt. Welcher Druck herrscht in der Wasserleitung a) zu ebener Erde, b) in einer Höhe von 16 m über dem Erdboden?
2. In einer chemischen Fabrik befindet sich ein aufrechtstehender zylindrischer Behälter, der mit Lauge gefüllt ist. Sein Boden hat eine Fläche von 8 m^2. Die Wichte der Lauge beträgt 1,05 p/cm^3; die Lauge steht im Kessel 5,3 m hoch. Wie groß ist der Bodendruck? Welche Druckkraft wirkt gegen den Boden?
3. Auf den Pumpenkolben einer hydraulischen Presse mit einem Querschnitt von 1,5 cm^2 wirkt eine Kraft von 2,5 kp. Der Kolben im Hubzylinder hat eine Fläche von 150 cm^2. Welche Druckkraft kommt an ihm zur Entfaltung?

§ 13. Beim Baden - Auftrieb

1. Der leichte Eimer im Wasser - Gewichtsverlust der Körper im Wasser. Hebt man Wäsche aus dem Wasser, so scheint sie im Wasser bedeutend leichter zu sein als außerhalb des Wassers. – Man kann einen Eimer, der in einem mit Wasser gefüllten Zuber vollständig unter Wasser steht, mit dem kleinen Finger bis zur Oberfläche des Wassers im Zuber heben. Er ist, obwohl er mit Wasser gefüllt ist, leichter als der leere Eimer außerhalb des Waschgefäßes. – Ein Schwimmer kann einen schweren Stein vom Grunde des Wassers mit Leichtigkeit heraufholen, ihn aber nicht über die Oberfläche heben. Leicht kann ein Schwimmer einen untergesunkenen Menschen an die Oberfläche bringen und ihn im Wasser bis ans Ufer ziehen.

Ein Körper wird beim Eintauchen in eine Flüssigkeit scheinbar leichter. Diesen Gewichtsverlust nennt man Auftrieb.

Über die Größe des Auftriebes belehrt uns der Versuch nach Abb. 73a und 73b. Unter die linke Waagschale hängen wir einen beliebigen Körper mit einer Wichte, die größer als die des Wassers, also größer als 1 p/cm^3 ist (einen Stein oder eine Metallkugel), und bringen die Waage durch Gewichte auf der rechten Schale zum Einspielen. Den Stein lassen wir in ein Überlaufgefäß mit Wasser eintauchen. Warum senkt sich dann die rechte Waagschale? Wir bringen die Waage durch Aufsetzen eines passenden Gewichtes auf die linke Schale wieder in ihre ursprüngliche Stellung. Wieviel Wasser fließt aus dem Über-

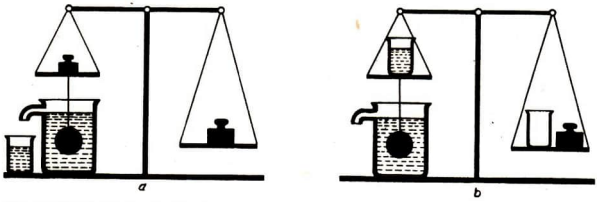


Abb. 73 Scheinbarer Gewichtsverlust

laufgefäß aus? Nun ersetzen wir das auf die linke Waagschale gelegte Gewicht durch das Auffangglas mit Wasser und stellen auf die rechte Waagschale ein gleich großes leeres Gefäß. Die Waage spielt wieder ein. Wir haben damit gefunden:

Der Auftrieb eines Körpers in einer Flüssigkeit ist so groß wie das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge.

Dieses Gesetz wurde von dem griechischen Gelehrten Archimedes (287–212 v.u.Ztr.) entdeckt; es heißt darum **Archimedisches Gesetz.**

Über *Archimedes* selbst wissen wir nicht viel. Aber seine wichtigen physikalischen Schriften sind uns erhalten geblieben. In diesen begründet er auch die Hebelgesetze (§ 17). Wohl als erster führte Archimedes zur Prüfung der von ihm aufgestellten Gesetze Versuche durch. Neben seinen Untersuchungen über den Gewichtsverlust der Körper in Flüssigkeiten sind auch seine Feststellungen über den Schwerpunkt (§ 9) heute noch von Bedeutung.

Die Sage erzählt, daß Archimedes das nach ihm benannte Gesetz beim Baden gefunden habe. König Hiero von Syrakus hatte ihn mit der Untersuchung des Goldgehaltes seiner Krone beauftragt. Als Archimedes im Bade die Verdrängung des Wassers durch den eingetauchten Körper bemerkte, sprang er aus dem Wasser und lief mit dem Ruf: „Heureka" (ich habe es gefunden) unbekleidet durch die Straßen von Syrakus nach Hause, um die Untersuchung der Krone durchzuführen. Tatsächlich fand er dann auch, daß die Krone nicht aus reinem Gold bestand, sondern daß das Gold mit Silber durchsetzt war (Wichte des Goldes 19 p/cm³, des Silbers 10,5 p/cm³). Archimedes konstruierte auch eine Reihe von mechanischen Maschinen, so den Flaschenzug und die Schraube ohne Ende (§ 18). Die Sage erzählt auch, daß er bei der Belagerung von Syrakus römische Schiffe durch einen Hohlspiegel in Brand gesetzt habe.

2. Kann Eisen schwimmen? – Schwimmen, Schweben, Sinken. Viele Körper, z.B. das Badethermometer, der Badeschwamm aus Gummi und kleine Holztierchen, schwimmen auf dem Wasser in der Badewanne. Aber auch mächtige Baumstämme oder große Schiffe trägt das Wasser der Flüsse und Seen. Ob ein Körper ein kleines oder großes Gewicht hat, ist nicht ausschlaggebend dafür, ob er schwimmt. Warum schwimmen Holz und Kork, aber nicht ein Stein? Wir vergleichen auf der Waage das Gewicht des Steines mit der vom Stein verdrängten Wassermenge (Überlaufgefäß benutzen!):

Der Stein ist schwerer als die von ihm verdrängte Wassermenge.

Wiederhole den Versuch mit einem großen Kork, den du mit einem Draht ganz untertauchst! Der Kork steigt nach dem Loslassen im Wasser empor.

Der Kork ist leichter als die von ihm verdrängte Wassermenge.

Beschwere den Kork mit Blei, so daß er ganz eintaucht, ohne unterzusinken! Er *schwebt* jetzt im Wasser. Wiederhole den Versuch mit dem Überlaufgefäß!

Der Kork mit dem Blei ist ebenso schwer wie die verdrängte Wassermenge.

Ein völlig von Wasser umgebener Körper steigt empor, wenn er leichter ist als die verdrängte Wassermenge.

Ein Körper schwebt im Wasser, wenn er genau so schwer ist wie die von ihm verdrängte Wassermenge.

Ein Körper sinkt im Wasser unter, wenn er schwerer ist als die von ihm verdrängte Wassermenge.

Ein schwimmender Körper wiegt ebensoviel wie die von ihm verdrängte Wassermenge.

Kann man auch Körper schwimmfähig machen, deren Wichte größer ist als die des Wassers? Drücke ein Stück Stanniol fest zusammen -- es darf keine Luft mehr darin sein – und wirf es ins Wasser! Es geht unter. Kniffe ein Schiffchen aus Stanniol und setze es aufs Wasser! Es schwimmt.

Körper mit einer Wichte von weniger als 1 p/cm³ schwimmen immer auf dem Wasser. Wenn Körper, die eine Wichte von mehr als 1 p/cm³ haben, schwimmen sollen, muß man ihnen die Form von Hohlkörpern geben.

Wie schwimmt der Mensch? Der menschliche Körper ist nach dem Ausatmen etwas schwerer als die von ihm verdrängte Wassermenge. Um wenigstens so weit über die Oberfläche zu ragen, daß wir atmen können, müssen wir unseren Auftrieb durch Bewegungen des Körpers vergrößern (Schwimmbewegungen, Wassertreten u.a.). Demnach ist das Schwimmen des Menschen kein „Schwimmen" im physikalischen Sinne.

Wie ist es zu erklären, daß Schiffe, die aus Eisen gebaut sind, schwimmen? Eisen (Stahl) hat eine Wichte von 7,8 p/cm³. Einzelne Eisenstücke gehen im Wasser unter; ihre Wasserverdrängung ist zu gering, um ihr Gewicht zu tragen. Dadurch aber, daß das Schiff einen genügend großen Hohlraum umschließt, ist die Wasserverdrängung so groß, daß das Gewicht des verdrängten Wassers dem Gewicht des Schiffes gleichkommt; das Schiff schwimmt. (Abb. 74.) Würde jedoch das Schiff zusammengedrückt, so

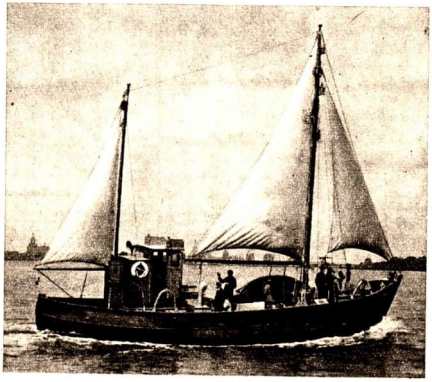


Abb. 74 Fischkutter Type „D", erbaut auf der Volkswerft Stralsund
Länge 17,6 m Breite 5 m mittl. Tiefgang 1,9 m
Wasserverdrängung des leeren Schiffes 48 t
Wasserverdrängung des beladenen Schiffes rd. 56 t
Leistung des Dieselmotors 80 PS
Fahrtgeschwindigkeit 8,5 km/Std.

ginge es sofort unter, da es dann einen bedeutend verkleinerten Raum einnehmen und die Wasserverdrängung zu gering werden würde. Das gleiche tritt ein, wenn das Schiff voll Wasser läuft. – Warum schwimmt eine leere, verschlossene Flasche auf dem Wasser? Erkläre das Schwimmen des Eises auf dem Wasser (s. auch § 6, 1)! Warum kann sich der Nichtschwimmer mit einem Korkgürtel, einem Rettungsring oder mit einem aufgeblasenen Autoschlauch über Wasser halten?

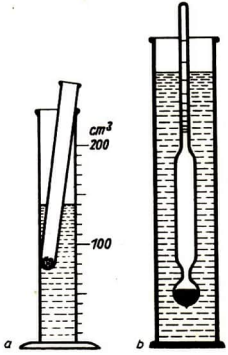


Abb. 75
a Eintauchtiefe bei verschiedenen Flüssigkeiten
b Senkwaage in verdünnter Schwefelsäure

3. Schwimmt es sich in der See oder im Fluß leichter? - Die Wichte der Flüssigkeiten. Wer schon einmal in der Nordsee gebadet hat, wird mit Recht behaupten, daß es sich im Meerwasser leichter schwimme als in der Badeanstalt zu Hause. Worin besteht der Unterschied zwischen dem Meerwasser und dem Wasser unserer heimatlichen Flüsse und Seen?

Fülle in ein Probierglas einige Schrotkugeln (Abb. 75a) und laß es in Wasser schwimmen. Wiederhole nach Kennzeichnung der Eintauchtiefe den Versuch in einer Salzlösung! Wiederhole den Versuch in Spiritus und Milch! Erkläre das Auftreten verschiedener Eintauchtiefen nach dem Archimedischen Gesetz!

Der Versuch mit dem Probiergläschen zeigt uns einen Weg, die Wichte von Flüssigkeiten zu bestimmen. *Senkwaagen*, die dazu dienen, sind ähnlich eingerichtet (Abb. 75b). Sie besitzen auf dem dünnen, aus der Flüssigkeit teilweise herausragenden Glasrohr eine Teilung, an der man die Wichte bei verschiedenen Eintauchtiefen unmittelbar ablesen kann. Es gibt aber auch solche Senkwaagen, wie z. B. Milch-, Säure- und Spirituprüfer, deren Skalen unmittelbar abzulesen gestatten, ob die Flüssigkeit rein ist oder ob es sich um eine Mischung mit Wasser handelt, und wieviel Wasser in der Flüssigkeit enthalten ist. Mit dem Milchprüfer ist ohne weiteres der Fettgehalt der Milch, mit dem Spirituprüfer der Alkoholgehalt und mit dem Säureprüfer der Säuregehalt festzustellen.

Selbst der geringe Salzgehalt der Nordsee wirkt sich nach dem Archimedischen Gesetz bereits für das Schwimmen aus. Im Toten Meer, das einen siebenmal so hohen Salzgehalt wie die Nordsee hat, kann ein Nichtschwimmer auf dem Wasser liegen.

Warum hat ein Schiff im Süßwasser einen anderen Tiefgang als im Seewasser?

§ 14. Der Fahrradschlauch - Die Luft ist ein Körper

1. Die Fahrradpumpe - Der Überdruck verdichteter Luft. Mit lautem Knall platzt ein Fahrradschlauch. Die in ihm eingeschlossene Luft entweicht, und der Schlauch fällt zusammen. Die Luft bildete vorher ein Polster, das in der Lage

war, das Gewicht des Fahrrades und das Gewicht des Radfahrers zu tragen. Mit Hilfe der Fahrradpumpe (Abb. 76) wird die Luft zusammengepreßt, verdichtet. Sie übt auf die Innenwand des Schlauches einen stärkeren Druck aus als die umgebende Luft auf seine Außenwand. Im Innern des Schlauches ist ein *Überdruck* vorhanden.

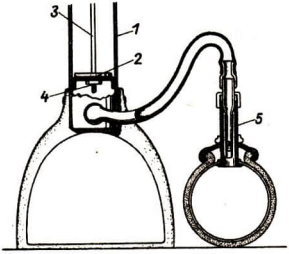


Abb. 76
Fahrradpumpe und Fahrradventil

Wir verschließen die Öffnung einer Fahrradpumpe mit dem Daumen und drücken den Kolben nach unten. Dann lassen wir ihn los und stellen fest: Die Luft in dem Stiefel wird durch den Kolben zusammengepreßt; sie treibt den freigegebenen Kolben wieder zurück.

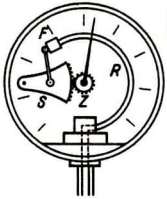


Abb. 77
Röhrenfeder-Manometer

Beschreibe eine Fahrradpumpe und merke dir folgende Teile: Pumpenrohr (Stiefel) (1), Kolben (2), Kolbenstange (3), Kolbenlager (4)! Wozu ist im oberen Teil des Stiefels ein Loch? Erkläre die Wirkung der Fahrradpumpe! Damit die Luft im Fahrradschlauch nicht wieder entweichen kann, ist ein Ventil (5) eingesetzt. Die Fahrradpumpe ist eine Verdichtungspumpe. Das Ventil am Fahrradschlauch öffnet sich nur nach innen und verhindert, daß die Luft aus dem Schlauch wieder entweicht.

Luft läßt sich im Gegensatz zum Wasser stark zusammendrücken. Dies ist auch bei anderen Gasen der Fall. Gase werden in Stahlflaschen zusammengepreßt aufbewahrt und können so versandt werden (Wasserstoff, Sauerstoff und andere Gase).

Als Gasdruck bezeichnet man die Druckkraft eines zusammengepreßten Gases auf 1 cm² der Gefäßwand. Man mißt den Gasdruck in (techn.) Atmosphären (s. § 12, 1).

Der Gasdruck kann selbst bei kleinen Gasmengen sehr hoch werden, wenn der Raum, in dem das Gas eingeschlossen ist, sehr klein gemacht wird. Wie kann man das Platzen eines Fahrradschlauches oder eines Luftkissens erklären?

Die Explosion selbst eines kleinen Dampfkessels, verursacht durch den Druck des eingeschlossenen Wasserdampfes, hat oft verheerende Wirkungen.

Darum muß der Druck eines Dampfkessels ständig beobachtet werden. Zum Messen des Druckes werden *Druckmesser (Manometer*[1]*)* benutzt. Man sieht sie auch auf der Kohlensäureflasche beim Gastwirt. Bei höheren Drucken verwendet man meist sog. Röhrenfedermanometer (Abb. 77). Sie enthalten eine

1) manos (griech.) = dünn.

mit dem Gasbehälter verbundene, am freien Ende geschlossene Röhre *R* aus Bronze oder Stahl, die sich bei Druckzunahme etwas streckt und sich bei Druckabnahme wieder stärker krümmt. Die Bewegung ihres freien Endes *F* wird mittels eines Zahnradsektors *S* und eines Zahnrades *Z* auf einen Zeiger übertragen.

Zusammengepreßte Luft (Preßluft) wird bei der Eisenbahn zur Bedienung der Bremsen, in Bergwerken zum Betrieb der Bohrmaschinen und Preßlufthämmer benutzt. Mit welchem Gerät entfacht der Schmied sein Schmiedefeuer?

Wie findet man eine undichte Stelle am Fahrradschlauch? Wir drücken ein Luftkissen und öffnen den Stutzen. Die Luft strömt aus, ganz gleich wo und in welcher Richtung wir drücken.

In gasförmigen Körpern pflanzt sich der Druck wie in den Flüssigkeiten nach allen Richtungen gleichmäßig fort.

Inwiefern beruht die Wirkungsweise einer Spritzflasche (Abb. 78) auf der Druckkraft zusammengepreßter Luft?

2. Hat die Luft Gewicht? Pumpt man einen Fahrradschlauch auf oder bläst man in ein Luftkissen, so wird der Umfang größer.

Luft nimmt einen Raum ein. Alle Dinge, die Raum beanspruchen, heißen Körper. Luft ist ein Körper.

Abb. 78 Spritzflasche

Abb. 79 Wo Luft ist, kann kein Wasser sein.

Abb. 80 Luft verdrängt Wasser.

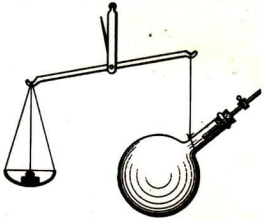


Abb. 81 Wir wägen Luft.

Sitzt ein Trichter fest im Flaschenhals, so läßt sich die Flasche schwer füllen (Abb. 79). Betrachte das Ausflußrohr eines Blechtrichters! Tauche ein leeres Wasserglas mit der Öffnung nach unten in ein Gefäß mit Wasser (Abb. 80)! Warum scheint das Versuchsergebnis dem Gesetz von den verbundenen Gefäßen zu widersprechen (s. S. 50)? Fülle einen Standzylinder mit Wasser, verschließe ihn mit einer Glasplatte und stelle ihn umgekehrt in ein Gefäß mit Wasser! Warum sinkt das Wasser im Zylinder nicht ab? Durch einen Gummischlauch blase vorsichtig Luft in den Standzylinder!

Luftförmige Körper können andere Körper aus ihrem Raum verdrängen.

Wie könnte man die letzte Versuchseinrichtung als „Lungenprüfer" verwenden? Wir prüfen, ob auch die Luft ein bestimmtes Gewicht hat.

Einen großen Rundkolben (Rauminhalt etwa 2 l) mit Gummistopfen und Glasrohr mit Hahn wägen wir genau (Abb. 81). Dann saugen wir zu wiederholten Malen kräftig die Luft aus dem Kolben und schließen in den Atempausen immer wieder den Hahn. Nach Abschluß des Saugens wägen wir den Kolben nochmals. Er ist leichter geworden.

Beispiel:

Gewicht des Kolbens vor dem Saugen	269,3 p
Gewicht des Kolbens nach dem Saugen	267,4 p
die herausgesaugte Luft wiegt somit	1,9 p

Der Versuch gelingt nur, wenn eine empfindliche Waage benutzt werden kann.

Die Luft hat ein Gewicht.

Um den Raumanteil zu messen, den die herausgesaugte Luft eingenommen hatte, tauchen wir die Öffnung des Rundkolbens ins Wasser und öffnen den Hahn. Wieviel Wasser strömt hinein? Bei unserm Versuch sind es, wie wir mit einem Meßzylinder feststellen können, 1,47 l. Wie findet man aus dem Meßergebnis das Gewicht eines Liters Luft?

1 Liter Luft wiegt rund $1\frac{1}{4}$ Pond; seine Masse beträgt $1\frac{1}{4}$ Gramm.

1 Liter Leuchtgas wiegt etwa $\frac{1}{2}$ Pond; seine Masse beträgt $\frac{1}{2}$ Gramm.

§ 15. Vom Luftdruck und seinen Wirkungen

1. Otto von Guericke - Der Gewichtsdruck der Luft. Wir leben am Grunde eines Luftmeeres, der *Erdatmosphäre*. Diese ist über 100 km hoch. Warum entweichen die Luftmoleküle nicht in den leeren Weltenraum, da doch die Gase fast keine Zusammenhangskraft besitzen? Die Schwerkraft hält die Luftmoleküle genau so fest wie einen Stein oder das Wasser des Meeres. Ähnlich wie der Wasserdruck auf dem Grunde eines tiefen Gewässers (s. § 12, 3) muß sich auch der *Gewichtsdruck* der auf uns lastenden Luftschichten bemerkbar machen. Wenn Luft auch nicht so schwer ist wie Wasser, so müßten wir den Luftdruck doch deutlich spüren. Wir merken aber nichts davon.

Erkläre folgende Beobachtungen: Man kann nach dem Einkochen, nachdem der beim Erhitzen entstehende Wasserdampf die Luft aus den Gläsern verdrängt und sich beim Abkühlen wieder verdichtet hat, den Deckel nicht mehr abheben. – Warum fließt die Milch nicht aus, wenn man nur *ein* Loch in eine Dose mit kondensierter Milch stößt? – Fülle ein Trinkglas mit Wasser bis zum Rand und schiebe seitlich eine Postkarte darüber! Kehre das Glas um, wobei du die Karte mit der Hand andrückst! Entferne dann die Hand! Warum fließt das Wasser nicht aus? In der uns umgebenden Luft wirkt der Luftdruck nach allen Richtungen. Halten wir z. B. ein Heft in die Luft, so drückt die Luft von allen Seiten gleich stark. Im Einmacheglas aber ist ein luftverdünnter Raum entstanden, der Luftdruck wirkt also nur von außen auf den Deckel und drückt ihn auf das Gefäß.

Abb. 82 Otto von Guerickes berühmter Versuch (nach einem alten Kupferstich)

Otto von Guericke wies als erster den Gewichtsdruck der Luft durch Versuche nach. Er lebte von 1602–1686 und wurde in Magdeburg geboren. Nach der Zerstörung Magdeburgs wurde Otto von Guericke Bürgermeister seiner Vaterstadt. Neben seiner umfangreichen politischen Tätigkeit beschäftigte sich Otto von Guericke mit physikalischen Dingen. Er bewies ein großes Geschick im Ersinnen und Durchführen erkenntnisreicher Versuche. Mit einer von ihm erfundenen Luftpumpe gelang es ihm, in einem ausgepichten Faß einen luftverdünnten Raum herzustellen. Öffnete er den Hahn des Fasses unter Wasser, dann strömte das Wasser zischend in das Faß. Den größten Beifall erzielte ein Versuch, bei dem der Luftdruck ein flaches Gefäß beim Auspumpen eindrückte. Am bekanntesten wurde sein Namen durch die *Magdeburger Halbkugeln*, die er verschiedentlich vorführte (Abb. 82). Acht Pferde zogen auf jeder Seite, um die luftleer gepumpten Halbkugeln auseinanderzureißen. Als erster zeigte er an einer in einem luftleeren Glasgefäß aufbewahrten Weintraube, die über ½ Jahr frisch blieb, die Möglichkeit der Lebensmittelkonservierung mit luftleeren Räumen. Darüber hinaus verdanken wir ihm noch eine große Anzahl anderer Erfindungen und Entdeckungen.

Durch einen Versuch stellte er die Größe des äußeren Luftdruckes fest. Er fertigte eine Röhre an, die bis zum obersten Stockwerk seines Hauses reichte. Dann pumpte er von oben her die Luft heraus; unten tauchte die Röhre in einen Behälter mit Wasser. Das Wasser stieg in dem Rohr annähernd 10 m hoch; daraus folgerte er:

Der äußere Luftdruck ist so groß, daß er dem Gewicht einer Wassersäule von 10 m das Gleichgewicht hält.

2. Torricelli - Der Luftdruck wird gemessen. *Der Torricellische Versuch.* Bei seinem Versuch mit dem 10 m langen Wasserrohr beobachtete Otto von Guericke, daß

der Wasserstand nicht zu allen Zeiten gleich hoch war. Als Grund erkannte er, daß sich der Luftdruck veränderte.

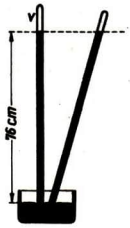


Abb. 83
Der Torricellische Versuch

Der Luftdruck ist nicht immer gleich.

Der Italiener *Torricelli*, der zur gleichen Zeit wie Otto von Guericke lebte und ein Schüler des großen Naturforschers *Galilei* war, führte einen ähnlichen Versuch durch, nur nahm er statt des Wassers Quecksilber, das 13,6mal so schwer wie Wasser ist. Dadurch kam er mit einer bedeutend kürzeren Röhre aus.

Den Torricellischen Versuch können wir wie folgt wiederholen: Ein ungefähr 1 m langes, an einem Ende zugeschmolzenes Glasrohr füllen wir vollständig mit Quecksilber. Wir schließen das Rohr mit dem Finger, drehen es um und tauchen das mit dem Finger verschlossene Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß. Wir nehmen dann den Finger weg und richten das Rohr auf. Das schwere Quecksilber fließt nicht vollständig aus, der Quecksilberspiegel im Rohr senkt sich nur wenig und bleibt in ungefähr 76 cm Höhe (vom Quecksilberspiegel des Gefäßes aus gemessen) stehen (Abb. 83). Gleichzeitig entsteht im oberen Teil des Rohres ein luftleerer Raum, ein *Vakuum*.

Daraus ersehen wir, daß die auf die Quecksilberoberfläche des Gefäßes drückende Luft das Quecksilber im Rohr nur so weit sinken läßt, bis der Druck des Quecksilbers am Fuße der Quecksilbersäule und der Druck der Luft gleich sind.

Das Gewicht einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe in einem Rohr mit einem lichten Querschnitt von 1 cm² beträgt 1,033 kp. Diesem Druck hält der Druck der Luft das Gleichgewicht.

Abb. 84
Quecksilberbarometer

Der normale Luftdruck in Höhe des Meeresspiegels ist nur wenig größer als eine technische Atmosphäre (1 at) (vgl. S. 52 und 66).

Wie stark drückt demnach die Luft auf den Körper eines Menschen, dessen Oberfläche 1,5 m² beträgt? Warum merken wir nichts von diesem Druck?

Das Barometer. Aus der jeweiligen Höhe der Quecksilbersäule läßt sich der herrschende Luftdruck, der Schwankungen unterworfen ist, ersehen. Vorrichtungen, mit denen man den Luftdruck mißt, heißen *Barometer*[1]). Bei einem *Quecksilberbarometer* (Abb. 84) mißt man unmittelbar die Höhe der Quecksilbersäule über der Oberfläche des Quecksilbers in dem kurzen Schenkel.

1) baros (griech.) = Schwere

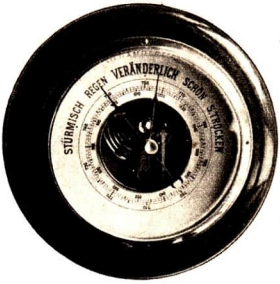


Abb. 85 Dosenbarometer

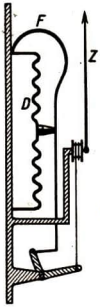


Abb. 86 Wie wirkt das Dosenbarometer?

Die gebräuchlichste Form des Barometers ist das *Dosenbarometer* (Abb. 85 und 86): Eine Dose *D* aus elastischem Wellblech ist fast luftleer gepumpt. Vergrößert sich der Luftdruck, so drückt er den Deckel der Dose nach innen. Die Bewegung wird auf einen Zeiger übertragen, der über eine kreisförmige Einteilung mit entsprechenden Zahlenwerten gleitet. Die Skala wird durch einen Vergleich mit einem Quecksilberbarometer gewonnen; sie gibt den Luftdruck in *mm Quecksilbersäule (mm QS.)* an. Die an die Skala geschriebenen Wetterangaben haben nur den Wert von Mutmaßungen. Sie bilden keine Grundlage für eine zuverlässige Wettervoraussage, da das Wetter außer vom Luftdruck noch von einer Reihe anderer Einflüsse abhängt (vgl. § 16).

Steigen wir auf einen Berg, so wird die Höhe der über uns liegenden Luftschicht kleiner, damit wird auch der Luftdruck geringer. Diesen Druckunterschied können wir schon feststellen, wenn wir den Luftdruck im Keller und im Dachgeschoß eines Hauses messen. Darum kann ein Barometer auch als *Höhenmesser* verwendet werden. Steigt man 11 m empor, so nimmt der Druck um etwa 1 mm Quecksilbersäule ab. Das Barometer zeigt diesen Druckunterschied deutlich an. Man bezeichnet einen Luftdruck von 760 mm Quecksilbersäule in der Höhe des Meeresspiegels als *normalen* Luftdruck.

3. Vom Trinken - Saugen und Pumpen. Versuche, mit einem Strohhalm oder mit einem Glasröhrchen zu trinken! Wie „trinken" Pferde? Drücke die Lippen fest auf den Handrücken und sauge die Luft aus der Mundhöhle! Beim Trinken ist unsere Mundöffnung von der Außenluft durch den Rand des Glases und durch das Wasser im Glas abgeschlossen. Trinken wir mit dem Strohhalm, so legen sich die Lippen fest um den Halm. Die Luft in der Mundhöhle wird verdünnt. Die äußere Luft drückt das Wasser in das Röhrchen.

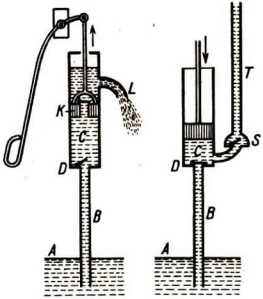


Abb. 87 Saugpumpe Abb. 88 Druckpumpe

Die Pumpen. Der Vorgang in einer Pumpe ist dem des Trinkens ähnlich. Beschreibe eine Pumpe! In Abb. 87 wird *B* als das Saugrohr, *C* als der „Stiefel", *K* als der Kolben und *D* als das Bodenventil bezeichnet. Der Kolben ist mit einer Durchbohrung versehen. Sie ist durch das Kolbenventil, das sich nur nach oben öffnen kann, abgeschlossen. Bewegt sich der Kolben nach oben, so öffnet sich das Ventil *D*, und Wasser strömt in den Stiefel, weil während der Aufwärtsbewegung unter dem Kolben ein luftverdünnter Raum entsteht. Die Außenluft drückt das Grundwasser *A* in den Stiefel. Beim Niederdrücken des Kolbens schließt sich das Ventil *D*, während sich das Kolbenventil öffnet. Was geschieht also mit dem im Stiefel befindlichen Wasser beim Niederdrücken und dann beim erneuten Heben des Kolbens? Vergleiche die Vorgänge im Trinkröhrchen mit denen in der Pumpe! Die beschriebene Pumpe heißt *Saugpumpe*.

In Abb. 88 ist eine *Druckpumpe* dargestellt. Ihr Kolben ist nicht durchbohrt. Die Ansatzstelle des Ausflußrohres (Steigrohr *T*) liegt im Gegensatz zur Saugpumpe am Boden des Stiefels. Das Steigrohr ist gegen den Stiefel durch ein Ventil *S* abgeschlossen, das sich nach außen öffnet. Erkläre die Wirkung der Ventile! Bei welcher Bewegungsrichtung des Kolbens ist das Ventil *D*, bei welcher das Ventil *S* geöffnet? Welche Vorzüge bietet eine Druckpumpe gegenüber einer Saugpumpe?

Warum liefert eine Pumpe kein Wasser, wenn das Grundwasser tiefer als 10 m unterhalb der Pumpe steht? (Vgl. Ende § 15, 1!)

Unser Herz wirkt wie eine Druckpumpe. Der Druck des Kolbens wird durch die Zusammenziehung der Herzmuskeln ersetzt. Die im Körper eines erwachsenen Menschen mittlerer Größe enthaltene Blutmenge von rd. 5 l wird so stark in Umlauf gesetzt, daß stündlich 400 l Blut durch das Herz fließen.

§ 16. Vom Wetter

Das Wetter greift in das Leben jedes einzelnen ein. „Wie wird das Wetter?" ist eine wichtige Frage, die wohl jeder stellt. Doch so leicht die Frage gestellt ist, so groß sind die Schwierigkeiten, die es bei ihrer Lösung zu überwinden gilt.

Der Mensch hat zu allen Zeiten durch Beobachtung von Himmel, Erde, Tieren und Pflanzen, ja sogar durch Beobachtungen an sich selbst, versucht, etwas über das kommende Wetter zu erfahren. So entstanden die sog. Wetterregeln. Sie sind aber meist unzureichend und keineswegs alle richtig. Auch ausschließlich auf den Barometerstand kann man keine eindeutige Wettervoraussage gründen; der Luftdruck allein gestaltet das Wetter nicht. Wind, insbesondere die Höhenströmung, Wolken, Niederschläge und die Lufttemperatur sind mitbestimmend für die Art des Wetters. Alle diese Erscheinungen muß man kennen, wenn man etwas über das Wetter aussagen will.

1. Der Luftdruck ist veränderlich. Der Torricelli-Versuch (§ 15, 2) zeigt, daß der Luftdruck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe das Gleichgewicht hält.

Doch ist dieser Wert nur als mittlerer Wert aufzufassen, um den der Wert des Luftdruckes schwankt. Heute gibt man in wissenschaftlichen Veröffentlichungen den Luftdruck meist nicht mehr in mm Quecksilbersäule, sondern in **Millibar** (mb) an.

750 mm QS. = 1000 mb.

Wieviel mb entsprechen also dem normalen Luftdruck?
Führe täglich ein oder mehrere Male zu gleichen Zeiten Ablesungen des Barometerstandes aus und schreibe die Werte in ein *Beobachtungsheft*, das du dir für die Wetterbeobachtungen anlegst! Du gewinnst so allmählich ein Bild vom Luftdruck und seinen Schwankungen an deinem Heimatort.

2. Wir messen die Temperatur der Luft. Miß die Temperatur der Luft; hänge das Thermometer in den Schatten, in die Sonne! Auch an kalten Wintertagen kann man beobachten, daß ein von der Sonne bestrahltes Thermometer weit höhere Temperaturen anzeigt als ein im Schatten hängendes. Die von der Sonne herkommenden Wärmestrahlen werden von einem dunklen, dichten Körper, wie ihn das Quecksilber darstellt, viel stärker aufgenommen und in Wärme umgesetzt als von der Luft. Wir dürfen also ein Thermometer, mit dem wir die Lufttemperatur messen wollen, niemals unmittelbar der Sonnenstrahlung aussetzen. Wir stellen bei unseren Beobachtungen fest, daß es nicht um 12^h (13^h Sommerzeit), wenn die Sonne am höchsten steht, sondern erst zwischen 13^h und 14^h (14^h und 15^h Sommerzeit) am wärmsten ist. Um welche Zeit des Tages haben wir die tiefste Temperatur?

Unsere *Hauptwärmequelle* ist die *Sonne*. Die Sonnenstrahlen erwärmen die Luft unmittelbar nur wenig. Sie treffen vielmehr auf die Erdoberfläche, und diese erwärmt dann die über ihr liegenden Luftschichten.

Die Luft erwärmt sich also von unten nach oben.

Auch Regen und Tau müssen vom Thermometer ferngehalten werden, denn unter ihrem Einfluß sinkt die Temperatur der Thermometerfüllung etwas unter die Lufttemperatur, weil die dem Glas anhaftende Feuchtigkeit verdunstet. Deshalb hängt man das Thermometer zum Schutz gegen Sonnenstrahlen und Feuchtigkeit am besten in einem luftigen Holzkasten mit durchbrochenen Wänden auf, wie es auf den Wetterwarten geschieht.

Auf der *Wetterwarte* wird täglich im Zeitabstand von zwei Stunden die Temperatur abgelesen. Daraus bestimmt man die mittlere Tagestemperatur. Errechne aus den Beobachtungen vom 3. Juli 1946 die Durchschnittstemperatur:

3. Juli 1946

Zeit (Uhr):	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Temp. in °C:	15,8	16,9	18,4	20,5	23,0	27,4	30,2	31,6	29,4	27,0	26,3	24,1

Miß die Temperaturen während eines ganzen Monats um 8^h und trage die Werte in das Beobachtungsheft ein! Berechne die *durchschnittliche Morgen-*

temperatur für diesen Monat! Beobachte und schreibe auf, an wieviel Tagen eines Wintermonats die *tiefste* Temperatur unter 0° C lag (Frosttage), wie oft die *höchste* Temperatur unter 0° C lag (Eistage)! An wieviel Tagen im Hochsommer überschritt die Temperatur 25° C, 30° C (Sommertage)?

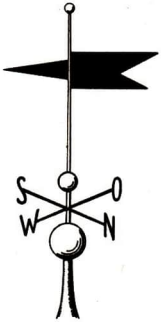


Abb. 89
Windfahne

Abb. 90
Schalenkreuz-Windmesser

3. Was ist Wind? - Luftströmungen, Hoch und Tief. Die Luft über der Erde wird verschieden stark erwärmt. In den Gegenden, in denen eine stärkere Erwärmung der Luft stattfindet, dehnt sie sich aus, wird dadurch leichter und steigt nach oben. In größerer Höhe fließt sie seitlich ab, während von unten kältere Luft nachströmt. An windstillen Tagen kann man bei einem rauchenden Schornstein mitunter beobachten, daß der warme Rauch zunächst senkrecht hochsteigt, um dann in größerer Höhe seitlich abzubiegen. Die erwärmte Luft ist dünner und daher auch leichter als die benachbarte kalte Luft. Solche durch unterschiedliche Erwärmung hervorgerufenen Luftbewegungen spielen sich in der Natur in größtem Maßstab ab. So kommt es, daß sich über großen Gebieten der Erde, deren Lage einem ständigen Wechsel unterworfen ist, warme Luft ansammelt, während benachbarte große Gebiete mit kalter Luft bedeckt sind. Die Verteilung von Land und Wasser, die Bodenbedeckung und andere Einflüsse spielen dabei eine große Rolle. Da Warmluft im Verhältnis immer leichter ist als Kaltluft, herrscht in den von ihr bedeckten Gebieten ein geringerer Luftdruck als in den benachbarten Kaltluftgebieten. Man nennt die ersten deshalb **Tiefdruckgebiete** (T), die anderen **Hochdruckgebiete** (H). Beim Druckausgleich der Luftmassen treten Bewegungen der Luft auf, die man „Winde" nennt.

Auf der Erde wehen die Winde stets von Gebieten hohen Luftdrucks nach Gebieten niedrigen Luftdrucks.

Je größer die Druckunterschiede sind, desto stärker sind die Winde.

Wind ist strömende Luft.

Den Wind benennt man nach der *Richtung, aus der er weht.* So kommt der Ostwind aus dem Osten und strömt in westlicher Richtung. Die Richtung zeigt die *Windfahne* (Abb. 89) an. Auf den Wetterwarten wird auch die *Windstärke* mit besonderen *Windmessern* (Abb. 90) bestimmt. Bei Wind dreht sich das Schalenkreuz mit den hohlen Halbkugeln, mit den gewölbten Flächen voran. Der Windmesser gibt die *Windgeschwindigkeit* in Metern je Sekunde an.

Windstärkentafel

Windstärke	Bezeichnung des Windes Geschwindigkeit in Metern je Sekunde[1])	Auswirkungen des Windes
0	Windstille unter 0,3 (unter 1)	Rauch steigt gerade empor
1—2	leichter Wind 0,3—3 (1—10)	bewegt Windfahnen und leichte Wimpel; Blätter säuseln
3—4	schwacher bis mäßiger Wind 3—7 (10—25)	bewegt Blätter und dünne Zweige, hebt Staub und Papier
5—6	frischer bis starker Wind 7—11 (25—40)	bewegt stärkere Zweige, wirft leichte Wellen, kleine Laubbäume beginnen zu schwanken
7—8	steifer bis stürmischer Wind 11—17 (40—60)	bricht Zweige von den Bäumen, wirft stärkere Wellen; fühlbare Behinderung beim Gehen
9—10	Sturm bis schwerer Sturm 17—28 (60—100)	bricht stärkere Äste, entwurzelt Bäume, beschädigt Dächer
11—12	orkanartiger Sturm; Orkan über 28 (über 100)	verwüstet Wälder, richtet schwere Schäden an Gebäuden an

1) Ziffern in Klammern: Windgeschwindigkeit in Kilometern je Stunde

4. Es regnet - Luftfeuchtigkeit und Niederschläge. *Was sind die Wolken, aus denen der Regen fällt?* Im Winter ist unser Atem sichtbar. Hauche gegen eine kalte Fensterscheibe und betrachte die behauchte Stelle mit einem Vergrößerungsglas! Ein mit Eiswasser gefülltes Glas beschlägt an den Außenwänden in der warmen Stube. – Kochsalz wird bei langem Stehen in der Luft feucht; man sagt, es zieht Wasser an. Wie ist die oft bedrückende Schwüle bei Menschenansammlungen in geschlossenen Räumen zu erklären?

In der Luft ist stets Wasser in Dampfform als Luftfeuchtigkeit enthalten. Verdichtet sich dieser Wasserdampf in der Luft zu kleinen Tröpfchen, so bilden diese den Nebel und die Wolken.

Wolken bestehen aus kleinen Wassertröpfchen oder, sofern sie bei Temperaturen von 0°C und darunter entstehen, aus kleinen Eiskristallen. Die Wassertröpfchen und die Eiskristalle sind so klein, daß sie von Luftströmungen und vom Luftwiderstand am Fallen gehindert werden und sich lange Zeit schwebend in der Luft halten. Wolken, die dicht über der Erde lagern, heißen **Nebel.** Kommt es zu einer Verdichtung des Wasserdampfes bei unmittelbarer Berührung mit dem kalten Erdboden oder mit dem Pflanzenwuchs auf ihm, so entsteht **Tau** bzw. **Reif.**

Beschreibe verschiedene Wolkenformen! Wir unterscheiden *mehrere Grundformen:*

a) **Die Haufenwolken** (Kumulus — Abb. 91) sind große Wolkenmassen mit kuppelförmigem Gipfel (blumenkohlähnliche Umrandung). Ihre untere Grenze liegt etwa bei 1000 m.

Abb. 91 Haufenwolken (Kumulus)

Abb. 92 Schichtwolken (Stratus)

Abb. 93 Federwolken (Zirrus)

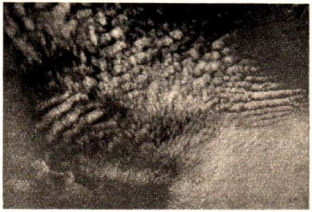


Abb. 94 Schäfchenwolken

b) Die Schichtwolken (Stratus – Abb. 92) bilden gleichmäßig graue Wolkenschichten, die den ganzen Himmel in einer Höhe von 500 bis 1000 m grau überziehen. Etwas dichter zusammengeballt sind die eigentlichen **Regenwolken** (Nimbus), dichte, formlose Wolken mit verwaschenen und zerfaserten Rändern in geringer Höhe.

c) Federwolken (Zirrus – Abb. 93) sind feine, faserige Wolkenstreifen in einer Höhe von etwa 8 bis 10 km.
Zu einer Zwischenform zwischen Haufen- und Federwolken gehören die sog. **Schäfchenwolken** (Abb. 94), die in Höhen von 3 bis 4 km am Himmel herdenweise als weiße Wolkenbällchen auftreten. Sie sind wie die Federwolken meist die Vorboten einer beginnenden Eintrübung.
Erreichen die Wassertröpfchen oder die Eiskristalle in den Wolken eine gewisse Größe, so können sie nicht mehr schwebend gehalten werden. Es entstehen *Niederschläge*. Je nach der Lufttemperatur fällt **Regen** oder **Schnee.** Liegen unter der Regenwolke kalte Luftschichten, in denen die Regentropfen beim Hindurchfallen erstarren, so können **Graupeln, Hagel** oder gar **Schloßen** niedergehen.

Auf das Zustandekommen von Niederschlägen hat der Feuchtigkeitsgehalt der Luft einen großen Einfluß. Von ihm hängt es ab, ob die Luft für weiteren Wasserdampf aufnahmefähig ist oder nicht. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft wird auf

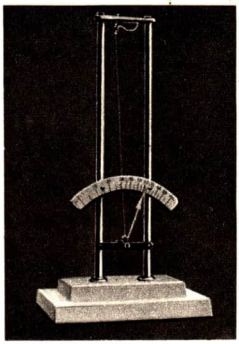
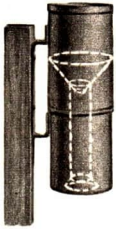


Abb. 95
Haarhygrometer

Abb. 96
Regenmesser



der Wetterwarte mit dem Haarfeuchtigkeitsmesser (*Hygrometer*) (Abb. 95) gemessen. Ein entfettetes Haar verlängert sich bei feuchter Luft und verkürzt sich, sobald diese trocken wird. Die Länge des Haares erlaubt dann einen Schluß auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

Die Niederschlagsmengen werden mit einem *Regenmesser* (Abb. 96) gemessen. Der Regen fällt in ein Blechgefäß, in das ein Trichter eingesetzt ist, um das Verdunsten des aufgefangenen Regenwassers zu verhindern. Die Niederschlagshöhe gibt an, wie hoch das Wasser den Boden bedeckt (Schnee, nachdem er geschmolzen ist), wenn es nicht verdunstet, versickert oder abläuft.

5. Die Wetterwarte - Wettervorhersage. Um sich ein Urteil über die Wetterlage bilden zu können, beobachtet man alle Einzelerscheinungen, deren Zusammenwirken für die Wetterlage bestimmend ist. Es genügt aber nicht, die Beobachtungen gelegentlich zu machen; sie müssen regelmäßig und fortlaufend angestellt und aufgezeichnet werden. Das geschieht auf den *Wetterwarten*.

Die Wetterwarte besitzt Meßinstrumente für Luftdruck, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschläge und Wind, ferner Geräte, mit denen die Sonnenscheindauer bzw. die Stärke und Dauer der Bewölkung gemessen werden können. Auch Einrichtungen zum Durchführen von Windmessungen bis zu Höhen von 5000 m sind vielfach vorhanden.

Die an den einzelnen Wetterwarten ermittelten Beobachtungen werden an eine Zentralstelle weitergeleitet. Aus den Aufzeichnungen stellt dort der Wetterforscher oder Meteorologe eine *Wettervorhersage* auf.

Sie wird mehrere Male am Tage durch den Rundfunk bekanntgegeben und in den Tageszeitungen veröffentlicht.

Die Wettervorhersage des Wetterdienstes stützt sich auf die Kenntnis eines umfangreichen Beobachtungsmaterials und auf große Erfahrung in der Beurteilung aller gegebenen Möglichkeiten. Sie zieht ihre Schlüsse in erster Linie aus dem Auftreten, der Bewegung und gegenseitigen Beeinflussung verschieden gearteter Luftmassen, wie Warmluft — Kaltluft, Festlandsluft — Meeresluft. Eine solche wissenschaftliche Vorhersage hat nichts gemein mit den sog. Wetterregeln oder gar mit den Wetterprophezeiungen im sog. 100jährigen Kalender. Es ist *nicht* möglich, auf Monate im voraus anzugeben, ob an einem bestimmten

Tage sonniges oder regnerisches Wetter sein wird. Bis jetzt ist es nach jahrzehntelangen Forschungen gelungen, höchstens für den Zeitraum von 10 Tagen eine Vorhersage des Wetters mit einiger Sicherheit aufzustellen.

§ 17. Auf dem Spielplatz und am Arbeitsplatz - Hebel und Hebelgesetze

1. Auf der Wippe - Der gleicharmige und der ungleicharmige Hebel. Auf Kinderspielplätzen und manchen Schulhöfen findet man öfters eine Wippe (Abb. 97). Gib die einzelnen Teile an! Versuche, eine Wippe zu bauen!

Beschreibe das Spiel auf der Wippe! Wohin müssen sich zwei gleich schwere Kinder setzen, damit die Wippe gut schwingt?

Die Wippe, ein starrer Balken, der um eine Achse oberhalb seiner Mitte (seines Schwerpunktes, vgl. § 9) drehbar unterstützt ist, stellt einen **Hebel** dar. Dieser Hebel hat zwei *Arme*. Sie reichen vom Unterstützungs- oder Drehpunkt bis zu den Angriffspunkten der auf den Hebel wirkenden Kräfte, die wir als **Kraft** und **Last** bezeichnen. In unserem Falle bildet das Gewicht des einen Kindes die Last, das des anderen die Kraft. Welche Lage nimmt der Balken der Wippe ein, wenn seine beiden Enden unbelastet sind? Die unbelastete Wippe oder der Hebel stellt sich waagerecht ein und befindet sich in dieser Lage im sicheren **Gleichgewicht** (vgl. § 9).

Der gleicharmige Hebel. Die Wippe vom Spielplatz wollen wir jetzt mit einem Versuch nachahmen. Wir nehmen eine Holzleiste – am einfachsten einen Meterstab – und durchbohren sie auf der halben Länge, und zwar im Gegensatz zur Wippe genau im Schwerpunkt. Eine als Achse durch die Öffnung gesteckte Stricknadel unterstützen wir durch Auflegen auf zwei gleich hohe Holzkisten. Eine solche Vorrichtung stellt nichts anderes als einen Hebel dar. Er ist unbelastet in jeder Lage im Gleichgewicht. Warum? (Vgl. S. 43!)

An den einen Arm hängen wir mittels einer Fadenschlinge ein Gewicht (z. B. 100 p). Der belastete Arm sinkt nieder. Wieviel Pond müssen in der gleichen Entfernung auf den anderen Arm einwirken, wenn der Hebel wieder in jeder Lage im Gleichgewicht sein soll? Ändere die Last und ihre Entfernung vom Drehpunkt! Welche Änderungen mußt du entsprechend am Gegengewicht vornehmen?

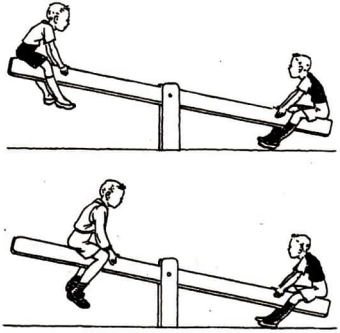


Abb. 97 oben: Die Wippe als gleicharmiger Hebel
unten: Die Wippe als ungleicharmiger Hebel

Wir erkennen aus unseren Beobachtungen:

Ein gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft ebenso groß ist wie die Last.

Der ungleicharmige Hebel. Wohin müssen sich zwei ungleich schwere Kinder auf der Wippe setzen?
Um diese Frage klären zu können, belasten wir den einen Arm unseres Hebelmodells mit 150 p in einer Entfernung von 20 cm von der Achse und lassen die Last während des Versuchs unverändert. An den anderen Hebelarm hängen wir als Gegengewicht zunächst ebenfalls 150 p, dann 100 p, 75 p, 50 p oder andere Gewichte und verschieben die Fadenschlingen, an denen die Gewichte hängen, jeweils so, daß der Hebel in jeder Lage im Gleichgewicht ist. Die Kraftarme werden jedesmal gemessen.
Die Meßergebnisse stellen wir in einer Tabelle zusammen:

Last p	Lastarm cm	Last mal Lastarm pcm	Kraft p	Kraftarm cm	Kraft mal Kraftarm pcm
150	20	3000	150	20	3000
150	20	3000	100	30	3000
150	20	3000	75	40	3000
150	20	3000	50	60	3000

Wir erkennen: Ist die Kraft nur gleich der Hälfte der Last, so ist der Kraftarm doppelt so lang wie der Lastarm. Ist die Kraft $\frac{1}{3}$ der Last, so ist der Lastarm dreimal so lang usf.
Bilden wir in der Tabelle für jede Messung das Produkt aus der Kraft und dem zugehörigen Kraftarm, so sehen wir, daß diese Produkte gleich dem Produkt aus Last und Lastarm sind. Wir haben somit das Hebelgesetz gefunden:

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Kraft und Kraftarm gleich dem Produkt aus Last und Lastarm ist.

Man kann sich leicht davon überzeugen, daß dieses Gesetz auch für den gleicharmigen Hebel gilt!

2. Waagen im Haus und beim Kaufmann - Waagen und Hebel. Die Mehrzahl unserer Waagen sind Hebelgeräte. Mit Hebelwaagen ermitteln wir die Masse der Körper, gemessen in kg, indem wir sie mit den bekannten Massen geeichter Körper vergleichen. Die Wägung selbst erfolgt durch Vergleich der Körpergewichte, die auf die Hebelarme als Kräfte einwirken. Wie schon auf Seite 39 festgestellt wurde, entsprechen dabei gleichen Massen gleiche Gewichte und umgekehrt.

Die Kaufmannswaage. Beschreibe die in Abb. 98 und 99 dargestellten Waagen und verwende die Bezeichnungen Waagebalken (1), Schere (2), Achse (3),

Schneide (4), Zunge (5), Waagschale (6)! Welcher Hebel wird hier verwendet? Jede Waage ist so eingerichtet, daß der Schwerpunkt des Waagebalkens etwas unterhalb der Achse liegt. Infolgedessen zeigt die Waage das richtige Gewicht der Ware an, wenn der Waagebalken „waagerecht" steht. Die Zunge, bzw. der Zeiger muß dann auf den Nullpunkt der Teilung einspielen (vgl. S. 43, Abb. 54). Zu jeder Waage gehört ein Kasten mit Gewichten, ein **Gewichtssatz** (Abb. 100).

Man bezeichnet eine Waage als *empfindlich*, wenn sie schon bei einer Belastung mit einem kleinen Gewichtsstück einen großen Ausschlag gibt, d. h. wenn sie noch kleine Gewichtsunterschiede anzeigt.

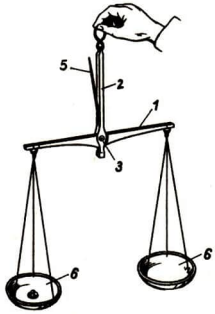


Abb. 98 Oberzüngige Kaufmannswaage

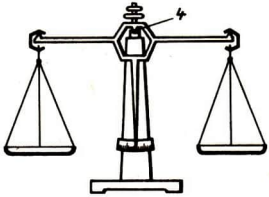


Abb. 99 Unterzüngige Kaufmannswaage

Die oberschalige Tafelwaage (Abb. 101a). Durch eine sinnreiche Hebelanordnung, die in der Abbildung 101b nur schematisch wiedergegeben ist, wird erreicht, daß Last und Gegengewicht stets in gleicher Entfernung vom Drehpunkt angreifen, wo auch immer Ware und Gewicht auf den Waagschalen stehen, und daß die Waagschalen stets ihre waagerechte Lage beibehalten.

Diese beiden Waagen stellen Hebelwaagen dar, die mit gleicharmigen Hebeln versehen sind. Aber auch der ungleicharmige Hebel wird beim Bau von Waagen benutzt.

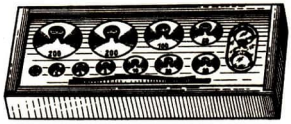


Abb. 100 Gewichtssatz

Abb. 101 Oberschalige Tafelwaage. a Gesamtansicht, b Anordnung der Hebel, schematisch

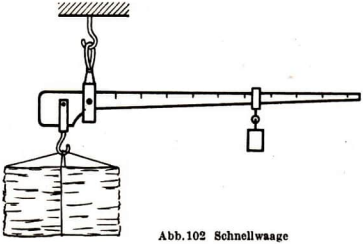


Abb. 102 Schnellwaage

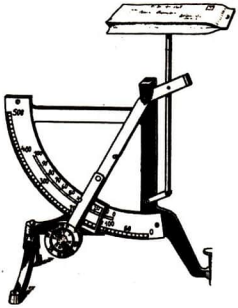


Abb. 103 Briefwaage

Die Schnellwaage. Abb. 102 zeigt die Wägung eines Ballens Altpapier mittels einer Schnellwaage. Ähnliche Waagen dieser Art findet man z. B. in Schlachthöfen. Die Schnellwaage ist ein *ungleicharmiger* Hebel. Die waagerechte Lage des Waagebalkens stellt man durch Verschieben eines Laufgewichtes her. Die Teilung auf der Waage gestattet es, sofort das Gewicht des zu wägenden Körpers abzulesen. Wo steht das Laufgewicht, wenn die Waage ohne Last waagerecht einspielen soll?

Die Briefwaage (Abb. 103). Bei ihr findet ein ungleicharmiger Winkelhebel Verwendung. Die Wirkungsweise der Briefwaage beruht darauf, daß die auf die Waagschale gelegte Last ein am langen Hebelarm befestigtes Gewicht anhebt. Mit zunehmender Neigung des Hebels wächst die Drehkraft dieses Gewichtes, die den Hebel wieder in seine Ruhelage zurückzudrehen sucht. Schließlich wird sie so groß, daß sie der Last das Gleichgewicht hält.

Abb. 104 Preiswaage aus den volkseigenen Werken Happich, Berlin

Die Preiswaage (Abb. 104). Ähnlich ist die Wirkungsweise der sog. Preiswaage zu erklären. Auch bei ihr wird ein mit einem Gewicht beschwerter Hebel mehr oder weniger geneigt. Die Bewegung des Hebels überträgt sich auf einen langen Zeiger, der nicht nur das Gewicht, sondern auch den Preis angibt, indem er über eine Preistafel hinwegstreicht.

3. Die Kartoffelquetsche - Einseitiger Hebel. Beschreibe die Anwendung der Kartoffelquetsche (Abb. 105)! Warum ist die Presse ein Hebel? Der Drehpunkt dieses Hebels liegt an seinem Ende. Wie liegen die Angriffspunkte von Kraft und Last zum Drehpunkt?

Bekannt ist der Büchsenöffner (Abb. 106). Er stellt ebenfalls einen Hebel dar, dessen Drehpunkt an einem Ende liegt. Welches ist die Last, die wir mit unserer Kraft bei der Kartoffelquetsche und beim Büchsenöffner bewältigen? Wippe und Schnellwaage sind zweiseitige Hebel, Kartoffelquetsche und Büchsenöffner einseitige Hebel.

Zeichne schematisch diese einseitigen Hebel auf und gib Kraft- und Lastarm an!

Beim einseitigen Hebel greifen Last und Kraft auf derselben Seite vom Drehpunkt an.

Der Lastarm deckt sich mit einem Stück des Kraftarms.

Wie kann die Hebestange als einseitiger Hebel benutzt werden (Abb. 107)? Erkläre die Wirkung der Stangen in den Abb. 108 und 109!

Um über das Verhältnis von Kraft und Last beim einseitigen Hebel Genaues zu erfahren, verwenden wir dasselbe Hebelmodell wie in § 17, halten aber den belasteten Hebel dadurch im Gleichgewicht, daß wir die Spannkraft einer Federwaage auf der gleichen Seite, an der die Last hängt, nach oben wirken lassen (Abb. 110). Die Federwaage zeigt beispielsweise im Abstand 80 cm von der Dreh-

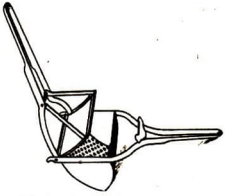


Abb. 105 Kartoffelquetsche

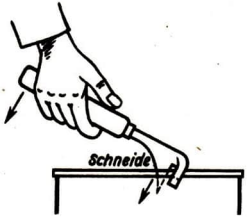


Abb. 106 Büchsenöffner

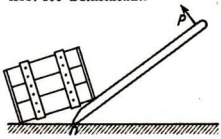


Abb. 107 Hebestange als einseitiger Hebel

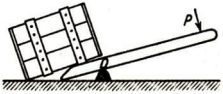


Abb. 108 Hebestange als zweiseitiger Hebel

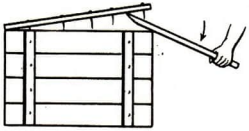


Abb. 109 Brechstange

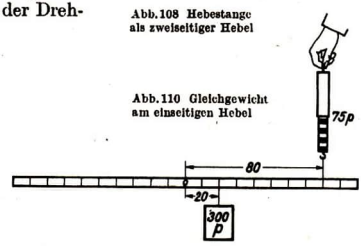


Abb. 110 Gleichgewicht am einseitigen Hebel

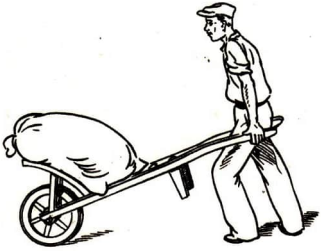


Abb. 111 Schiebkarre

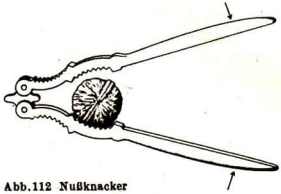


Abb. 112 Nußknacker

achse eine Kraft von 75 p an, wenn im Abstand 20 cm 300 p als Last hängen. Wir lassen, ähnlich wie beim zweiseitigen Hebel, die Gegenkraft wieder in verschiedenen Abständen angreifen und finden:

Am einseitigen Hebel gilt das gleiche Gesetz wie beim zweiseitigen Hebel.

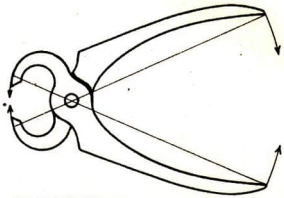


Abb. 113 Kneifzange

In einer Unzahl von Werkzeugen und Einrichtungen im Haushalt und in der Technik, bei denen es darauf ankommt, Kraft zu sparen, gelangen ungleicharmige Hebel, einseitige und zweiseitige, zur Anwendung.

Fertige Skizzen von einzelnen der folgenden Werkzeuge und Hilfsmittel an und zeichne mit Farbstift die entsprechenden Hebel schematisch ein! Hebebaum, Brechstange, Pumpenschwengel, Schiebkarre (Abb. 111), Nußknacker (Abb. 112), Kneifzange (Abb. 113), Schere, Fensterriegel, Türklinke!

Wie zieht man einen Nagel aus der Kiste? Wie kann man das Klemmen schwerer Schranktüren erklären? Warum ist es zweckmäßig, eine Last auf eine Schiebkarre möglichst nahe dem Rade abzulegen (vgl. Abb. 111)? Zerbrich ein Streichholz in immer kürzere Stücke! Warum geht es immer schwerer?

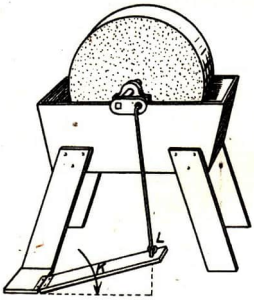


Abb. 114 Schleifstein

Welchen Nachteil muß man in Kauf nehmen, wenn man die Kraft am kurzen Hebelarm wirken läßt? Man erkennt den Zweck einer solchen Anordnung, wenn man die Geschwindigkeit beachtet, mit der die Last am langen Hebelarm bewegt wird. Man findet Hebel mit kurzem Kraft- und langem Lastarm im

Trittbrett des Schleifsteins (Abb. 114), in der Trittfläche der Nähmaschine. Erkläre die Wirkungsweise der Hacke und der Harke! Suche andere Beispiele ähnlicher Art in deiner Umgebung! Wie wirkt der Unterarm (Abb. 115) beim Beugen und Strecken als Hebel?

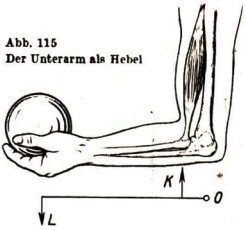


Abb. 115
Der Unterarm als Hebel

Man nennt Hebel, bei denen man Kraft zusetzt, um eine größere Geschwindigkeit zu erzielen, „*Wurfhebel*". Erkläre den Namen! Vergleiche die Papier-, Schneider-, Heckenschere mit der Nagelschere und der Blechschere! Wie wirken sie?

Die Dezimalwaage (Abb. 116) sehen wir oft im Gemüseladen oder beim Kohlenhändler. Sie trägt diesen Namen, weil auf die Waagschale immer nur der zehnte Teil des Warengewichtes zu legen ist, wenn die Waage einspielen soll. Wird z. B. mit der Dezimalwaage das Gewicht (Q) eines Sackes mit 50 kp Kartoffeln geprüft, so ist auf die Waagschale nur ein 5-kp-Gewichtsstück (P) zu legen. Diese einfache und zweckmäßige Handhabung wird ermöglicht durch den ungleicharmigen Hebel HC mit dem Drehpunkt G. Der Kraftarm HG ist zehnmal so lang wie der Lastarm GC. Infolgedessen hält z. B. ein bei H wirkendes 2-kp-Gewicht eine bei C wie an einer Schnellwaage aufgehängte Last von 20 kp im Gleichgewicht.

In der Abbildung erkennt man außerdem zwei in den Punkten F und C des kurzen Hebelarmes GF aufgehängte Stäbe FE und CB und die von ihnen getragenen Platten ED und BA. Die Stäbe und Platten sind in beweglichen Gelenken gelagert. Durch diese sinnreiche Einrichtung wird erreicht, daß die zu wägende Ware, die eigentlich in C angehängt werden müßte, einfach an beliebiger Stelle auf die „Brücke" AB gestellt werden kann. Gleichzeitig sorgt diese Anordnung dafür, daß die Brücke bei Ausschlagen der Waage stets in waagerechter Lage verbleibt und sich somit nur hebt oder senkt ohne zu kippen. Auch die Dezimalwaage dient letzten Endes zum Ermitteln der Masse. Wiegt der auf die Waage gestellte Sack 50 kp, so hat er eine Masse von 50 kg.

Denke dir die Last von 50 kp beliebig in zwei Teile zerlegt, die auf den Enden der Brücke lasten, also etwa 40 kp bei A, 10 kp bei B oder 30 kp bei A und 20 kp bei B! Berechne auf Grund des Hebelgesetzes unter Berücksichtigung der in der Abbildung an ED und HG bzw. GF erkennbaren Ein-

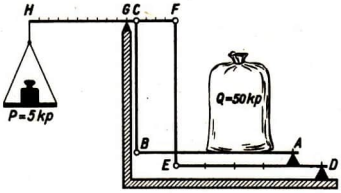


Abb. 116 Dezimalwaage

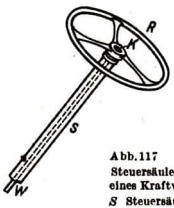


Abb. 117
Steuersäule eines Kraftwagens.
S Steuersäule
W Steuerwelle
R Steuerrad
K Hupenkontakt

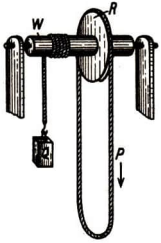


Abb. 118 Wellrad

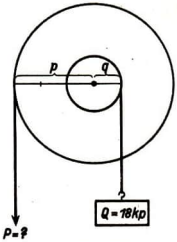


Abb. 119 Das Wellrad — ein ungleicharmiger Hebel

teilung, durch welche Gewichte auf der Waagschale die Lastteile gerade ausgeglichen werden, wenn die Waage einspielt!

4. Im Kraftwagen - Wellrad. Wir sitzen am Steuer eines Kraftwagens; vor uns steht die sog. Steuersäule (Abb. 117), die eine um ihre Längsachse drehbare Welle, die Steuerwelle, umschließt. Mit der Steuerwelle ist ein Rad, das Steuerrad, fest verbunden. Die Drehung des Steuerrades wird durch die Steuerwelle auf den eigentlichen Steuermechanismus übertragen. Eine solche feste Verbindung von Rad und Welle nennt man ein *Wellrad*. Denkt man sich Radkranz und alle Speichen bis auf eine verschwunden und an der übriggebliebenen Speiche einen Handgriff befestigt, so erhält man eine *Kurbel*. Die Kurbel gleicht darum auch in ihrer Wirkung einem Wellrad.

Abb. 118 stellt ein Wellrad dar. Ein Seil ist in mehreren Windungen über die Welle (*W*) gelegt und mit einem Ende an der Welle befestigt. Am anderen Ende hängt die Last *Q*. Über dem Rad (*R*) liegt ein Seil ohne Ende. An diesem Seil greift die Kraft *P* an.

Aus der schematischen Zeichnung in Abb. 119 ersieht man, daß das Wellrad in seiner Wirkung auf den Hebel zurückzuführen ist. Wo greifen Kraft und Last an? Wo liegt der Drehpunkt? Wie groß muß die Kraft sein, wenn der Kraftarm (Halbmesser des Rades) dreimal so lang wie der Lastarm (Halbmesser der Welle) ist?

Am Wellrad gilt das Gesetz des ungleicharmigen Hebels.

Wende dieses Gesetz auf Kurbeln an, die du an Maschinen im Haushalt und in Werkstätten findest!

Mittels der Kurbel erspart man Kraft.

Reicht die durch eine Kurbel hervorgerufene Kraftersparnis nicht aus, so läßt man die

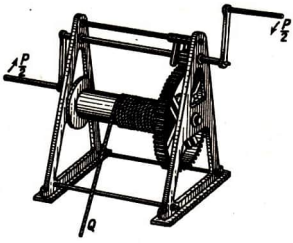


Abb. 120 Seilwinde mit Zahnradgetriebe

Welle der Kurbel auf ein zweites Wellrad wirken. Diese Anordnung finden wir bei der sog. *Seilwinde mit Zahnradgetriebe* (Abb. 120). Wie sind die beiden Wellräder miteinander verbunden? Man spricht von einer Zahnradübertragung. Die Kraftersparnis ist hier auch noch abhängig von der *Übersetzung* (§ 19, S. 87). Das Räderwerk der Uhren besteht ebenfalls aus Zahnrädern; sie dienen nicht nur dazu, die Antriebskraft von einer Welle auf die andere zu übertragen, sondern auch eine *Änderung der Umlaufgeschwindigkeit* herbeizuführen.

Rechne:

1. Der kurze Arm eines zweiseitigen Hebels ist 8 cm, der lange Arm 20 cm lang. Welche Kraft muß am Ende des langen Armes angreifen, um die am kurzen Arm hängende Last von 5 kp bei waagerechter Hebelstellung auszugleichen?
2. Eine 1 m lange Brechstange wird 5 cm tief in die Fuge zwischen zwei Pflastersteinen gestoßen. Sie wird durch eine am oberen Ende wirkende Kraft von 10 kp zur Seite gedrückt. Welche Kraft kommt an der Steinkante zur Wirkung?
3. An einer Welle mit einem Durchmesser von 10 cm ist eine 25 cm lange Kurbel befestigt. An einem um die Welle geschwungenen Seil hängt eine Last von 15 kp. Durch welche am Handgriff der Kurbel angreifende Kraft wird sie ausgeglichen?

§ 18. Beim Hausbau - Rolle. Schiefe Ebene. Keil. Schraube

1. Schwere Lasten werden hochgezogen - Rolle und Flaschenzug. Wir beobachten, wie die Arbeiter beim Bau eines Hauses Lasten nach oben befördern. Haben sie keine weiteren Hilfsmittel zur Verfügung, so ziehen sie einfach die Last an einem von oben herabgelassenen Seil hoch. Was ist daran unbequem und nachteilig? Gib die Richtung der Lastwirkung und die Richtung der Kraft an!

Das Seil wird auf Zug beansprucht und überträgt Zugkräfte.

In Abb. 121 sieht man die Zugvorrichtung einer zweiteiligen Gardine. Beschreibe sie! Wodurch wird die Richtung der Schnur geändert?

Mit einer Rolle kann man die Zugrichtung beliebig ändern.

Beim Hochwinden von Lasten am Neubau wird zweckmäßigerweise eine Rolle benutzt, durch die die Zugrichtung geändert wird. Beschreibe die *feste Rolle*, die in Abb. 122 dargestellt ist, und verwende die Begriffe kreisrunde Scheibe, Achse, Lager, Schere!

Abb. 121 Zugvorrichtung einer Gardine

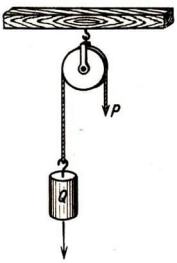


Abb. 122 Feste Rolle

Das *Gesetz der festen Rolle* lautet:

An der festen Rolle besteht Gleichgewicht, wenn die Kraft gleich der Last ist.

Vergleiche dieses Gesetz mit dem Gesetz für den gleicharmigen Hebel!

Bei der *losen Rolle* ist das eine Ende des Seiles an einem festen Haken befestigt, das andere führt um die Rolle, an deren Schere die Last Q hängt, nach oben (Abb. 123).

Erkläre nun die Bezeichnung feste und lose Rolle! Wie verteilt sich die Last an der losen Rolle auf die beiden Seilenden? Wir brauchen an dem freien Seilende nur mit einer Kraft nach oben zu ziehen, die halb so groß ist wie die Last (Abb. 123 links). Das Gewicht der Rolle muß dabei mit berücksichtigt werden. Es ist aber bequemer, abwärts als aufwärts zu ziehen; deshalb führt man das freie Ende noch über eine feste Rolle (Abb. 123 rechts).

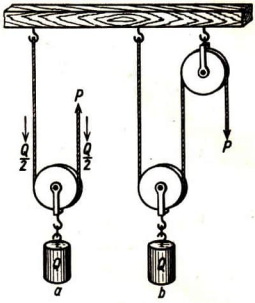


Abb. 123 Lose Rolle

An der losen Rolle besteht Gleichgewicht, wenn die Kraft halb so groß wie die Last ist.

Der Versuch zeigt uns aber auch, daß die Kraft einen doppelt so großen Weg wie die Last zurücklegen muß. Der Kraftersparnis um die Hälfte (mechanischer Vorteil) steht ein doppelt so großer Weg der Kraft (mechanischer Nachteil) gegenüber.

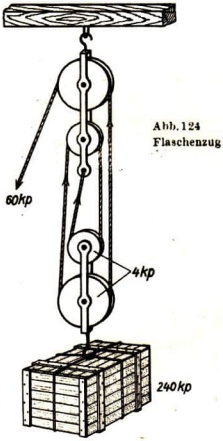


Abb. 124 Flaschenzug

Der Flaschenzug (Abb. 124). Beim Flaschenzug sind die feste und die bewegliche Rolle durch eine feste und eine bewegliche „Flasche" von je zwei Rollen (es können auch drei sein) ersetzt. Vier Seilstücke tragen die Last, jedes von ihnen also $\frac{1}{4}$ der Last. Durch Versuche am Flaschenzug finden wir das Gesetz:

An einem aus vier Rollen bestehenden Flaschenzug herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft den vierten Teil der Last beträgt.

Wie muß dieser Satz bei Verwendung von 6 Rollen heißen?

Durch die Reibung wird die Wirksamkeit des Flaschenzuges stark beeinträchtigt, so daß der Zahl der Rollen eine Grenze gesetzt ist. Welches ist der mechanische Nachteil beim Flaschenzug?

2. Die Stufen am Eingang des Neubaues fehlen noch - Die schiefe Ebene. Wenn beim Neubau noch keine Treppenstufen am Hauseingang eingebaut sind, legt man lange Bretter zum Eingang hin. Beobachte beim Hausbau das Abladen von Granitstufen und Sandsteinquadern!

Abb. 125 Die schiefe Ebene (Schrotleiter) hilft die Last heben.

Eine Ebene, die mit der Waagerechten einen Winkel bildet, heißt schiefe Ebene. Der Winkel ist der Neigungswinkel der schiefen Ebene.

Soll eine Last senkrecht gehoben werden, so ist eine Kraft nötig, die gleich der Last ist. Von der schiefen Ebene wird aber ein Teil der Last getragen (Abb. 125); dieser ist um so größer, je kleiner der Neigungswinkel ist. Die schiefe Ebene hilft uns somit Kraft sparen.

Wieso sind Laderampen an Eisenbahnen, Treppen, schräge Leitern, Bergstraßen, Hocheinfahrten in Scheunen, Einfahrten in tiefgelegene Garagen u. ä. schiefe Ebenen?

3. Ein Loch wird in die Wand geschlagen - Der Keil. Welches Werkzeug benutzt der Arbeiter, der ein Loch in die Mauer schlägt? Wir betrachten ein Stemmeisen aus unserem Handwerkskasten und vergleichen es mit einem Keil! Zeichne einen Keil vergrößert im Querschnitt! Vergleiche die Zeichnung mit der schiefen Ebene!

Ein Keil wirkt wie eine schiefe Ebene.

Der Keil dient *zum Spalten*: Spaltkeil (Abb. 126), Meißel, Stemmeisen, Beil, Axt, Messer, Hacke;

zum Befestigen: Der Keil im Hammer- und Hackenstiel. Der Bergmann und der Bauarbeiter benutzen Keile zum Festklemmen von Stützen, Brettern und Schienen;

zum Heben von Lasten: Der Schlosser benutzt Keile beim Heben schwerer Eisentüren zum Zwecke des Schmierens; der Zimmermann bedient sich ihrer beim Heben und Befestigen der Dielen.

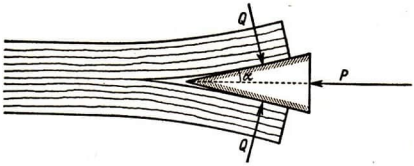


Abb. 126 Der Keil als zweifache schiefe Ebene

7. Die Rohre werden verlegt – Die Schraube. Am Arbeitsplatz der Rohrleger sehen wir einen Rohrschraubstock (Abb. 127). In ihm werden die Rohre festgeklemmt, wenn an ihnen gearbeitet wird. Dreht man die Griffstange *c* „rechtsherum", so senkt sich die Schraubenspindel *b* und klemmt mittels des verschiebbaren Backens *d* das Rohr *f* gegen den festen Backen *e*. Der verschiebbare Backen *d* gleitet dabei in einer Längsnut des Bockes *a*. Warum?

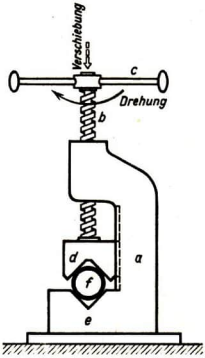


Abb. 127 Rohrschraubstock (Schraube übertrieben weitgängig gezeichnet)

Wir erkennen:

Vermittels einer Schraubenspindel kann man durch die Drehbewegung einer Welle um ihre Achse eine Verschiebung der Welle längs ihrer Achse hervorrufen.

Schneide aus Papier ein rechtwinkliges Dreieck und markiere die längste Seite durch einen schwarzen Strich! Das Dreieck stellt einen senkrechten Schnitt durch eine schiefe Ebene dar. Lege die kürzeste Dreiecksseite an einen Bleistift und wickle das Papier so auf diesen, daß der Strich nach außen kommt! Es entsteht eine Schraubenlinie (Abb. 128), wie wir sie an allen Schrauben sehen können.

Eine Schraube beruht auf der Wirkungsweise der schiefen Ebene. Eine Schraube wirkt kraftsparend.

Wir kennen aus Haushalt, Werkstatt und Technik Schrauben mancherlei Art. Ordnen wir sie nach ihrem Verwendungszweck, so erhalten wir folgende Einteilung:

a) *Befestigungsschrauben:* Holzschrauben mit rundem oder flachem Kopf und mit Schlitz; Metallschrauben mit vier- oder sechskantigem Kopf. Beide Schraubenarten dienen der lösbaren Verbindung von zwei Werkteilen. Bei der Metallschraube ist eine *Schraubenmutter* vorhanden, in die die *Schraubenspindel* hineingedreht wird (Abb. 129). Jede vollständige Windung bezeichnet man als *Schraubengang*, den Abstand zweier Schraubengänge als *Ganghöhe*. Wodurch wird die Schraubenmutter bei der Holzschraube vertreten?

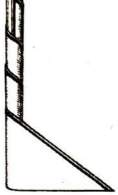


Abb. 128 Wie die Schraubenlinie entsteht

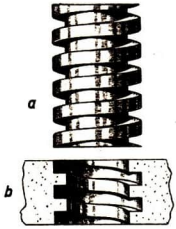


Abb. 129 Flachgewinde
a Schraubenspindel
b Schraubenmutter

b) *Druckschrauben:* Am Schraubstock, an der Schraubzwinge der

Buchbinderpresse, an der Wagenbremse mit Kurbel und an vielen anderen Geräten. Nenne weitere Beispiele!
Nach der Form des Gewindes unterscheiden wir flachgängige Schrauben (vgl. Abb. 129) und scharfgängige Schrauben. Wozu verwenden wir die eine, wozu die andere Art?
Außerdem finden wir Schrauben, die anderen Zwecken dienen, so z. B. Einstellschrauben an Waagen. Die Schiffsschraube stellt nur ein Teilstück eines Schraubenganges dar. Erkläre ihre Wirkungsweise! Unterscheide dabei Spindel und Mutter!
Auch die Welle des Fleischwolfes ist schraubenförmig gestaltet. Das Fleisch, das zwischen die Windungen gerät, wird durch die Schraube gegen die Messer vorwärtsgeschoben und durch die Lochscheibe hindurchgedrückt. Erläutere den Fleischwolf an Hand von Abb. 130!

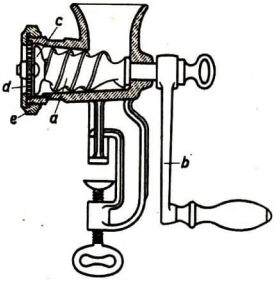


Abb. 130 Fleischwolf
a Welle, *b* Kurbel, *c* Messer, *d* Lochscheibe, *e* Verschlußring

Rechne:

1. Zum Hochziehen von Mörteleimern an einem Neubau werden eine lose und eine feste Rolle verwendet. Der volle Eimer wiegt 25 kp. Welche Kraft ist zum Hochziehen erforderlich?
2. Zum Hochziehen von Lasten an einem 16 m hohen Gerüst wird ein vierteiliger Flaschenzug verwendet. Wie lang muß das Seil mindestens sein?
3. Das 20 kp schwere Zuggewicht einer Turmuhr hängt mit einer losen Rolle am Zugseil. Mit dem einen Seilende greift es am Uhrwerk an. Welche Kraft kommt dabei zur Entfaltung?

§ 19. Vom Fahrrad und von der Nähmaschine - Zusammengesetzte Maschinen

1. Was ist eine Maschine? In der Physik bezeichnet man alle Einrichtungen, die dazu dienen, Richtung, Angriffspunkt oder Größe einer Kraft zu ändern, als *Maschinen*[1]). Hebel, Seil, Rolle, Wellrad, schiefe Ebene, Keil, Schraube sind **einfache Maschinen.**
Sind mehrere einfache Maschinen zu einem sinnvollen Ganzen zusammengefügt, so sprechen wir von einer **zusammengesetzten Maschine.**

2. Dein Fahrrad - Geschwindigkeit, Reibung, Beharrungsvermögen. Auf unserem Fahrrad können wir uns bedeutend schneller fortbewegen als ein Fußgänger.

1) Das Wort kommt von dem lateinischen Worte máchina, im Griechischen mēchanē, und bedeutet Werkzeug. Von dem griechischen Wort hat ein ganzes Teilgebiet der Physik (die Lehre vom Gleichgewicht und der Bewegung der Körper) den Namen *Mechanik* erhalten.

20 km in der Stunde zurückzulegen, fällt uns nicht schwer. Ein Fußgänger legt etwa 5 km in der Stunde zurück.

Wenn ein bewegter Körper in gleichen Zeitspannen gleiche Wegstrecken zurücklegt, so wird die Bewegung *gleichförmig* genannt.

Ein Radfahrer erreicht seine volle Geschwindigkeit sehr schnell; dann erst ist seine Bewegung gleichförmig.

Um die Geschwindigkeit eines gleichförmig bewegten Körpers zu berechnen, müssen wir die zurückgelegte Wegstrecke durch die während der Bewegung verflossene Zeit dividieren. Wenden wir dieses Verfahren auch auf eine nicht gleichförmige Bewegung an, so erhalten wir nur die Durchschnittsgeschwindigkeit. Merke also:

$$\textbf{Geschwindigkeit} = \frac{\textbf{Weg}}{\textbf{Zeit}}.$$

In der Umgangssprache ist es, insbesondere bei schnellverlaufenden Bewegungen, üblich, als Wegeinheit das Kilometer, als Zeiteinheit die Stunde zu benutzen. Man erhält dementsprechend die Geschwindigkeit in *Kilometer je Stunde* (km/Std.). Bei wissenschaftlichen Angaben dient als Wegeinheit das Meter, als Zeiteinheit die Sekunde. Dies führt zur Geschwindigkeitseinheit *Meter je Sekunde* (m/s).

Einige Durchschnittsgeschwindigkeiten von Verkehrsmitteln:

Fußgänger (zum Vergleich)	5 km/Std.	= rd. 1,4 m/s
Radfahrer	20 km/Std.	= rd. 5,5 m/s
Motorrad	40 km/Std.	= rd. 11 m/s
Ozeanschnelldampfer	50 km/Std.	= rd. 14 m/s
Kraftwagen (Reisegeschwindigkeit)	70 km/Std.	= rd. 19,5 m/s
Schnellzug (Reisegeschwindigkeit)	80 km/Std.	= rd. 22 m/s

Rechne:

1. Ein Kraftwagen legt eine 180 km lange Strecke zwischen zwei Städten in $2\frac{1}{2}$ Std. zurück. Welche Durchschnittsgeschwindigkeit entwickelt er, a) gemessen in km/Std., b) gemessen in m/s?
2. Wie weit fährt ein Radfahrer bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 5 m/s in 1 Std., in $2\frac{1}{2}$ Std.?

Ein in Ruhe befindliches Fahrrad, das wir an der Lenkstange festhalten, fällt um, wenn wir es loslassen. Nach unseren Kenntnissen über *Standfestigkeit* und *Gleichgewicht* (s. § 9, 2 und 3) ist das nicht anders zu erwarten.

Wir untersuchen, in welcher Weise sich die Geschwindigkeit des Radfahrers auf die Innehaltung des Gleichgewichts auswirkt.

Es zeigt sich, daß bei schneller Fahrt kleine seitliche Abweichungen aus der Gleichgewichtslage leichter ausgeglichen werden können als bei langsamer Fahrt. Durch Drehen der Lenkstange stellt ein Radfahrer das gestörte Gleichgewicht wieder her. Die Beobachtung der Spur eines Vorderrades bei langsamer Fahrt auf sandigem Boden zeigt uns dies. Mit festgestellter Lenkstange kann man nicht radfahren.

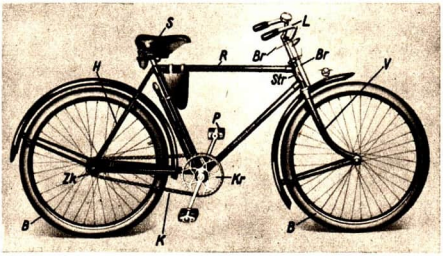


Abb. 131
Neuzeitliches Fahrrad aus dem volkseigenen „Möve"-Werk, Mühlhausen

R Rahmen, *L* Lenkstange, *S* Sattel, *V* Vordergabel, *H* Hintergabel, *Str* Steuerrohr, *Br* Bremshebel, *K* Kette, *Kr* Kettenrad, *P* Pedal, *B* Bereifung, *Zk* Zahnkranz

Das Fahrrad als zusammengesetzte Maschine. Untersuche dein Fahrrad (Abb. 131) daraufhin, welche einfachen Maschinen du an ihm findest! Die menschliche Muskelkraft wirkt auf die *Tretkurbel*, das *Pedal*, und wird über das *Kettenrad* (Wellrad) durch eine Kette ohne Ende auf den *Zahnkranz* am Hinterrad übertragen (Abb. 132).

Führe mit der Tretkurbel eine volle Drehung aus und beobachte dabei das Hinterrad! Es dreht sich in der gleichen Zeit zwei- bis viermal. Die Zwischenmaschinen (Kettenrad, Kette, Zahnkranz) übertragen also nicht nur die Bewegung, sondern *vervielfachen* dabei auch die Drehzahl. Wird die Kraft von einem großen Rad auf ein kleines übertragen, so spricht man von einer **Übersetzung**, umgekehrt von einer **Untersetzung**. Zähle bei verschiedenen Fahrrädern die Zähne des Kettenrades und des Zahnkranzes (Abb. 132)! Stelle danach fest, wie oft sich der Zahnkranz oder das mit ihm auf der gleichen Achse sitzende Hinterrad dreht, wenn die Tretkurbel *eine* Umdrehung ausführt!

Jede Übersetzung vergrößert die Geschwindigkeit.

Was versteht man unter einer großen und einer kleinen Übersetzung? Die Größe der Übersetzung ist bei jedem Fahrrad aus der Größe von Kettenrad und Zahnkranz zu ermitteln. Mit je mehr Zähnen das Kettenrad im Verhältnis zum Zahnkranz besetzt ist, desto größer ist die Übersetzung, desto mehr Kraft ist erforderlich (Abb. 132).

Zwei Radfahrer, die auf Fahrrädern mit unterschiedlicher Übersetzung fahren, stellen fest, daß bei großer Übersetzung wenige aber feste Tritte, bei kleiner

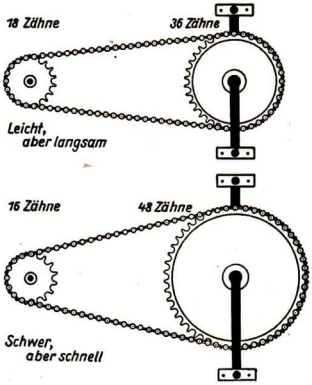


Abb. 132 Mit welcher Übersetzung fährt es sich leichter?

Übersetzung viele aber leichte Tritte notwendig sind, um die gleiche Geschwindigkeit zu erzielen. Bei gleichmäßig schnellem Treten kommt man bei großer Übersetzung — allerdings mit entsprechend größerem Kraftaufwand — schneller vorwärts als bei kleiner. Der mit großen Übersetzungen verbundene Mehraufwand an Kraft macht sich besonders bemerkbar, wenn man bergan fährt, da das Überwinden eines Höhenunterschiedes ohnehin einen Aufwand an Kraft bedingt. Kleinere Übersetzungen sind beim Berganfahren vorteilhafter.

Bei Damenfahrrädern hat der Zahnkranz $\frac{1}{2}$ der Anzahl der Zähne des Kettenrades, bei Herrenfahrrädern $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$. Welche Übersetzung ist größer? Außerdem ist auch die Länge der Tretkurbelarme zu berücksichtigen.

Warum erfordert Radfahren weniger Kraft als Gehen? Wir haben erkannt, daß auch beim Radfahren Kraft aufzuwenden ist. Trotzdem bietet es gegenüber dem Gehen Vorteile. Wie bewegt sich der Schwerpunkt eines Fußgängers? (Vgl. S. 45 u.) Der Radfahrer führt im wesentlichen eine Gleitbewegung aus, bei der sich der Schwerpunkt gleichlaufend zur Fahrbahn bewegt, während der Schwerpunkt des Fußgängers bei jedem Schritt angehoben werden muß. Sobald aber der Radfahrer eine stärkere Steigung zu überwinden hat, hört sein Vorteil gegenüber dem Fußgänger auf und verwandelt sich sogar in einen Nachteil.

Die Reibung. Wir versuchen, auf einem Kistendeckel als Schlitten einen kleineren Mitschüler auf dem Erdboden des Schulhofes und dann auf dem Fußboden des Hausflurs fortzuziehen. — Wo zwei Körper, sich gegenseitig berührend, aneinander entlanggleiten, wird diese Gleitbewegung durch eine Erscheinung stark behindert, die wir als *Reibung* bezeichnen. Die Oberflächen aller Körper zeigen Unebenheiten. Auch polierte Oberflächen sind nicht vollständig glatt. Gleiten zwei Körper mit ihren Oberflächen aneinander, so müssen sie über diese Unebenheiten gewissermaßen hinweggehoben werden. Wir empfinden das als Widerstand. Die Reibung ist um so größer, je rauher die reibenden Flächen sind. Auch Größe und Belastung der Fläche sind mitbestimmend.

Weit geringer ist die Reibung, wenn ein Körper am anderen rollt, da hierbei die Unebenheiten leichter überwunden werden.

Reibung bedeutet Kraftverbrauch.

Ein Schmiermittel (z. B. Öl) füllt die Unebenheiten rauher Flächen aus und vermindert deshalb die Reibung. Suche bei deinem Fahrrad die Öleinlaufstellen! Die Reibung bei zwei aufeinander gleitenden Körpern nennt man *Reibung beim Gleiten*; bei Rädern haben wir es mit der *Reibung beim Rollen* zu tun.

Ein *Kugellager* (Abb. 133), wie wir es z. B. in der Nabe des Hinterrades beim Fahrrad finden, setzt die Reibung stark herab. Wo finden wir beim Fahrrad weitere Kugellager? Beobachte den Lauf eines trockenen und eines frisch geölten Laufrades!

Abb. 133 Kugellager

Die Hinterräder sind in ihrer Mehrzahl mit *Freilaufnaben* ausgerüstet. Diese Einrichtung ermöglicht es uns, den Schwung des in Fahrt befindlichen Rades besser auszunutzen. Hören wir, auf einem solchen Rade sitzend, auf zu treten, so bleibt das Fahrrad dennoch nicht stehen. Es rollt noch ein erhebliches Stück weiter. Luftwiderstand und Reibung lassen freilich die Geschwindigkeit allmählich geringer werden. Wären diese beiden Einflüsse nicht vorhanden, so würde das Fahrrad bei Voraussetzung einer vollkommen waagerechten Bahn seine Geschwindigkeit beibehalten. Diese Eigenschaft ist im übrigen allen Körpern zu eigen. Man bezeichnet sie als das *Beharrungsvermögen* oder als die *Trägheit* der Körper. Sie ist ein Kennzeichen der *Masse* (vgl. § 8, 2).

Wie bremst man das Fahrrad, wenn die Rücktrittbremse, die mit dem Freilauf verbunden ist, nicht funktioniert? Erkläre die Wirkung der Handbremse!

Jede Bremswirkung läuft darauf hinaus, die dem Fahrzeug innewohnende Wucht aufzubrauchen. Meist geschieht dies durch die Schaffung von Reibungsflächen.

Beim Fahrrad und in zahlreichen anderen Fällen können wir die Reibung am Erdboden nicht entbehren, weil sonst die Räder nicht an der Fahrbahn haften würden. Warum werden Steinstufen von Zeit zu Zeit aufgerauht? Warum streuen wir bei Glatteis Sand und Asche auf den Gehweg?

Ohne Reibung ist ein Fortbewegen aus eigener Kraft nicht möglich.

Die Umwandlung der unwirtschaftlichen Gehbewegung des Menschen in die vorteilhaftere Gleit- bzw. Rollbewegung wurde 1817 von dem Forstmeister *von Drais* bei seinem „Laufrad" versucht. Seine Laufmaschine kann als Vorläufer des Fahrrades gelten. Ein Franzose erfand die Tretkurbel und ein Engländer die Luftbereifung. 1900 erschienen die ersten Freilaufnaben.

3. Die Nähmaschine. Das Trittbrett ist mit einem Hebel vergleichbar. Wo liegen Drehpunkt, Kraft- und Lastpunkt, wenn du mit der Ferse niedertrittst? Wo aber liegen sie beim Niedertreten mit der Fußspitze? Das Trittbrett wirkt abwechselnd als einseitiger und zweiseitiger Hebel.

Durch das Trittbrett wird eine Stange, die *Pleuelstange*, bewegt (Abb. 134), die an einer mit der Radachse verbundenen Kurbel angreift. Welche Wirkung wird durch die Auf- und Abbewegung des Trittbrettes mittels der Pleuelstange auf die Kurbel ausgeübt?

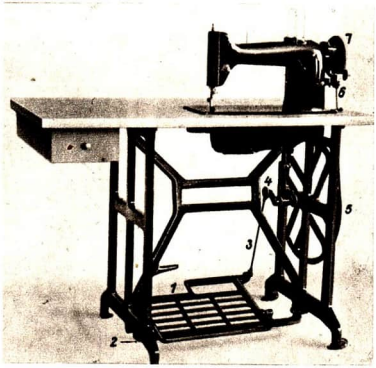


Abb. 134 Nähmaschine aus dem volkseigenen Betrieb „Mechanik", Dresden 1. Trittbrett, 2. Trittbrettachse, 3. Pleuelstange, 4. Kurbel, 5. Schwungrad, 6. Riemen, 7. Handrad

Die Pleuelstange verwandelt die schwingende Bewegung des Trittbrettes in eine drehende Bewegung der Kurbel.

Sieh dir auf dem Bahnhof die Pleuelstange der Lokomotive an! Versuche die Nähmaschine anzutreten, wenn Pleuelstange und Kurbel eine Gerade bilden! Die Nähmaschine steht auf dem *toten Punkt*. Wieviel Totpunktstellen sind zu beobachten? Das große Rad an der Nähmaschine ist ein Schwungrad; es hilft durch seinen Schwung über die Totpunkte hinweg. — Ein Riemen ohne Ende überträgt die Drehbewegung des Schwungrades auf das Handrad, dessen Welle zur Nadelstange führt. Welche einfache Maschine stellt das Handrad mit Welle dar?

§ 20. Von Arbeit und Leistung - Die Goldene Regel der Mechanik

An der Baustelle richten wir unser Augenmerk auf die *Art der Arbeit*, die *Schwere der Arbeit* und das *Arbeitstempo*.

Wo wir dazu Gelegenheit haben, beobachten wir das Befördern von Lasten. Welcher Hilfsmittel bedienen sich die Bauarbeiter beim Heben von Lasten? Wir haben eine Reihe dieser Hilfsmittel kennengelernt.

Insbesondere ist die lose Rolle in Verbindung mit der festen Rolle, der Flaschenzug, häufig anzutreffen.

1. Kraft und Arbeit. Es liegt nahe, die Frage zu stellen, ob man mit einer losen Rolle Arbeit ersparen kann. Denkt man dabei nur an die aufzuwendende Kraft, so könnte man geneigt sein diese Frage zu bejahen. Denn wir sahen, daß bei der losen Rolle nur die halbe Kraft am freien Seilende zu wirken braucht, um der Last das Gleichgewicht zu halten. *Aber Kraft ist nicht gleichbedeutend mit Arbeit!* Diese besteht nicht nur darin, daß die Last im Gleichgewicht gehalten wird: Die Last soll um eine gewisse Strecke gehoben werden. Wir erkannten aber, daß dabei der mechanische Vorteil (Ersparnis an Kraft) stets mit einem entsprechenden Nachteil (Zusatz an Weg) verbunden ist. Soll also beispielsweise ein an einer losen Rolle hängendes Gewichtsstück von 20 kp 3 m hoch gehoben werden, so muß sich dabei das am losen Seilende hängende Gegengewicht

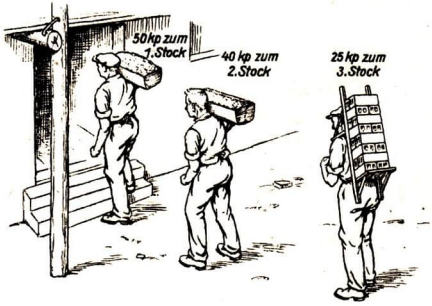


Abb. 135 Vergleiche die Größe der drei Arbeiten miteinander!

von 10 kp um 6 m senken. Entsprechendes gilt, wenn wir einen Flaschenzug mit zwei losen und zwei festen Rollen verwenden. Urteile nun selbst über die Möglichkeit, mit einer solchen Einrichtung Arbeit zu sparen! Wir erkennen, daß die Arbeit nicht nur von der Kraft, sondern auch vom Weg abhängig ist. Das zeigt uns auch folgendes Beispiel:

Ein Bauarbeiter (Abb. 135) trägt einen mit Mörtel gefüllten Trog von 50 kp Gewicht zum ersten Stock (4 m hoch), ein anderer einen solchen von 40 kp zum zweiten Stock (8 m hoch); ein dritter schafft auf seinem Schulterbrett einen Satz Steine von 25 kp Gewicht zum dritten Stock (12 m hoch). Die *Kraft*, die jeder Arbeiter beim Tragen der Last aufzuwenden hat, ist so groß wie das Gewicht der Last. Sie wird in kp gemessen (s. § 8, 2).

Die *Arbeit*, die jeder Arbeiter verrichten muß, ist aber nicht nur von der Größe der aufgewendeten Kraft abhängig, sondern auch von dem *Wege*, auf dem diese Kraft wirkt.

Je größer die aufzuwendende Kraft und je länger der Weg ist, desto größer ist die Arbeit.

Muß z. B. bei demselben Weg die Kraft verdoppelt werden, so ist die Arbeit zweimal so groß. Ist eine dreimal so große Kraft erforderlich und ist der Weg viermal so lang, so ist die Arbeit zwölfmal so groß.

Es ist **Arbeit = Kraft · Weg.**

Als Arbeitseinheit gilt die Arbeit, die man vollbringt, wenn man ein Kilopondstück 1 m hoch hebt. Diese Arbeitseinheit bezeichnet man als *Kilopondmeter* (kpm).

Der erste Bauarbeiter hatte 50 kp 4 m hoch zu tragen. Das entsprach einer Arbeit von 4 · 50 gleich 200 kpm. Wie groß war die Arbeit des zweiten und des dritten Arbeiters?

Man findet die Größe der verrichteten Arbeit (in kpm), indem man die Last (in kp) mit der Hubhöhe (in m) malnimmt.

Das *Halten einer Last* ist im physikalischen Sinne keine Arbeit, da die Kraft nicht längs eines Weges wirkt. Trotzdem empfinden wir es auch als „Arbeit". Das liegt an der Ermüdung der Muskeln bei ihrer Zusammenziehung; bei mechanischen Trägern ist das nicht der Fall. Auch beim Gehen handelt es sich um eine Arbeit, bei der wir Schritt für Schritt mit dem Heben der Fersen ein Heben des ganzen Körpers um 2 bis 3 cm vollführen.

2. Kann man „Arbeit" sparen? - Die Goldene Regel der Mechanik. Auf der Baustelle werden viele einfache Maschinen, die wir kennengelernt haben, gebraucht. Die Arbeiter arbeiten mit der Brechstange; Rolle und Flaschenzug dienen zur Beförderung von Lasten, und mit der Seilwinde werden schwere Steinblöcke hinaufgezogen. Über einige Bohlen, eine schiefe Ebene, wird ein Faß Teer hinaufgerollt.

Bei Anwendung dieser einfachen Maschinen wird Kraft gespart.
Doch ist nicht zu vermeiden, daß der Weg der Kraft dabei länger wird, wie wir es bei der Rolle bereits feststellten. Ein weiteres Beispiel zeigt Abb. 136:

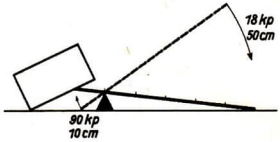


Abb. 136 Kraft · Kraftweg = Last · Lastweg

Kraft = $\frac{1}{5}$ Last, Kraftweg = 5 · Lastweg; also Kraft · Kraftweg = Last · Lastweg. Es gilt immer das Gesetz:

Kraft · Kraftweg = Last · Lastweg.

Die Arbeit der Kraft ist stets gleich der Arbeit der Last.

Eine Arbeit kann durch mechanische Hilfsmittel in keiner Weise verringert werden. Trotzdem ist der Gebrauch solcher Vorrichtungen vorteilhaft, da es meist sehr lohnend ist, Kraft zu sparen.
Will man an Kraft sparen, so nimmt man den Nachteil in Kauf, an Weg zuzusetzen; will man an Weg sparen, so nimmt man den Nachteil in Kauf, mehr Kraft aufwenden zu müssen. Dem „*mechanischen Vorteil*" steht stets der „*mechanische Nachteil*" gegenüber.

Was man an Kraft spart, muß man am Weg zusetzen.

Dieses Gesetz heißt die **Goldene Regel der Mechanik.**

3. Von der Leistung. Zwei Arbeiter tragen je einen Balken von 35 kp Gewicht zum dritten Stockwerk (12 m). Der eine braucht dazu 2, der andere $2\frac{1}{2}$ Minuten. Obwohl beide gleichgroße Arbeiten verrichten (420 kpm), leistet der erste doch mehr als der zweite, da er die Arbeit in kürzerer Zeit schafft.

Man nennt die in einer Sekunde verrichtete Arbeit die *Leistung* und mißt sie in Kilopondmeter je Sekunde (kpm/s).

Die technische Einheit der Leistung ist die **Pferdestärke** (PS). Eine Pferdestärke ist gleich einer Arbeit von 75 kpm in der Sekunde.

1 PS = 75 kpm/s.

Wir finden die Leistung, indem wir die jeweils verrichtete Arbeit durch die Anzahl der dazu benötigten Sekunden teilen.

Berechne die Leistung der beiden Arbeiter!

Überlege und rechne:

1. Auf einem Neubau bedient man sich zum Heben von Lasten a) einer festen Rolle mit Seil, b) einer festen Rolle und einer losen Rolle mit Seil, c) eines Flaschenzuges mit zwei festen und zwei losen Rollen. Beurteile den Kraftaufwand, die Arbeit in den drei Fällen!
2. An einem Lkw hebt der eine von den beiden Fahrern ein Faß unmittelbar auf den Wagen. Der andere rollt ein gleichschweres Faß über eine angelehnte Schrotleiter empor. Wer von den beiden hat mehr Kraft aufzuwenden? Vergleiche die Arbeit beider Männer!

3. Du trägst deiner Mutter einen Eimer Kohle (15 kp) aus dem Keller in das dritte Stockwerk (13 m über der Kellersohle) und brauchst zum Emporsteigen 1 Minute. Wie groß ist die von dir verrichtete Arbeit? Wie groß ist deine Leistung, gemessen in kpm/s?
4. Eine Pumpe fördert in einer Stunde 2400 m³ Wasser 18 m hoch. Wie groß ist ihre Leistung in kpm/s, in PS?

§ 21. Die Wärmekraftmaschinen

Unsere Hauptverkehrsmittel zu Lande sind die Eisenbahn und der Kraftwagen. Bei beiden vollzieht sich eine Umwandlung von Wärme in Arbeit.

1. Die Lokomotive (Abb. 137). Die Lokomotive ist eine *Dampfmaschine*. In ihrem zylindrischen Rumpf liegt der Dampfkessel. Er wird von vielen Flammrohren durchzogen, durch die von der Feuerung her die heißen Verbrennungsgase der Kohle (1000°C) streichen. Die Flammrohre vergrößern die Heizfläche auf 200 bis 300 m². – Warum erhitzt man das Wasser nicht wie beim Waschkessel von unten her? Der entstehende Dampf sammelt sich im erhöhten *Dampfdom* und wird von hier durch ein Dampfrohr den beiden seitlich liegenden *Zylindern* zugeführt (vgl. Abb. 138). Im Zylinder bewegt der Dampf durch seinen Überdruck den dichtschließenden *Kolben* hin und her. Der Dampf tritt bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Kolbens in den Zylinder ein. Die Dampfzufuhr in den Zylinder wird durch die *Steuerung* geregelt.

Bei der *Schiebersteuerung der Lokomotive* bewegt sich der Kolbenschieber, der aus zwei Kolben besteht, hin und her. In Abb. 138 tritt der Dampf bei D ein und strömt durch den linken Kanal vor den Kolben K. Warum kann er nicht durch den rechten Kanal zuströmen? Der Dampfkolben bewegt sich nach rechts und drückt durch den rechten Kanal den Dampf der vorhergehenden Füllung durch A_2 hinaus. Bei der Bewegung des Dampfkolbens nach rechts haben sich auch die Schieberkolben nach rechts bewegt, so daß nunmehr der rechte Kanal für den Dampfeintritt, der linke für den Dampfaustritt durch A_1 frei wird. –

Abb. 137 Lokomotive „D 44" aus dem volkseigenen Lokomotivwerk Hennigsdorf (ausgestellt auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1949)

1 Kessel
2 Führerstand
3 Kohlen- und Wassertender
4 Dampfzylinder
5 Zylinder für Kolbenschiebersteuerung
6 Treibräder
7 Kolbenstange
8 Pleuelstange
9 Treibstange
10 Gestänge für Steuerung
11 Umschaltstange für Steuerung (vorwärts und rückwärts)
12 Luftpumpe für Luftbremse

Zylinder-Durchmesser	500 mm
Kolbenhub	660 mm
Treibrad-Durchmesser	1400 mm
Dampfüberdruck	16 kp/cm²
Leergewicht der Lokomotive	ca. 100 000 kp
Leergewicht des Tenders	ca. 10 000 kp

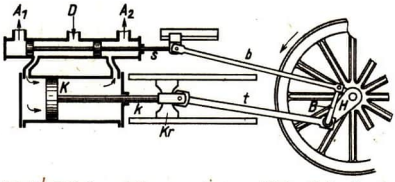


Abb. 138 Zylinder und Steuerung einer neuzeitlichen Kolbendampfmaschine (Lokomotive), vereinfacht. (Die Steuerungskurbel *B* ist auf der Hauptkurbel *H* fest aufgekeilt.)

Am Dampfkolben sitzt die Kolbenstange *k*. Sie wird durch den Kreuzkopf *Kr*, der sich auf einer Gleitschiene bewegt, stets waagerecht geführt. Am Kreuzkopf ist die Pleuelstange oder Triebstange *t* gelenkig befestigt, die mit ihrem anderen Ende an der Hauptkurbel des Treibrades angreift und dieses in Drehung versetzt. Beim Kolbenschieber wird umgekehrt die drehende Bewegung durch *B*, *b*, *s* in eine Hin- und Herbewegung umgewandelt. Um jederzeit ein Anfahren der Lokomotive zu gewährleisten, muß eine allseitige Totpunktstellung der Triebräder vermieden werden. Das erreicht man durch gegenseitige Versetzung der Getriebe.

Die Dampfmaschine zeichnet sich aus durch größte Betriebssicherheit und den Verbrauch eines billigen Brennstoffes. Sie ist jedoch von schwerem Bau, der ihre Verwendungsmöglichkeit einschränkt. Weitere Einzelheiten über Dampfkraftmaschinen bringt § 53.

Fragen und Aufgaben:

1. Zeichne nach Abb. 138 *k*, *t*, *H* in Totpunktstellung (vgl. S. 90)!
2. Warum haben die beiden Kurbeln der Zylinder einer Lokomotive verschiedene Stellungen (um 90° versetzt)?
3. Was bedeutet es, wenn der Dampfdruck einer Lokomotive 16 atü (Atmosphären-Überdruck) beträgt (vgl. S. 65)?
4. Wo hast du fest eingebaute Dampfmaschinen beobachtet?

Aus der Geschichte der Dampfmaschine. Die Entstehung der **Dampfmaschinen** reicht bis zum Jahre 1690 zurück. Als Erfinder ihrer Urform gilt der Franzose *Denis Papin* (1647—1712). Einen Vorläufer der Dampfmaschine erbaute 1765 der Russe *Polsunow*. In ihrer verbesserten, noch heute im Gebrauch befindlichen Form als *doppelt wirkende Kolbendampfmaschine* wurde sie von dem englischen Universitätsmechaniker *James Watt* (1736—1819) in langjähriger Arbeit entwickelt. 1825 baute *George Stephenson* die erste brauchbare Lokomotive. 1835 fuhr die erste deutsche Eisenbahn mit Lokomotive von Nürnberg nach Fürth.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß ein leistungsfähiges Verkehrswesen von grundlegender Bedeutung für die wirtschaftliche Gesundung unseres Landes ist. Deshalb sieht der Zweijahrplan eine Steigerung der Güterförderung auf 120 Millionen t im Jahre 1950 gegenüber 73 Millionen t im Jahre 1947 vor.

2. Der Verbrennungsmotor. Der Kraftwagen erhält seinen Antrieb durch einen *Verbrennungsmotor*. Als Betriebsstoffe dienen Benzin, Benzol, Rohöl

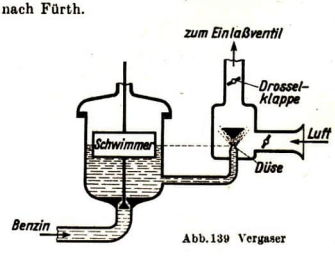
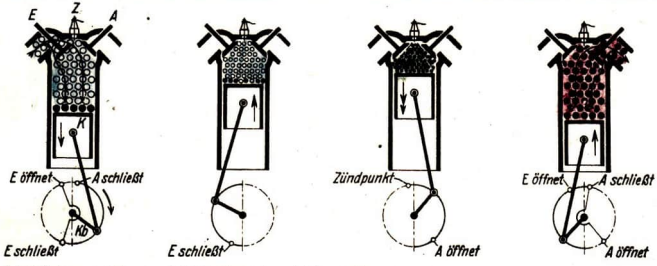


Abb. 139 Vergaser



1. Takt (Ansaugtakt) 2. Takt (Verdichtungstakt) 3. Takt (Verbrennungstakt) 4. Takt (Auspufftakt)

Abb. 140. Viertaktmotor, Stellungen des Kolbens *K*, der Kurbel *Kb* und der Ventile *E* und *A*

und Gase. Beim Benzinmotor fließt das Benzin aus dem Kraftstoffbehälter (Tank) in das Schwimmergehäuse des *Vergasers* (Abb. 139). Dort hebt es den Schwimmer empor, bis die Schwimmernadel den weiteren Zufluß sperrt, wenn der Kraftstoff auf gleicher Höhe mit der Düse steht. Aus der Düse spritzt der flüssige Kraftstoff gegen eine Fläche und verdunstet. Durch das Ansaugrohr tritt Luft hinzu. In den Zylinder gelangt also ein Gas-Luft-Gemisch und wird dort durch einen elektrischen Funken entzündet.

Im Motor des Kraftwagens sind mehrere Zylinder vorhanden. An jedem befinden sich zwei Ventile und eine Zündkerze. Im Zylinder bewegt sich ein luftdicht abschließender Kolben, der durch die Pleuelstange mit der Kurbelwelle verbunden ist. In den Zylindern spielen sich folgende Vorgänge ab, von denen man jeden als *Takt* bezeichnet (Abb. 140):

1. Takt, Ansaugtakt: Der Kolben geht abwärts. Da er dicht schließt, entsteht im Zylinder ein luftverdünnter Raum. Das Einlaßventil *E* öffnet sich, aus dem Vergaser strömt das Gas-Luft-Gemisch in den Zylinder.

2. Takt, Verdichtungstakt: Beide Ventile sind geschlossen. Der Kolben bewegt sich aufwärts und drückt das Gasgemisch zusammen.

3. Takt, Verbrennungstakt (*Arbeitstakt*): Beide Ventile sind geschlossen. An der Zündkerze *Z* springt ein elektrischer Funke über und entzündet das verdichtete Gasgemisch. Es verbrennt schnell; die entstehenden Verbrennungsgase drücken den Kolben mit großer Wucht nach unten. Denke an die Wärmeausdehnung!

4. Takt, Auspufftakt: Das Einlaßventil *E* ist geschlossen, das Auslaßventil *A* geöffnet. Der Kolben geht aufwärts und stößt die Verbrennungsgase durch das Ablaßventil aus.

Von den vier sich wiederholenden Bewegungen des Zylinderkolbens verrichtet nur *eine* Arbeit (der dritte Takt). Besitzt ein Kraftwagenmotor z. B. vier Zylinder, dann stellt man sie so ein, daß die Arbeitstakte der vier Zylinder nacheinander und nicht gleichzeitig erfolgen. Dadurch erreicht man einen ruhigeren

Lauf des Wagens. Die Kurbelwelle des Motors ist durch Kupplung und Wechselgetriebe mit der Antriebswelle der Hinterräder verbunden. *Die Kupplung* wird durch einen Fußhebel bedient. Tritt man auf ihn, dann kann der Motor laufen, ohne daß sich die Antriebswelle mitdreht.

Im **Wechselgetriebe** befinden sich verschieden große Zahnräderpaare. Der Motor macht 2000 bis 4000 Umdrehungen in der Minute. So schnell können sich die Wagenräder nicht drehen. Durch Einstellen bestimmter Zahnräder des Wechselgetriebes („Gang" des Getriebes) erreicht man eine mehr oder weniger starke Verminderung der Umdrehungszahl der Antriebswelle (vgl. S. 87, Abb. 132). Jedes Wechselgetriebe besitzt einen sogenannten *Leerlauf*, den man einschaltet, wenn man von einem Gang des Getriebes zum anderen übergeht oder wenn man den Motor bei stillstehendem Wagen laufen lassen will.

Lastkraftwagen sind oft mit einem **Dieselmotor** ausgerüstet. Bei ihm wird nur Luft angesaugt und beim Verdichtungstakt so zusammengepreßt, daß sie sich auf etwa 600° C erhitzt; der Brennstoff (Rohöl) wird flüssig eingespritzt und entzündet sich sogleich in der erhitzten Luft. Dieselmotoren brauchen also keine elektrische Zündung.

Bei Motoren mit Gasantrieb (Treibgas und Holzgas) fällt der Vergaser fort.

Krafträder und leichte Fahrzeuge haben vielfach einen Motor, der im *Zweitakt* arbeitet. Der Zweitaktmotor hat keine Ventile.

Näheres darüber s. § 54.

Überlege:

1. Welche Aufgabe hat der Kühler zu erfüllen?
2. Wie erfolgt die Kühlung am Motorrad?
3. Wird man Steigungen mit großer oder geringer Drehzahl der Antriebswelle nehmen?

Aus der Geschichte des Verbrennungsmotors. Der Erfinder des Viertaktmotors ist Nikolaus August *Otto*, der Gründer der ersten deutschen Motorenfabrik. 1885 gelang es Carl Friedrich *Benz* ein Fahrzeug durch einen Benzinmotor anzutreiben. Den ersten Rohölmotor baute 1897 Rudolf *Diesel*.

III. *Vom Schall*

§ 22. Schallausbreitung

1. Der Schall breitet sich aus. a) Schallquellen. Alles, was wir mit dem Ohr wahrnehmen, bezeichnen wir als Schall. Unsere Sprache ist reich an Ausdrücken für die verschiedenen Gehöreindrücke: wir sprechen vom *Ton* eines Musikinstrumentes, vom *Rascheln* der Blätter, vom *Heulen* des Sturmes, vom *Rollen* des Donners, vom *Plätschern* des Wassers, vom *Klirren* der Fensterscheiben. Gib weitere Beispiele an!

Wir können einen Schall nur bei Vorhandensein eines Schallerregers – einer Schallquelle – wahrnehmen.

Einige Beispiele machen uns dies klar: Die auf dem Tische liegende Stimmgabel hören wir nicht tönen. Wir müssen sie anschlagen, wenn wir einen Ton vernehmen wollen. Betasten wir die Zinken der tönenden Stimmgabel vorsichtig mit den Fingerspitzen oder halten wir sie behutsam gegen die Lippen, so verspüren wir deutlich ein Zittern, ein Schwingen der Stimmgabelzinken. Eine Stimmgabel schwingt, wenn wir sie tönen hören. Näheres darüber werden wir in § 23, 1 erfahren.

Ganz ähnliche Vorgänge spielen sich beim Klingen einer Geigensaite, beim Tönen einer Glocke, aber auch beim Klirren einer Fensterscheibe, beim Klappern eines Schlüsselbundes ab.

Ein Schall wird bei genügend schnellen Schwingungen eines Schallerregers wahrgenommen.

b) Schalleitung. Damit wir die Schwingungen des Schallerregers als Schall wahrnehmen können, müssen sie auf unser Ohr übertragen werden. Gewöhnlich geschieht dies durch die Luft. Aber *auch im Wasser und in festen Körpern pflanzt sich der Schall fort.* Schlägt man unter Wasser zwei Steine aneinander, so hört man den Schall im Wasser und in der Luft. Halte ein Ohr an die Tischplatte, auf der eine tickende Uhr liegt, und schließe das andere Ohr! Was nimmst du wahr? – Wir hängen eine elektrische Klingel an Gummischnüren in einer Glasglocke auf, die an eine Luftpumpe angeschlossen ist (Abb. 141). Den

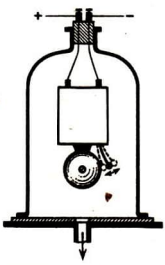


Abb. 141
Klingel im luftleeren Raum

Ton der Klingel hören wir durch das Glas; pumpen wir Luft aus der Glocke heraus, so wird der Klang immer leiser.

Durch den luftleeren Raum breitet sich der Schall nicht aus. Zur Schallübertragung ist stets ein fester, flüssiger oder luftförmiger Körper erforderlich.

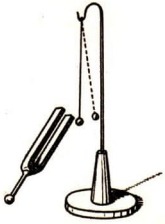


Abb. 142
Die schwingende Stimmgabel stößt eine Glasperle fort

c) Schallwellen. Um uns den Vorgang der Schallausbreitung zu veranschaulichen, stellen wir eine Reihe von Dominosteinen hintereinander auf. Werfen wir den ersten um, so stößt er den folgenden und dieser wieder den nächsten um; der Stoß pflanzt sich durch die ganze Reihe hindurch fort. – Die Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel stoßen eine an einem Faden befestigte Glasperle, die man dagegen hält, an und schleudern sie fort (Abb. 142). Ähnlich treffen auch die von einer angeschlagenen Glocke ausgehenden Stöße fortgesetzt die umgebenden ruhenden Luftteilchen und schieben sie zusammen. Da die Luft, wie alle Gase, druckelastisch ist, entspannt sie sich selbsttätig wieder; ja, es tritt an Stelle des Überdruckes vorübergehend ein Unterdruck. Es kommt abwechselnd zu *Luftverdichtungen* und *-verdünnungen*, die die Schallquelle kugelförmig umgeben und sich wellenartig in der Luft ausbreiten. So entstehen die sog. **Schallwellen.** Wir können sie mit *Wasserwellen* vergleichen, die im ruhenden Wasser entstehen, wenn wir einen Stein hineinwerfen (Abb. 143).

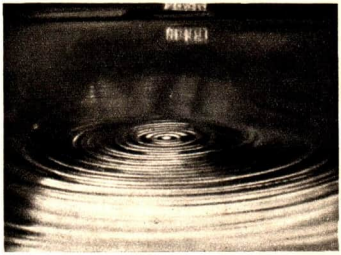


Abb. 143 Ausbreitung von Wasserwellen

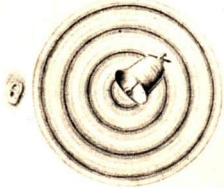


Abb. 144 Ausbreitung des Schalles in kugelförmigen Wellen

Schallwellen sind nicht sichtbar; in Abb. 144 sind die Schallwellen, die sich um eine tönende Glocke ausbreiten, durch helle und dunkle Kreise bildlich dargestellt.

d) Schalldämpfung und Lärmbekämpfung. *Kann man die Ausbreitung des Schalles hemmen?* Gib Fälle an, in denen man versucht, die Fortleitung des Schalles zu

verhindern! Denke an das Sprechzimmer des Zahnarztes! Unter Nähmaschinen und Schreibmaschinen legt man Filzplatten. Manche Stoffe, z. B. Teppiche, Vorhänge, Filz, Federn, Stroh, sind *schalldämpfend*; sie heißen auch *Schalldämpfer*. Versuche, unter deinem Federbett recht laut zu schreien!

Welche Eigenschaften machen einen Stoff zur Verwendung als Schalldämpfer geeignet?

Das enge Zusammenleben der Menschen, der steigende Verkehr und die Technik bringen es mit sich, daß man der Frage der **Lärmbekämpfung** große Beachtung schenken muß. Wohnlärm, Verkehrs- und Betriebslärm bedingen gesundheitliche Schäden und setzen die Leistungsfähigkeit durch Störung der Nachtruhe und Ablenkung von der Arbeit herab. Darum trifft man Maßnahmen, Lärm nach Möglichkeit zu mindern.

2. Wie schnell breitet sich der Schall aus? Beim Feuerwerk sehen wir das Aufblitzen der Leuchtkugelraketen in der Luft, nehmen aber erst einige Zeit später den Knall wahr, mit dem sie platzen. Der Schall braucht eine gewisse Zeit, um von der Schallquelle bis an unser Ohr zu gelangen. Seine *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* läßt sich einfacher bestimmen als die des Lichtes. Warum wohl? Wir brauchen nur eine Stoppuhr und eine Trillerpfeife. Während einer Wanderung messen wir auf einer Chaussee mit Hilfe der Kilometersteine eine Strecke von $\frac{1}{3}$ km ab. An dem einen Ende der Strecke gibt eine Schülerin unter gleichzeitigem Senken eines hochgehaltenen Taschentuches durch eine zweite Schülerin ein Zeichen mit der Trillerpfeife (Abb. 145). Die Schülerin am anderen Ende der Strecke setzt die Stoppuhr in Gang, wenn sie das Senken des Tuches sieht, und stoppt die Uhr, wenn sie den Pfiff hört. Wir erkennen: Der Schall braucht etwa eine Sekunde, um die Entfernung zurückzulegen. Genaue Versuche ergeben:

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt bei normalem Luftdruck und 0° C rd. 331 m/s, bei 15° C rd. 340 m/s.

In Wasser und festen Körpern ist sie bedeutend größer: im Wasser 1450 m/s, in Holz 3000 bis 4000 m/s, in Metallen 3000 bis 5000 m/s.

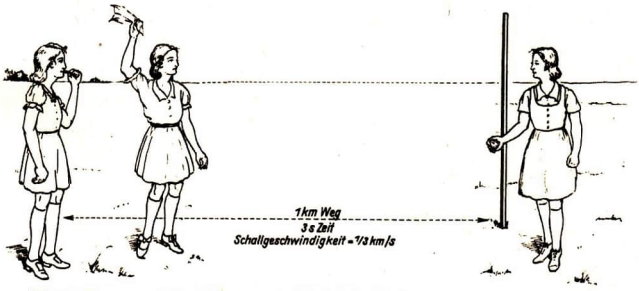


Abb. 145 Wir messen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles

Übung:

1. Wie kann man aus dem Zeitunterschied, in dem man Blitz und Donner wahrnimmt, die Entfernung des Gewitters bestimmen?
2. Warum werden Massenfreiübungen durch Winkzeichen geleitet?
3. Warum hört der Taucher das Schraubengeräusch eines herannahenden Dampfers unter Wasser schon aus großer Ferne?
4. In einem Steinbruch wird gesprengt. Wir hören die Detonation 7 Sekunden später als wir die Rauchentwicklung beobachtet haben. Wie weit sind wir von der Sprengstelle entfernt?
5. Am Brückenkopf eines Seesteges legt ein Bäderdampfer ab. Wir sehen, wie die Schraube das Wasser aufwirbelt. $1\frac{1}{2}$ Sekunden später hören wir das Schraubengeräusch. Wie lang ist der Seesteg, an dessen Anfang wir stehen?

3. Schallstärke. Wir ziehen einmal schwach und einmal stark an der Hausglocke, wir schlagen eine Stimmgabel verschieden stark an. Vergleiche jedesmal die Schallstärken!

Vergleiche den Klang der Hausglocke mit dem einer Kirchenglocke! Welche von beiden tönt lauter? Warum? Wie hört sich das Heulen einer Fabriksirene an, je nachdem man sie aus der Ferne oder aus der Nähe vernimmt?

Die Stärke des Schalles ist um so größer, je stärker der Schallerreger schwingt und je größer er ist.

Die Stärke des Schalles nimmt mit der Entfernung von der Schallquelle ab.

4. Das Echo. a) Zurückwerfung des Schalles. Trifft der Schall auf einen Waldrand, einen Bergrücken oder eine Hauswand, so wird er zurückgeworfen. Dieser Vorgang geht nach denselben Gesetzen vor sich, wie wir sie beim Lichte kennenlernen werden (vergl. § 25,2). Das zeigt uns ein einfacher Versuch: Wir legen eine tickende Taschenuhr auf Watte oder Holzwolle (warum?) auf den Boden einer langen Papp- oder Glasröhre (Abb. 146). Über die obere Öffnung der Röhre halten wir einen Spiegel und drehen ihn so, daß wir die Uhr erblicken. Im gleichen Augenblick vernehmen wir das Ticken der Uhr, das wir vorher nicht hören konnten. Drehen wir den Spiegel in eine andere Lage, so verstummt das Ticken. Wohin müssen wir unser Ohr halten, um das Ticken wieder zu vernehmen? Wir führen den Versuch mit einer steifen Pappscheibe, einer Holzplatte oder dgl. aus und können das gleiche beobachten. Sprich das Gesetz aus, nach dem die Zurückwerfung des Schalles erfolgt!

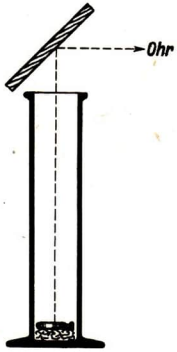


Abb. 146
Zurückwerfung des Tickens einer Taschenuhr

b) Vom Echo und Nachhall. Unser Ohr benötigt eine gewisse Zeit, um einen Schalleindruck deutlich wahrzunehmen, es braucht dazu etwa $\frac{1}{10}$ Sekunde. Einen zweiten Schall nehmen wir nur dann getrennt vom ersten

wahr, wenn er erst nach Ablauf dieser Zeit an unser Ohr gelangt. Trifft er eher auf unser Ohr, so vermögen wir ihn nicht von dem ersten Schalleindruck zu unterscheiden, da dieser noch nicht abgeklungen ist. In $\frac{1}{10}$ Sekunde legt der Schall rund 34 m zurück. Wie weit muß demnach die zurückwerfende Wand mindestens entfernt sein, damit man ein deutliches einsilbiges Echo hört? Ist die zurückwerfende Wand weniger als 17 m von uns entfernt, kann unser Ohr Ton und Echo nicht mehr genau voneinander trennen, so sprechen wir von *Nachhall* (z. B. in Kirchen, großen Sälen und Festhallen).

Abb. 147 Wie das Sprachrohr wirkt (bei *A* der Mund des Rufers)

Abb. 148 Hörrohr

c) Sprachrohr und Hörrohr. Wollen wir uns auf größere Entfernung etwas zurufen, so halten wir die hohlen Hände wie ein Schallrohr vor den Mund, um uns besser verständlich zu machen. – Wie übermittelt auf unseren Ausflugsdampfern der Kapitän seine Befehle von der Brücke in den Maschinenraum? – Was machen wir, um einen Zuruf deutlicher zu verstehen? – Wir beobachten, wie eine Katze die Ohren dreht, wenn sie irgendwo ein Geräusch vernimmt. Was können wir daraus schließen? – Abb. 147 zeigt uns ein *Sprachrohr* und erklärt seine Wirkungsweise. Inwiefern verstärkt das Sprachrohr den Schall? Erkläre die Wirkungsweise eines *Hörrohres*, dessen verengtes Ende man in den Gehörgang steckt. Warum muß der Arzt ein Hörrohr benutzen, um Herz- oder Lungengeräusche wahrzunehmen (Abb. 148)?

§ 23. Unsere Musikinstrumente - Von den Tönen

1. Schwingungszahl und Tonhöhe. Wir klemmen das eine Ende einer Stricknadel oder eines Stahlstreifens in einem Schraubstock fest ein und biegen das herausstehende Ende zur Seite. Lassen wir es los (Abb. 149), so schwingt es lebhaft hin und her.

Hält man eine Zinke einer angeschlagenen Stimmgabel an eine an einem Faden hängende Glasperle (Abb. 142), so wird diese fortgestoßen. Wir befestigen mit Siegellack oder Wachs einen gebogenen Draht an einer Stimmgabelzinke und ziehen die Drahtspitze, nachdem wir die Stimmgabel angeschlagen haben, gleichmäßig über eine berußte Glasplatte (Abb. 150).

Die Drahtspitze hinterläßt auf der Platte eine Wellenlinie. Stricknadel und Stimmgabel sind elastische Körper (vgl. § 8).

Abb. 149 Schwingende Stricknadel

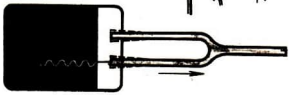


Abb. 150 Eine Stimmgabel wird über eine berußte Platte gezogen

Verändert man die Form eines elastischen Körpers, indem man z. B. die Stricknadel, den Stahlstreifen, zur Seite biegt, so nimmt er nach dem Loslassen die ursprüngliche Form wieder an. Dabei bewegt er sich zunächst nach der anderen Seite über die Ausgangsstellung hinaus, kehrt zurück und pendelt so lange hin und her, bis er schließlich in der ursprünglichen Stellung zur Ruhe kommt. Derartige Bewegungen nennt man **Schwingungen**; sie wiederholen sich regelmäßig, wie die Wellenlinie auf der berußten Glasplatte zeigt.

Ein Hin- und Hergang heißt Schwingung. Die Anzahl der in einer Sekunde ausgeführten Schwingungen ist die Schwingungszahl.

Je mehr wir die Stricknadel, den Stahlstreifen (Abb. 149), verkürzen, desto schneller folgen die Schwingungen aufeinander, so daß wir sie *einzeln* nicht mehr verfolgen können. Der Ton, den unser Ohr dabei vernimmt, erscheint uns um so höher, je schneller die Stricknadel oder der Stahlstreifen schwingt.

Ein Ton entsteht durch schnelle, regelmäßige Schwingungen eines elastischen Körpers. Je schneller die Schwingungen aufeinanderfolgen, d. h. je größer die Schwingungszahl ist, desto höher ist der Ton.

Folgen die *Schwingungen unregelmäßig* aufeinander, so vernehmen wir ein **Geräusch.**

Eine Scheibe mit mehreren kreisförmig angeordneten Lochreihen, eine sog. *Lochsirene*, drehen wir auf einer Schwungmaschine um ihre Achse und blasen durch ein Rohr gegen die innere Lochreihe (Abb. 151). Dadurch entsteht hinter der Lochscheibe eine rasche Folge von Luftstößen. Die durch sie ausgelösten Schallwellen pflanzen sich bis an unser Ohr fort; wir hören einen Ton. Warum hören wir bei gleichbleibender Drehgeschwindigkeit höhere Töne, wenn wir die äußeren Lochreihen anblasen? Wie ändert sich die Tonhöhe, wenn wir die Scheibe schneller drehen?

Blasen wir die Lochreihen von innen nach außen bei gleichbleibender Drehgeschwindigkeit an, so fällt uns der Wohlklang der Tonfolge auf. Die ersten drei Töne bilden den sog. *Dreiklang*, der vierte Ton bildet die *Oktave* zum Ausgangston. Auf unserer Sirene lesen wir die an die Lochreihen geschriebenen Lochzahlen ab, nämlich 24, 30, 36 und 48 (vgl. Abb. 151). Welchen größten gemeinsamen Teiler enthalten sie? Teile sie durch diese Zahl! Sie wachsen also wie die Zahlen 4, 5, 6 und 8. Da sich alle Lochreihen gleich schnell drehen, wachsen auch die Schwingungszahlen der von ihnen erzeugten Töne in der gleichen Weise, ganz unabhängig von der Wahl des Ausgangstones. In der Musik bezeichnet man die Töne mit lateinischen Buchstaben und ordnet sie in *Tonleitern* an. Die einfachste Tonleiter ist die c-Dur-Tonleiter. Sie umfaßt die Töne

c d e f g a h c.

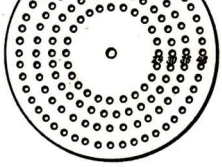


Abb. 151 Lochsirene

In ihr bilden die Töne c, e, g den Dreiklang. Ihre Schwingungszahlen wachsen nach dem vorangehenden wie die Zahlen 4, 5, 6. Die Töne c und c′ bilden eine Oktave; die Schwingungszahl des hohen Tones ist dabei doppelt so groß wie die des tiefen.

Rechne:

1. Eine vierreihige Lochsirene nach Art von Abb. 151 macht in der Sekunde 10 Umdrehungen. Wie groß sind die Schwingungszahlen der von ihr erzeugten Töne?
2. Ein Ton hat die Schwingungszahl 264. Welche Schwingungszahlen haben die Töne des darauffolgenden Dreiklanges und der nächsthöheren Oktave?

2. Unsere Saiteninstrumente. a) Wie stimmen wir eine Geige? Nenne Musikinstrumente, bei denen *Saiten* zum Tönen gebracht werden! – Wir blicken in das geöffnete Klavier und achten auf Länge und Dicke der Saiten. Wie unterscheiden sich davon die Saiten der Geige, der Laute, der Mandoline? – Wie stimmt man die Geige oder Laute?

Unsere Beobachtungen und Erfahrungen lehren uns, daß eine längere und dickere Saite einen tieferen Ton erzeugt als eine kürzere und dünnere. Während beim Klavier für jeden Ton eine bestimmte Saite vorhanden ist, die mit einem Filzhammer angeschlagen wird, damit sie zum Tönen kommt, besitzt die Geige nur vier Saiten, die Laute sechs. Diese verkürzen wir durch Andrücken mit den Fingern an das Griffbrett (Abb. 152) und ändern dadurch die Tonhöhe. Wir prüfen diese Beobachtungen am Einsaiteninstrument, am *Monochord*[1]) (Abb. 153). Wir ändern die Spannung einer Saite mit einem Schlüssel oder durch Anhängen verschieden großer Gewichte! Je mehr die Saiten gespannt werden, desto höher wird der Ton.

Der Ton einer Saite ist um so höher, je kürzer die Saite ist, je dünner sie bei gleichem Material ist und je mehr sie gespannt ist.

b) Die Resonanz. Eine angeschlagene Stimmgabel klingt, bis die schwingenden Zinken zur Ruhe kommen. Lassen wir beim Klavier die angeschlagene Taste los, dann fällt der Dämpfer aus Filz auf die tönende Saite zurück, die Schwingungen sind beendet, der Ton verstummt.

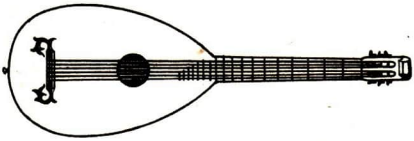


Abb. 152
Aufsicht auf eine Laute. Achte auf die Einteilung des Griffbrettes!

Abb. 153 Monochord

1) mónos (griech.) = allein; chordḗ (griech.) = Saite

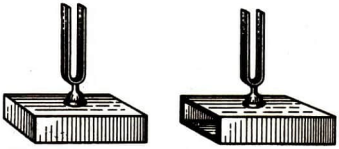


Abb. 154 Resonanz zweier gleicher Stimmgabeln

Wir stellen zwei Stimmgabeln von gleicher Schwingungszahl, die auf gleich großen Holzkästen stehen, in geringer Entfernung voneinander auf (Abb. 154). Die erste Gabel bringen wir zum Tönen, berühren sie nach einigen Sekunden mit dem Finger, so daß sie verstummt. Jetzt hören wir die zweite Gabel klingen, obwohl sie weder angeschlagen wurde noch mit der ersten in Berührung stand. Ändern wir die Schwingungszahl der zweiten Gabel, indem wir ein kleines Gewicht an einer Zinke festklemmen, so bleibt sie stumm. Wie ist dieser Vorgang zu erklären?

Die einzige Verbindung zwischen beiden Gabeln stellt die Luft dar. Die einzelnen Luftstöße sind zwar außerordentlich schwach, folgen aber in großer Zahl regelmäßig aufeinander. Die zweite Gabel vermag in dem gleichen Takt zu schwingen, in dem die einzelnen Luftstöße sie treffen. Die vielen winzig kleinen Anstöße wirken alle im gleichen Sinne auf die zweite Gabel ein und bringen ihre verhältnismäßig schweren Zinken zum Schwingen. Wir vernehmen einen Ton. Wird aber durch Aufsetzen eines Gewichtes die Schwingungszahl, mit der die Gabel zu schwingen vermag, geändert, so erfolgen die Anstöße durch die Luftteilchen nicht mehr im Takt der *Eigenschwingung* der Gabel, und das Mittönen bleibt aus.

Man kann eine schwere Schaukel dadurch in Schwingungen versetzen, daß man ihr immer wieder einen leichten Stoß gibt. In welchem Augenblick muß der Stoß erfolgen, wenn die Schwingungen immer größer werden sollen?
Man sagt: *Die Eigenschwingung der Schaukel und der Rhythmus des Stoßens müssen sich in Übereinstimmung oder in* **Resonanz**[1]) *befinden.*

Ebenso ist die zweite, *angeregte* Stimmgabel mit dem *Schwingungserreger* (der ersten Stimmgabel) in *Resonanz*; beide haben die gleiche *Schwingungszahl.*
Wir versetzen ein an einem Faden hängendes, dickes Garnknäuel durch schwaches Anblasen in starke Schwingungen. Wir müssen nur *im rechten Augenblick* blasen, nämlich dann, wenn sich das Knäuel auch von sich aus von uns fortbewegt.

Ein Vorgang, bei dem die Eigenschwingung eines Körpers durch das Schwingen eines anderen Körpers angeregt wird, heißt Resonanz.

Stellen wir eine angeschlagene Stimmgabel auf eine leere Holzkiste, auf den Tisch o. ä., so können wir deutlich eine Zunahme der Tonstärke wahrnehmen. Die Verstärkung des Tones kommt dadurch zustande, daß die Tischplatte, die Holzkiste, die Luft in ihr usw. *mitschwingen* und daß so die Übertragung der Schwingungen auf die umgebende Luft viel besser erfolgt als durch die kleinen Zinken der Stimmgabel. Man nennt auch diesen Vorgang Resonanz und

1) resonare (lat.) = widertönen

spricht von *Resonanzboden* und *Resonanzkasten*, obwohl hier nicht nur die Eigenschwingung, sondern jeder beliebige Ton verstärkt wird. Man sollte zweckmäßiger von **Schallverstärkung** oder von **Mittönen** reden.

Fragen:

1. Warum sitzt das Orchester im Konzertsaal auf einem Holzpodium?
2. Weshalb ist der Klang eines Flügels volltönender als der eines Klaviers?
3. Mit welchem Recht bezeichnet man eine Geige, deren Rückdeckel fehlt, als stumme Geige?
4. Warum darf ein Musikinstrument keinen Eigenton besitzen?
5. Warum umgibt man Lautsprecher für große Säle mit einer großen Holzplatte?

3. Von der Blockflöte. a) Lippenpfeifen. Beschreibe eine Blockflöte (Abb. 155)! Wie spielt man auf ihr? – Nenne andere Instrumente, bei denen der Ton ebenso erzeugt wird!

Auch Luftsäulen können in Schwingungen geraten. Blasen wir über den Rand eines Probierglases hinweg, so beginnt die in ihm enthaltene Luftsäule zu schwingen und zu tönen. Verkürzen wir die Luftsäule durch Eingießen von Wasser, so wird der Ton höher. — Die Blockflöte besitzt im Mundstück einen Spalt, durch den ein Luftstrom gegen die *Lippe L* geblasen wird; dadurch kommt die in der Flöte enthaltene Luftsäule *A B* zum Schwingen. Schließt man alle Öffnungen des Flötenrohres, so gibt die Flöte ihren tiefsten Ton. Durch Öffnen der seitlichen Löcher verkürzen wir die schwingende Luftsäule, der Ton wird höher. Ebenso wie die Blockflöten sind die meisten *Orgelpfeifen Lippenpfeifen*. Erkläre die Wirkungsweise einer Orgelpfeife an Hand der Abb. 156!

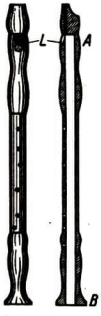


Abb. 155
Blockflöte (*L* Lippe, *A B* Luftsäule)

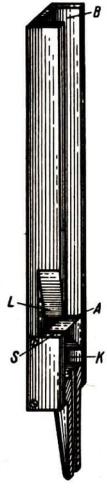


Abb. 156
Orgelpfeife (linke Hälfte). (*K* Luftkammer, *S* Spalt, die übrigen Bezeichnungen wie in Abb. 155)

b) Zungenpfeifen. Mundharmonika, Klarinette, Oboe sind *Zungenpfeifen;* bei ihnen schwingt ein elastischer Holz- oder Metallstreifen, die *Zunge*, wenn man in das Mundstück bläst. Die Luftsäule im Rohr verstärkt die Schwingungen der Zunge. Bei den Blechblasinstrumenten (Posaune, Trompete) ersetzen die *schwingenden Lippen des Bläsers* die *Zunge*. Auch hier richtet sich die Höhe des Tones nach der Länge der Luftsäule, die entweder durch Ausziehen des Rohres (Posaune) oder durch Öffnen und Schließen von Klappenventilen (Trompete) geregelt wird.

c) Die Klangfarbe. Wir können uns gegenseitig schon am Sprechen erkennen; auch beim Klassensingen fällt der eine oder andere Sänger durch seine Stimme auf. – Beim

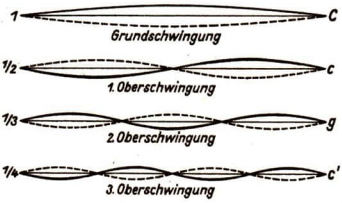


Abb. 157 Grundschwingung und Oberschwingungen einer Saite

Konzert fällt es uns nicht schwer, einzelne Instrumente des Orchesters herauszuhören.

Wie ist das verschiedene Klingen, die *Klangfarbe*, der einzelnen Instrumente zu erklären, obwohl weder ein Unterschied in der Tonhöhe noch in der Tonstärke vorhanden zu sein braucht? In unseren Betrachtungen haben wir gesehen, daß jede schwingende Saite einen ganz bestimmten Ton erzeugt, der von ihrer Länge, Dicke und Spannung abhängt. Diesen Ton nennen wir den *Grundton*. Er kommt dadurch zustande, daß die Saite als Ganzes schwingt. Berühren wir nun die Mitte der schwingenden Saite vorsichtig mit einem Pinsel, so hört sie als Ganzes auf zu schwingen; der Grundton verstummt. Trotzdem hören wir noch einen leisen höheren Ton, den wir als *Oberton*, genauer als 1. Oberton, bezeichnen. Er bildet die nächsthöhere Oktave zum Grundton. Die Saite schwingt in ihren Hälften weiter. Ebenso können wir sie in Dritteln, Vierteln usw. schwingen lassen. Sie gibt dann den 2., 3. usw. Oberton (vgl. Abb. 157).

Obertöne klingen so leise, daß unser Ohr sie einzeln nicht heraushören kann. Diese Obertöne verleihen dem Ton die eigenartige Klangfarbe. Wir hören also in den meisten Fällen nicht einen einheitlichen Ton, sondern ein *Tongemisch*. Dadurch, daß die verschiedenen Instrumente mehr oder weniger Obertöne mitklingen lassen, unterscheiden sie sich in ihrer Klangwirkung, ihrer Klangfarbe. Erzeuge denselben Ton auf verschiedenen Instrumenten und beachte die Klangfarbe!

4. Wie wir sprechen und hören. Wonach teilt der Musiklehrer ein, wer von euch 1., 2. oder 3. Stimme im Chor singen soll? – Wie unterscheiden sich Männer-, Frauen- und Kinderstimmen? – Halte beim Sprechen und Singen die Fingerspitzen lose an deinen Kehlkopf! Was bemerkst du? – Wiederhole den Versuch und singe dabei die Tonleiter aufwärts und abwärts, so weit du kommst! – Welche Empfindungen hast du im Halse beim Singen sehr hoher oder sehr tiefer Töne? Woher rührt die Anstrengung?

a) Wir sprechen. Der Kehlkopf ist der Stimmapparat des Menschen. Die zwischen festen und beweglichen Knorpelteilen des Kehlkopfes ausgespannten *Stimmbänder* werden durch einen von der Lunge ausgestoßenen Luftstrom in *Schwingungen* versetzt.

Auf welche Weise bringen dieselben Stimmbänder hohe und tiefe Töne hervor? – Aus welchem Grunde mögen Männerstimmen tiefer sein als Frauen- und Kinderstimmen? – Horche an dem Rücken eines Kameraden, der singt oder spricht! Singe den Selbstlaut „i“ und halte dabei die Hand auf deinen Kopf

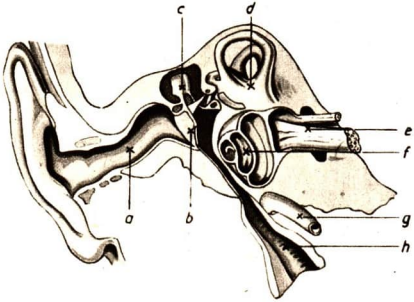


Abb. 158 Das Ohr
a Äußerer Gehörgang
b Trommelfell
c Gehörknöchelchen
d Vorhof mit Bogengängen
e Gehörnerv
f Schnecke
g Halsschlagader
h Eustachische Röhre
(Die Teile des inneren Ohres sind der Deutlichkeit halber vergrößert gezeichnet.)

oder in den Nacken! – Durch *Resonanz* in Rachen-, Mund- und Nasenhöhle wird der Ton *verstärkt.*

b) Wir hören. Betrachte das Bild eines Ohres (Abb. 158)! Die Ohrmuschel fängt die von einer Schallquelle hervorgerufenen Schallwellen auf und leitet sie dem *Trommelfell*, einem feinen, gespannten Häutchen, zu, das hierdurch in *Schwingungen* gerät. Drei *Gehörknöchelchen* teilen sie dem Gehörwasser mit, das die *Schnecke* erfüllt. In ihr sind die Tausende von Nervenfäserchen von verschiedener Länge und Dicke angeordnet. Sie sprechen auf die Töne von verschiedener Schwingungszahl an und leiten die hierdurch hervorgebrachten Reize mittels der Gehörnerven dem Gehirn zu, wo uns die Tonempfindung zum Bewußtsein kommt.

c) Die Empfindlichkeit des Ohres. Weniger als 20 und mehr als 20000 Schwingungen in der Sekunde empfindet das menschliche Ohr nicht als Schall. Die obere Hörgrenze nimmt mit dem Alter ab, so daß ältere Menschen beispielsweise das Zirpen der Grillen nicht mehr wahrnehmen. In der Musik wird nur der Bereich von 27 bis 4700 Schwingungen in der Sekunde verwendet.
Treffen zu starke Schallwellen auf das Trommelfell, z. B. bei Explosionen, so kann es leicht platzen. Öffnet man in Erwartung eines starken Schalles den Mund, so treffen die Schallwellen von beiden Seiten her – vom äußeren Gehörgang und von der Mundhöhle – auf das Trommelfell, und die Gefahr des Zerreißens wird vermieden.
Warum tritt nicht völlige Taubheit ein, wenn das Trommelfell zerstört ist? – Warum darf man nicht versuchen, den Gehörgang mit harten oder spitzen Gegenständen zu reinigen? – Warum kann man schlechter hören, wenn Wasser in den Gehörgang eingedrungen ist?

5. Vom Grammophon. Ein häufig anzutreffendes Tonwiedergabegerät ist das *Grammophon*[1]). Bei der Tonaufnahme wirkt der Schall auf eine schwingungs-

1) grámma (griech.) = Schrift; phonein (griech.) = tönen

Abb. 159 Bild einer Grammophonnadelspur

fähige, dünne Platte, die man auch *Membran*[1]) nennt, ein und versetzt sie in Schwingungen. Durch eine besondere Einrichtung überträgt die Membran ihre Schwingungen auf eine spitze Nadel. Unter der Nadel dreht sich eine Wachsplatte, so daß die Nadel die erhaltenen Stöße in Schneckenlinienform von außen nach innen eingräbt. In Abb. 159 sehen wir das mikroskopische Bild einer solchen Nadelspur. Läßt man dann umgekehrt die Nadel auf einer solchen Spur laufen, so empfängt sie die gleichen Stöße und überträgt sie auf eine mit ihr verbundene Membran. Ein Schalltrichter verstärkt die feinen Schwingungen der Membran. Im Ohr versetzen die Schallwellen das uns als Trommelfell bekannte feine Häutchen in Schwingungen, und wir hören die Aufnahme. In der Technik härtet man die Aufnahmeplatten und fertigt davon ein Negativ aus Metall an, mit dem man, wie mit einem Stempel, die Grammophonplatten in großer Zahl prägt. Auf diese Weise ist es möglich, von einer Aufnahme beliebig viele Abzüge herzustellen.

Bei der technischen Schallplattenerzeugung gelangt ausschließlich ein elektrisches Tonaufnahmeverfahren zur Anwendung, das hier nicht näher erläutert werden kann. Ebenso erfolgt, insbesondere bei Großanlagen, die Tonwiedergabe vielfach auf elektrischem Wege über einen Lautsprecher.

1) membrana (lat.) = Häutchen

IV. *Vom Licht*

§ 24. Die Lochkamera - Das Licht breitet sich geradlinig aus

Wir wollen photographieren lernen! Zum Photographieren – wie zum Sehen überhaupt – ist *Licht* erforderlich. Bevor wir mit unserem photographischen Apparat Aufnahmen machen, bauen wir uns ein einfaches Gerät, an dem wir einige Eigenschaften des Lichtes beobachten können. Eine kurze offene Papprröhre schließen wir mit einem Deckel aus schwarzem Papier, durch dessen Mitte wir mit einer Stopfnadel ein Loch gebohrt haben. In diese Röhre schieben wir eine zweite, deren einzuschiebende Öffnung durch ein darübergespanntes Seiden- oder Pergamentpapier verschlossen ist. Unsere *Lochkamera* ist fertig.

1. Ausbreitung des Lichtes. Halten wir diese Kamera so vor unser abgeschirmtes Auge, daß das Loch dem Fenster oder im etwas abgedunkelten Zimmer einer brennenden Kerze zugekehrt ist, so erblicken wir auf dem Papierschirm das Fenster oder die Kerze umgekehrt abgebildet (Abb. 160). Schieben wir die hintere Hülse weiter nach vorn, dem Loche zu, so wird das Bild auf dem Schirm kleiner und heller; bewegen wir sie entgegengesetzt, so wird es größer und dunkler.

Wie kommt das Bild zustande? Von jedem Punkt der lichtaussendenden Kerze dringt Licht durch das Loch in die Kammer und erzeugt auf dem Papier einen Lichtfleck von der Helligkeit und Farbe des lichtaussendenden Punktes. Alle diese Lichtflecke ergeben zusammen ein Bild des Gegenstandes. – Erkläre an Hand der Abb. 160, warum das Bild auf dem Kopf steht! Überzeuge dich davon, daß auch die Seiten vertauscht sind! Erkläre dies durch eine Zeichnung!

Das Licht pflanzt sich geradlinig fort.

Eine brennende Kerze kann man von allen Seiten sehen.

Das Licht breitet sich nach allen Richtungen aus.

Beobachte, wie das Licht der Sonne durch Löcher in den Fensterläden in das dunkle Zimmer fällt! Beachte den Verlauf der Sonnen*strahlen* in Abb. 161: wir sprechen von *Lichtstrahlen*. Lichtstrahlen werden für uns sichtbar, wenn sie auf Staub- und Rauchteilchen treffen, die das Licht nach allen Seiten zurückwerfen (vgl. S. 113). Wir vermögen einen Körper nur dann zu sehen, wenn Licht-

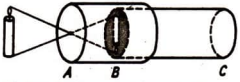


Abb. 160 Lochkamera (schematisch)

Abb. 161 Lichtstrahlen der Sonne

strahlen von ihm in unser Auge gelangen. – Körper, die selbst Lichtstrahlen aussenden, nennt man *selbstleuchtende Körper* oder **Lichtquellen.** Nenne Lichtquellen! *Nichtleuchtende Körper* sehen wir nur, wenn sie von einer Lichtquelle Licht empfangen und das von ihnen zurückgeworfene Licht unser Auge trifft. Halte zwischen dein Auge und die brennende Kerze nacheinander eine klare Glasscheibe, eine Milchglasscheibe, ein Holzbrett! – Körper, die alle empfangenen Lichtstrahlen durchlassen, heißen **durchsichtig;** diejenigen, die nur einen Teil der empfangenen Strahlen durchlassen und sie dabei zerstreuen, nennt man **durchscheinend;** Körper, die undurchlässig für Licht sind, heißen **undurchsichtig.**

Beispiele für durchsichtige Körper sind Luft, Wasser, Alkohol, Benzin, Glas. Durchscheinend sind z. B. Mattglas, Nebel, Milch, Seidenpapier; undurchsichtig sind z. B. Holz, Steine, Eisen. – Nenne weitere Beispiele!

2. Der Schatten. Bringen wir einen undurchsichtigen Körper K (Abb. 162) in den Strahlengang einer punktförmigen Lichtquelle P, so erscheint die dem Licht zugekehrte Hälfte des Körpers hell, die dem Licht abgekehrte bleibt dunkel. Wir sprechen vom **Eigenschatten** des Körpers. Ein hinter den Körper gehaltener weißer Papierschirm zeigt einen dunklen Fleck, den **Schlagschatten.**

Ein undurchsichtiger Körper wirft einen Schatten.

Wir beleuchten den Körper K mit zwei Lichtquellen P_1 und P_2 (Abb. 163). Wie sieht der Schatten auf einem hinter den Körper gehaltenen Papierschirm aus? Der Raum hinter dem Körper, der von keiner der beiden Lichtquellen Strahlen empfängt, heißt der **Kernschatten** (S). Er ist von dem weniger dunklen **Halbschattenraum** (H_1 und H_2) umgeben. In diesen gelangen nur Lichtstrahlen von

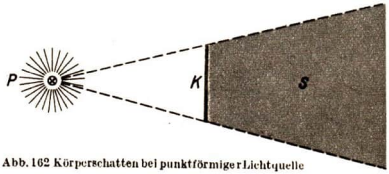


Abb. 162 Körperschatten bei punktförmiger Lichtquelle

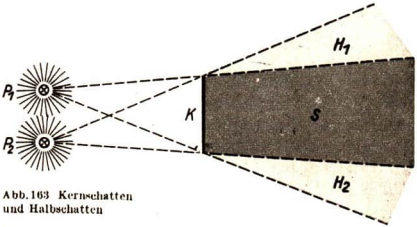


Abb. 163 Kernschatten und Halbschatten

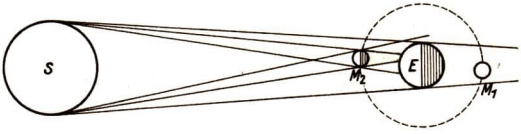


Abb. 164 Sonnen- und Mondfinsternis. *S* Sonne, *E* Erde. M_1 Stellung des Mondes bei Mondfinsternis. M_2 Stellung des Mondes bei Sonnenfinsternis

jeweils einer der beiden Lichtquellen. Wiederhole den Versuch daheim, indem du den Körper in den Strahlengang einer großen kugelförmigen Küchenlampe bringst! Bei einer *ausgedehnten*, nicht mehr punktförmigen Lichtquelle geht der Kernschatten allmählich in den Halbschatten und dieser allmählich in das voll erleuchtete Gebiet über; die scharfen Schattengrenzen, wie sie in Abb. 162 und 163 vorhanden sind, verschwinden.

3. Sonnen- und Mondfinsternis. Tritt der Mond auf seinem Kreislauf um die Erde so zwischen Sonne und Erde, daß alle drei Himmelskörper in einer geraden Linie stehen, so fällt sein Schatten auf die Erdoberfläche, und wir sprechen von einer *Sonnenfinsternis* (Abb. 164).

Eine Sonnenfinsternis kann nur bei *Neumond* (Stellung M_2) stattfinden. Diejenigen Orte der Erde, die sich im Kernschatten des Mondes befinden, haben eine vollständige oder totale Sonnenfinsternis; für die Orte, die nur vom Halbschatten des Mondes getroffen werden, besteht eine unvollständige oder partielle Sonnenfinsternis; es wird nur ein Teil der Sonne verdeckt.

Das Wort „Sonnenfinsternis" darf jedoch nicht zu der irrtümlichen Auffassung führen, daß die Sonne nicht mehr scheine; sie leuchtet nach wie vor, nur können ihre Strahlen infolge der Stellung des Mondes die Erdoberfläche nicht erreichen; deshalb müßte es eigentlich „Erdfinsternis" heißen.

Stehen die drei Himmelskörper bei *Vollmond* (Stellung M_1) in einer geraden Linie (Sonne, Erde, Mond), dann tritt *Mondfinsternis* ein. Die Mondfinsternis ist vollständig, wenn der Mond ganz im Schatten der Erde steht, unvollständig, wenn der Kernschatten der Erde nur einen Teil des Mondes trifft. Den Gang des Mondes durch den Halbschatten der Erde bemerken wir kaum, da die Herabminderung der Helligkeit des Mondlichtes zu geringfügig ist.

4. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Werden die elektrischen Lampen in einer langen Allee oder Straße bei Einbruch der Dunkelheit eingeschaltet, so sehen wir sie alle, die uns näher stehenden sowohl wie auch die weiter entfernten, zu gleicher Zeit aufleuchten. Es liegt somit der Gedanke nahe, anzunehmen, daß das Licht zur Ausbreitung keine Zeit benötige. Bis in die Neuzeit hinein hat man auch allgemein diese Meinung vertreten. Die geringen Entfernungen auf unserer Erde werden vom Licht bei der außerordentlichen Geschwindigkeit, mit der es sich ausbreitet, in kurzer, kaum meßbarer Zeit zurückgelegt. 1676 gelang es dem dänischen Astronomen *Olaf Römer*, die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen. Seine Messungen und spätere, noch genauer durchgeführte ergaben:

Das Licht legt in einer Sekunde 300 000 km zurück.

In welcher Zeit würde es von der Erde zum Mond gelangen (rd. 350000 km)? In rd. 8 Minuten gelangt es von der Sonne bis zur Erde. Vom hellen Fixstern Sirius, den wir am Wintersternhimmel sehen, braucht es 10 Jahre, um die Erde zu erreichen. Wie oft würde das Licht in 1 Sekunde um die Erde laufen (Länge des Äquators rd. 40000 km), wenn es der Krümmung der Erdoberfläche folgen könnte?

§ 25. Die Mattscheibe - Die Zurückwerfung des Lichtes

1. Wir beobachten das Bild auf der Mattscheibe. Wir entfernen die hintere Hülse unserer Lochkamera und richten den vorderen Teil der Kamera auf eine brennende Kerze. Wir sehen nur die helle Öffnung der Kamera. In den Gang der durch die Öffnung tretenden Strahlen halten wir ein weißes Blatt Papier, das wir im übrigen gegen jedes störende Kerzenlicht abgeschirmt haben, und betrachten es von vorn. Auf dem Papierschirm erblicken wir ein Bild der Kerze (vgl. Abb. 160). Wie kommt das Bild auf dem Papier zustande? Wir können einen nichtleuchtenden Körper nur sehen, wenn er beleuchtet wird. Die von der Kerze ausgehenden Lichtstrahlen treffen auf den Papierschirm, werden von ihm zurückgeworfen und gelangen in unser Auge.

Wir schieben die Hülse mit dem Mattpapier wieder in die Kamera und betrachten die Kerze. Wir sehen das Bild auch auf der Rückseite des dünnen Papiers. Das kommt daher, daß ein Teil des Lichtes durch das Mattpapier hindurchgeht. Aus den einzelnen Punkten, in denen das Papier aufleuchtet, entsteht das *Bild*. Manche Photoapparate besitzen entsprechend dem Papierschirm der Lochkamera eine Platte aus mattiertem Glas, die *Mattscheibe*. Sie dient zum Aufsuchen und Scharfeinstellen des Bildes, wie wir noch sehen werden.

2. Wir sehen in den Spiegel - Der ebene Spiegel. Bedeckt man den von einer Hängelampe beleuchteten dunklen Eßtisch mit einem weißen Tischtuch, so wird das Zimmer merklich heller. Die von der Lampe ausgesandten Lichtstrahlen werden vom Tischtuch zurückgeworfen; dadurch empfangen auch die Teile des Zimmers Licht, zu denen vorher wegen des Lampenschirmes keine Strahlen gelangen konnten.

Im verdunkelten Zimmer stellen wir senkrecht auf den Tisch eine Papptafel (Aktendeckel), in die wir, 12 bis 15 cm vom unteren Rande entfernt, einen etwa 2 mm breiten, waagerechten Spalt geschnitten haben. Durch den Spalt lassen wir ein von einer Glühlampe ausgehendes schmales Lichtbündel hindurchtreten, das uns einen Lichtstrahl darstellt. Der Lichtstrahl fällt auf einen auf dem Tisch liegenden Spiegel und wird von diesem zurückgeworfen. Wir stellen eine zweite,

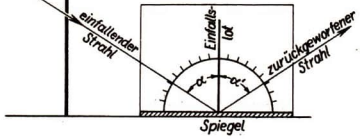


Abb. 165 Zurückwerfung des Lichtes am ebenen Spiegel

möglichst weiße Papptafel senkrecht so auf den Spiegel, daß die Lichtstrahlen an ihr entlangstreifen (Abb. 165). Auf die Papptafel haben wir vorher eine Gerade senkrecht zur Unterkante gezeichnet. Wir verschieben die Papptafel so weit, bis diese Gerade genau durch den Einfallspunkt des Lichtes auf dem Spiegel geht. Sie bildet dann das sog. *Einfallslot*. Wir vergleichen die Winkel, die der einfallende und der zurückgeworfene Strahl mit der Senkrechten bilden. Um das Abschätzen zu erleichtern, versehen wir die Pappscheibe zweckmäßigerweise mit einer einfachen, halbkreisförmigen Winkelteilung. Zu welchem Ergebnis kommen wir? Wie wird der Lichtstrahl zurückgeworfen, wenn wir den Spiegel senkrecht zu ihm halten? — Noch weit deutlicher und schärfer werden die Erscheinungen, wenn wir den Versuch mit Sonnenlicht ausführen. Wir brauchen dann nicht einmal das Zimmer zu verdunkeln.

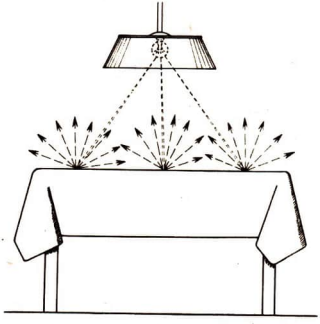


Abb. 166 Unregelmäßige Zurückwerfung des Lichtes durch das Tischtuch

Die Oberfläche des Spiegels ist eine glatte ebene Fläche. Man nennt einen so beschaffenen Spiegel deshalb einen *ebenen Spiegel*. Die glattpolierte Spiegelfläche wirft das Licht nur in einer Richtung zurück. Der Winkel, den der *Einfallsstrahl* mit dem senkrecht auf dem Spiegel stehenden *Einfallslot* bildet, heißt der *Einfallswinkel* (α). Der vom Spiegel zurückgeworfene Strahl bildet mit dem Einfallslot den *Ausfallswinkel* (α').

Am ebenen Spiegel wird das Licht so zurückgeworfen, daß der Ausfallswinkel gleich dem Einfallswinkel ist. Einfallender Strahl, zurückgeworfener Strahl und Einfallslot liegen in einer Ebene.

Trifft ein Lichtstrahl senkrecht auf den Spiegel, so wird er in sich zurückgeworfen. Vergleiche durch Betasten die Oberfläche des Tischtuches mit der eines Spiegels! Die auf das Tischtuch fallenden Strahlen werden nach allen Seiten unter den verschiedensten Ausfallswinkeln *zurückgeworfen* (Abb. 166). Man bezeichnet diese Erscheinung, der wir überall begegnen, als *unregelmäßige Zurückwerfung* des Lichtes.

Rauhe Oberflächen werfen das Licht nach allen Richtungen zurück; es wird zerstreut.

Das Spiegelbild. Wie müssen wir zum Spiegel stehen, um uns selber in ihm zu sehen? — Beobachte „Links“ und „Rechts“ in deinem Spiegelbild! — Wie wird ein senkrecht auf den Spiegel fallender Strahl zurückgeworfen? — Versuche die

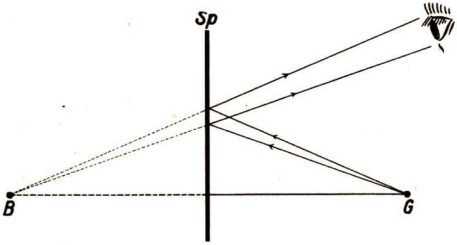


Abb. 167
Bildentstehung am ebenen Spiegel

Entfernung zu schätzen, in der du dein Bild hinter dem Spiegel erblickst! Ändere deine Entfernung vor dem Spiegel und beobachte dabei dein Spiegelbild!

Im verdunkelten Zimmer stellen wir eine Glasscheibe senkrecht auf den Tisch. Vor die Scheibe stellen wir eine brennende Kerze. Wir erblicken ein Spiegelbild der Kerze, wenn wir von vorn, am besten etwas seitlich stehend, gegen die Scheibe schauen. Wir verschieben hinter der Scheibe ein Wasserglas so lange, bis das Spiegelbild der Kerze vom Glas „eingefangen" wird. Wie liegen dann Kerze und Glas zur Scheibe? Wir wiederholen den Versuch, indem wir hinter der Scheibe eine zweite, nicht brennende Kerze so lange verschieben, bis sie mit dem Spiegelbild der brennenden Kerze zusammenfällt. Wir kennzeichnen die Lage der Glasscheibe auf dem Tisch durch einen Kreidestrich, die Lage der Kerzen durch zwei Kreidepunkte und verbinden die Punkte untereinander. Was fällt an der Lage der Verbindungslinie zur Spiegellinie auf? Welche Lage haben Bild und Gegenstand zueinander? Wie ist die Erscheinung zu erklären?

Gelangen die vom Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahlen in unser Auge, so sucht das Auge die Lichtquelle in der rückwärtigen Verlängerung der empfangenen Strahlen (Abb. 167). Dort, wo sich die Strahlen scheinbar treffen, scheint die Lichtquelle zu liegen; wir erblicken das Bild B des Gegenstandes G. Da die Strahlen sich nicht wirklich treffen, befindet sich an der Stelle von B auch kein leuchtender Punkt, der von anderen, etwa hinter dem Spiegel befindlichen Personen gesehen werden könnte. Das Bild ist lediglich für den Beobachter in der Stellung des gezeichneten Auges sichtbar. Es ist ein *scheinbares Bild.*

Am ebenen Spiegel entstehen nur scheinbare Bilder.

Das Bild erscheint in derselben Entfernung hinter dem Spiegel, in der sich der Gegenstand vor dem Spiegel befindet. Bild und Gegenstand liegen „symmetrisch" zum Spiegel; sie haben beide die gleiche Größe.

Winkelspiegel. Wir stellen zwischen zwei in einem Winkel stehende Spiegel eine brennende Kerze und zählen, wie oft wir das Bild der Kerze erblicken.
Wir ändern den Winkel, den die Spiegel bilden, und zählen wieder!
Je kleiner der Winkel ist, desto mehr Bilder erblickt man. Bei 90° sind es drei Bilder, bei 72° vier usw.

Ein bekanntes Kinderspielzeug, das *Kaleidoskop*[1]), beruht auf der Zurückwerfung des Lichtes durch Winkelspiegel. In einer Röhre befinden sich zwei in einem Winkel zueinander stehende Spiegel, zwischen denen eine Anzahl bunter, verschieden geformter Steinchen oder Glasstückchen in einer durchsichtigen Kapsel eingeschlossen sind. Dreht man die Röhre, so fallen die Körper durcheinander und bilden neue Gruppen, die durch die Spiegel entsprechend vervielfacht werden. Auch zum Entwerfen von Mustern läßt sich das Kaleidoskop benutzen.

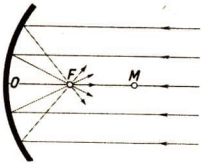


Abb. 168 Sonnenstrahlen fallen auf einen Hohlspiegel

3. Zurückwerfung des Lichtes an gekrümmten Spiegeln. Was können wir beobachten, wenn wir aus verschiedenen Entfernungen in einen Rasierspiegel blicken? – Wie spiegeln sich weiter entfernte Gegenstände in dem Rasierspiegel? – Wir lassen Sonnenstrahlen ein wenig schräg auf den Rasierspiegel fallen und fangen die zurückgeworfenen Strahlen auf einem Papierschirm auf. Wir entfernen den Schirm so weit, bis die Strahlen in einem Punkt zusammentreffen, und merken uns diese Entfernung.

Spiegele dich in einer Glaskugel des Weihnachtsbaumes! Wie erscheinen die Bilder in verschiedener Entfernung?

Beim Rasierspiegel wie bei der Glaskugel sind die *spiegelnden Flächen gekrümmt.* Der Rasierspiegel ist ein Teil einer Kugelfläche, deren *Innenseite* spiegelt. Bei der Glaskugel spiegelt die *Außenseite* der Kugel. Je nachdem die Innen- oder die Außenseite der Kugel spiegelt, bezeichnet man die Spiegel als *Hohlspiegel* oder als *erhabene Spiegel.*

Der Hohlspiegel. Die Strahlen, die unsere künstlichen Lichtquellen aussenden, gehen auseinander. Sonnenstrahlen dagegen sind wegen der großen Entfernung der Sonne von der Erde als *gleichlaufend* oder *parallel* anzusehen. Fallen sie auf den Hohlspiegel, so werden sie so zurückgeworfen, daß sie sich in einem Punkt, dem *Brennpunkt F* (Abb. 168), treffen. Halte deine Hand an diese Stelle! Erkläre den Namen! Der Mittelpunkt *O* der Spiegelfläche heißt *optischer*[2]) *Mittelpunkt.* Den Mittelpunkt *M* der Kugel, von der der Hohlspiegel ein Teil ist, nennt man *Krümmungs*mittelpunkt. Die Gerade, die durch *M* und *O* bestimmt ist, heißt die *optische Achse* oder Hauptachse. Auf ihr liegt auch der Brennpunkt.

Die parallel zur optischen Achse auf den Hohlspiegel fallenden Lichtstrahlen werden so zurückgeworfen, daß sie sich im Brennpunkt vereinigen.

Genauere Versuche zeigen, daß der Brennpunkt die Strecke zwischen dem optischen Mittelpunkt und dem Krümmungsmittelpunkt halbiert. Der Abstand des Brennpunktes vom optischen Mittelpunkt und damit vom Spiegel heißt die *Brennweite* des Spiegels.

1) kalós (griech.) = schön; éidos (griech.) = Gestalt; skopeín (griech.) = sehen
2) optiké téchnē (griech.) = die das Sehen betreffende Wissenschaft. Die Lehre vom Licht heißt deshalb auch Optik.

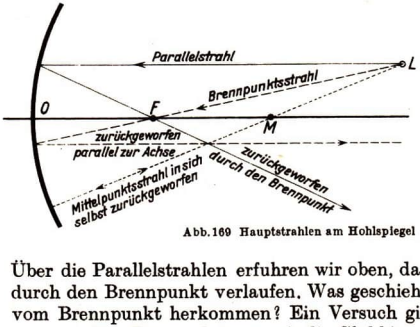


Abb. 169 Hauptstrahlen am Hohlspiegel

Abb. 169 zeigt uns die wichtigsten Strahlenarten am Hohlspiegel. Strahlen, die durch M auf den Spiegel fallen, heißen *Mittelpunktsstrahlen;* Strahlen, die durch F auf den Spiegel fallen, bezeichnet man als *Brennpunktsstrahlen.* Strahlen, die parallel zur optischen Achse laufen, nennt man *Parallelstrahlen.*

Über die Parallelstrahlen erfuhren wir oben, daß sie nach erfolgter Spiegelung durch den Brennpunkt verlaufen. Was geschieht umgekehrt mit Strahlen, die vom Brennpunkt herkommen? Ein Versuch gibt uns darüber Auskunft. Im verdunkelten Zimmer bringen wir die Glühbirne einer Taschenlampe oder eine brennende Kerze in den Brennpunkt des Hohlspiegels. Aus der Form des Lichtfleckes auf dem Schirm schließen wir, daß die Strahlen parallel austreten. Es gilt die Umkehrung des vorigen Gesetzes:

Vom Brennpunkt ausgehende Strahlen (Brennpunktsstrahlen) treten parallel zur optischen Achse aus.

Da Strahlen, die vom Mittelpunkt des Hohlspiegels herkommen, senkrecht auf diesen fallen, werden sie nach dem, was wir schon am ebenen Spiegel kennengelernt haben, in sich selbst zurückgeworfen.

Wir verfolgen jetzt die Bildentstehung am Hohlspiegel und stellen zu diesem Zweck eine brennende Kerze zunächst in großer Entfernung vor dem Hohlspiegel auf. In einer Entfernung von etwas mehr als der einfachen Brennweite können wir dann auf einem weißen Pappschirm ein umgekehrtes Bild der Kerze auffangen. Es ist stark verkleinert. Solche auffangbaren Bilder bezeichnen wir als *wirkliche* Bilder.

Nähern wir die Kerze dem Hohlspiegel, so rückt das Bild, ohne seine umgekehrte Stellung zu ändern, weiter vom Spiegel ab und wird allmählich größer, schließlich sogar größer als der Gegenstand selbst. Die wichtigsten, für Bild und Gegenstand charakteristischen Lagen sind in einer Tabelle auf S. 117 zusammengestellt. Die Entstehung wirklicher Bilder erklärt sich aus Abb. 170, die den Strahlengang für eine weit entfernte Kerze wiedergibt. Wir erkennen, daß die drei von der Kerzenspitze G ausgehenden, in die Zeichnung aufgenom-

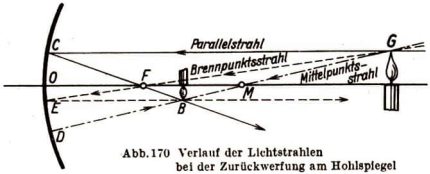


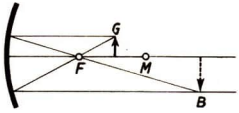
Abb. 170 Verlauf der Lichtstrahlen bei der Zurückwerfung am Hohlspiegel

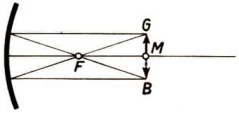
menen Strahlen sich nach der Spiegelung in einem Punkt B schneiden. In ihm liegt das Bild der Kerzenspitze.

Zeichnen der Bilder. Zur *zeichnerischen Darstellung des Strahlenverlaufes* bei der Entstehung des *Hohlspiegelbildes* genügen zwei der vielen Lichtstrahlen, die von der Lichtquelle (Pfeilspitze) ausgehen (Abb. 170). Meist verwendet man den Parallelstrahl GC und den Brennpunktsstrahl GF. Um die Richtigkeit der Zeichnung nachzuprüfen, kann man den Mittelpunktsstrahl GM heranziehen. Wir zeichnen die entstehenden Bilder für verschiedene Stellungen des Gegenstandes (ein Pfeil) zum Spiegel (Abb. 171 bis 173).

Was für Bilder liefert der Rasierspiegel? Der Gegenstand liegt zwischen Brennpunkt und Spiegel. Ein Versuch zeigt, daß wir ein *scheinbares, aufrechtes* und *vergrößertes* Bild erhalten. Die vom Gegenstand G ausgehenden Lichtstrahlen schneiden sich erst nach Verlängerung hinter dem Spiegel in B (Abb. 174).

Am Hohlspiegel entstehen wirkliche und scheinbare Bilder. Die wirklichen Bilder sind umgekehrt und entstehen vor dem Spiegel. Die scheinbaren Bilder stehen aufrecht und befinden sich scheinbar hinter dem Spiegel.





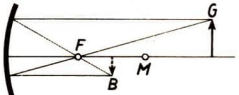


Abb. 171—173 Wirkliche Hohlspiegelbilder

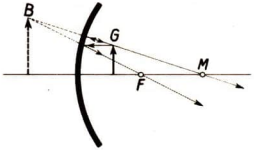


Abb. 174 Scheinbares Bild im Rasierspiegel

Befindet sich bei einem Hohlspiegel der Gegenstand	so entsteht sein Bild	und es ist
1. zwischen Brennpunkt F und Krümmungsmittelpunkt M (Abb. 171)	jenseits des Krümmungsmittelpunktes	wirklich, umgekehrt und größer als der Gegenstand
2. im Krümmungsmittelpunkt M (Abb. 172)	ebenfalls im Krümmungsmittelpunkt	wirklich, umgekehrt und ebenso groß wie der Gegenstand
3. außerhalb des Krümmungsmittelpunktes M (Abb. 173)	zwischen Brennpunkt F und Krümmungsmittelpunkt M	wirklich, umgekehrt und kleiner als der Gegenstand
4. zwischen Brennpunkt F und Spiegel (Abb. 174)	hinter dem Spiegel	scheinbar, aufrecht und größer als der Gegenstand

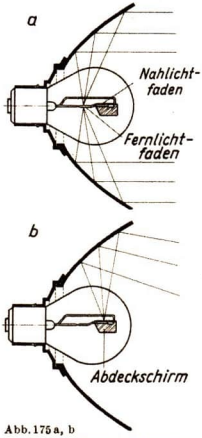


Abb. 175 a, b
Strahlengang beim Auto-Scheinwerfer bei verschiedenen Stellungen der Lichtquelle

Anwendungen. In den *Autoscheinwerfer* ist ein Hohlspiegel eingebaut (Abb. 175a und b). Wo muß die Lichtquelle stehen, wenn das austretende Lichtbündel parallel sein soll? Zur Beleuchtung der Fahrbahn benutzt man ein Lichtbündel, das etwas auseinandergeht. Warum wohl? Allerdings wird beim Autoscheinwerfer kein Kugelspiegel verwendet. Aus besonderen Gründen hat man hier eine andere Form vorgezogen; die Wirkungsweise ist jedoch ähnlich der beim Kugelspiegel. Im Autoscheinwerfer sind zwei Lichtquellen angebracht, von denen der Fahrer je nach Bedarf die eine oder die andere einschalten kann. Wann wird er die Lichtquelle in *a*, wann die in *b* vorziehen? – Der Zahnarzt verwendet bei der Untersuchung der Zähne ebenfalls einen Hohlspiegel. Auf welche Art von Bildern kommt es dem Zahnarzt an? Wie ist daher der Krümmungshalbmesser zu wählen? – Warum befindet sich hinter der Glühbirne der Taschenlampe ein Hohlspiegel? – Spiegle dich in der Hohlseite eines Metallöffels! Warum ist dein Bild verzerrt?

Der erhabene Spiegel. In einer spiegelnden Glaskugel sehen wir unser Bild immer aufrecht und verkleinert. Das Bild ist scheinbar, da der Schnittpunkt von Strahlen, die aus einem Punkt kommen, hinter dem Spiegel liegt (Abb. 176).

Am erhabenen Spiegel entstehen nur scheinbare, aufrechte, verkleinerte Bilder.

Zum Überblicken des rückwärtigen Geländes sind an Fahrzeugen häufig *Rückblickspiegel* angebracht (Abb. 177). Sie gehören zu den *erhabenen Spiegeln* und liefern also scheinbare, aufrechte, verkleinerte Bilder.

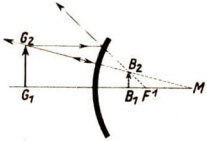


Abb. 176 Scheinbares Bild in einer Glaskugel

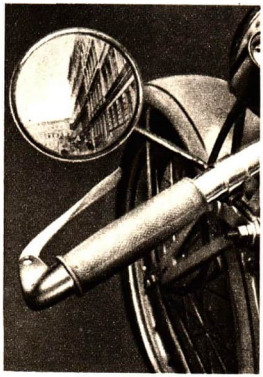


Abb. 177 Rückblickspiegel am Motorrad

§ 26. Die Linsen - Lichtbrechung

1. Wir verbessern unsere Lochkamera. Wir wollen nun die punktförmige Öffnung unserer Lochkamera zur Größe eines Zehnpfennigstücks erweitern. Auf dem Papierschirm erscheint kein Bild des Gegenstandes mehr, sondern wir sehen nur einen hellen, kreisförmigen Schein. Jetzt befestigen wir vor der Öffnung ein Brillenglas. Allerdings können wir nicht jedes beliebige Brillenglas dazu gebrauchen, sondern wir wählen ein Glas, das schwach vergrößert, wenn wir hindurchblicken. Wir richten alsdann die Kamera abermals gegen eine Lichtquelle: auf dem Papierschirm entsteht ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes. Sollte es verschwommen sein, dann bewegen wir die Hülse mit dem Schirm so lange hin und her, bis die Abbildung des Gegenstandes klar und deutlich erscheint.
Ein Vergleich des jetzt entstandenen Bildes mit dem früheren lehrt folgendes: Beide Male erscheint der Gegenstand umgekehrt abgebildet. Die Helligkeit des jetzigen Bildes ist viel größer als die des früher entstandenen Bildes. Während wir aber vorher bei der Lochkamera in jeder Stellung des Papierschirmes ein klares Bild erhielten, beobachten wir jetzt nur bei einer einzigen Einstellung des Papierschirmes ein deutliches Bild; alle übrigen Bilder erscheinen verschwommen.
Wie kommt dieses Bild zustande? Wir untersuchen die Veränderung des Strahlenganges beim Durchgang durch durchsichtige Körper.

2. Die Brechung des Lichtes - Das Brechungsgesetz.

a) Wir tauchen einen Löffel in ein gefülltes Wasserglas und beobachten das Aussehen des Löffels bei verschiedener Lage und verschiedener Blickrichtung! – Welcher Täuschung unterliegen wir leicht beim Beurteilen der Wassertiefe, wenn wir nach den Steinen auf dem Grunde sehen? – Lege ein Geldstück in eine Schüssel und tritt so weit zurück, daß es gerade hinter dem Rand verschwindet. Lege den Kopf in die aufgestützte Hand, um die Stellung deines Auges nicht zu verändern! Nun laß Wasser in die Schüssel gießen! Was beobachtest du (Abb. 178)? Zur Erklärung dient folgender Versuch:
Wir gießen in eine Glaswanne Wasser, das wir mit Kalk, Kreidepulver oder mit ein paar Tröpfchen Milch etwas trüben, und lassen im verdunkelten Zimmer das Lichtbündel einer Taschenlampe schräg in das angetrübte Wasser fallen. Was kann man beobachten?
Geht ein Lichtstrahl schräg von Luft in Wasser über (Abb. 179), so erfährt er an der Grenzfläche der beiden Stoffe eine Richtungsänderung: er wird *gebrochen*. Der Winkel (β), den der im Wasser befindliche Teil des Strahles mit dem Einfallslot bildet, heißt *Brechungs-*

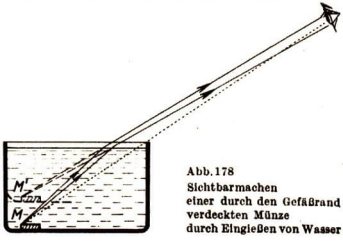


Abb. 178
Sichtbarmachen einer durch den Gefäßrand verdeckten Münze durch Eingießen von Wasser

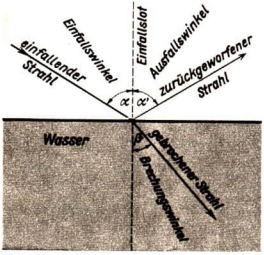


Abb. 179 Einfallswinkel und Brechungswinkel

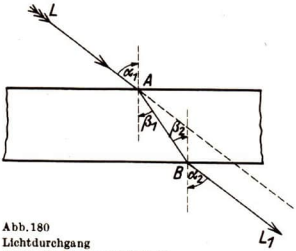


Abb. 180
Lichtdurchgang
durch eine planparallele Platte

winkel; er ist bei unserm Versuch kleiner als der *Einfallswinkel* (α). Umgekehrt wird der Brechungswinkel größer, wenn der Strahl aus dem Wasser kommt und in die Luft eintritt. So ist es bei dem oben angegebenen Versuch (Abb. 178). Das Auge nimmt die Brechung der Lichtstrahlen selbst nicht wahr. Es erblickt den Gegenstand scheinbar in Richtung der rückwärtigen Verlängerung der Strahlen, so daß die im Wasser befindlichen Gegenstände gehoben erscheinen.

Gehen Lichtstrahlen in schräger Richtung aus einem durchsichtigen Stoff in einen anderen über, so wird ihre Richtung geändert (Brechung des Lichtes); werden sie nach dem Einfallslot hin gebrochen, so heißt der Körper, in den sie eindringen, optisch dichter; werden sie vom Einfallslot weg gebrochen, so heißt der Stoff optisch dünner.

Derselbe Vorgang spielt sich auch beim Übergang eines Lichtstrahles von Luft in Glas und umgekehrt ab.

Wasser und Glas sind optisch dichter als Luft.

b) Wir nehmen ein Stück einer zerbrochenen Fensterscheibe und halten eine Stricknadel so dahinter, daß sie flach an der Scheibe anliegt und noch über den Rand der Scheibe hinausragt. Blicken wir schräg durch die Scheibe, so erscheint die Nadel am Scheibenrande derart in zwei Teile zerlegt, daß die beiden Teile parallel zueinander versetzt sind. Auch eine flache, parallelwandige Flasche (Parfümflasche), die wir halb mit Wasser füllen, ist gut dazu geeignet. – Erkläre diese Erscheinung an Hand der Abb. 180! Der Lichtstrahl trifft bei A auf die ebene Glasplatte (planparallele Platte[1]) und wird zum Einfallslot hin gebrochen; bei B tritt er in die Luft aus, er wird dabei wieder vom Lot weggebrochen. Welche Winkel in Abb. 180 sind also gleich? Eintretender Lichtstrahl (L) und wieder austretender (L_1) sind nur parallel gegeneinander verschoben. So erklärt es sich auch, daß man Gegenstände durch eine fehlerfreie Glasscheibe (Fensterscheibe) hindurch unverzerrt sieht.

1) plānūs (lat.) = eben

3. Optische Linsen. Das vor der Öffnung unserer Kamera angebrachte Brillenglas hat durch Schleifen eine Form erhalten, die mit einer Linsenfrucht vergleichbar ist. Nach ihr trägt das Glas seinen Namen. Betaste es und stelle fest, ob das Glas überall gleich dick ist! — Halte das Glas in die Sonne und fange das Sonnenbildchen auf einem weißen Löschblatt auf! — Halte die Hand an die Stelle, an der das Sonnenbildchen entsteht! — Erkläre den Namen „Brennglas"! Derartig geschliffene Gläser heißen **Sammellinsen.** Erkläre diesen Namen!

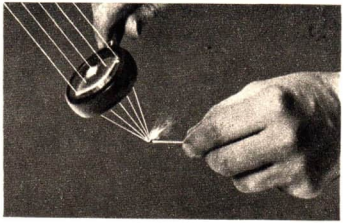


Abb. 181 Brennpunktversuch

Sammellinsen sind in der Mitte dicker als am Rande; sie sind nach außen gewölbt. Der Punkt, an dem das Sonnenbild entsteht, heißt, ebenso wie beim Hohlspiegel, der *Brennpunkt* (F). Seine Entfernung vom Linsenmittelpunkt heißt *Brennweite* der Linse. Führe den Versuch nach Abb. 181 aus! Wieviel Brennpunkte hat die Sammellinse? Wo liegen sie (Abb. 182)? Die durch die beiden Brennpunkte F_1 und F_2 gelegte Gerade geht auch durch den Linsenmittelpunkt O und heißt wie beim Hohlspiegel *optische Achse* der Linse.

Während beim Hohlspiegel die Strahlen von der spiegelnden Fläche zurückgeworfen werden, gehen sie durch die Sammellinse hindurch und erfahren durch *Brechung* eine ähnliche Ablenkung wie beim Hohlspiegel durch Zurückwerfung. Bringen wir in den Brennpunkt einer Sammellinse die Glühbirne einer Taschenlampe oder eine Kerze, so erkennen wir wieder an dem auf einem entfernten Schirm entstehenden Lichtfleck, daß die aus der Linse austretenden Strahlen zur optischen Achse parallel laufen (Abb. 183). Abb. 184 zeigt zusammenfassend für eine Sammellinse den Verlauf eines Parallelstrahles, eines Brennpunktsstrahles und eines Mittelpunktsstrahles. Gleichzeitig weist sie uns auf die Möglichkeit der Bildentstehung an einer Sammellinse hin.

Abb. 182
Brennpunkte einer Sammellinse
f = Brennweite

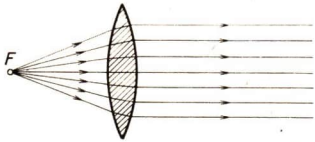


Abb. 183
Lichtquelle im Brennpunkt einer Sammellinse

Wir verfolgen die Bildentstehung wieder im einzelnen, indem wir wie beim Hohlspiegel eine Kerze aus großer Entfernung allmählich an die Linse heranrücken lassen.

Auf der anderen Seite der Linse entstehen umgekehrte *wirkliche* Bilder, die wir auf einem Papierschirm auffangen. Bringt man die Kerze in kürzere Entfernung zur Linse als die einfache Brennweite, so ist kein wirkliches Bild mehr festzustellen. Siehe dazu die Lupe auf S. 135!

Unsere Beobachtungen können wir in folgender Übersicht zusammenstellen. Vergleiche sie mit der Tabelle auf S. 117!

Bildentstehung an der Sammellinse		
Befindet sich der Gegenstand	**so entsteht sein Bild**	**und es ist**
1. außerhalb der doppelten Brennweite	**auf der anderen Seite zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite**	**wirklich, umgekehrt und kleiner als der Gegenstand**
2. in der doppelten Brennweite	**auf der anderen Seite in der doppelten Brennweite**	**wirklich, umgekehrt und ebenso groß wie der Gegenstand**
3. zwischen der doppelten und der einfachen Brennweite	**auf der anderen Seite außerhalb der doppelten Brennweite**	**wirklich, umgekehrt und größer als der Gegenstand**
4. innerhalb der einfachen Brennweite	**auf derselben Seite**	**scheinbar, aufrecht und größer als der Gegenstand**

Stelle diese vier Fälle nach Abb. 184 zeichnerisch dar! Nimm dabei der Einfachheit halber an, daß die Strahlen bis zur Mittelebene der Linse ungebrochen verlaufen und dort entsprechend Abb. 184 abgelenkt werden! — Erkläre nun, warum wir in unserer Lochkamera mit Brillenglas nur bei einer bestimmten Stellung des Papierschirmes ein deutliches Bild sehen können!

Welche Größe haben Bilder sehr weit entfernt liegender Gegenstände? Was folgt daraus für das Photographieren weit entfernter Personen oder Gegenstände? — Welche Bildart kommt für den photographischen Apparat nicht in Frage?

Die Entfernung des Gegenstandes von der Linse nennt man auch *Gegenstandsweite*, die des Bildes von der Linse *Bildweite*. Gib den Inhalt der Tabelle unter Benutzung dieser Ausdrücke wieder!

Die **Zerstreuungslinse** ist am Rande dicker als in der Mitte. Bei ihr treten keine wirklichen Bilder auf, da sich die gebrochenen Strahlen nicht treffen, sondern immer weiter auseinanderlaufen (Abb. 185). Die Bilder sind stets *scheinbar*, *aufrecht* und *verkleinert* wie beim erhabenen Spiegel.

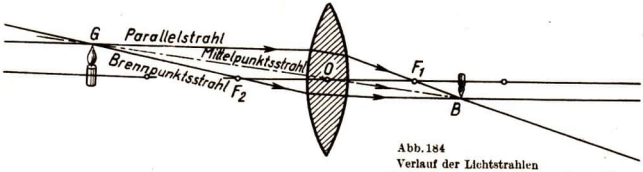


Abb. 184
Verlauf der Lichtstrahlen beim Durchgang durch eine Sammellinse

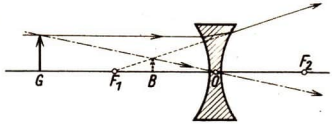


Abb. 185
Scheinbares Bild bei einer Zerstreuungslinse

§ 27. Die Blenden - Lichtstärke und Beleuchtungsstärke

1. Mit welcher Blende müssen wir photographieren? Blicke ins Helle (doch nicht in die Sonne!) und betrachte kurz darauf die Größe deiner Pupillen im Spiegel! Wiederhole den Versuch, indem du versuchst, in schwach erhelltem Raum etwas zu erkennen! Welcher Unterschied in der Größe der Pupillen fällt dir auf? — Warum geht man beim Einfädeln einer Nähnadel nahe an die Lampe heran? — Warum ermüden die Augen so leicht beim Lesen im Sonnenlicht? — Warum werden die Augen durch das Lesen bei unzureichender Beleuchtung überanstrengt? — Die Straßenlaternen sind lichtstärker als deine Schreibtischlampe. Warum kannst du trotzdem am Schreibtisch besser lesen?

Damit wir einen Gegenstand sehen, müssen Lichtstrahlen von ihm in unser Auge gelangen. Zum *deutlichen* Erkennen eines Gegenstandes ist eine bestimmte Helligkeit dieses Gegenstandes erforderlich. Sie darf nicht zu klein, aber auch nicht zu groß sein. Durch die *Pupille* (Sehloch) gelangen die Lichtstrahlen in das Innere des Auges und rufen dort einen Reiz hervor. Die Stärke dieses Reizes ist von der Helligkeit des betrachteten Gegenstandes abhängig. Unsere Beobachtungen zeigen, daß die Größe der Pupillen wechselt. Ist die Umgebung nur schwach erhellt, dann weiten sich die Pupillen, damit so viel Licht als nur irgend möglich in das Innere des Auges eindringt; ist es zu hell, dann verengen sich die Pupillen und gewähren nur einem Teil des Lichtes Zutritt, damit die sehr empfindliche Netzhaut keinen Schaden durch zu starke Reizwirkung erleidet. Die Anpassung an die Helligkeit geschieht für uns unbewußt.

Auch in das Innere des photographischen Apparates muß eine bestimmte Lichtmenge eindringen, damit die lichtempfindliche Schicht der Platte oder des Filmes ausreichend beeinflußt wird. Diese Lichtmenge regelt sich jedoch nicht von allein, sondern wir müssen selbst für richtige Anpassung Sorge tragen. Das

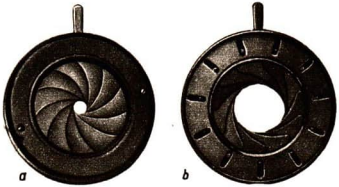


Abb. 186 Irisblende. *a* kleine, *b* große Blendenöffnung (die Deckplatte ist abgenommen)

geschieht, indem wir die Platte kürzere oder längere Zeit *belichten*, also den *Verschluß*, durch den das Licht eintritt, verschieden lange geöffnet halten. Hinter dem Verschluß befindet sich eine lichtabschirmende Scheibe, die *Blende*, mit einer in ihrer Größe veränderlichen, kreisrunden Öffnung (Abb. 186). Da die Veränderung der Blendenöffnung Ähnlichkeit mit der Erweiterung und Verengung der Pupille des Auges durch die *Regenbogenhaut* oder *Iris* besitzt, heißt eine derartige Blende *Irisblende*. Aufgabe der Blende ist zunächst die Regelung der *Tiefenschärfe* des Bildes; man versteht darunter die gleichmäßige Schärfe der Bilder verschieden weit entfernter Gegenstände. Je *kleiner* die Blendenöffnung, desto ausgeprägter ist die Tiefenschärfe (Abb. 186 a u. b). Da aber die Zeiten, in denen sich der Verschluß öffnen läßt, begrenzt sind, kann man durch die Größe der Öffnung außerdem die einfallende Lichtmenge beeinflussen und damit die Belichtungszeit regeln. Im allgemeinen gilt die Regel, die kleinste Blende zu wählen, die mit der längsten, der Beweglichkeit des Aufnahmegegenstandes angepaßten Belichtungszeit verträglich ist.

2. Was ist Lichtstärke und Beleuchtungsstärke? Wir lesen am Abend. Es ist uns zu dunkel, da die Lampe am anderen Tischende steht. Wenn wir die Lampe näher rücken, ist die Helligkeit der Lampe zwar dieselbe geblieben, und doch wird es heller auf unserem Platz.

Wir haben zu unterscheiden zwischen *Lichtstärke* und *Beleuchtungsstärke*.

Lichtstärke ist ein Ausdruck für die Helligkeit der Lichtquelle selbst.
Beleuchtungsstärke ist ein Ausdruck für die Helligkeit einer beleuchteten Fläche.

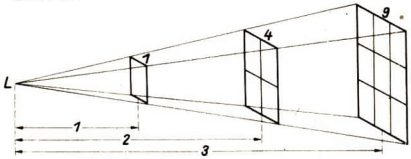


Abb. 187 Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von der Entfernung

Abb. 188 Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke vom Einfallswinkel der Lichtstrahlen
Stellung I: Einfallswinkel $\alpha = 0°$: größte Beleuchtungsstärke.
Stellung II: Einfallswinkel α größer als 0°: geringere Beleuchtungsstärke

Wodurch haben wir im angeführten Beispiel die Beleuchtungsstärke geändert? Wir prüfen das nach und bringen ein weißes Blatt Papier in die Nähe einer Lichtquelle. Was beobachten wir, wenn wir uns mit dem Papier von der Lichtquelle entfernen?

Die Beleuchtungsstärke ist abhängig von der Entfernung des beleuchteten Gegenstandes von der Lichtquelle.

In der doppelten Entfernung beträgt die Beleuchtungsstärke nur noch ein Viertel, in der dreifachen Entfernung nur noch ein Neuntel der Beleuchtungsstärke in der ursprünglichen Entfernung.

Auf den wievielten Teil sinkt die Beleuchtungsstärke, wenn man die Entfernung der beleuchteten Fläche von der Lichtquelle vervierfacht, verfünffacht?
Setze die Reihe fort! Erkläre die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von der Entfernung nach Abb. 187!
Abb. 188 zeigt eine Fläche, die einmal senkrecht und dann schräg von den Strahlen der gleichen Lichtquelle getroffen wird. Was hat das für einen Einfluß auf die Beleuchtungsstärke?
Die Beleuchtungsstärke ist abhängig von dem *Einfallswinkel*, unter dem das Licht auf eine Fläche trifft; sie ist am größten, wenn die Strahlen *senkrecht* auftreffen (Einfallswinkel gleich 0°).
Man mißt eine Länge durch Vergleich mit einer bestimmten Länge, eine Fläche durch Vergleich mit einer bestimmten Fläche, eine Wärmemenge durch Vergleich mit einer bestimmten Wärmemenge; ebenso *mißt man die Lichtstärke durch Vergleich mit einer bestimmten Lichtstärke*. Die Einheit der Lichtstärke liefert eine besondere Lampe mit 4 cm hoher Flamme, die von *Hefner-Alteneck* eingeführt wurde; ihre Lichtstärke heißt *Hefnerkerze* (HK). Eine neuerdings verwendete Einheit, die *Neue Kerze* (NK), ist gleich $1\frac{1}{8}$ HK. — Eine Paraffinkerze mittlerer Stärke hat im allgemeinen eine Lichtstärke von 1 HK, eine Schreibtischlampe 40 HK, eine Gaslaterne der Straßenbeleuchtung 100 HK.
Zur *Messung der Lichtstärke* dient das **Photometer**[1]). Ein einfaches Photometer ist das *Schattenphotometer* (Abb. 189). Es besteht aus einem Stab, der vor einer weißen Fläche steht und von zwei Lichtquellen L_1 und L_2 verschiedener Lichtstärke, etwa einer dicken und einer dünnen Kerze, bestrahlt wird. Er wirft infolgedessen zwei Schatten auf die weiße Fläche. Die Fläche wird überall von

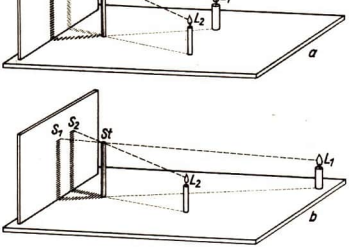


Abb. 189 Schattenphotometer

1) phōs (griech.) = Licht;
mĕtron (griech.) = das Maß

beiden Lichtquellen beleuchtet; auf den von L_1 erzeugten Schatten S_1 dagegen fällt nur Licht von L_2, auf den von L_2 herrührenden Schatten S_2 nur Licht von L_1. Aus diesem Grunde ist der Schatten S_1 dunkler als S_2, wenn L_1 lichtstärker als L_2 ist und beide Lichtquellen in gleicher Entfernung vom Stab stehen (Abb. 189 a). Wir entfernen nun L_1 so weit vom Stab, daß beide Schatten gleich dunkel erscheinen, in ihnen also gleiche Beleuchtungsstärken herrschen (Abb. 189b). Ist dies beispielsweise der Fall, wenn L_1 doppelt so weit vom Stab entfernt ist wie L_2, so muß L_1 nach dem oben ausgesprochenen Gesetz über die Abnahme der Beleuchtungsstärke viermal so lichtstark sein wie L_2.

Beispiele:

1. Eine Lichtquelle steht dreimal so weit vom Stab eines Schattenphotometers entfernt wie eine Paraffinkerze (1 HK) und erzeugt einen Schatten von gleicher Dunkelheit wie diese. Wievielmal so lichtstark ist sie im Vergleich zur Kerze?
2. Damit eine Petroleumlampe am Schattenphotometer einen Schatten gleicher Dunkelheit hervorruft wie eine Paraffinkerze (1 HK), muß man sie fünfmal so weit vom Stab aufstellen wie die Kerze. Wie groß ist ihre Lichtstärke?

§ 28. Wir machen eine photographische Aufnahme

1. Die Mattscheibenkamera. Beschreibe die Kamera nach Abb. 190! Der wertvollste Teil der Kamera ist die Linse, das *Objektiv*[1]) genannt. Ein gutes Objektiv besteht nicht, wie wir bisher angenommen haben, aus *einer* Linse, sondern es ist aus mehreren zusammengesetzt (Abb. 191). Durch ein solches Linsensystem erreicht man eine größere Helligkeit und eine bessere Zeichnung des Bildes. Gewissenhaft werden die Glassorten auf ihre optischen Eigenschaften geprüft; mit großer Sorgfalt werden die Schliffe ausgeführt, die Linsen verkittet und in die Fassungen eingesetzt.

Bei der Bildaufnahme müssen wir den Rahmen, der das Objektiv trägt, so weit verschieben, bis auf der Mattscheibe ein scharfes Bild des aufzunehmenden Gegenstandes erscheint. Dann wechseln wir die Mattscheibe gegen eine in einer

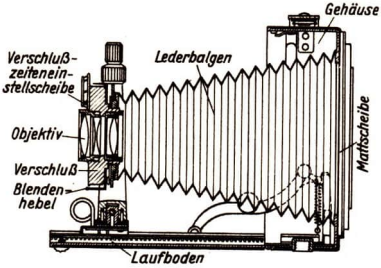


Abb. 190
Photographische Kamera

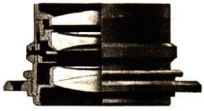


Abb. 191
Objektiv (Zeiß-Tessar)

1) obiéctum (lat.) = Gegenstand; die dem Gegenstand zugekehrte Linse

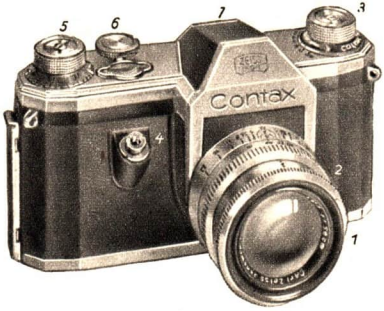


Abb. 192
Kleinbildkamera „Contax-S", hergestellt vom volkseigenen Zeiß-Ikon-Werk, Dresden. Zeiß-Biotar-Objektiv, Brennweite 5,8 cm, Bildgröße 24 × 36 mm

1. Objektiv mit Blendeneinstellung
2. Einstellring für Entfernung
3. Rückspulknopf, darunter Merkscheibe für eingelegte Filmsorte
4. Verschlußauslösung
5. Filmtransportknopf mit Bildzählwerk
6. Einstellknopf für Belichtungszeiten
7. Sucher (Einblick auf der Rückseite)

lichtdichten Kassette befindliche photographische Platte aus und machen die Aufnahme.

Einige Schwierigkeit bereitet dem Anfänger die Ermittlung der richtigen Belichtungszeit. Die richtige Schätzung der Belichtungszeit setzt Erfahrung und Übung voraus; darum bediene dich einer Belichtungstabelle! Die Belichtungsdauer ist abhängig vom Ort der Aufnahme, von der Jahres- und Tageszeit, vom Wetter, vom Aufnahmegegenstand, von der Empfindlichkeit des Aufnahmematerials und von der Blendenöffnung.

2. Die Rollfilmkamera. Wesentlich einfacher ist die Handhabung einer Rollfilmkamera. Hier fällt die Scharfeinstellung des Bildes auf der Mattscheibe fort. Dafür ist aber eine möglichst genaue Schätzung der Entfernung des Aufnahmegegenstandes von der Kamera notwendig. Das Objektiv wird dann mit Hilfe einer an seiner Fassung angebrachten Skala durch Drehen auf die geschätzte Entfernung eingestellt. Werden bei der Entfernungsschätzung Fehler gemacht, dann erscheint das Bild verschwommen. Warum?

3. Der Sucher. Bei der Mattscheibenkamera, die zur Aufnahme in der Regel auf ein Stativ fest aufgeschraubt wird, entspricht das auf der Mattscheibe erhaltene Bild genau dem wirklich aufzunehmenden Bild. Bei der Rollfilmkamera ermitteln wir den richtigen Bildausschnitt mit einem neben dem Objektiv angebrachten *Sucher*. Er ist mit einem kleinen Fernrohr vergleichbar, mit dessen Hilfe ein aufrechtes, scheinbares Bild des aufzunehmenden Gegenstandes erzeugt wird (vgl. § 30, 2c). Bei älteren Modellen ist ein unter 45° gegen die einfallenden Strahlen geneigter Spiegel eingebaut, der den Strahlengang so ablenkt, daß der Beschauer das Bild von oben beobachten kann.

Abb. 192 zeigt eine neuzeitliche, hochentwickelte Kleinbildkamera, eine sog. „Contax-S", bei der durch eine sinnreiche, mit dem Sucher verbundene Spiegeleinrichtung die Scharfeinstellung des Bildes weitgehend vereinfacht wird. Einstellungsfehler werden dadurch fast unmöglich gemacht.

§ 29. Wir betrachten Lichtbilder - Der Bildwerfer

1. Der Bildwerfer. Um von durchsichtigen Glasbildern stark vergrößerte Lichtbilder auf der dazu bestimmten Wandfläche zu erzeugen, benutzen wir den Bildwerfer. Wir wollen seinen Aufbau und die Wirkung seiner Teile einmal näher betrachten (Abb. 193).

Das lichtdicht abgeschlossene Gehäuse, das in der Abbildung fortgelassen ist, enthält eine starke Lichtquelle L, meist eine elektrische Glühlampe besonderer Bauart. Die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen fallen auf ein zweiteiliges Linsensystem, den sog. *Kondensor*[1]) C und werden von ihm gesammelt. Die beiden Kondensorlinsen sind nur auf einer Seite gewölbt, auf der anderen Seite dagegen eben. Die ebenen Flächen sind nach außen gekehrt. Dicht an einer der beiden ebenen Flächen liegt das Glasbild G an, das von den Lichtstrahlen durchsetzt wird. Durch ein davor gestelltes Objektiv O, das häufig mit einer Blende Bl ausgestattet ist, wird das beleuchtete Glasbild auf den Schirm abgebildet.

Welche Stellung muß man dem Glasbild geben, damit das Bild auf dem Schirm in der richtigen Lage erscheint? — Gib die Beziehung an, in der Gegenstandsweite, Bildweite und Brennweite des Objektivs zueinander stehen müssen! Nenne die diesen Größen entsprechenden Strecken in der Abbildung! Welche Zeile der Tabelle auf S. 122 gilt für den Glasbildwerfer?

2. Das Episkop. Will man Lichtbilder von undurchsichtigen Gegenständen, etwa von Postkarten, Buchseiten u. dgl., erzeugen, so bedient man sich des sog. *Episkops*[2]) (Abb. 194). Bei ihm wird das von der Lichtquelle L ausgehende Licht mittels zweier Hohlspiegel H_1 und H_2 auf den am Boden des Gehäuses liegenden Gegenstand P geworfen. Ein ebener Spiegel S läßt das von P zurückgestrahlte Licht in das Objektiv O gelangen, das das Lichtbild auf den Schirm wirft.

Warum sind die Lichtbilder beim Episkop erheblich lichtschwächer als beim Glasbildwerfer?

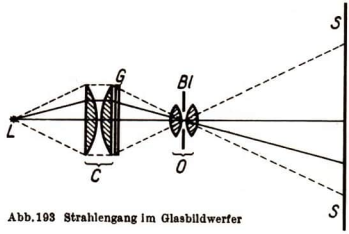


Abb. 193 Strahlengang im Glasbildwerfer

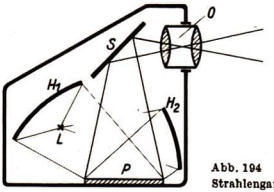


Abb. 194 Strahlengang im Episkop

1) condensare (lat.) = verdichten
2) epí (griech.) = auf, darauf; skopeín (griech.) = sehen

§ 30. Der Sehvorgang

1. Wie wir sehen. Abb. 195 stellt einen Schnitt durch das menschliche Auge dar. Gib die einzelnen Teile und ihre Bedeutung an!

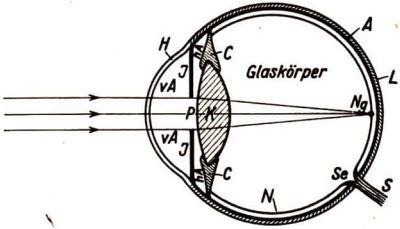


Abb. 195 Waagerechter Schnitt durch das rechte Auge

L Lederhaut
H durchsichtige Hornhaut
A Aderhaut
I Iris (Regenbogenhaut)
P Pupille
N Netzhaut
Ng Netzhautgrube
S Sehnerv
Se Sehnervende
K Kristalllinse;
vA und *hA* vordere und hintere Augenkammer
C Ziliarmuskel

Die von einem Gegenstand ausgehenden Lichtstrahlen dringen durch die Pupille ins Innere des Auges ein und werden, im wesentlichen durch die Linse, bei einem normalsichtigen Auge so gebrochen, daß auf der Netzhaut ein wirkliches, umgekehrtes, verkleinertes Bild entsteht (Abb. 196a). Die Linse hat dabei noch eine besondere Aufgabe zu erfüllen. Je größer die Gegenstandsweite, desto kleiner ist, wie wir wissen, die Bildweite und umgekehrt. Beim photographischen Apparat müssen wir die Stellung des Objektivs ändern, bis wir ein deutliches Bild auf der Mattscheibe oder auf dem Film erhalten. Wir passen dadurch die Länge der Kamera der jeweiligen Bildweite an. Das ist beim Auge unmöglich; hier liegt die Entfernung Linse—Netzhaut fest. Es muß umgekehrt die Bildweite der Augenlänge angeglichen werden. Beim normalsichtigen Auge sorgt die Veränderlichkeit der Augenlinse dafür, daß das Bild naher oder entfernter Gegenstände immer in der gleichen Bildweite, nämlich auf der Netzhaut, entsteht: Die Linse krümmt sich unter dem Einfluß des Ziliarmuskels mehr oder weniger stark. Die Einstellung auf „fern" und „nah" vollzieht sich beim Auge völlig unbewußt.

Dieser Anpassung des Auges sind jedoch Grenzen gezogen: Der weiteste Punkt, den ein normales Auge noch deutlich sehen kann, heißt der *Fernpunkt*, der nächstgelegene der *Nahpunkt*. Beim normalsichtigen Auge liegt der Fernpunkt in unendlicher Entfernung, der Nahpunkt in einer Entfernung von etwa 8 bis 10 cm vom Auge.

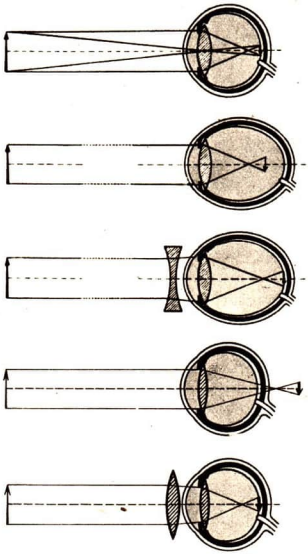
Die Netzhautbilder stehen umgekehrt (Abb. 196); trotzdem sieht der Mensch die Gegenstände aufrecht. Dieses Aufrechtsehen ist ein Ergebnis der Erfahrung und der Gewohnheit; es läßt sich durch physikalische Gesetze nicht erklären.

2. Kurzsichtig, weitsichtig, übersichtig. Manche Menschen vermögen entfernte Gegenstände nur undeutlich zu erkennen, während ihnen das deutliche Sehen naher Gegenstände oder das Lesen keinerlei Schwierigkeiten bereitet. Man bezeichnet diesen Sehfehler als *Kurzsichtigkeit* (Abb. 196b). Sie rührt daher, daß

die von einem entfernten Gegenstand durch die Augenlinse entworfenen Bilder nicht auf, sondern *vor* der Netzhaut entstehen.

Ursache bei der *angeborenen* Kurzsichtigkeit ist eine zu große Länge des Augapfels. Kurzsichtigkeit kann aber auch andere Ursachen haben und sich bei vorhandener Erbanlage allmählich entwickeln. Angestrengte Näharbeit sowie übermäßiges Lesen und Schreiben begünstigen diese Veränderung. Es ist daher verständlich, daß die hierauf beruhende *erworbene* Kurzsichtigkeit bei geistigen Arbeitern stark verbreitet und bei Naturvölkern selten ist. Durch eine *Brille* läßt sich die normale Sehfähigkeit wieder herstellen. Brillengläser für Kurzsichtige sind *Zerstreuungslinsen*. Die vom Gegenstand auf die Brille treffenden Strahlen werden nach außen gebrochen, so daß das Bild nun wieder auf der Netzhaut entsteht (Abb. 196c).

Von der *Weitsichtigkeit* werden von einem bestimmten Lebensalter an (etwa 50 Jahre) alle Menschen betroffen. Gegenstände der Nähe werden nicht mehr deutlich wahrgenommen. Weitsichtige halten beim Lesen das Buch in eine Entfernung von 50 cm und weiter, um die Schrift deutlich zu erkennen. Ihre Linse hat die Fähigkeit verloren, sich stärker zu wölben; das Bild entsteht *hinter* der Netzhaut (Abb. 196d). Der Sehfehler kann aber auch angeboren sein, wenn



a) Normales Auge
Bild auf der Netzhaut

b) Kurzsichtiges Auge
angeborene Kurzsichtigkeit
Auge zu lang gebaut. Bild vor der Netzhaut
Abhilfe: Zerstreuungslinse

c) Kurzsichtiges Auge mit Brille
angeborene Kurzsichtigkeit

d) Weitsichtiges Auge
Altersichtigkeit
Linse zu flach, Bild hinter der Netzhaut
Abhilfe: Sammellinse

e) Weitsichtiges Auge mit Brille
Altersichtigkeit

Abb. 196 Strahlengang im Auge

nämlich der Augapfel zu kurz ist. Man spricht dann von *Übersichtigkeit.* Beim weitsichtigen wie beim übersichtigen Auge schafft man Abhilfe durch eine Brille, deren Gläser aus *Sammellinsen* bestehen (Abb. 196 e). Sie unterstützt die Augenlinse beim Sammeln der Lichtstrahlen.

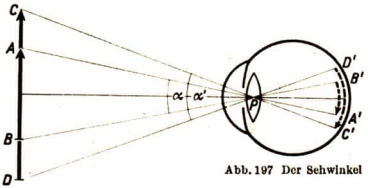


Abb. 197 Der Sehwinkel

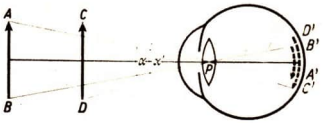


Abb. 198 Abhängigkeit der Größe des Sehwinkels von der Entfernung des Gegenstandes

3. Wer ist größer: ein Mensch oder ein Kirchturm? Der Sehwinkel. Wir können mit der Hand ein großes Wandbild verdecken. Wie stellt man es an? Kirchtürme erscheinen uns häufig kleiner als Bäume an der Landstraße. — Halte ein Geldstück dicht vor das Auge und strecke dann langsam den Arm! Beobachte, welche Fläche nacheinander an der Wand von dem Geldstück überdeckt wird! — Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß von einem größeren Gegenstand ein größeres Netzhautbild entsteht als von einem kleineren. Allein die Größe des Netzhautbildes ermöglicht es uns, die Größe eines Gegenstandes zu beurteilen, solange zu dessen Wahrnehmung uns *nur* unser Auge zur Verfügung steht. Doch können wir uns dabei täuschen. Erst Erfahrung und Übung lehren, die Größe des gesehenen Körpers richtig abzuschätzen. Uns erscheint zwar der in der Ferne auftauchende Kirchturm eines Städtchens niedriger als die Bäume an der Landstraße, auf der wir wandern, aber aus Erfahrung wissen wir, daß es nicht so sein kann.

Abb. 197 gibt uns Aufklärung über diese Sinnestäuschung unseres Auges. Der Pfeil AB ruft das Netzhautbild $A'B'$ hervor, der viel größere Pfeil CD das ebenfalls größere Netzhautbild $C'D'$. Nennen wir den Mittelpunkt der Augenlinse P, dann erblicken wir den Pfeil AB unter dem Winkel $APB = \alpha$ und den Pfeil CD unter dem Winkel $CPD = \alpha'$. Diese Winkel nennt man *Sehwinkel.*

Je größer der Körper, desto größer ist bei gleicher Entfernung der Sehwinkel.
Je größer der Sehwinkel, desto größer ist das Netzhautbild.

Die beiden Pfeile AB und CD in Abb. 198 sind gleich groß. Den weiter entfernten Pfeil AB erblicken wir unter dem kleineren Sehwinkel APB, den dem Auge näher stehenden Pfeil CD unter dem größeren Sehwinkel CPD. Dementsprechend entstehen die verschieden großen Netzhautbilder $A'B'$ und $C'D'$. Für die Größe des Sehwinkels ist also außer der *Größe* des Gegenstandes auch die *Entfernung* des Gegenstandes von unserem Auge maßgebend.

Der Sehwinkel wird um so kleiner, je weiter sich der Gegenstand vom Auge entfernt; er wird um so größer, je mehr sich der Körper dem Auge des Beschauers nähert.

Um die Größe eines Körpers richtig zu beurteilen, müssen wir die Entfernung kennen, die uns von ihm trennt; andererseits ist es leicht möglich, die Entfernung eines Körpers zu beurteilen, wenn wir seine Größe kennen. Sind jedoch Größe und Entfernung unbekannt, dann unterliegen wir leicht Täuschungen. Bei dunstiger Witterung erscheinen uns z. B. die Gegenstände (Häuser, Bäume am Waldesrand, entgegenkommende Fahrzeuge) ferner, weil wir ihre Umrisse, also ihre Größe, nicht genau zu erkennen vermögen. Andererseits *unterschätzen* wir bei klarer Luft die Entfernung oft recht erheblich.

Fragen:

1. Warum scheinen die Telegraphenstangen an der Eisenbahnlinie nach der Ferne zu immer kleiner zu werden?
2. Warum laufen die Schienen der Eisenbahn scheinbar in der Ferne zusammen?
3. Warum können wir einen Kirchturm, ohne den Kopf zu bewegen, nicht ganz sehen, wenn wir uns ihm zu weit genähert haben?
4. Warum erscheinen breite Flüsse vom Ufer aus schmaler, als sie in Wirklichkeit sind?
5. Warum erscheinen uns Sonne und Vollmond in nahezu gleicher Größe, obwohl die Sonne einen etwa 400mal so großen Durchmesser als der Mond hat?

4. Das körperliche Sehen. Schließe ein Auge und versuche nun eine Nähnadel einzufädeln! — Halte nur ein Auge geöffnet und greife von der Seite her nach verschieden weit entfernten Gegenständen! — Stelle in ungefähr 40 cm Entfernung einen Bleistift vor dich auf den Tisch! Schließe ein Auge und versuche, mit dem ausgestreckten Zeigefinger, von oben kommend, die Spitze des Bleistiftes zu treffen! — Wiederhole den Versuch, indem du beide Augen öffnest! Was geht hieraus hervor? — Lies mit einem Auge! — Betrachte ein Bild mit einem Auge! Visiere mit dem rechten Auge über einen in der ausgestreckten Hand gehaltenen Bleistift nach einem Gegenstand an der Wand, z. B. nach dem Lichtschalter! Schließe nun das rechte Auge und öffne das linke! Was bemerkst du? — Wiederhole den Versuch, indem du mit dem linken Auge beginnst!
Beim Lesen und beim Betrachten eines ebenen Bildes bemerken wir keinen Unterschied, wenn wir das rechte oder das linke Auge allein benutzen. Das rührt daher, daß *flächenhafte Gebilde* in beiden Augen vollkommen *übereinstimmende Netzhautbilder* hervorrufen. Betrachten wir dagegen einen Körper, so gleichen sich die beiden Netzhautbilder nicht. Abb. 199 zeigt uns die beiden verschiedenen Netzhautbilder eines von oben betrachteten Pyramidenstumpfes. Der Unterschied erklärt sich daraus, daß das linke Auge infolge seiner Stellung mehr von der linken Seite des Körpers erblickt, das rechte Auge aus dem gleichen Grunde mehr von der rechten Seite. Diese Verschiedenheit der Netzhautbilder und ihr Verschmelzen zu einem einzigen Scheindruck bewirken, daß wir die Körper räumlich und nicht flächenhaft sehen. Halten wir zwischen die beiden Bilder der Abb. 199 ein Blatt steifes Papier so, daß das linke Auge nur das linke und gleich-

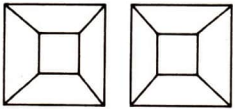


Abb. 199 Linkes und rechtes Netzhautbild eines Pyramidenstumpfes

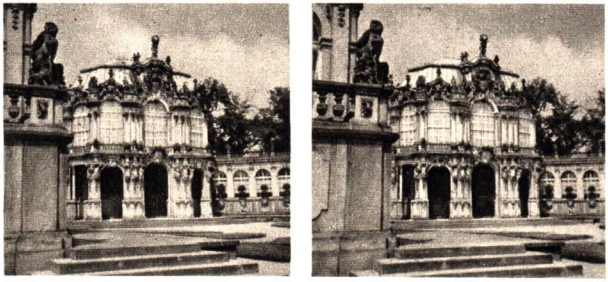


Abb. 200 Stereoaufnahme vom Dresdner Zwinger

zeitig das rechte Auge nur das rechte Bild sieht, so erhalten wir einen körperlichen Eindruck des Pyramidenstumpfes. Je weiter die Gegenstände von uns entfernt sind, um so weniger weichen die beiden Netzhautbilder voneinander ab. Daher kommt es, daß uns sehr entfernte Gegenstände, z. B. ferne Gebirgsketten oder der Mond (Mond*scheibe*!), nicht mehr körperlich, sondern flächenhaft erscheinen.

Im übrigen ist darauf hinzuweisen, daß beim körperlichen Sehen auch die Erfahrung eine wesentliche Rolle spielt. Sie ersetzt oftmals fehlende Sinneseindrücke, wie die richtige Beurteilung räumlicher Anordnungen durch Einäugige beweist.

An unseren Landschaftsaufnahmen, zumal im Gebirge, bedauern wir oft, daß sie so flächenhaft wirken, daß der Tiefeneindruck, den wir in der Wirklichkeit haben, nicht zur Geltung kommt. Hier kann man Abhilfe schaffen, indem man photographische Aufnahmen mit einer *Stereokamera* macht. Sie besteht im Grunde aus zwei vollkommen getrennten Kameras, mit denen gleichzeitig zwei Aufnahmen von demselben Gegenstand gemacht werden. Beide Aufnahmen sind etwas voneinander verschieden, genau wie die beiden Netzhautbilder in unseren Augen (vgl. Abb. 200). Die beiden Aufnahmen (Abb. 200) werden auf *einen* Karton aufgezogen, so daß sie nebeneinander stehen. Wir betrachten sie, damit die körperliche (plastische) Wirkung zur Geltung kommt, durch ein *Stereoskop*[1]). In Abb. 201 ist die Wirkungsweise eines Stereoskopes veranschaulicht. Eine Sammellinse ist in der Mitte durchschnitten. und die beiden Teile P_1 und P_2 sind in Augenabstand so aneinandergefügt, daß die Schnittflächen außen

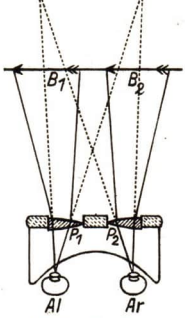


Abb. 201 Stereoskop

1) stereós (griech.) = körperlich

liegen. Betrachtet man nun durch die beiden Linsenstücke mit beiden Augen (Al = linkes Auge, Ar = rechtes Auge) die beiden Bilder B_1 und B_2, so verschmelzen sie infolge der Strahlenbrechung in den Linsenstücken zu einem einzigen Bilde B, das durch seine Körperlichkeit überrascht. Der Abstand zwischen Bildern und Linsen muß natürlich der Sehfähigkeit des jeweiligen Beobachters angepaßt werden, d.h. man muß die Stellung der Bilder so lange verändern, bis sie zu einem einzigen verschmelzen.
Verfolge den Strahlengang in Abb. 201 und erkläre die Bildentstehung!

Sollte ein Stereoskop nicht vorhanden sein, so kann man sich beim Betrachten eines Stereobildes in gleicher Weise behelfen, wie es für Abb. 199 angegeben wurde.

5. Die Dauer des Lichteindruckes. Bewege ein glimmendes Streichholz erst langsam, dann möglichst schnell im Kreise! Was beobachtest du? — Blicke einen Augenblick in die helle Lampe (nicht in die Sonne!) und schließe dann die Augen! — Wie erscheint ein schnell an der Schranke vorbeifahrender D-Zug? — Wie lange glaubst du den Blitz in der Dunkelheit zu sehen?

Abb. 202 Film mit Tonstreifen

Das ins Auge dringende Licht übt einen Reiz auf die Netzhaut aus. Dieser Reiz ist um so stärker, je heller die Lichtquelle ist. Mit dem Erlöschen des Lichtes verschwindet der Reiz nicht sofort, er wirkt noch eine Zeitlang nach. Diese Reizwirkung kommt uns als Lichtempfindung zum Bewußtsein. Man sagt, es entsteht ein *Nachbild*. Folgen nun die einzelnen Lichteindrücke sehr schnell aufeinander, so ist der Reiz des vorigen Eindruckes noch nicht abgeklungen, wenn der neue Reiz erfolgt. Daher vereinigen sich die Nachbilder mit den neuen Bildern zu einem einzigen Lichteindruck. Die Erscheinung der Nachbilder wird beim Vorführen von Kinofilmen[1]) ausgenutzt. Es werden von dem sich bewegenden Gegenstand 24 Aufnahmen in der Sekunde gemacht. Diese 24 Aufnahmen sind alle voneinander verschieden; jede folgende unterscheidet sich um so viel von der vorhergehenden, als der Bewegungsvorgang während der Zeit von $\frac{1}{24}$ Sekunde weiter vorgeschritten ist (Abb. 202). Führt man den Film nun mit derselben Geschwindigkeit, mit der er aufgenommen wurde, vor, dann hat der Zuschauer den Eindruck einer natürlichen Bewegung. Er entsteht, weil die Zeitspanne zwischen dem Aufleuchten zweier aufeinanderfolgender Filmbilder so bemessen ist, daß das Nachbild eines Bildes gerade verschwindet, wenn das nächste aufleuchtet. Läuft der Film bei der Wiedergabe mit größerer Ge-

1) kineo (griech.) = ich bewege

schwindigkeit als bei der Aufnahme, dann erscheinen alle Bewegungen überhastet und unnatürlich.

Will man von recht schnell verlaufenden Bewegungen, denen das Auge nicht zu folgen vermag, einen Eindruck vermitteln, dann werden von diesen Bewegungsvorgängen beispielsweise 240 Aufnahmen in der Sekunde gemacht. Läßt man diesen Film bei der Vorführung mit normaler Geschwindigkeit laufen, dann benötigt man zum Ablauf der in einer Sekunde aufgenommenen 240 Aufnahmen nunmehr 10 Sekunden. Der Bewegungsgang spielt sich also in 10 mal so langer Zeit ab, kann somit in seinen Einzelheiten besser verfolgt werden. Man spricht von *Zeitlupen-*, besser *Zeitdehnungsaufnahmen* (Beispiel: Sportschüler sollen einen vorbildlichen Sprung in allen Einzelheiten sehen, die Körperhaltung beim Diskuswerfen studieren usw.).

Umgekehrt kann man auch Bewegungsvorgänge, die sich über lange Zeiträume erstrecken und so langsam vor sich gehen, daß sie das Auge als solche nicht erkennt (z. B. das Aufblühen einer Rose), sichtbar machen, indem man etwa in jeder Minute eine Aufnahme macht. Führt man diesen Film nachher mit normaler Geschwindigkeit vor, dann spielt sich der Vorgang, der in der Natur 24 Minuten Zeit erfordert, in einer Sekunde ab. Man spricht in diesem Falle von *Zeitrafferaufnahmen*.

§ 31. Optische Geräte für Fern- und Nahbeobachtung

1. Die Lupe. Wollen wir auf der Wanderung beim Bestimmen einer Pflanze die Staubgefäße zählen oder einen kleinen Käfer genau betrachten, so benutzen wir eine *Lupe*[1]). Wir wissen, daß durch Sammellinsen von einem Gegenstand, der sich innerhalb der einfachen Brennweite befindet, ein scheinbares, vergrößertes, aufrechtes Bild auf der Gegenstandsseite entsteht (Abb. 203). Diese Eigenschaft der Sammellinse, vergrößerte Bilder zu erzeugen, machen wir uns zunutze, wenn es sich darum handelt, Einzelteile bei einem Körper zu erkennen. Man bringt eine Sammellinse zur bequemeren Handhabung in

1) lūpa (lat.) = Wolfsgeschwulst (Form einer Linse)

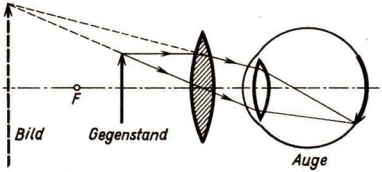


Abb. 203 Strahlengang an der Lupe

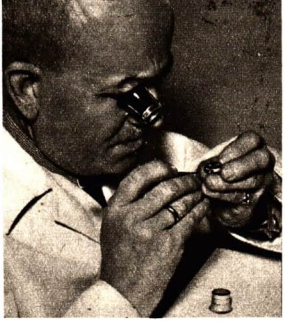


Abb. 204 Der Uhrmacher mit seiner Lupe

Abb. 205 Durchsicht durch ein Leseglas

eine Fassung und hat damit ein *Vergrößerungsglas* oder eine *Lupe*. Es gibt Lupen mit Fassungen zum Aufstellen. Abb. 204 zeigt die Benutzung einer Lupe durch den Uhrmacher bei der Arbeit. Welchen Vorteil gewähren solche Lupen? — Die Wirkung eines Leseglases gibt uns Abb. 205 wieder. Wer verwendet es? Die Vergrößerung einer Lupe ist um so stärker, je kleiner ihre Brennweite ist, d.h. je mehr die Sammellinse gewölbt (gekrümmt) ist.

2. Fernrohre. Breitet sich an schönen Aussichtspunkten das Landschaftsbild vor unseren Blicken aus, tauchen in der Ferne Bergspitzen auf, beobachten wir Wild am Waldesrand oder kreist ein Raubvogel hoch in den Lüften, dann reicht die Schärfe unserer Augen nicht aus, uns diese Eindrücke deutlich zu vermitteln. Ferngläser erschließen uns die entfernten Gegenstände. Wir betrachten das Himmelsfernrohr, das Erdfernrohr (Feldstecher) und das Opernglas.

Wir blicken durch die Fernrohre zu einem entfernten Gegenstand:

Im *Himmelsfernrohr* sehen wir den Gegenstand *umgekehrt, stark vergrößert*, im *Erdfernrohr (Feldstecher) aufrecht, stark vergrößert*, im *Opernglas aufrecht, wenig vergrößert.*

a) Das Himmelsfernrohr oder das Keplersche[1]) Fernrohr. Das Himmelsfernrohr (Abb. 206) enthält zwei Linsen (vgl. Abb. 207); das Objektiv ist eine Sammellinse von großer Brennweite und verhältnismäßig großem Durchmesser. Von dem entfernten Gegenstand fallen fast parallele Strahlen auf das Objektiv, das von ihm (dem Objekt) ein wirkliches, umgekehrtes, verkleinertes Bild B_1 liefert; dieses entsteht nahe dem Brennpunkt außerhalb der einfachen Brennweite des Objektivs. Die Stellung des dem Auge zugekehrten *Okulars*[2]), das ebenfalls eine Sammellinse ist, wird jeweils so verändert, daß sich das vom Objektiv entwor-

Abb. 206 Himmelsfernrohr (Reisefernrohr) aus dem volkseigenen Betrieb Carl Zeiß, Jena. Objektiv ⌀ = 6 cm, Objektiv-Brennweite = 0,84 m, Feldstecher 6 × 30 als Sucher

1) Johannes Kepler (1571—1630), deutscher Astronom, fand die Gesetze der Planetenbewegung

2) óculus (lat.) = das Auge

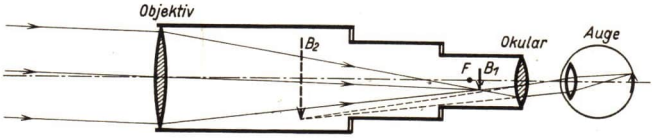


Abb. 207 Strahlengang im Keplerschen Fernrohr.
(Fernrohr und Auge sind nicht maßgetreu gezeichnet)

fene Bild innerhalb der einfachen Brennweite des Okulars befindet. Das Okular wirkt somit als Lupe. Wir erhalten dann ein scheinbares, vergrößertes Bild B_2. Die Brennpunkte von Objektiv und Okular fallen dabei fast zusammen. Verfolge den Strahlengang in Abb. 207! Für Himmelsbeobachtungen stört es weiter nicht, daß die entstehenden Bilder umgekehrt sind. Oft werden für Himmelsbeobachtungen auch Spiegelfernrohre verwendet, die statt des Objektivs einen Hohlspiegel zur Bilderzeugung benutzen.

b) Der Feldstecher. Erdfernrohr. Um das Himmelsfernrohr oder das astronomische Fernrohr auch für Beobachtungen auf der Erde ausnutzen zu können, muß das umgekehrte Bild, das das astronomische Rohr liefert, aufgerichtet werden. Das läßt sich einfach durch eine in den Strahlengang eingeschaltete Sammellinse, die *Umkehrlinse*, erreichen. Das Fernrohr wird dadurch allerdings sehr lang und somit für den handlichen Gebrauch ungeeignet. Ein wirklich brauchbares *Erdfernrohr* stellte erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die Firma Zeiß in Jena her (Abb. 208). Dieses Fernrohr ist der Bauart nach ein astronomisches Fernrohr. Die Aufrichtung der Bilder geschieht hier nicht durch eine Umkehrlinse, sondern durch zwei in den Strahlengang eingeschaltete Glasprismen, an deren Flächen der Lichtstrahl viermal zurückgeworfen wird. Dabei wird im ersten Prisma Oben und Unten vertauscht, d.h. das Bild erscheint aufrecht (Abb. 209). Bei der Spiegelung im zweiten Prisma erfolgt dann die Vertauschung von Rechts und Links, so daß der Gegenstand in seiner natürlichen Stellung

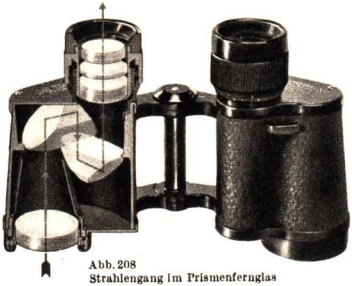


Abb. 208
Strahlengang im Prismenfernglas

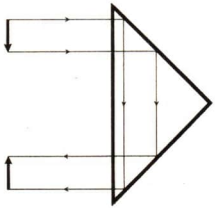


Abb. 209 Aufrichtung
des Bildes durch ein Prisma

gesehen wird. Da das Glas kurz und leicht ist, wird es als Doppelfernrohr zur gleichzeitigen Benutzung für beide Augen gebaut. Die Vergrößerung eines handelsüblichen Prismenglases ist 6- bis 8fach.

c) Das Opernglas. Im Jahre 1608 erfand der holländische Brillenmacher *Franz Lippershey* in Middelburg ein Fernrohr, das den Namen *holländisches Fernrohr* führt. Auch *Galileisches* Fernrohr wird es genannt, da es von *Galilei*[1]) nachgeschaffen und von ihm zu seinen Beobachtungen verwendet wurde. Es besteht aus einer Sammellinse (Objektiv) und einer Zerstreuungslinse (Okular) und liefert ein aufrechtes Bild. Die Vergrößerung ist beim holländischen Fernrohr nicht sehr erheblich. Seine Vorzüge sind geringe Länge des Rohres und die große Helligkeit der Bilder, die eine Verwendung des Glases auch in der Dämmerung gestattet. Das Rohr wird auch als Doppelrohr für beide Augen hergestellt. Es ist seiner Handlichkeit wegen als *Theaterglas* sehr beliebt.

Fragen und Aufgaben:

1. Baue aus zwei Brillengläsern ein holländisches Fernrohr! Was für Gläser mußt du verwenden?
2. Warum muß man das Okular der Ferngläser verstellen können?
3. Benutze beim Opernglas das Objektiv als Okular! Was siehst du?
4. Stelle aus einem Leseglas und einer Lupe oder einem passenden Brillenglas ein astronomisches Fernrohr zusammen und betrachte dadurch den Mond!

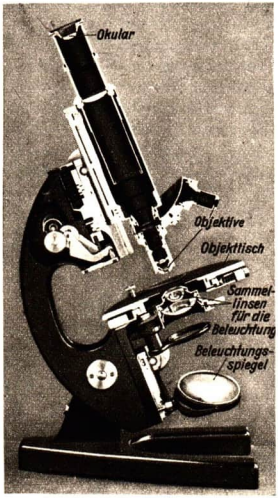


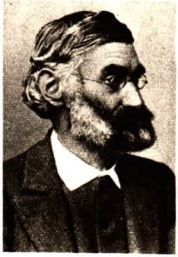
Abb. 210 Schnitt durch ein Mikroskop

3. Das Mikroskop. Zur Erforschung des Zellaufbaues des Pflanzen-, Tier- oder Menschenkörpers, zur Untersuchung der Kleinstlebewesen (Bakterien) reicht die Vergrößerungsfähigkeit einer Lupe nicht aus. Die für diesen Zweck erforderlichen Vergrößerungen erzielt man durch ein *Mikroskop*[2]) (Abb. 210). Ein schweres Stativ trägt ein durch Zahnrad- und Schraubentrieb zu bewegendes weites Rohr, den *Tubus*. In seine untere Fassung werden die Objektive eingeschraubt. Das Objektiv eines Mikroskopes ist eine Sammellinse von sehr geringer Brennweite

1) Galileo *Galilei* (1564—1642), geboren in Pisa, Professor in Pisa und in Padua, gilt als Begründer der wissenschaftlichen Physik und machte eine Reihe wichtiger astronomischer Entdeckungen. Er trat für den Gedanken der Bewegung der Erde um die Sonne ein und geriet darüber in einen schweren Konflikt mit der katholischen Kirche. Er wurde vor ein Inquisitionsgericht gestellt und unter Androhung schwerer Foltern gezwungen, seine Lehre zu widerrufen.

2) mikros (griech.) = klein
skopein (griech.) = schauen

(nur wenige Millimeter). Bei einem modernen Mikroskop besteht das Objektiv aus mehreren Linsen. (Vgl. die Objektive beim photographischen Apparat!) In die obere Tubusöffnung wird das Okular eingesetzt. Unter dem Objektiv, senkrecht zur Tubusachse stehend, sehen wir einen Tisch, den *Objekttisch*, auf den die zu untersuchenden Gegenstände gebracht werden. Von den Körpern fertigt man Schnitte an, die $\frac{1}{100}$ mm oder weniger dick sind. Diese Schnitte werden auf ein Glasplättchen, den *Objektträger*, gelegt und mit einem dünnen Gläschen, dem *Deckglas*, bedeckt. Den so vorbereiteten Körper nennt man *Präparat*. Mikroskopische Präparate werden nicht im auffallenden, sondern im durchscheinenden Licht betrachtet. Die Beleuchtung des Präparates geschieht von unten her mit einem Spiegel, den man so stellt, daß er das Licht nach oben durch eine kreisförmige Öffnung des Objekttisches und durch das auf ihm liegende Präparat hindurch in das Objektiv des Mikroskopes wirft. Nun wird der Tubus so weit gesenkt, daß sich das Präparat unmittelbar unter dem Brennpunkt des Objektives befindet.



ERNST ABBE (1840–1905)

Das Objektiv erzeugt vom Gegenstand ein wirkliches, umgekehrtes, vergrößertes Bild, das man durch das Okular als Lupe betrachtet. Erkläre den Strahlengang in Abb. 211! Zeige das vom Objektiv erzeugte Bild! Es liegt innerhalb der einfachen Brennweite des Okulars, so daß das Okular ein scheinbares Bild entwirft.

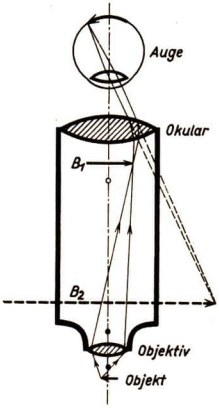


Abb. 211
Strahlengang im Mikroskop (Mikroskop und Auge sind nicht maßgetreu gezeichnet)

Eine mehr als 2000fache Vergrößerung ist auch mit besten Mikroskopen nicht zu erzielen. Punkte, die weniger als $\frac{1}{4000}$ mm auseinander liegen, kann man mit dem Mikroskop nicht mehr getrennt wahrnehmen. Neuerdings ist es mit den auf elektrischer Grundlage arbeitenden *Elektronenmikroskopen* gelungen, die Vergrößerung gegenüber den Lichtmikroskopen fast auf das 100fache zu steigern.

Bis in die zweite Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden Mikroskope rein handwerksmäßig hergestellt. Erst der Jenaer Physiker *Ernst Abbe* stellte ihren Bau auf wissenschaftliche Grundlage. Ihm verdanken die Zeiß-Werke in Jena, heute einer der bedeutungsvollsten volkseigenen Betriebe, ihren Weltruhm.

§ 32. Das Sonnenlicht und die Farben

Zwar nehmen nur die Augen das Licht wahr, aufgenommen aber wird es von der gesamten Körperoberfläche. Dabei ist es bei längerer Einwirkung imstande, Veränderungen in der Haut hervorzurufen, die sich auf den ganzen Körper günstig oder ungünstig auswirken können. Bei unvorsichtigem Verhalten kann es sogar zu einer Schädigung der Haut kommen (Sonnenbrand). Man darf daraus aber nicht folgern, daß Sonnenlicht schädlich sei. Im Gegenteil ist Sonnenbestrahlung, mit Vorsicht angewendet, für den Menschen überaus gesundheitsfördernd, besonders wenn sie in Verbindung mit Bewegung in frischer Luft erfolgt. Der Arzt verwendet auch *künstliches Licht* zur Heilung. Damit wir die schädigende und heilende Wirkung des Lichtes recht verstehen, betrachten wir die Zusammensetzung des Sonnenlichtes.

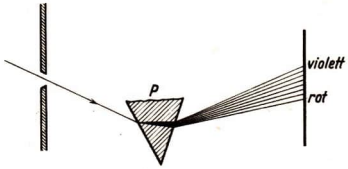


Abb. 212 Zerlegung des weißen Lichtes. Die Eingangslinse ist der Einfachheit halber fortgelassen.

1. Das Spektrum. Jeder hat schon einmal einen Regenbogen am Himmel gesehen. Die gleiche Erscheinung kann man beim Rasensprengen im Sonnenlicht beobachten. Im Tautropfen kann man sie wahrnehmen. Versuche helfen uns, sie zu erklären. Ähnlich wie bei dem auf S. 112 beschriebenen Versuch, stellen wir im mäßig verdunkelten Raum unsere Papptafel mit dem waagerechten schmalen Spalt senkrecht auf den Tisch. Wir lassen Sonnenstrahlen durch den Spalt fallen, den wir mittels einer Sammellinse auf einen im Strahlengang befindlichen weißen Schirm abbilden: Wir erblicken ein weißes Bild des Spaltes. Bringen wir jetzt in den Strahlengang ein dreiseitiges *Glasprisma*, so werden die Strahlen nicht nur nach dem Brechungsgesetz (S. 120) aus ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt oder *gebrochen*, sondern statt des weißen Spaltbildes erscheint auf dem Schirm ein buntes Band von erheblich größerer Ausdehnung mit Farbübergängen von Rot bis Violett (Abb. 212). Ein solches Farbenband heißt **Spektrum**[1]). Die in ihm auftretenden Farben nennt man *Spektralfarben*. Da die Spektralfarben stufenlos ineinander übergehen, läßt sich für sie eine bestimmte Anzahl nicht angeben. Wir unterscheiden als auffallendste Farben: *Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett.*

Wir stellen hinter das Prisma in den farbigen Strahlengang eine größere Sammellinse. Das Spektrum verschwindet, an seiner Stelle erscheint ein weißes Spaltbild. Es ist also gelungen, die Spektralfarben wieder zu Weiß zu vereinigen. Aus diesen Versuchen folgt:

> **Das weiße Sonnenlicht ist kein Licht von einheitlicher Farbe. Es ist eine Mischung sämtlicher Spektralfarben. Diese unterscheiden sich durch ihre Brechbarkeit; das rote Licht wird am wenigsten, das violette am stärksten gebrochen. Die Vereinigung aller Spektralfarben ergibt Weiß.**

1) spéctrum (lat.) = Bild

Wir fangen das Spektrum des Sonnenlichtes auf einem Schirm auf, in dem wir einen schmalen kurzen Spalt als Öffnung anbringen. Durch ihn lassen wir z. B. die gelben Strahlen hindurchtreten. Diese gelben Strahlen lassen wir durch ein zweites Prisma hindurchgehen. Sie werden abermals abgelenkt, jedoch nicht weiter zerlegt. Auf einem dahintergestellten zweiten Schirm erscheint wieder ein gelbes Spaltbild. Gelb ist also eine *einheitliche Farbe, die nicht aus anderen Farben zusammengesetzt ist.* Denselben Versuch können wir mit allen übrigen Farben des Spektrums mit gleichem Erfolg wiederholen.

Die Spektralfarben sind einheitliche Farben, sog. Grundfarben. Sie sind nicht in weitere Farben zerlegbar.

Fragen und Aufgaben:

1. Bei den Versuchen verwendeten wir ein Prisma. Was tritt an die Stelle des Prismas beim Regenbogen, beim Rasensprengen?
2. Warum sieht man das Farbenspiel des Tautropfens nicht in jeder Stellung? Bezeichne Stellen des Prismas (Abb. 212), an denen du beim Durchsehen das Spektrum nicht erblickst!
3. Warum verwendet man gern Glasgeräte mit Kristallschliff zum Schmuck einer Festtafel?

2. Mischfarben - Ergänzungsfarben. Wir stellen nochmals hinter das Prisma eine Sammellinse in den farbigen Strahlengang, blenden aber die roten Strahlen durch einen vor die Linse gehaltenen schmalen weißen Papierstreifen ab (Abb. 213). Auf dem Schirm erblicken wir einen grünlichen Farbfleck. Es handelt sich dabei jedoch nicht um das spektrale Grün, sondern um ein Blaugrün, das als **Mischfarbe** aus allen Spektralfarben außer Rot entsteht. Lassen wir nun auch die roten Strahlen durch die Sammellinse gehen, so erhalten wir wieder einen weißen Fleck. *Rot und Grün ergeben zusammen Weiß.* Blendet man andere Farben aus dem Spektrum heraus, so entstehen andere Mischfarben. Sie werden stets durch die abgeblendeten Farben, die auf dem weißen Papierstreifen sichtbar sind, zu Weiß ergänzt. Die bekanntesten Farbenpaare dieser Art sind: Rot—Grün, Orange—Blau, Gelb—Violett. Diese Farben nennt man **Ergänzungsfarben.** Wir erkennen:

Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und Violett sind Ergänzungsfarben. Ergänzungsfarben ergeben zusammen Weiß.

Gib Beispiele hierfür an! Worauf ist bei der Farbenzusammenstellung von Handarbeiten und von Kleidungsstücken zu achten?

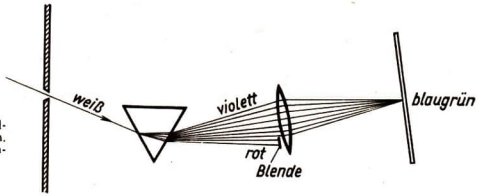


Abb. 213
Die Vereinigung aller Spektralfarben, außer Rot, ergibt Grün. Die Eingangslinse ist der Einfachheit halber fortgelassen.

3. Körperfarben. Warum kauft die Hausfrau farbige Spinnstoffe nicht gern am Abend? — Alle Körper zeigen ihre natürliche Farbe nur im weißen Licht. Wenn man durch eine grüne Sonnenschutzbrille blickt, erscheinen die meisten Körperfarben verändert. Von der Sonne gelangt weißes Licht bis an die Vorderseite des Glases. In unser Auge tritt aber grünes Licht ein. Die übrigen Farben wurden beim Durchdringen des grünen Glases von diesem zurückgehalten.
Ähnlich ist es mit dem grünen Laubblatt, das von dem auffallenden weißen Sonnenlicht nur das grüne Licht zurückwirft.

Farbige Körper verschlucken (absorbieren[1])) einen Teil des auf sie fallenden weißen Lichtes. Sie erscheinen in der Farbe der Lichtart, die sie hindurchtreten lassen bzw. zurückwerfen.

Wir lassen ein Spektrum auf einen Schirm von geeigneter roter Farbe fallen. Alle Teile des Spektrums, außer Rot, erscheinen schwarz. — Betrachtet man farbige Stoffproben bei einfarbigem, z. B. rotem Licht, so kann man sich in der Beurteilung der Farbe leicht täuschen. Grüner Stoff verschluckt alles Licht, außer dem grünen; trifft nur rotes auf ihn, so kann er überhaupt kein Licht zurückgeben: er erscheint schwarz.

Körper, die kein Licht zurückstrahlen, erscheinen uns schwarz.

Durch künstliches Licht wird der Farbton geändert; denn Tageslicht enthält im Verhältnis zu den übrigen Lichtarten mehr blaues Licht als das künstliche Licht. Die sog. *Tageslichtlampen* mischen dem künstlichen Licht durch schwachblaues Glas etwas blaues Licht bei, so daß das ausgestrahlte Licht dem Tageslicht in seiner Zusammensetzung nahekommt.

Fragen und Aufgaben:

1. Auf die Frage: „Warum ist das Kleid grün?" erhält man fast immer die Antwort: „Es ist grün gefärbt." Sie befriedigt nicht, weil sie die physikalischen Zusammenhänge nicht erkennen läßt. Gib eine bessere Antwort!
2. Warum sind die Fensterscheiben farblos?
3. Was fällt auf, wenn man farbige Gegenstände durch farbige Glasscheiben betrachtet? Erkläre die eintretende Farbänderung!
4. Man beobachtet eine starke Verdunkelung des Gesichtsfeldes, wenn man eine rote und eine grüne Glasscheibe hintereinanderhält und hindurchschaut. Erkläre die Erscheinung!

§ 33. Strahlen als Heilmittel

1. Infrarote und ultraviolette Strahlen. a) Unsichtbares Licht. Jenseits des roten und violetten Endes des Spektrums vermag unser Auge nichts zu erkennen. Dorthin scheinen also keine Strahlen zu gelangen. Untersuchen wir das Sonnenspektrum aber mit einem sehr empfindlichen Thermometer mit berußter Thermometerkugel (warum? — vgl. S. 21!), so zeigt es im Rotteil die höchste Temperatur an. Beim Verschieben des Thermometers auf das violette Ende des Spektrums hin sinkt die Temperatur schnell ab. Doch endet die Wärmewirkung nicht an der sichtbaren Grenze von Rot, sondern läßt sich noch ein

1) absorbere (lat.) = aufsaugen

Stück über Rot hinaus in den dunklen Raum hinein verfolgen. Es gelangen also auch noch Strahlen der Sonne bis dorthin. Diese Strahlen sind zwar für unser Auge nicht sichtbar, durch ihre *Wärmewirkung* aber nachzuweisen. Man nennt sie, weil sie jenseits vom roten Teil des Spektrums liegen, *infrarote*[1]) oder auch *ultrarote*[1]) *Strahlen*. Benutzt man statt des Glasprismas ein solches aus Steinsalz, so wird der ultrarote Teil des Spektrums erheblich umfangreicher, denn Steinsalz ist für ultrarote Strahlen durchlässiger als Glas.

Jenseits vom Violett zeigt unser Thermometer keine Wärmewirkung mehr an. Bringen wir aber einen lichtempfindlichen Filmstreifen außerhalb des violetten Teiles unseres Spektrums auf den Schirm, so tritt eine Schwärzung der lichtempfindlichen Schicht ein. Es müssen also auch in diesen Raum noch Strahlen gelangen, die zwar für unser Auge nicht sichtbar, durch ihre *chemische Wirkung* aber nachweisbar sind. Man nennt sie *ultraviolette Strahlen*. Sie rufen ebenfalls eine Wärmewirkung hervor, die aber nur bei Verwendung weit empfindlicherer Meßgeräte, als es gewöhnliche Thermometer sind, wahrnehmbar wird.

Wir sehen nur einen Teil der von der Sonne ausgesandten Strahlen, nämlich diejenigen, die im Sonnenspektrum von Rot bis Violett liegen. Ultraviolette und ultrarote Strahlen werden durch unser Auge nicht wahrgenommen.

b) Die künstliche Höhensonne. Die *ultravioletten Strahlen* besitzen außer der chemischen eine starke *biologische Wirksamkeit*. Die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes rufen eine belebende, heilende und bräunende Wirkung hervor. Um das in unseren Breiten oft fehlende Sonnenlicht zu ersetzen, hat man die *künstliche Höhensonne* mit ihrer starken ultravioletten Strahlung geschaffen.

In einem Quarzröhrchen befindet sich Quecksilber, das durch hindurchgeschickten elektrischen Strom zum Teil verdampft. Dieser Dampf leuchtet dann in bläulichem Licht und ist außerordentlich reich an ultravioletter Strahlung (Abb. 214).

Glas und die atmosphärische Luft verschlucken die ultravioletten Strahlen größtenteils. Deshalb ist im Flachlande der Gehalt des Sonnenlichtes an ultravioletten Strahlen geringer als im Hochgebirge. In der künstlichen Höhensonne ist dem Arzt ein wichtiges medizinisches Hilfs- und Heilmittel in die Hand gegeben, das ihn vom Wetter, von der Jahreszeit und der Höhenlage unabhängig macht. Die ultravioletten Strahlen dringen in die Haut ein und rufen einen vermehrten Zustrom von Blut in die äußere

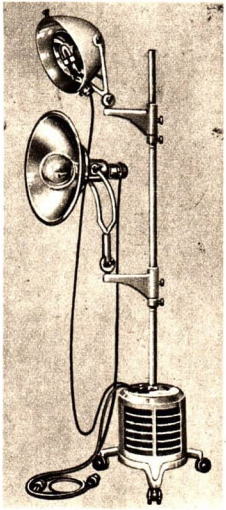


Abb. 214 Höhensonne (oben) und Solluxlampe (unten)

1) infra (lat.) = unterhalb; ultra (lat.) = jenseits

Hautschicht hervor. Er macht sich durch Rötung bemerkbar, die später in Bräunung übergeht. Dem Menschen wird nicht nur ein gesundes Aussehen verliehen; die Abwehrkräfte des Blutes werden gesteigert, und dadurch wird die Anfälligkeit gegen Krankheiten herabgesetzt. Außer diesen vorbeugenden Wirkungen üben die ultravioletten Strahlen auch eine heilende Wirkung aus. Sie wandeln das in der Haut befindliche Ergosterin, eine Vorstufe des Vitamins D, chemisch in das Vitamin D um, in dem wir das wichtigste Heilmittel gegen *Rachitis* besitzen.

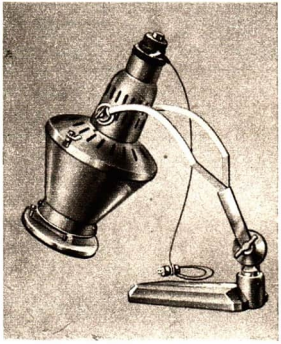


Abb. 215 Solluxlampe

c) Die Solluxlampe. Die Wärmewirkung der Sonnenstrahlen beruht im wesentlichen auf den gelben, roten und ultraroten Strahlen. Diese Wärmestrahlen vermögen noch tiefer in die Haut einzudringen als die ultravioletten Strahlen. Sie rufen in den tiefer gelegenen Hautschichten einen vermehrten Zustrom von Blut hervor, und darauf beruht ihre heilende Wirkung.

Abb. 216 Kleinstrahler (Solluxlampe) bei Behandlung einer Mittelohrvereiterung

Wärmflaschen, Umschläge und Heizkissen übertragen die Wärme durch Berührung des Wärmespenders mit der Haut auf den Körper. Diese Berührung ist manchmal lästig. In solchen Fällen bedient man sich zweckmäßig eines *strahlenden Wärmespenders*, der in keiner Weise mit der Haut in Berührung kommt und dessen Wärmestrahlen viel tiefer in die Haut eindringen, vom Kranken angenehmer empfunden und in größerer Menge vertragen werden. Ein solcher Wärmespender in praktischer Form ist die *Solluxlampe* (Abb. 215). Sie enthält eine große elektrische Glühbirne von besonders starker Wärmewirkung, die von einem die Strahlen vereinigenden Trichterreflektor umgeben ist. Sollen größere Flächen bestrahlt werden, so werden ihre Strahlen durch einen großen Hohlspiegel zurückgeworfen. Bei schmerzhaften Entzündungen (Wurzelhaut-, Kiefer- und Stirnhöhlen-, Hals- und Mittelohrentzündungen) (Abb. 216) tritt schon nach kurzer Bestrahlungsdauer wesentliche Schmerzlinderung ein.

V. *Magnetische und elektrische Erscheinungen*

§ 34. Wir finden uns auf der Wanderung zurecht - Vom Magnetismus

Wer auf einer Wanderung die Straße oder den Weg verläßt und quer durch den Wald streifen will, darf nicht die Richtung verlieren; sonst „verläuft" er sich, und nur auf Umwegen erreicht er sein Wanderziel.

Im **Wanderkompaß**[1]) (Abb. 217), dessen „Nadel" sich immer in die Nord-Süd-Richtung einstellt, findet der Wanderer einen treuen Helfer.

Abb. 217 Wanderkompaß

1. Der Kompaß - Eigenschaften des Magneten.[2]) In einer Schneiderwerkstatt, beim Tapezierer, beim Schuhmacher kann man sehen, wie die Handwerker große *Magnete* verwenden, um zu Boden gefallene Nähnadeln, stählerne Stecknadeln, eiserne Nägel aufzuheben. Sie benutzen dazu Magnete, die man wegen ihrer Form als *Hufeisenmagnete* (Abb. 218) bezeichnet. Doch gibt es auch Magnete in Stabform, sog. *Stabmagnete* (Abb. 219).

Untersuche, wie ein Magnet auf eiserne Nägel, Schreibfedern, Stricknadeln, Schlüssel aus Eisen und aus Aluminium, Löffel aus Leichtmetall, Kupfermünzen, ein Streichholz, ein Stückchen Papier oder Pappe, einen Glasscherben, einen Radiergummi und andere Körper einwirkt! Was kann man feststellen?

Der Magnet selbst besteht aus Stahl. Wir überzeugen uns davon, indem wir versuchen, ihn mit der Feile zu ritzen.

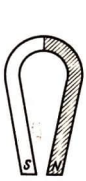


Abb. 218 Hufeisenmagnet

Abb. 219 Stabmagnet

Ein Magnet ist ein stählerner Körper, meist von Hufeisen- oder von Stabform, der imstande ist, andere Eisenkörper anzuziehen. Diese Eigenschaft eines Magneten nennt man Magnetismus.

Wir haben schon früher einmal eine Kraftwirkung kennengelernt, die man als Anziehungskraft bezeich-

1) compássus (neulat.) = Begleiter
2) magnétis lithos (griech.) = Stein aus Magnesia

net, die Schwerkraft, die alle Körper zu Boden zieht. Sie darf nicht mit dem Magnetismus verwechselt werden.

Schwerkraft und Magnetismus sind zwei völlig verschiedene Erscheinungen. Sie haben nichts miteinander zu tun.

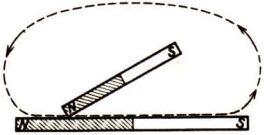


Abb. 220 Magnetisierung eines Stahlstabes (Endzustand)

Abb. 221 Magnetnadel

Natürliche Magnete waren bereits vor fast 2000 Jahren den Griechen bekannt. Man entdeckte damals, daß ein bestimmtes Eisenerz die Fähigkeit besitzt, Eisenstücke anzuziehen und festzuhalten. Dieses Eisenerz, das man in der Nähe der Stadt *Magnesia* in Kleinasien fand, wurde nach dem Fundort *Magneteisenstein* genannt.

Mit Hilfe eines Magneten können wir jedes beliebige Eisenstück magnetisch machen, indem wir das eine Ende des Magneten wiederholt in derselben Richtung über das Eisenstück hinwegführen (Abb. 220). Es kommt dabei keineswegs auf das Berühren oder Bestreichen des Eisenstückes mit dem Magneten an. Dies kann z. B. durch ein dazwischengelegtes Papierblatt verhütet werden. Entscheidend ist vielmehr, daß das Eisenstück immer wieder in derselben Richtung der Einwirkung des Magneten ausgesetzt wird. Die Ursachen für diese eigenartige Wirkung werden wir in Abschnitt 2 erfahren.

Stahl (z. B. eine Stricknadel) wird zum *Dauermagneten*, weiches Eisen (Eisendraht, Nagel) verliert den *Magnetismus* bald wieder. – Mache eine Stricknadel magnetisch! Wälze sie in ihrer ganzen Länge in Eisenfeilspänen! Hebe sie hoch und beschreibe deine Beobachtungen! Wir stellen fest, daß an den Enden der Stricknadel die meisten Eisenfeilspäne sitzen. Diese Stellen nennt man die **Pole**[1]) des Magneten. Dort sind die magnetischen Wirkungen am stärksten.

Jeder Magnet besitzt zwei Pole. Sie liegen an den Enden des Magneten.

In unseren Taschenkompaß ist eine *Magnetnadel* eingebaut. Sie ist ein leichter Stabmagnet aus Stahl, der so aufgehängt ist, daß er sich in der waagerechten Ebene leicht drehen läßt (Abb. 221). Hänge eine magnetisierte Stricknadel frei beweglich an einem Faden auf, so daß sie sich wie eine Magnetnadel drehen kann! Beobachte, in welcher Richtung die Nadel zur Ruhe kommt! Kennzeichne ein Ende der Stricknadel mit einem Stückchen Papier!

Wiederhole mehrere Male den Versuch! Wir stellen fest:

Jede frei bewegliche Magnetnadel stellt sich stets in die Nord-Süd-Richtung ein. Dabei zeigt ein bestimmter Pol immer nach Norden, der andere immer nach Süden. Der nach Norden zeigende Pol heißt Nordpol, der entgegengesetzte Südpol.

1) pōlos (griech.) = Drehpunkt

Nähere dem Nordpol deines Magneten einen eisernen Nagel! Der Nordpol zieht den Nagel an. Was geschieht, wenn man diesen Nagel dem Südpol nähert?

Unmagnetisches Eisen wird von jedem Magnetpol angezogen.

Welche Beobachtungen macht man, wenn man umgekehrt die Magnetnadel dem unmagnetischen eisernen Nagel nähert?

Die Anziehung zwischen einem Magneten und unmagnetischem Eisen ist wechselseitig.

Wir trennen unsere magnetische Stricknadel durch ein Stück Papier, eine Glasplatte oder ein dünnes Brettchen vom Nagel und wiederholen den Versuch mit einem Tuch und einem Messingblech! Die magnetische Wirkung wird dadurch nicht beeinträchtigt. Wählen wir als trennenden Körper ein *Eisenblech*, so hebt dieses die magnetischen Wirkungen fast vollständig auf (Schirmwirkung).

Ein Magnet wirkt nur durch solche Stoffe hindurch, die von ihm nicht angezogen werden. Eisen schirmt die magnetische Wirkung ab.

Wir legen einen Wanderkompaß auf den Tisch. Die blaue Nadelhälfte zeigt nach Norden. Nähere dem Nordpol der Nadel den Nordpol der magnetischen Stricknadel, dann den Südpol!

Gleichnamige Pole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

2. Die zerbrochene Stricknadel - Wie kommt die Magnetisierung zustande? Wir tauchen die beiden Enden einer magnetischen Stricknadel in Eisenfeilspäne und kneifen mit einer Zange die Nadel in der Mitte durch. Legen wir die Hälften wieder in Eisenfeilspäne, so können wir feststellen, daß an den Enden wiederum Büschel von Eisenfeilspänen hängen. Untersucht man mit einer Kompaßnadel die Hälfte, die den Nordpol der unzerbrochenen Stricknadel enthält, so findet man, daß der an der Bruchstelle neu entstandene Pol ein Südpol ist. Stellt man den Versuch mit der anderen Hälfte an, so erweist sich der dort neu entstandene Pol als ein Nordpol. Wir setzen das Zerbrechen in einzelne Teilstücke mehrere Male fort. *Es entstehen stets neue Teilmagnete mit je einem Nord- und Südpol* (Abb. 222).

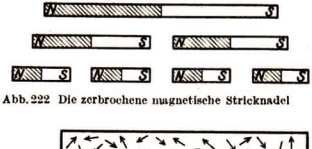
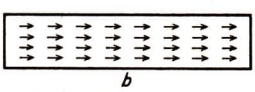


Abb. 222 Die zerbrochene magnetische Stricknadel

Wir wissen, daß man bei der Zerkleinerung eines Körpers schließlich zu kleinsten Teilchen, den Molekülen gelangt, von denen jedes Stoffstück unzählig viele enthält (§ 10).

Wir denken uns eine Stricknadel in Moleküle zerlegt. Jedes einzelne Eisenmolekül der Stricknadel stellt dann nach dem Vorangehenden einen kleinen Magneten für sich dar. In dem unmagnetisierten Eisen liegen diese sog. *Molekularmagnete* willkürlich durcheinander (Abb. 223a). Daher tritt bei



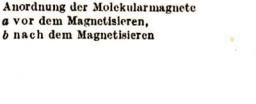


Abb. 223 Anordnung der Molekularmagnete
a vor dem Magnetisieren,
b nach dem Magnetisieren

diesem nach außen hin keine magnetische Wirkung auf. *Magnetisiert* man das unmagnetische Eisen, dann ordnen sich die Moleküle so an, daß alle *Nordpole* nach der einen, alle *Südpole* nach der entgegengesetzten Richtung weisen, wie es Abb. 223 b schematisch zeigt.

Ein Modellversuch vermittelt uns den Einblick in diese Vorgänge. Wir füllen ein Reagenzglas lose mit Eisenfeilspänen und verschließen es mit einem Stopfen. Wenn wir an dem waagerecht gehaltenen Reagenzglas einen Magnetpol entlangführen, so wird die Eisenfeile magnetisch. Durch kräftiges Schütteln geht der Magnetismus wieder verloren. Gib die Erklärung dafür! Vergleiche die Eisenfeilspänchen mit Molekularmagneten! Wir verstehen nun auch, warum in der Mitte der Stricknadel keine Eisenfeilspäne hängenbleiben. Hier ziehen sich die ungleichartigen Pole an. Die Kräfte heben sich dadurch auf, und eine magnetische Wirkung kann deshalb nach außen nicht in Erscheinung treten. An den Enden der Stricknadel aber liegen die Pole frei; sie können so mit ihrer gesamten magnetischen Kraft nach außen wirken.

3. Vom magnetischen Feld. Wir bedecken einen Stabmagneten oder auch die magnetische Stricknadel mit einem Blatt Papier und streuen auf dieses Blatt Eisenfeilspäne. Bei vorsichtigem Klopfen ordnen sich die Eisenfeilspäne zu regelmäßigen Linien, wie Abb. 224 zeigt. Wir wiederholen den Versuch mit einem Hufeisenmagneten. Die Eisenfeilspäne ordnen sich, wie es Abb. 225 veranschaulicht. Eine kleine Magnetnadel, die wir über die Eisenfeilspäne stellen, richtet sich genau nach der Richtung dieser Linien, die sich von Pol zu Pol spannen, aus. Da, wo die Linien zusammenlaufen, wirkt der Magnet am stärksten. Man nennt diese Linien **magnetische Feldlinien.** Der *Wirkungsbereich* eines Magneten, in dem die Feldlinien auftreten, heißt sein **magnetisches Feld.** Außerhalb des magnetischen Feldes eines Magneten ist keine magnetische Wirkung festzustellen.

Die Feldlinienbilder veranschaulichen durch ihre Dichte die Stärke eines Magneten; die Richtung der Feldlinien zeigt, in welcher Richtung die Kraft des Magneten wirkt.

Handwerker benutzen manchmal magnetische Schraubenzieher. Welche Vorteile bieten diese magnetischen Werkzeuge? Warum besitzt der Augenarzt unter seinen Instrumenten einen starken Magneten?

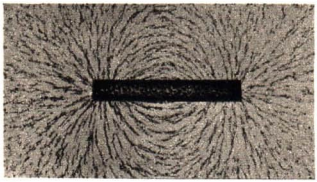


Abb. 224
Die magnetischen Feldlinien eines Stabmagneten

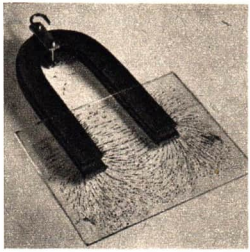


Abb. 225 Die magnetischen Feldlinien eines Hufeisenmagneten

4. Stellung der Kompaßnadel - Unsere Erde ist ein Magnet. Die Magnetnadel eines Wanderkompasses zeigt immer in eine bestimmte Richtung, die Nord-Süd-Richtung. Auf die Magnetnadel wird eine Kraft ausgeübt, die von der Erde ausgeht. Die Erde ist ein großer Magnet, der von einem gewaltigen Magnetfeld umgeben ist. Beschreibe Abb. 226! Die magnetischen Feldlinien der Erde erstrecken sich zwischen den beiden Polen.

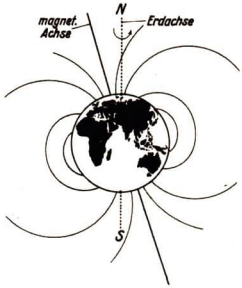


Abb. 226 Die Erde, ein Magnet

Da sich die freie Kompaßnadel auf der Erde in die Nord-Süd-Richtung einstellt, so müssen auch die Feldlinien des Erdmagnetismus in dieser Richtung verlaufen. Wir haben also die beiden magnetischen Pole der Erde im Norden und im Süden zu suchen. Sie fallen jedoch nicht mit den geographischen Polen zusammen. Wir bezeichneten die nach dem Nordpol der Erde zeigende Spitze der Kompaßnadel als den Nordpol. Daher muß auf der *nördlichen Halbkugel der Erde der magnetische Südpol liegen.* Erkläre das!

Die Magnetnadel zeigt stets nach den *magnetischen Polen* der Erdkugel und nicht nach den geographischen Polen.

Der magnetische Südpol der Erde liegt im nördlichen Nordamerika auf der Halbinsel Boothia Felix, westlich von Grönland.

Somit ergibt sich eine Abweichung der Kompaßnadel von der geographischen Nord-Süd-Richtung. Diese Abweichung ist je nach der geographischen Lage der einzelnen Orte verschieden groß und wird *Mißweisung* genannt.

Der Winkel, den die Magnetnadel mit der geographischen Nord-Süd-Richtung bildet, heißt Mißweisung oder Deklination[1]).

Die Kompaßnadel weicht in Deutschland um 3 bis 7° nach Westen ab. Kennt man die Mißweisung, die keine feste, sondern eine sich allmählich ändernde Größe ist, so läßt sich die geographische Nord-Süd-Richtung genau ermitteln. Beim Kompaß dreht sich die Magnetnadel über einer Teilung, der *Windrose.* Auf der Windrose ist neben N ein Pfeil eingezeichnet, der eine mittlere Abweichung für unser Gebiet angibt. Zeigt die Magnetnadel auf diesen Pfeil, so geben die aufgeschriebenen Buchstaben die Himmelsrichtungen an.

§ 35. Die Steckdose und der elektrische Stromkreis - Die elektrische Spannung, das Volt

Sehr viele Arbeitserleichterungen müßten wir entbehren, auf zahlreiche Annehmlichkeiten und Bequemlichkeiten verzichten, stünde uns der elektrische Strom nicht zur Verfügung.

1) declinäre (lat.) = ablenken, biegen

1. Die Steckdose – Der elektrische Stromkreis. Wollen wir eine elektrische Glühlampe zum Leuchten bringen, so verbinden wir sie durch die beiden Drähte eines Anschlußkabels mit den beiden Metallstiften eines Steckers. Diese führen wir in die beiden **Buchsen** oder **Pole** einer Steckdose (Abb. 227) ein. Die Lampe leuchtet auf. Wie ist das zu erklären?

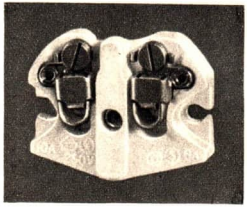


Abb. 227 Die geöffnete Steckdose

Wir sind es gewöhnt, von einem elektrischen Strom zu sprechen, den wir aus der Steckdose entnehmen, ohne uns darüber im klaren zu sein, ob überhaupt etwas in der Leitung fließt und welcher Art die strömende Substanz ist. Wir wissen nur, daß die Steckdose über das sog. Leitungsnetz an das Elektrizitätswerk angeschlossen ist und daß dort Maschinen stehen, die durch ihre Arbeit letzten Endes auch das Leuchten der Glühlampe bewirken. Man stellt sich vor, daß diese Maschinen etwas, das man *Elektrizität* nennt, im Leitungsnetz im Umlauf halten, und spricht in diesem Sinne von einem *elektrischen Strom*. Wir machen uns diese Vorstellung zu eigen und schreiben das Leuchten der Lampe dem durch die Lampe fließenden elektrischen Strome zu. Wir müssen uns aber dessen bewußt sein, daß damit ein physikalisches Erkennen vorerst noch nicht verbunden ist. Es gilt, zunächst Erfahrungen zu sammeln, die allmählich zum Erkennen der physikalischen Zusammenhänge führen werden.

Die Ausdrücke „Strom" und „fließen" sind der Vorstellung des strömenden Wassers entlehnt. Doch liegen dort die Verhältnisse wesentlich einfacher, weil es sich dabei wirklich um einen Stoff handelt, den wir fließen sehen. Wir sind im übrigen keineswegs berechtigt, die uns vom Wasser her bekannten Zusammenhänge ohne weiteres auf die Elektrizitätslehre zu übertragen, doch fällt uns folgende Gleichartigkeit der Erscheinungen auf: Wie bei der Wasserleitung an jeder Verbrauchsstelle nicht nur für den Zufluß, sondern auch für den Abfluß gesorgt sein muß, so muß auch die Glühlampe durch zwei Drähte mit der Steckdose verbunden sein. Schließen wir sie nur durch *einen* Draht an eine der beiden Buchsen an, so leuchtet sie nicht. Es fließt kein Strom. Er fließt nur dann, wenn beide Pole der Steckdose über die Lampe miteinander verbunden sind. Wir stellen uns vor, daß der Strom durch den einen Draht zur Lampe hin-, durch den andern von ihr abfließt. Die Stromquelle — in diesem Falle die Steckdose —, die Lampe und die Verbindungsdrähte bilden einen sog. **Stromkreis.** *Ist der Stromkreis an irgendeiner Stelle unterbrochen, so fließt kein Strom.*

2. Kupferdraht oder Baumwollfaden – Leiter und Isolatoren. Wir wiederholen den Versuch mit einer Taschenlampenbatterie oder einer Akkumulatorenbatterie, an deren Pole wir eine kleine Glühlampe anschließen. Wir ersetzen in der Versuchsanordnung nacheinander einen der beiden metallenen Leitungsdrähte durch einen Draht aus Aluminium, Messing oder Eisen. Die Lampe leuchtet jedes-

mal auf; es fließt also ein Strom. Nehmen wir dagegen eine Schnur, einen Baumwollfaden, einen Holz-, Glas-, Hartgummi- oder Porzellanstab, so leuchtet die Lampe nicht. Der Stromfluß ist unterbrochen. Die Stoffe der ersten Gruppe gestatten dem elektrischen Strom den Durchgang; man bezeichnet sie als *Leiter*, besser als *gute Leiter*. Die zur zweiten Gruppe gehörigen Stoffe dagegen leiten den Strom sehr schlecht oder überhaupt nicht; sie heißen *Nichtleiter oder Isolatoren*[1]). Auch trockene Luft und andere Gase sind Isolatoren. Einige in der Elektrotechnik als Isolatoren häufig verwendete Stoffe sind: Marmor, Baumwolle, Guttapercha, ölgetränkte Papiere, Glas, Porzellan, Hartgummi, Bernstein. Von den flüssigen Isolatoren wird besonders Öl verwendet.

Mit einem Gartenschlauch, der an den Hydranten angeschlossen ist, kann man den Wasserstrom an jede beliebige Stelle leiten, an der man Wasser benötigt. Wenn der Schlauch schadhafte Stellen aufweist (Risse, Löcher), kann das Wasser leicht einen anderen als den gewünschten Weg einschlagen (Rohrbruch!). Der elektrische Strom vermag seine Leiter noch einfacher zu verlassen. Kommt ein stromführender Leitungsdraht mit einem anderen Leiter in Berührung, so besteht die Möglichkeit, daß ein Teil des elektrischen Stromes durch den fremden Leiter abfließt. Um dies zu verhindern, muß man den Leiter gegen Berührung sichern. Lege die blanken Kupferdrähte einer alten Zuleitungsschnur frei! — Zu welcher Gruppe von Stoffen gehört das Material, mit dem die Drähte umwickelt sind? — Wie sind die Drähte der Überlandleitungen an den Haltemasten aufgehängt?

Wir erkennen:

Ein stromführender guter Leiter muß von einem Isolator umgeben sein, wenn ein ungewolltes Abfließen des elektrischen Stromes verhindert werden soll. Man sagt: der Leiter muß isoliert sein.

Erkläre:

1. Warum dürfen die Leitungsdrähte der elektrischen Straßenbahn nicht isoliert sein?
2. Achte darauf, wie die Telephonleitungen an den Stangen befestigt sind! Warum spannt man keine isolierten Drähte von Mast zu Mast?

3. Die elektrische Spannung. Es erhebt sich die Frage, ob mit der Vorstellung des elektrischen Stromes der elektrische Zustand der Steckdose zur Genüge gekennzeichnet ist. Man kann häufig die Äußerung hören: „Eine Steckdose steht unter Strom", selbst wenn keine Glühlampe oder ein anderes stromführendes Gerät angeschlossen ist. Nach dem, was wir im Abschnitt 1 erfahren haben, kann diese Darstellung unmöglich richtig sein, denn wir sahen, daß nur in einem *geschlossenen* Stromkreis ein Strom fließen kann.

Eine offene Steckdose dagegen ist stromlos. Und doch muß sich eine solche Steckdose, vorausgesetzt, daß sie an das Leitungsnetz angeschlossen ist, in elektrischer Hinsicht von einer nicht mit dem Netz verbundenen Steckdose unterscheiden, denn man kann jederzeit aus ihr einen elektrischen Strom entnehmen, was bei der anderen nicht möglich ist.

1) Isola (ital.) = Insel; isolare = alleinstellen

Die von den Maschinen im Elektrizitätswerk geleistete Arbeit muß in irgendeiner Form in der Steckdose zur Verfügung stehen, obwohl man dieser davon äußerlich nichts anmerkt. Um den eigenartigen Zustand zu kennzeichnen, in den sie dadurch versetzt ist, hat man den Begriff der **elektrischen Spannung** geprägt.

Dieser Begriff ist uns keineswegs unbekannt. An den Masten der Überlandleitung lesen wir: „Vorsicht! Hochspannung!" Ausdrücke wie z. B. „Die Spannung ist zu gering" oder „zu hoch" begegnen uns häufig. Beim Kauf von Glühlampen oder anderen elektrischen Geräten werden wir nach der in unserer Wohnung vorhandenen Spannung gefragt.

Man kann nur von einer Spannung zwischen *zwei* Punkten sprechen, z. B. den Polen der Steckdose. Sie wird durch die Arbeit der Maschinen im Elektrizitätswerk hervorgerufen, die sich auf beide Pole verschiedenartig auswirkt.
Das Vorhandensein einer Spannung ist die Voraussetzung für das Auftreten eines Stromes.

Ein Strom kann zwischen zwei leitend miteinander verbundenen Punkten nur dann fließen, wenn sie unter Spannung stehen.

Zur Erleichterung des Verständnisses für den Spannungsbegriff können wir wieder die Wasserströmung zum Vergleich heranziehen. Ein Teich besitzt keine Strömung; ein Fluß in der Ebene wälzt sein Wasser träge dahin; ein Gebirgsbach eilt dagegen schnell zu Tal. Wasser strömt nur dann, wenn ein Höhenunterschied zwischen den Enden des Wasserlaufes vorhanden ist.
Abb. 228 zeigt schematisch einen künstlichen Wasserfall. Das zu seinem Betrieb benötigte Wasser wird einem Sammelbecken *S* am Fuße des Berges entnommen. Eine Pumpe *P* hebt es auf den Gipfel. Sie verrichtet dabei eine Arbeit, die von dem Höhenunterschied zwischen der Quelle *Q* und dem Becken abhängig ist. Das Wasser wird dadurch instandgesetzt, in vielen Stufen zum Becken hinabzustürzen. Durch einen Kanal fließt es wieder der Pumpe zu, um seinen Kreislauf von neuem zu beginnen, solange die Pumpe arbeitet.
An Stelle der beim Wasserkreislauf dem Wasser zugeführten Arbeit tritt beim elektrischen Stromkreis die Spannung zwischen den Polen der Steckdose. Sie wird durch die Maschinen des Elektrizitätswerkes aufrechterhalten. Verbindet man beide Pole miteinander über eine Glühlampe oder einen anderen Verbraucher, so fließt ein elektrischer Strom. An den Polen einer an das Netz angeschlossenen offenen Steckdose liegt eine Spannung, einen Strom führt sie nicht.
Außer der Steckdose stehen uns noch andere Spannungsquellen zur Verfügung, von denen wir öfter Gebrauch machen werden. Als wichtigste nennen wir die *Taschenlampenbatterie* und die *Akkumulatorenbatterie*. Sie gehören zu den sog. *galvanischen Elementen*; wir werden später Näheres über sie erfahren.

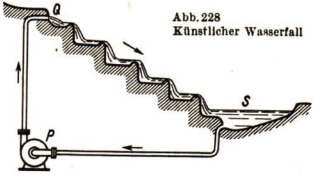


Abb. 228
Künstlicher Wasserfall

Als Maßeinheit für die Spannung ist das **Volt** (V) eingeführt worden, benannt nach dem italienischen Physiker Volta[1]). Die Spannung 1 V ist nahezu gleich der Spannung eines Kupfer-Zink-Elementes, des ersten bekannt gewordenen galvanischen Elementes. Eine frisch geladene Akkumulatorenzelle hat eine Spannung von rd. 2 V.

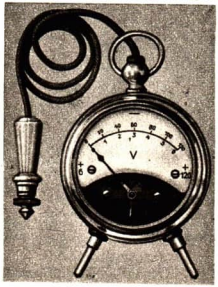


Abb. 229 Taschenvoltmeter

Zwischen den Polen einer Steckdose — das sind die Pole des Leitungsnetzes — herrscht eine Spannung von 220 V oder 110 V. Die Fernleitungen der Überlandzentralen führen Spannungen von 100000 und mehr Volt. Elektrische Spannungen werden mit dem Voltmeter gemessen. Die Abb. 229 zeigt ein *Taschenvoltmeter*, wie es der Bastler benutzt. Spannungen von mehr als 50 V sind für den Menschen gefährlich. Der Durchgang des elektrischen Stromes durch unsern Körper kann schwere gesundheitliche Störungen, unter Umständen den Tod zur Folge haben. Darum sei vorsichtig im Umgang mit elektrischen Leitungen! Vergewissere dich erst, ob die Leitung vom Netz abgeschaltet ist, bevor du sie berührst!

4. Übersicht über die Wirkungen des elektrischen Stromes. Wir vermögen einem Leiter nicht anzusehen, ob er elektrischen Strom führt; denn wir besitzen kein Sinnesorgan dafür. *Wir können den Strom nur an seinen Wirkungen erkennen.* Die Wirkungen des elektrischen Stromes, die für unser wirtschaftliches Leben große Bedeutung erlangt haben, sind: die Erzeugung von *Wärme*, von *Licht*, *magnetische Wirkungen*, Herbeiführen von *Bewegungen* und *chemische Wirkungen*. Wir werden uns mit ihnen im einzelnen zu beschäftigen haben.

§ 36. Kochplatte und Bügeleisen - Wärmewirkungen des elektrischen Stromes

1. Die Kochplatte - Ausnutzung der Stromwärme. Abb. 230 zeigt uns ein elektrisches Hilfsgerät, dem man in neuerer Zeit im Haushalt vielfach begegnet, die elektrische *Glühkochplatte*. Dort, wo Kochgas nicht zur Verfügung steht oder wo ein Herdfeuer nicht entzündet werden kann, wird sie von der Hausfrau zum Kochen gern benutzt, denn mit elektrischem Strom sind unsere Wohnstätten fast überall versorgt.

Wir sehen an ihr einen vielfach gewundenen Draht, den Heizdraht, aus Chromnickelstahl, dessen Schmelzpunkt bei 1400° C liegt. Er liegt in der rinnenartigen Vertiefung einer aus feuerfestem Material gebrannten Schamotteplatte und ist an seinen Enden mit zwei Metallstiften verbunden. Mit Hilfe eines sog. *Gerätesteckers* (Abb. 231) wird die Kochplatte an die Steckdose angeschlossen. Sobald

1) Alessandro *Volta*, 1745 zu Como geboren, Professor der Physik in Padua; gestorben 1827

Abb. 230 Glühkochplatte
(links Deckel abgenommen). Hergestellt in den volkseigenen Bergmann-Elektrizitätswerken in Berlin-Wilhelmsruh

die Netzspannung an den Draht gelegt wird, fängt er unter dem Einfluß des hindurchfließenden Stromes an zu glühen und strahlt eine erhebliche Wärme aus.

Bei einer anderen Art der Kochplatte, der geschlossenen Kochplatte, ist der Heizdraht in eine feuerfeste Isoliermasse eingebettet, die durch eine Eisenplatte abgedeckt ist (Abb. 232). Sie hat den Vorzug, daß der Heizdraht nicht mit der Luft oder mit überkochenden Speisen in Berührung kommen kann und infolgedessen nicht in dem Maße Zerstörungen durch chemische Einwirkungen ausgesetzt ist wie bei der offenen Kochplatte. Dafür muß in Kauf genommen werden, daß die Anheizzeit bei der geschlossenen Kochplatte etwas länger ist als bei der Glühkochplatte, da die Isoliermasse und die Eisenplatte erst durchwärmt werden müssen. Andererseits geben aber beide noch längere Zeit nach Ausschalten des Stromes Wärme an den Kochtopf ab. Übrigens ist das, wenngleich in geringerem Maße, auch bei der Glühkochplatte der Fall, da die Schamotteplatte ebenfalls als Wärmespeicher wirkt. Will eine Hausfrau wirtschaftlich mit ihrer Kochplatte arbeiten, so muß sie darauf bedacht sein, diese Nachwärme auszunutzen.

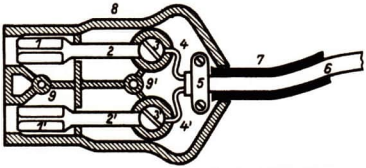


Abb. 231 Gerätestecker (Deckel entfernt). 1,1′ Metallhülsen; 2,2′ Metallbänder; 3,3′ Klemmschrauben; 4,4′ Leitungsdrähte; 5 Befestigungsschelle; 6 Kabel; 7 Schutzhülle; 8 Gehäuse aus Isoliermasse; 9,9′ Verbindungsschrauben

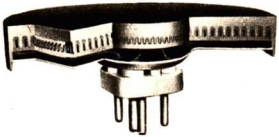


Abb. 232 Schnitt durch eine geschlossene Kochplatte

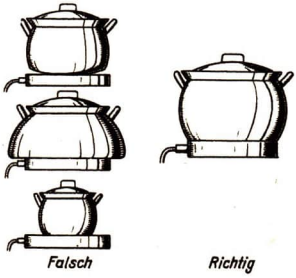


Abb. 233 Der Kochtopf
muß zur elektrischen Kochplatte passen

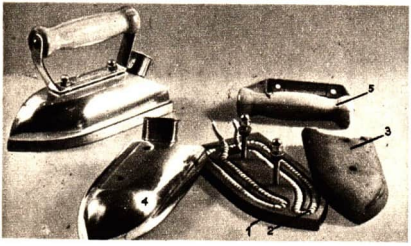


Abb. 234 Aufbau des elektrischen Bügeleisens aus den volkseigenen Bergmann-Elektrizitätswerken in Berlin-Wilhelmsruh

1. Plättsohle, 2. Heizwendel, 3. Druckplatte, 4. Haube mit Steckerzuführung, 5. Handgriff

Abb. 235 Tauchsieder

Die Wärmeübermittlung erfolgt bei der geschlossenen Kochplatte durch Wärmeleitung, bei der Glühkochplatte in der Hauptsache durch Strahlung (§ 3). Um Wärmeverluste zu vermeiden, ist darauf zu achten, daß der Boden des Topfes vollkommen eben ist und die Durchmesser von Kochtopf und Kochplatte genau übereinstimmen (Abb. 233).

Im **elektrischen Herd** sind mehrere Kochplatten zusammengebaut; ein Brat- und Backofen wird durch eingebaute Heizkörper von oben und unten geheizt. Die Arbeit mit dem elektrischen **Bügeleisen** ist allen vertraut. Erkläre den Aufbau nach Abb. 234! Aus der großen Zahl elektrischer Wärmespender seien ferner der *Tauchsieder* (Abb. 235), das *Heizkissen* (Abb. 236), die *Heizsonne* und der elektrische *Strahlofen* genannt. Heizkissen und Heizsonne finden in der Heilkunde mannigfache Anwendung.

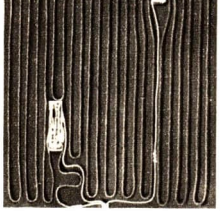


Abb. 236
Röntgenbild eines Heizkissens

Zusammenfassend stellen wir fest:

Fließt durch einen Leiter ein elektrischer Strom, so ist damit eine mehr oder weniger starke Wärmeentwicklung verbunden.

Um uns diese Tatsachen erklären zu können, schreiben wir dem Draht einen *Widerstand* zu, den er dem Strom entgegensetzt, ohne uns damit jetzt schon auf eine bestimmte Anschauung vom Wesen des Stromes und von der Art des Widerstandes festlegen zu wollen. Wir werden später sehen, daß sich der Widerstandsbegriff als außerordentlich fruchtbar erwiesen hat und die Grundlage für weitreichende Erkenntnisse geworden ist.

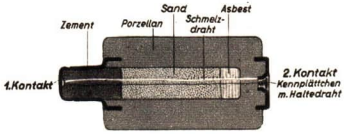


Abb. 237 Aufbau einer Schmelzsicherung

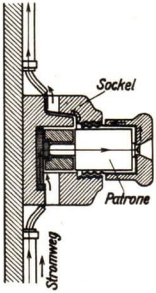


Abb. 238
Stromweg
in der Sicherung

2. Kurzschluß! - Die Sicherung. Je mehr Geräte wir auf einmal einschalten, ein um so stärkerer Strom fließt durch unsere Leitung. Dadurch kann in der Zuleitung eine unerwünschte Erwärmung entstehen, die u. U. zu einer Gefährdung der Umgebung führt. Auf diese Weise kann es zu Zimmer- oder sogar Hausbränden kommen, namentlich wenn sich leichtentzündliche Stoffe in der Nähe der Gefahrenstelle befinden. Auch Beschädigungen der Isolierung an den Zuleitungsdrähten der elektrischen Geräte erzeugen oft einen gefährlich starken Strom. Der elektrische Strom fließt dann nicht mehr in der vorgeschriebenen Bahn durch die eingeschalteten Geräte, sondern unmittelbar von einem Leitungsdraht zum anderen; dabei entsteht eine sehr hohe Stromstärke. Man spricht in solchem Falle von einem **Kurzschluß.** Auch bei der unmittelbaren Verbindung der beiden Pole entsteht wegen des geringen Widerstandes ein Kurzschluß. Um die Gefahr hoher Stromstärken zu vermeiden, baut man in das elektrische Leitungsnetz *Sicherheitsvorrichtungen* ein. Am bekanntesten und gebräuchlichsten ist die **Schmelzsicherung.** Ihr Bau ist aus der Abb. 237 ersichtlich. Ein dünnes Drähtchen ist in Sand eingebettet und von einer isolierenden Porzellanhülse umgeben. Durch diesen Schmelzdraht fließt der Gesamtstrom, den wir dem Netz entnehmen. Wird der Strom zu stark, so erwärmt sich der Draht so stark, daß er durchschmilzt. Damit ist die Leitung unterbrochen. Die *Flamme*, die beim Durchbrennen des Sicherungsdrahtes entsteht, wird im Sande sofort erstickt. Verfolge den Stromweg in Abb. 238! Woran erkennst du die durchgebrannte Sicherung Abb. 239? Wie setzt man eine neue Sicherung ein (Abb. 240)?

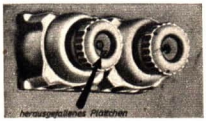


Abb. 239
Die durchgebrannte Sicherung

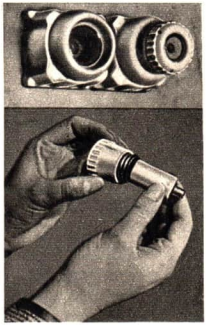


Abb. 240 Auswechseln
der durchgebrannten Sicherung

Überlege und erkläre:

1. An welcher Stelle muß die Sicherung in das Leitungsnetz eingebaut werden?
2. Warum darf man keine stärkere Sicherung einschrauben, als für die Leitung vorgesehen ist?
3. Es ist verboten, an die Stelle einer fehlenden Sicherung einen Überbrückungsdraht einzusetzen. Begründe das!
4. Warum müssen die Sicherungen entfernt werden, wenn man am elektrischen Leitungsnetz arbeiten will?

§ 37. Vom elektrischen Licht

1. Erfindung der Glühlampe - Edison. Kurz vor der Jahrhundertwende trat das elektrische Licht *seinen Zug um die Welt* an. Schon seit Mitte des vorigen Jahrhunderts waren Versuche angestellt worden, Glühlampen zu bauen, z.B. 1854 von *Goebel*. 1873 stellte der Russe *Lodygin* eine brauchbare Glühlampe her. — Am 21. Oktober 1879 gelang es dem Amerikaner Thomas Alva *Edison*, eine elektrische Glühlampe 45 Stunden ununterbrochen zum Leuchten zu bringen. Es ist das besondere Verdienst Edisons, nicht nur die Arbeiten an der elektrischen Glühlampe wesentlich gefördert zu haben, er hat auch die gesamte zur elektrischen Beleuchtung notwendige Elektrotechnik (Stromerzeugung, Stromverteilung, Sicherungen, Schaltungen) in einzigartiger Weise erdacht bzw. verbessert. Die Sockel und Lampenfassungen, die Edison damals entwickelte, sind noch heute in fast unveränderter Form über die ganze Erde verbreitet.

THOMAS ALVA EDISON
(1847–1931)

2. Wie sind die Glühlampen gebaut? Fasse die leuchtende Glühlampe an! Was empfindest du? — Wir sehen, daß das Leuchten auf nichts anderem als auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes beruht. Es wird in der Lampe ein Leuchtfaden oder ein dünner Draht vom elektrischen Strom durchflossen und in Glut versetzt. Edison benutzte als Leuchtfäden verkohlte Bambusfasern, später nahm er auch verkohlte Baumwoll-, Seiden- und Zwirnfäden und zuletzt in besonderem Verfahren hergestellte „Kohlefäden". Damit diese nicht verbrannten, wurden sie in luftleer gemachte Glaskolben eingeschlossen. Nach der Form dieser Kolben bürgerte sich der Name *Glühbirne* ein. Der rotglühende Bambus- oder Kohlefaden leuchtete jedoch nur mäßig hell. Man ersetzte die Kohlefäden später durch Drähte aus Wolfram, die sich auf höhere Temperatur erhitzen lassen. Hierdurch erhielt man helleres, weißes Licht. So schuf die Technik die heute übliche Form der Lampe (Abb. 241a), die jetzt übrigens nicht mehr luftleer gemacht wird, sondern mit einem Schutzgas (Stickstoff u.a.) gefüllt ist.

Man wickelt in den jetzt gebräuchlichen Lampen die außerordentlich dünnen Drähte zu kleinen, kaum erkennbaren Wendeln auf, die in Lampen von besonders

Abb. 241 a Aufbau der Glühlampe

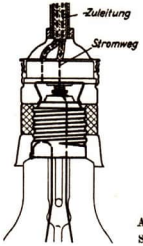


Abb. 241 b
Stromführung in der Glühlampe

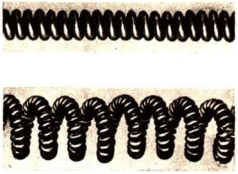


Abb. 242 Die Wendel einer Glühlampe.
a Einfachwendel, *b* Doppelwendel

hoher Leistung noch zu Doppelwendeln geformt werden (Abb. 242). Betrachte den Glühdraht durch eine starke Lupe! Die Zuleitungsdrähte, die den Strom zum Glühfaden führen, enden in einem Sockel, dessen Gewinde in eine Fassung geschraubt wird. Diese Gewinde sind in genormter Größe über die ganze Welt verbreitet und heißen Edison-Gewinde. Erkläre den Stromfluß in der Lampe an Hand der Abb. 241 b!

Fragen:

1. Warum brennen die Lampen nur, wenn sie fest in die Fassungen eingeschraubt sind?
2. Warum muß man beim Kauf einer Glühlampe die Spannung des Leitungsnetzes angeben?
3. Warum ist es unzweckmäßig, Glühlampen durch Lockern und Festdrehen in der Fassung aus- und einzuschalten?

3. Wir schalten das Licht ein! Der elektrische Strom soll nur dann fließen, wenn er gebraucht wird. Zum Ein- und Ausschalten verwenden wir *Dreh-*, *Kipp-*, *Zug-* und *Druckschalter*. Stelle fest, mit welcher Art von Schaltern die Lampen und elektrischen Geräte in eurer Wohnung ausgerüstet sind! Erkläre den Schaltvorgang nach Abb. 243! — Woraus besteht die Schutzkappe, von der die stromführenden Teile des Schalters verdeckt werden? — Warum ist es gefährlich, beschädigte Schalter weiter zu benutzen? — Meist ist es nicht erforderlich, daß alle Lampen

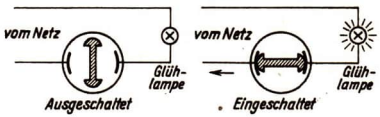


Abb. 243 Der Drehschalter

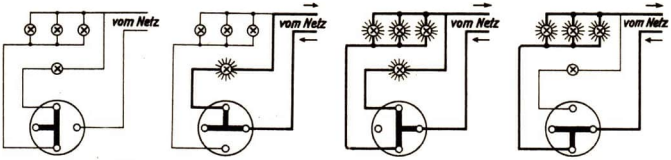


Abb. 244 Die Gruppenschaltung *a, b, c, d*

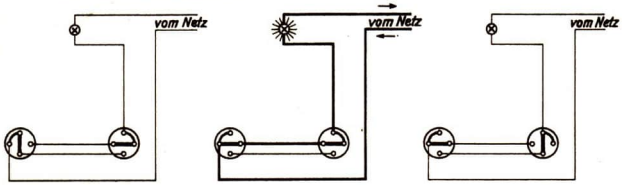
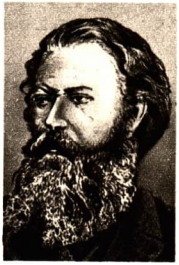


Abb. 245 Die Wechselschaltung *a, b, c*

eines Raumes gleichzeitig brennen. Man faßt sie in Gruppen zusammen. Will man trotzdem nur einen Schalter benutzen, so bedient man sich eines *Gruppenschalters*. Erkläre die einzelnen Schaltstufen (Abb. 244)!

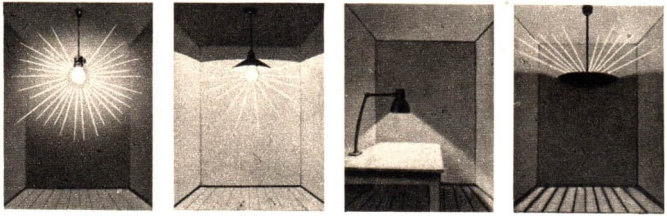
Auf langen Fluren oder Treppenaufgängen ist es erwünscht, die Beleuchtung von verschiedenen Stellen aus ein- und ausschalten zu können. Man verwendet dann einen *Wechselschalter*. Erkläre Stromlauf und Schalterstellung! Vergleiche Abb. 245! Zeichne die vierte, in Abb. 245 fehlende Schalterstellung!

Die durch elektrische Glühlampen gelieferte Beleuchtungsstärke muß der zu verrichtenden Arbeit angepaßt sein. Je feiner die Arbeit, desto größer die notwendige Helligkeit. Übermäßige Helligkeit des Leuchtkörpers ist zu vermeiden; sie ist schädlich, wenn das Licht zu stark zurückgeworfen wird (weißes Papier, Näh- und Stickarbeit an weißen oder glänzenden Stoffen). Das Lampenlicht darf nicht unmittelbar ins Auge fallen und blenden. Eine gute Beleuchtung des Arbeitsplatzes fördert die Arbeit und schützt vor schneller Ermüdung. Prüfe die Beleuchtung eurer Wohnung auf Güte und Zweckmäßigkeit! — Wodurch verderben sich Heimarbeiterinnen oft die Augen? — Betrachte die Abbildungen 246 a—d und beschreibe sie! Gib die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Beleuchtungsarten an!



JABLOTSCHKOW
(1847—1894)

4. Der elektrische Lichtbogen. Ehe man Glühlampen von großer Lichtstärke herstellen konnte, benutzte man zur elektrischen Beleuchtung von Straßen, Bahnhofshallen



a b c d

Abb. 246 Beleuchtungsarten.
a und *b* unzweckmäßige Leuchten, *c* Leuchte für direktes Licht (Platzlicht), *d* Leuchte für indirektes Licht

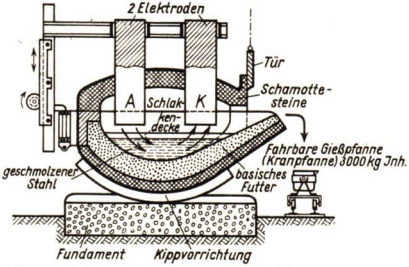


Abb. 247 Schnitt durch einen Elektrostahlofen. Der Stromweg geht von der Kohle *A* durch das Schmelzgut zur Kohle *K*

u.ä. fast ausschließlich die *elektrischen Bogenlampen*. Mit ihnen wurden bereits 1878 die Pariser Boulevards auf der Pariser Weltausstellung nach dem von dem russischen Ingenieur *Jablotschkow* angegebenen Prinzip beleuchtet.

Bei der Bogenlampe bildet sich zwischen zwei Kohlestäben ein aus glühenden Kohledämpfen bestehender Lichtbogen, der den Zwischenraum zwischen den Stäben leitend überbrückt. Es kommt dabei zu einer außerordentlichen Wärmeentwicklung, unter deren Einfluß die Enden der langsam verbrennenden Kohlestifte ein blendendweißes Licht ausstrahlen. Es werden im Lichtbogen Temperaturen bis zu 3500° C, ja bis zu 4000° C erreicht.

Heute finden Bogenlampen als Lichtquellen kaum noch Verwendung. Um so größer aber ist die Bedeutung des elektrischen Lichtbogens für den Bau von Öfen zur Verflüssigung schwer schmelzbarer Metalle und zu anderen industriellen Zwecken (Abb. 247).

§ 38. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes

1. Eine Magnetnadel wird abgelenkt. Aus einer Taschenlampenbatterie und einer kleinen Glühlampe stellen wir uns einen Stromkreis her, den wir aber vorläufig noch nicht schließen. Den einen der beiden Leitungsdrähte winden wir einige Male um die Hälse zweier Flaschen. Wir spannen ihn dicht über einer Magnetnadel in der Nord-Süd-Richtung aus (Abb. 248). Sobald wir den zweiten

Pol der Batterie mit dem freien Ende des Leitungsdrahtes berühren, dreht sich die Magnetnadel etwas zur Seite. Sie zeigt einen Ausschlag zur Nord-Süd-Richtung.

Eine Magnetnadel wird durch einen parallel an ihr vorbeifließenden Strom abgelenkt.

2. Die Richtung des elektrischen Stromes. Wechseln wir die Anschlüsse an den Polen der Batterie um, so tritt ein Ausschlag der Nadel nach der anderen Seite ein. Wir schließen daraus, daß die Pole der Taschenlampenbatterie nicht von gleicher Art sind und daß sich ihre Verschiedenartigkeit irgendwie auf den elektrischen Strom auswirkt.

Wir hatten schon in § 35, Abschnitt 1, von einer Zuleitung und einer Ableitung des Stromes gesprochen. Darin liegt, ohne daß es besonders betont wurde, der Gedanke mit eingeschlossen, daß der elektrische Strom in einer bestimmten Richtung fließt. Wir werden in dieser Ansicht durch unsern Versuch bestärkt und folgern, daß der Nadelausschlag von der Stromrichtung abhängig ist. Die gleiche Erscheinung kann man beobachten, wenn man eine Akkumulatorzelle oder irgendein anderes galvanisches Element als Stromquelle verwendet.

Um die beiden Pole voneinander zu unterscheiden und damit zu einer Festlegung der Stromrichtung zu gelangen, bezeichnen wir den einen als den **positiven** (+), den andern als den **negativen** (—) **Pol.** Wir werden in der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes ein Mittel kennenlernen, mit dessen Hilfe wir an jeder Stromquelle die Verteilung der Pole leicht feststellen können. Wir wollen uns vorläufig nur merken, daß beim Akkumulator die bräunlich aussehende Platte, bei der Taschenlampenbatterie der Kohlestab der positive Pol ist.

Da der elektrische Strom selbst nicht unmittelbar beobachtbar ist, unterliegt die Festlegung seiner Richtung der freien Vereinbarung. Wir schließen uns dem in der Wissenschaft wie in der Technik üblichen Brauch an und setzen fest:

Der elektrische Strom fließt in der Richtung vom positiven zum negativen Pol.

Die Erfahrung lehrt übrigens, daß ein in diesem Sinne festgelegter, in der Süd-Nord-Richtung über einer Magnetnadel entlangfließender Strom den Nordpol der Nadel nach links ausschlagen läßt (Abb. 249). Es ist uns auf diese Weise ein einfaches Mittel in die Hand gegeben, in einer stromdurchflossenen Leitung die Stromrichtung nachzuprüfen.

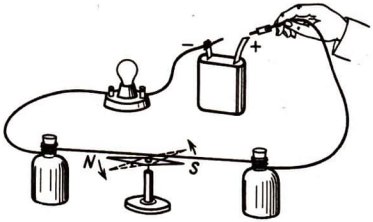


Abb. 248
Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom

3. Stromnachweisgeräte. Wir ändern unsern Nadelversuch ab, indem wir den Leitungsdraht in einigen Windungen um die Magnetnadel legen (Abb. 250). Schalten wir den Strom ein, so entsteht ein erheblich kräftigerer Ausschlag als vorher. Wir dürfen uns darüber nicht wundern, denn jede einzelne Windung wirkt wie ein besonderer Leitungsdraht auf die Nadel ein, und zwar von oben sowohl wie von unten. Mit dieser einfachen Vorrichtung haben wir eine Möglichkeit gefunden, selbst schwache Ströme in bequemer Weise nachzuweisen. Geräte, die zu diesem Zweck hergestellt werden, bezeichnet man als *Galvanoskope*[1]). Sind sie mit einer Skala zum Vergleich von Strömen versehen, so nennt man sie auch *Galvanometer*. Wir können uns selbst in einfacher Weise ein Galvanoskop mit Hilfe unseres Wanderkompasses schaffen. Wir brauchen nur einen Leitungsdraht in der Nord-Süd-Richtung in einigen Windungen um den Kompaß zu legen (Abb. 251). Auch bei den meisten der in der Wissenschaft und in der Technik gebräuchlichen Strommeßgeräten wird die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes ausgenutzt, wenn die Bauart auch im einzelnen stark von dem beschriebenen einfachen Galvanoskop abweicht.

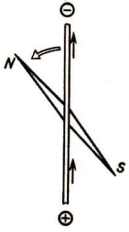


Abb. 249 Zusammenhang zwischen Stromrichtung und Nadelausschlag

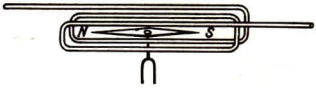


Abb. 250 Magnetnadel in waagerechter Spule

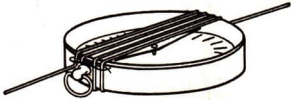


Abb. 251 Kompaß als Galvanoskop

Weitere technisch wichtige magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes werden wir später kennenlernen.

§ 39. Gleichstrom - Wechselstrom

1. Vom Gleichstrom. Einen Strom, der immer in der gleichen Richtung fließt, nennt man **Gleichstrom.** Die Spannung der Stromquelle, der er entnommen wird, heißt **Gleichspannung.** Benötigen wir einen Gleichstrom, so werden wir meist eine Taschenlampenbatterie oder einen Akkumulator verwenden. Da an ihnen die Pole festliegen, liefern sie einen Gleichstrom.

Verfolge in Abb. 248 den Stromweg!

2. Vom Wechselstrom. Wir wiederholen den in Abb. 248 wiedergegebenen Versuch, tauschen aber die kleine Glühlampe gegen eine normale Lampe aus und schließen die Versuchsanordnung an unser Lichtnetz an. Was können wir beobachten? In der weitaus größten Zahl der Fälle bleibt die Nadel in Ruhe! Das ist immer so, wenn unser Lichtnetz an eine Überlandzentrale angeschlos-

1) Galvani (italienischer Physiker, 1737—1798) und skopeín (griech.) = sehen

sen ist. Was liegt hier vor? Wir dürfen aus unserer Beobachtung nicht den voreiligen Schluß ziehen, daß der im Lichtnetz fließende Strom keine magnetische Wirkung ausübe. Es gibt keinen Strom, der dies nicht täte! Aber der Strom unseres Netzes unterscheidet sich dadurch von dem einer Batterie entnommenen Strom, daß er nicht immer in gleicher Richtung fließt. Er wechselt die Richtung dauernd, er fließt in der Leitung hin und her. Es ist nicht anders, als wenn wir Wasser durch eine ventillose Kolbenpumpe zwingen, in einer Leitung hin und her zu strömen. Man nennt einen solchen Strom **Wechselstrom,** die ihn erzeugende Spannung **Wechselspannung.**

Die meisten der heute bestehenden Stromnetze führen Wechselstrom. Gleichstromnetze sind nur noch verhältnismäßig selten anzutreffen. In der Regel finden beim technischen Wechselstrom 50 Hinundherflüsse in der Sekunde, das sind 100 Wechsel in der Sekunde, statt. Aus der Häufigkeit der Wechsel erklärt es sich, daß die Magnetnadel durch Wechselstrom nicht abgelenkt wird, obwohl sie der gleichen Einwirkung unterliegt wie beim Gleichstrom. Sie ist viel zu träge, als daß sie in der Sekunde fünfzigmal hin- und herschwingen könnte. Sie bleibt infolgedessen in Ruhe. Erkläre dies!

3. Gleichstrom oder Wechselstrom? Gibt es ein einfaches Mittel, um festzustellen, ob eine Leitung von Gleichstrom oder von Wechselstrom durchflossen wird? Die elektrische Glühlampe bietet uns die Möglichkeit dazu. Die Wärmewirkung, die ja in der Glühlampe ausgenutzt wird, ist an sich von der Stromrichtung unabhängig. Infolgedessen sind Glühlampen für Gleichstrom wie für Wechselstrom verwendbar. Bei Anschluß an ein Wechselstromnetz sind sie aber im Augenblick der Stromumkehr, d.h. hundertmal in der Sekunde, stromlos, müssen somit in diesem Zeitpunkt dunkler erscheinen. Ein einfacher Kunstgriff macht dies wahrnehmbar.

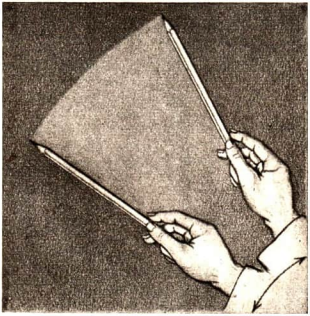


Abb. 252a Schwingender Bleistift bei Gleichstrombeleuchtung

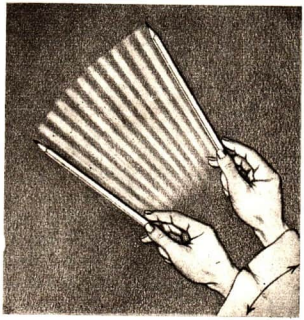


Abb. 252b Schwingender Bleistift bei Wechselstrombeleuchtung

Wir halten einen Bleistift so vor uns hin, daß er das auf ihn fallende Licht einer Glühlampe gut in unser Auge zurückwirft. Der Hintergrund soll möglichst dunkel sein. Das Licht der Glühlampe darf uns selbst nicht von vorn treffen. Wir schwingen den Bleistift mäßig schnell hin und her. Bei Beleuchtung mit Gleichstrom erscheint der Bleistift zu einem breiten, etwas aufgehellten Bande auseinandergezogen, wobei die Umkehrstellen stärker hervortreten (Abb. 252a). Im Wechselstromlicht dagegen erscheint uns das Lichtband nicht gleichmäßig hell, sondern fächerförmig in hellere und dunklere Streifen zerlegt (Abb. 252b). Sie liegen um so weiter auseinander, je schneller der Bleistift bewegt wird. Erkläre die Erscheinungen! — Warum merkt man der Glühlampe nichts von den Helligkeitswechseln an?

§ 40. Von ruhender und strömender Elektrizität - Die elektrische Ladung

1. Das Elektroskop. In § 35, Abschnitt 3, erkannten wir bereits, daß nur bei Vorhandensein einer Spannung ein Strom entstehen kann; bei allen darauffolgenden Versuchen trat uns diese Tatsache erneut entgegen. Wenn aber die Spannung als die Vorbedingung für das Fließen eines Stromes anzusehen ist, dann muß es auch möglich sein, sie unmittelbar ohne Auslösen eines Stromes nachzuweisen. Wir erreichen dies durch einen Versuch, zu dem wir ein sog. *Elektroskop*[1]) verwenden. Voraussetzung ist allerdings, daß wir über eine Gleichspannungssteckdose verfügen.

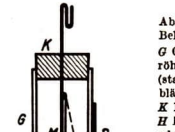


Abb. 253 Behelfsmäßiges Elektroskop *G* Glasgehäuse (Tablettenröhrchen), *M* Metallstift (starker Draht), *F* Stanniolblättchen (Lamettafaden), *K* Kork, *S* Stanniolstreifen, *H* Holzklotz, *Kl* Klemmschraube

Wir stellen uns ein solches Gerät einfachster Bauart nach Abb. 253 behelfsmäßig selbst her. Beschreibe das Elektroskop nach der Abbildung! Seine beiden wichtigsten Teile sind der Stanniolstreifen an der Außenwand des Glasgehäuses und der Metallstift mit dem neben ihm herabhängenden feinen, leicht beweglichen Lamettafaden im Innern des Gehäuses. Beide verbinden wir durch je einen Draht mit den Polen einer Gleichspannungssteckdose, legen aber zur Sicherung in jede Leitung eine Glühlampe (Abb. 254).

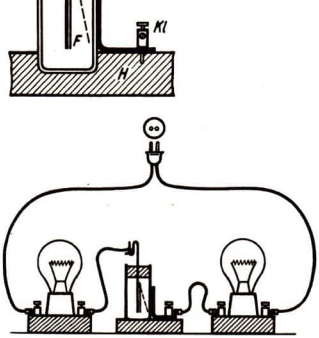


Abb. 254 Nachweis der Netzspannung mit einem Elektroskop

1) ēlektron (griech.) = Bernstein

Vorsicht beim Arbeiten! Der Stecker darf erst in die Steckdose eingeführt werden, wenn alle Verbindungen hergestellt sind. Solange sich der Stecker in der Steckdose befindet, darf die Versuchsanordnung nicht berührt werden!

Sobald der Stecker in die Steckdose eingeführt wird, spreizt sich der Lamettafaden etwas vom Metallstift ab und nähert sich dem Stanniolstreifen. Der Ausschlag ist zwar nur gering, aber deutlich erkennbar. Das Gerät ist um so empfindlicher, je schmaler, dünner und schmiegsamer der Lamettafaden ist. Die Lampen leuchten dabei nicht, es fließt kein Strom. Wir haben es also bei der beobachteten Erscheinung unmittelbar mit einer Auswirkung der zwischen den Polen der Steckdose herrschenden Spannung zu tun. Erst wenn wir den Zwischenraum zwischen Metallstift und Stanniolstreifen durch einen isolierten Draht mit blanken Enden überbrücken, leuchten die Lampen schwach auf. Es fließt dann ein Strom.

Geräte ähnlicher Bauart wie das beschriebene Elektroskop werden als hochempfindliche Meßgeräte hergestellt. Meist sind sie mit einer in Volt geeichten Skala versehen, um Spannungen vergleichen und messen zu können. Man nennt sie dann *Elektrometer*.

2. Die elektrische Ladung. Wir sahen die Ursache für die zwischen den Polen bestehende Spannung in der Arbeit der elektrischen Maschinen im Kraftwerk. Wir gewinnen den Eindruck, daß durch sie etwas Unkörperliches, das selbst kein Stoff ist, auf die Pole der Steckdose übertragen worden sei und nun an ihnen hafte. Wir bezeichnen dieses Etwas als **Elektrizität** und sprechen von **elektrischen Ladungen;** wir unterscheiden dabei, den Polen entsprechend, **positive und negative elektrische Ladungen.**

Diese Vorstellung hat sich als außerordentlich fruchtbar erwiesen. Auch die Erscheinungen am Elektroskop finden damit ihre Erklärung. Durch Verbinden mit den Polen der Steckdose gehen die dort befindlichen Ladungen unter dem Einfluß der Spannung auf den Metallstift und den Lamettafaden wie auf den Stanniolstreifen über. Sie befinden sich auf ihnen in Ruhe, da keine Möglichkeit zum Weiterfließen besteht. Lamettafaden und Metallstift, die mit dem gleichen Pol verbunden sind, tragen Ladungen der gleichen Art, während sich auf Lamettafaden und Stanniolstreifen ungleichartige Ladungen gegenüberstehen. Zwischen diesen Ladungen treten Kräfte auf, denen der Lamettafaden folgt.

Aus dem Verhalten des Lamettafadens können wir schließen:

Gleichartige elektrische Ladungen stoßen sich ab, ungleichartige Ladungen ziehen sich an.

3. Der Plattenkondensator. Bei den auf das Elektroskop übertragenen Ladungen handelt es sich um sehr geringe Ladungsmengen. Es erhebt sich die Frage, ob es Vorrichtungen gibt, die größere Ladungsmengen aufzunehmen vermögen. Zu nennen ist der *Kondensator*, in seiner einfachsten Form als *Plattenkondensator* bekannt. Er besteht aus zwei Metallplatten (meist Stanniolscheiben), die durch eine isolierende Schicht aus Glas, Hartgummi, Paraffinpapier u. dgl. getrennt sind. Abb. 255 zeigt ihn im Querschnitt. Man verbindet die Kondensatorplatten

Abb. 255
Schnitt durch einen Plattenkondensator

kurze Zeit mit den Polen einer Gleichspannungssteckdose und schließt sie dann an das Elektroskop an. Es ist ein Ausschlag zu beobachten. Wir ersehen daraus, daß der Kondensator geladen ist. Die ihm zugeführten ungleichartigen Ladungen stehen sich auf den Platten nahe gegenüber und ziehen sich gegenseitig an. Sie binden sich gegenseitig; der Kondensator bleibt geladen. Erst wenn man die Platten leitend miteinander verbindet, geraten die Ladungen in Fluß und gleichen sich aus.

Kondensatoren finden in der Elektrotechnik, insbesondere in der Radiotechnik, in verschiedensten Ausführungsformen mannigfache Verwendung.

4. Ladungen sind teilbar - Elektronen. Wir haben bei unseren Beobachtungen die Vorstellung gewonnen, daß elektrische Ladungen verschieden groß sein können. Durch viele Versuche, die wir aber nicht durchführen können, ist festgestellt worden, daß Ladungen auch teilbar sind. Man ist bezüglich der Zusammensetzung elektrischer Ladungen zu einer ganz ähnlichen Vorstellung gelangt, wie wir sie bei den Stoffen kennengelernt haben.

Wir wissen, daß alle Stoffe aus kleinsten Massenteilchen, den *Molekülen*, zusammengefügt sind. Im chemischen Unterricht haben wir erfahren, daß es noch kleinere Teile, die *Atome*, gibt, in die sich die Moleküle chemischer Verbindungen zerlegen lassen. Bei den Elementen sind die Atome bis auf wenige Ausnahmen gleichbedeutend mit den Molekülen.

In ganz ähnlicher Weise nehmen wir an, daß sich auch alle elektrischen Ladungen aus *kleinsten Elektrizitätsteilchen* zusammensetzen, die wir geradezu als *Elektrizitätsatome* bezeichnen können. Außerordentlich schwierige und langwierige Versuche, mit denen sich die Physiker seit Ende des vorigen Jahrhunderts in zunehmendem Maße befaßt haben, lassen es heute als gesichert erscheinen, daß diese Elektrizitätsatome wirklich bestehen. Sie übertreffen die Stoffatome an Feinheit noch bei weitem und sind auf eine hier nicht näher wiederzugebende Weise an die Atome bzw. Moleküle der Stoffe gebunden.

Die Forschungen haben erwiesen, daß nur die negativen Elektrizitätsteilchen sich von den Stoffatomen lösen können. Nur sie sind innerhalb leitender Stoffe frei verschiebbar. Die positiven Elektrizitätsteilchen dagegen bleiben fest an die Stoffatome gebunden. Sie sind nur unter großen Schwierigkeiten von ihnen zu trennen und frei nachweisbar. *Als selbständige Elektrizitätsteilchen treten uns nur die negativen entgegen.* Man nennt sie **Elektronen.**

Damit erscheinen auch unsere Vorstellungen vom Wesen der elektrischen Ladungen in einem neuen Licht.

Jeder Körper enthält von Natur aus eine unvorstellbar große Menge von Elektronen, die jedoch an seinen Atomen bzw. Molekülen haften und nach außen nicht wirksam werden. Er erscheint dann *elektrisch neutral.*

Enthält der Körper aber außer den stoffgebundenen noch freie Elektronen, so ist er negativ geladen. Haben sich vorher gebundene Elektronen von seinen Atomen bzw. Molekülen gelöst, so daß er an Elektronen ärmer geworden ist, so wirkt der Körper positiv geladen.

Wir merken uns:

Elektronenüberfluß ist gleichbedeutend mit negativer Ladung.
Elektronenmangel ist gleichbedeutend mit positiver Ladung.

5. Vom Wesen des elektrischen Stromes. Wir kommen damit zu einer klaren Vorstellung vom Wesen des elektrischen Stromes und können nun auch die in § 35 noch offengebliebene Frage beantworten. Insbesondere interessiert uns der Strom in einem metallischen Leiter. Er beruht darauf, daß freie Elektronen unter dem Einfluß der Spannung zu strömen beginnen und sich durch das Atomgefüge hindurchbewegen. Die Atome selbst bleiben dabei vollkommen unbeweglich. Wie Wasser nur bergab fließen kann, so kann der Elektronenstrom nur von einer Stelle des Elektronenüberflusses zu einer Stelle des Elektronenmangels, mithin vom negativen zum positiven Pol hin erfolgen.
In flüssigen Leitern und Gasen liegen die Verhältnisse etwas anders. In ihnen können auch positiv und negativ geladene Stoffatome in Fluß geraten.
Zu unsern Feststellungen steht die von uns auf Seite 161 übernommene Vereinbarung bezüglich der Stromrichtung in einem gewissen Widerspruch. Sie stammt noch aus einer Zeit, als man glaubte, daß auch die positiven Elektrizitätsatome frei beweglich seien. Mit Rücksicht auf ihre allgemeine Verbreitung im wissenschaftlichen und technischen Schrifttum ist es trotzdem zweckmäßig, die oben getroffene Vereinbarung beizubehalten. Im übrigen treten in flüssigen und gasförmigen Leitern positiv gerichtete Ströme aus den oben erwähnten Gründen tatsächlich auf.

§ 41. Vom Gewitter

1. Ein Gewitter zieht auf. Eine uns allen bekannte Naturerscheinung, bei der es zum Ausgleich elektrischer Ladungen in großem Ausmaße kommt, ist das Gewitter. Die Erfahrung lehrt uns, daß die meisten Gewitter an warmen, schwülen Sommertagen auftreten, wenn sich hohe Lufttemperatur mit einem verhältnismäßig hohen Feuchtigkeitsgehalt verbindet. Obwohl infolge der starken Sonneneinstrahlung eine beträchtliche Erwärmung der unteren Luftschichten stattfindet, kann es doch geschehen – insbesondere bei herrschender Windstille –, daß sie längere Zeit am Boden liegenbleiben, um dann plötzlich die über ihnen lagernden kühleren Luftschichten zu durchstoßen. Die warmen feuchten Luftmassen strömen dabei schnell in große Höhen empor und kühlen sich ab. Infolgedessen verdichtet sich der Wasserdampf; es entstehen in kurzer Zeit mächtige Haufenwolken (Kumulus).
Bei einer solchen plötzlichen Wolkenbildung sammeln sich aus Gründen, auf die wir hier nicht eingehen können, in den Wolken elektrische Ladungen be-

Abb. 256 Blitzaufnahme

trächtlicher Stärke an. Die feine Zerstäubung der Wassertropfen in dem schnell aufsteigenden Luftstrom spielt dabei eine große Rolle. Wolken und Erde, aber auch Wolkenpaare sind vergleichbar mit Kondensatoren riesigen Ausmaßes. Es entstehen zwischen ihnen Spannungen, die viele Millionen Volt betragen.

Man nennt Gewitter der geschilderten Art auch *Wärmegewitter* zum Unterschied gegen sog. *Frontgewitter*. Diese entstehen, wenn Warmluftmassen durch schnell eindringende Kaltluftmassen verdrängt und zu raschem Emporsteigen gezwungen werden.

2. Es blitzt. Die gewaltigen elektrischen Spannungen, wie sie bei Gewittern auftreten, sind aber nur für eine kurze Dauer möglich. Sie gleichen sich wieder aus. Ein derartiger Ausgleich ist mit einer Funkenbildung verbunden. Man kann sie als **Blitz** während eines Gewitters beobachten. Wo findet der Ausgleich statt? Ein *Linienblitz* besteht meistens aus helleuchtenden, vielfach verzweigten und geschlängelten Linien (Abb. 256). Manchmal sieht man über große Flächen ausgebreitete Leuchterscheinungen, die im Volksmunde

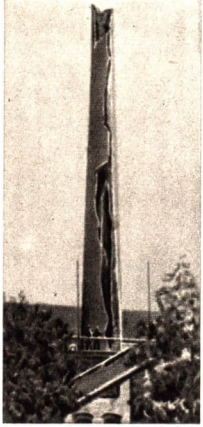


Abb. 257
Vom Blitz zerstörter Schornstein

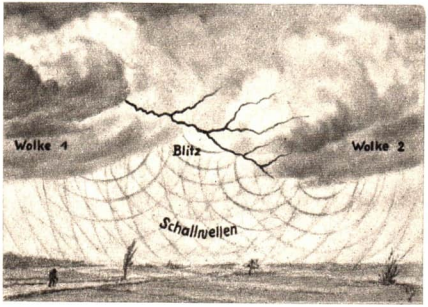


Abb. 258
Erklärung des Donnerrollens

auch *Flächenblitze* heißen. Wenn größere Wolkenmassen diejenigen verdecken, zwischen denen der elektrische Spannungsausgleich stattfindet, so leuchten die verdeckenden Wolken hell auf.

Der Blitz schlägt in der Regel in die höchsten Gegenstände, wie Türme, hohe Schornsteine oder einzelnstehende Bäume ein und verursacht dabei häufig erhebliche Zerstörungen (vgl. Abb. 257). Führe Beispiele aus deiner Erfahrung an! Auch an den Stellen guter Leitung zur Erde ist die Gefahr eines Blitzeinschlages groß (Seen, Flüsse).

3. Es donnert. Wie kommt der Donner zustande? Er ist eine unmittelbare Folge des Blitzes. Durch den Blitz werden die Luftmassen sehr stark erwärmt und stoßartig auseinandergetrieben. Sie schlagen aber danach sofort zusammen, und dieser Stoß pflanzt sich zu unserem Ohr fort. Denke an den Knall einer Peitsche! Wie das Rollen des Donners entsteht, kann uns Abb. 258 erklären. Zwischen den beiden Wolken W_1 und W_2 springt ein Blitz über. Da die Lichtgeschwindigkeit außerordentlich groß ist, vergeht keine merkliche Zeit zwischen der Entstehung des Blitzes und der Wahrnehmung durch das Auge. Der Schall dagegen legt in 3 Sekunden 1 km zurück. Wir hören den Donner von den verschiedenen Stellen der Blitzbahn zu verschiedenen Zeiten. Dazu kommt das Echo des Donners. Wenn wir den oft schwachen Anfang eines darauffolgenden gewaltigen Donners erklären sollen, brauchen wir nur an die Verzweigungen des Linienblitzes zu denken. Wie kann man aus der Zeit, die zwischen Blitz und Donner vergeht, auf die Entfernung des Blitzes schließen?

4. Vom Blitzschutz. Um Gebäude vor den Folgen eines Blitzeinschlages zu schützen, verwendet man *Blitzableiter*. Durch sie wird dem Blitz eine gute und bequeme Ableitung zur Erde gegeben. Betrachte Abb. 259 und beschreibe den Weg des Blitzes! Jeder Blitzableiter muß vorschriftsmäßig angelegt werden. Seine Leitung darf nirgends beschädigt oder unterbrochen sein. Warum nicht? Die Erdleitung soll möglichst bis ins Grundwasser reichen und in einer Grundplatte aus Metall enden. Ein schlecht angelegter oder beschädigter Blitzableiter bietet keinen Schutz, sondern stellt im Gegenteil eine Gefahr für das Haus dar. Begründe folgende Vorsichtsregeln: Stelle dich während des Gewitters nie unter einzelnstehende Bäume oder neben Telegraphenstangen! Meide die Wasserläufe und lege dich auf freiem Felde auf den Boden! Weshalb muß man während eines Gewitters die Antenne eines Radiogerätes erden?

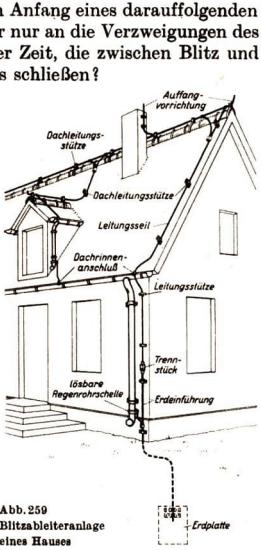


Abb. 259
Blitzableiteranlage eines Hauses

§ 42. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes - Das Ampere

Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes haben für die chemische Großindustrie, für die Metallgewinnung und -veredelung wie für die Elektroindustrie größte Bedeutung erlangt. Näheres über die dabei ablaufenden Vorgänge bringen die chemischen Lehrbücher. Wir beschränken uns hier darauf, die physikalischen Zusammenhänge an einem besonders einfachen Beispiel, der *Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom*, kennenzulernen.

1. Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers. Wir verbinden die Enden zweier Leitungsdrähte mit zwei Kohlestäbchen aus einer alten Taschenlampenbatterie und stellen sie in ein Glas mit Wasser, so daß sie sich nicht berühren. Sie dienen zum Zu- und Ableiten des Stromes; wir geben ihnen den Namen *Elektroden*[1]). An die Elektroden legen wir eine Gleichspannung von mindestens 4 V, besser 6 oder 8 V, die wir einer Akkumulatorenbatterie entnehmen. Um beurteilen zu können, ob in der Leitung ein Strom fließt, legen wir eine kleine Glühlampe in den Stromkreis (Abb. 260). Verwenden wir zum Versuch Leitungswasser, so leuchtet die Lampe nur sehr schwach, bei destilliertem Wasser gar nicht. Was folgt daraus über die Leitfähigkeit des Wassers? – Setzen wir dem Wasser dagegen etwas Säure zu, so gewinnt die Lampe rasch ihre volle Leuchtkraft. Wir erkennen:

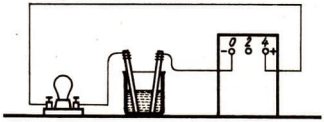


Abb. 260 Die Leitfähigkeit des Wassers wird geprüft

Wasser ist ein schlechter Leiter. Es wird durch Beimengen einer Säure besser leitend.

Das gleiche erreicht man durch Beimengen einer Lauge, z. B. Kalilauge, oder durch Auflösen von Salzen.

2. Die Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom. Wir nehmen nunmehr die Lampe aus dem Stromkreis heraus und füllen das Glas mit angesäuertem Wasser. Die Elektroden schließen wir unmittelbar an die Batterie an. Wir achten genauer auf die Vorgänge im Wasser und können eine Gasentwicklung an den Elektroden beobachten. Dabei fällt uns auf, daß sie nicht an beiden Elektroden gleich stark ist. An der mit dem negativen Pol verbundenen Elektrode, die wir als *Kathode*[2]) bezeichnen, steigen bei weitem mehr Gasblasen empor als an der positiven Elektrode, der sog. *Anode*.[3])

Um die Gase getrennt aufzufangen, biegen wir die Enden der Drähte um, so daß die Elektroden aufrecht stehen, und kürzen diese etwas. Wir tauchen sie vollständig unter Wasser und stülpen zwei Reagenzgläser darüber, die wir eben-

1) hodós (griech.) = Weg
2) Kathode (aus dem Griechischen) = Abweg, Austrittsstelle des Stromes
3) Anode (griech.) = Aufweg, Eintrittsstelle des Stromes

falls mit angesäuertem Wasser gefüllt haben (Abb. 261). Sobald der Strom fließt, beginnt die Gasentwicklung an beiden Elektroden. Wir können feststellen, daß sich in gleichen Zeiten in dem Rohr *über der Kathode doppelt soviel Gas ansammelt wie über der Anode* (Vorsicht! Knallgasbildung!).

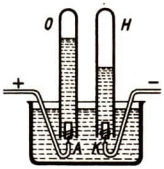


Abb. 261
Zersetzungszelle

Nachdem wir den Strom unterbrochen haben, verschließen wir das Rohr, das die Anode enthielt, mit dem Daumen, nehmen es aus dem Wasser, drehen es um und halten einen glimmenden Span an die Öffnung. Er flammt hell auf. Wir erkennen, daß sich hier *Sauerstoff* (O) ausgeschieden hat. Dann wird in ähnlicher Weise das Gas in dem über der Kathode stehenden Rohr nachgeprüft. Es entzündet sich an einem an die Öffnung gehaltenen brennenden Span und verbrennt mit schwach bläulicher Flamme. Es erweist sich somit als *Wasserstoff* (H). Es entwickeln sich mithin die gleichen Stoffe, aus denen sich Wasser chemisch zusammensetzt. Warum ist Wechselstrom für diesen Versuch ungeeignet?

Wasser wird durch den elektrischen Strom in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt. Es werden in gleichen Zeiten an der Kathode 2 Raumteile Wasserstoff und an der Anode 1 Raumteil Sauerstoff ausgeschieden.

Einen solchen Vorgang bezeichnet man als *Elektrolyse*[1]).

Zu genauen Messungen verwendet man statt der einfachen Zersetzungszelle ein *Wasserzersetzungsgerät*, wie es Abb. 262 zeigt. Die beiden seitlichen, mit Hähnen verschlossenen Röhren enthalten je eine Elektrode aus Platin oder Kohle. Die mittlere Röhre dient zum Einfüllen der Flüssigkeit. Mit der Wasserzersetzung haben wir nunmehr ein Mittel gefunden, um an einer beliebigen Stromquelle die Unterscheidung der Pole unabhängig von äußeren Merkzeichen der Stromquelle vornehmen zu können.

Auch viele andere Flüssigkeiten, z. B. Salzlösungen und Salzschmelzen, werden durch den elektrischen Strom zersetzt.

Durch die Elektrolyse von bestimmten Schmelzen werden u. a. Aluminium, Magnesium und andere Metalle gewonnen.

Als technische Anwendungen der Elektrolyse sind ferner zu nennen die Verarbeitung des Rohkupfers zu Reinkupfer (Elektrolytkupfer), die Herstellung festhaftender Metallüberzüge (Vernickeln, Verchromen, Versilbern usw.), die Herstellung von metallischen Abdrücken (Druckstöcke für die Buchdruckerei) u. a. m.

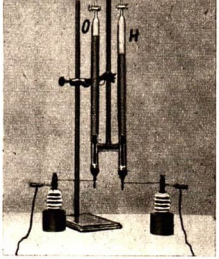


Abb. 262 Wasserzersetzungsgerät

1) lyo (griech.) = ich löse, zerlege

3. Was ist ein Ampere? Wir haben bisher noch keine Maßeinheit für die Stärke des Stromes kennengelernt. Wäre Elektrizität ein Stoff wie Wasser, so böte diese Frage keine Schwierigkeit. Man mißt die Stärke eines Wasserstromes durch Angabe der Wassermenge, die in der Sekunde durch den Rohrquerschnitt fließt. Da aber Elektrizität kein Stoff ist, der in g oder in cm^3 gemessen werden kann, ist dieses Verfahren auf den elektrischen Strom nicht anwendbar. Wie wir den elektrischen Strom nur an seinen Wirkungen erkennen können, so vermögen wir auch nur aus seinen Wirkungen einen Schluß auf seine Stärke zu ziehen.

Die chemische Wirkung des Stromes bietet uns dazu die Handhabe. Wir brauchen nur die bei der Elektrolyse des Wassers in einer bestimmten Zeit entwickelte Wasserstoffmenge als maßgebend für die Stromstärke anzusehen. Wir setzen fest:

Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere[1]) (A). Ein Strom hat die Stärke von 1 Ampere, wenn er imstande ist, in 1 Minute 6,96 cm^3 (rd. 7 cm^3) Wasserstoff von 0 °C bei einem Druck von 760 mm QS. abzuscheiden.

Warum darf die Angabe über Temperatur und Druck des Wasserstoffs nicht fortgelassen werden?

Bei Ausscheidung der doppelten Wasserstoffmenge in der gleichen Zeit schreibt man dem Strom die doppelte Stärke, bei Ausscheidung der dreifachen Wasserstoffmenge die dreifache Stärke zu usw.

Die merkwürdige Zahl 6,96 cm^3 erklärt sich daraus, daß die Einheit Ampere ursprünglich auf andere Weise festgesetzt worden ist, worauf aber hier nicht eingegangen werden kann.
Die *gesetzliche* Festlegung des Ampere schließt sich an die Ausscheidung von Silber aus einer Silbernitratlösung durch den elektrischen Strom an.

Zum Vergleich:

Durch eine Glühlampe von mittlerer Helligkeit fließt je nach der Lichtstärke ein Strom von etwa 0,15 bis 0,25 A. Das elektrische Bügeleisen belastet die Leitung mit mehr als 2 A, ebenso die elektrische Kochplatte. Die Sicherungen im Haushalt vertragen 6 A. Die elektrische Straßenbahn fährt mit 150 A. Beim Schweißen braucht man etwa 600 A.

Berechne für alle Beispiele die Wasserstoffmengen, die durch Ströme der angegebenen Größe in 1 Minute, in 1 Sekunde entwickelt werden!

4. Strommeßgeräte. Die Messung der Stromstärke mit Hilfe der freiwerdenden Wasserstoffmenge ist für den Gebrauch in Wissenschaft und Technik unbequem. Man bevorzugt die einfacher zu handhabenden Zeigergeräte, die in der Mehrzahl auf der Ausnutzung der magnetischen Wirkung beruhen. Um sie in Ampere zu eichen, legt man sie gemeinsam mit einem Wasserzersetzungsgerät (Abb. 262) in denselben Stromkreis und vergleicht bei verschiedenen Stromstärken die

Abb. 263 Amperemeter

1) André-Marie *Ampère* (1775—1836), französischer Physiker, Professor in Paris

Ausschläge mit den entwickelten Wasserstoffmengen. Geeichte Geräte dieser Art bezeichnet man als *Amperemeter*. Sind sie empfindlich genug, um Ströme von tausendstel Ampere anzuzeigen, so spricht man von *Milliamperemetern*. Abb. 263 zeigt ein als Schalttafelgerät gebautes Amperemeter.

§ 43. Taschenlampenbatterie und Akkumulator

Wollen wir unabhängig vom Stromnetz elektrische Geräte betreiben, so sind wir auf sog. *elektrische Batterien* angewiesen. Von ihnen interessieren uns vor allem die *Taschenlampenbatterie* und der *Akkumulator*. Beide sind aus den galvanischen Elementen entwickelt worden, deren einfachstes das von Volta zusammengestellte Kupfer-Zink-Element ist. An ihm wollen wir die Wirkungsweise der Elemente verstehen lernen.

1. Das Kupfer-Zink-Element. In ein Glasgefäß gießen wir 9 Teile Wasser und dazu 1 Teil Schwefelsäure (nicht umgekehrt!). Wir stellen eine Zink- und eine Kupferplatte hinein, die wir durch Leitungsdrähte mit einem Galvanoskop (vgl. Abb. 251) verbinden. Die Nadel zeigt einen kräftigen Ausschlag. Zwischen den Platten besteht eine Spannung; in der Leitung fließt ein Strom. Wie kommt er zustande? Bei näherem Hinschauen bemerken wir, daß während der Stromabgabe an der Kupferplatte Gasbläschen hochsteigen. Es handelt sich um Wasserstoff. Die Kupferplatte selbst bleibt dabei unverändert, die Zinkplatte dagegen löst sich allmählich auf. Im Element spielt sich ein chemischer Vorgang ab, auf den wir nicht näher eingehen können. Er ist verbunden mit einer Umlagerung von Elektronen. Sie häufen sich auf der Zinkplatte an, während sie der Flüssigkeit und der Kupferplatte entzogen werden. So nimmt die Zinkplatte eine negative, die Kupferplatte eine positive Ladung an. Es entsteht zwischen ihnen eine Spannung, die den Strom auslöst. Sie beträgt beim Kupfer-Zink-Element rd. 1 V.
Das Auftreten einer Spannung ist nicht ausschließlich an Schwefelsäure, Zink und Kupfer gebunden. Auch andere Metalle oder Metall und Kohle können mit Säuren, Laugen oder Salzlösungen zu galvanischen Elementen zusammengestellt werden.

Zwischen zwei verschiedenen Metallen bzw. zwischen Metall und Kohle, die in Säure, Lauge oder Salzlösung eintauchen, besteht eine Spannung. Bei geschlossenem Stromkreis entsteht ein elektrischer Strom. Er fließt ununterbrochen, solange der chemische Vorgang im Element andauert.

2. Die Taschenlampenbatterie. Öffne eine unbrauchbar gewordene Taschenlampenbatterie (Abb. 264)! Untersuche den Aufbau, beschreibe und skizziere ihn! Zerlege ein Element (Abb. 265)! Beschreibe es! Wie sind die Elemente miteinander verbunden? – Flüssige Füllungen kann man in einer Taschenlampenbatterie nicht benutzen. Man muß verlangen, daß die Taschenlampenbatterie in allen Lagen betriebssicher ist. Deshalb wird die Zinkplatte zu einem geschlossenen Zylinder umgeformt und statt der Flüssigkeit Sägemehl, das mit

Abb. 264
Geöffnete Taschenlampenbatterie

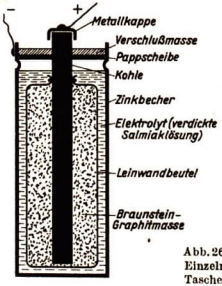


Abb. 265
Einzelnes Element der Taschenlampenbatterie

Salmiaklösung getränkt ist, benutzt. Die hiermit gefüllten Zinkzylinder enthalten außerdem ein Kohlestäbchen und werden mit einem Pappscheibchen und mit Asphaltlack verschlossen. Sie werden *Trockenelemente* genannt. Die Kohle ist der positive, das Zink der negative Pol des Elementes. Das in einem Beutelchen um den Kohlestab gelagerte schwere Braunsteinpulver dient dazu, den sich am Kohlestab abscheidenden Wasserstoff chemisch zu binden. Hierdurch wird die Wirksamkeit des Elementes erhöht.

3. Wie werden die Elemente zusammengeschaltet? Wir nehmen zwei verbrauchte Taschenlampenbatterien auseinander! In jeder Batterie sind drei kleine Trockenelemente enthalten. Wie wir schon festgestellt haben (vgl. Abb. 264), ist der Kohlepol des einen Elementes mit dem Zinkpol des andern Elements fest verbunden. Wir messen an einem einzelnen noch gebrauchsfähigen Element die Spannung mittels eines Voltmeters (vgl. Abb. 229). Sie beträgt 1,5 V. Wir legen nun die Elemente hintereinander in eine Reihe, zuerst zwei, dann drei und zuletzt vier, und zwar so, daß immer der Kohlepol des einen Elementes mit dem Zinkpol des folgenden verbunden wird. Das Voltmeter zeigt der Reihe nach 3 V, 4,5 V und 6 V. Eine derartige Verbindung mehrerer Elemente nennt man eine *Batterie*. Die eben besprochene Schaltung heißt *Hintereinander-* oder *Reihenschaltung* (Abb. 266).

Bei der Hintereinanderschaltung von Elementen wächst die Spannung.

Verbinden wir jetzt die vier Kohlepole und die vier Zinkbleche miteinander, so erhalten wir die *Parallelschaltung* (Abb. 267). Das Voltmeter zeigt 1,5 Volt.

Bei einer Parallelschaltung wird die Spannung nicht erhöht.

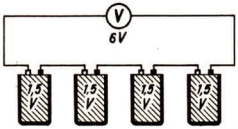


Abb. 266 Hintereinanderschaltung von Elementen

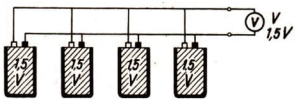


Abb. 267 Parallelschaltung von Elementen

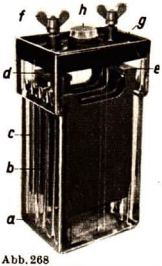


Abb. 268
Einzelliger Bleiakkumulator

a Gefäß
b Pluspiatte
c Minusplatte
d negative Polbrücke
e positive Polbrücke
f Anschlußklemme
g Vergußmasse
h Porzellanverschraubung

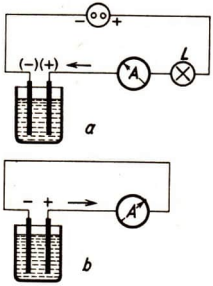


Abb. 269
Laden (*a*) und Entladen (*b*) eines Akkumulators

4. Der Akkumulator. Welche Erfahrung kann man mit einer Taschenlampenbatterie machen, wenn sie längere Zeit im Gebrauch war? Es gibt Batterien, die man beim Nachlassen der Spannung wieder durch elektrischen Strom laden kann. Sie speichern die vom elektrischen Strom verrichtete Arbeit auf und heißen *Sammler* oder *Akkumulatoren*[1]) (Abb. 268).

Der Akkumulator besteht aus einem Glasgefäß, in dem zwei besonders hergerichtete Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure stehen. Das Gefäß ist mit einem säurefesten Verschluß versehen, durch den der Pluspol und der Minuspol hindurchführen. Um die Wirkungsweise des Akkumulators verstehen zu lernen, tauchen wir zwei gewöhnliche Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure und verbinden die Platten mit einem Amperemeter. Man erhält keinen Ausschlag. Warum nicht? – Legen wir unser Akkumulatorenmodell in Reihe mit dem Amperemeter *A* und einer Glühlampe *L* an eine Gleichstromsteckdose oder eine Akkumulatorenbatterie (Abb. 269a), so zeigt das Amperemeter an, daß ein Strom fließt. Achte auf das Aussehen der Bleiplatten! Es ändert sich nach einiger Zeit. Der hindurchfließende Strom entbindet aus der verdünnten Säure Wasserstoff und Sauerstoff (vgl. § 42, 2). Unter der Einwirkung des Sauerstoffs überzieht sich die mit dem positiven Pol verbundene Platte mit einer braunen Oxydschicht; der elektrische Strom hat sie chemisch verändert. Jetzt wirken die Platten wie die verschiedenen Pole eines Elementes. Wir haben den Akkumulator *geladen*. Verbinden wir die Bleiplatten nach Abschalten der Stromquelle über das Amperemeter miteinander, so entsteht ein *Entladestrom*, der dem *Aufladestrom* entgegengesetzt gerichtet ist (Abb. 269b).

Die Spannung eines frisch geladenen Akkumulators beträgt etwas mehr als 2 V. Aus wieviel Zellen besteht ein 4-Volt-Akkumulator?

Nenne Anwendungen des Akkumulators! Er dient u. a. als Lichtquelle im Auto und am Motorrad und als Kraftquelle zum Anlassen der Fahrzeuge. Auch zum Betriebe von Rundfunkgeräten, die nicht an das Lichtnetz angeschlossen werden, wird ein „Akku" mitunter benötigt.

1) accumuläre (lat.) = anhäufen

Wenn der Akku recht lange betriebsfähig bleiben soll, muß er gut behandelt werden. Die Wichte der Schwefelsäure ist des öfteren zu prüfen. Sobald die Spannung auf 1,8 V gesunken ist, wird die Zelle wieder geladen. Auch unbenutzte Akkus müssen alle 4 Wochen geladen werden. Beim Laden und auch beim Entladen darf nur die angegebene Stromstärke zugeführt oder entnommen werden. Es ist darauf zu achten, daß beim Laden gleichartige Pole von Stromquelle und Zelle miteinander verbunden werden. Die einzelnen Akkuzellen werden dabei hintereinander geschaltet. Der Ladestrom muß Gleichstrom sein. Verdunstete Flüssigkeit darf nur durch destilliertes Wasser ersetzt werden, niemals durch Schwefelsäure oder Leitungswasser!

§ 44. Der elektrische Widerstand - Das Ohm

1. Ein Wasserlauf wird geregelt. Bei Wolkenbrüchen oder längeren Regenfällen geschieht es im Gebirge immer wieder, daß die zu Tal fließenden Gewässer schwere Schäden hervorrufen. Die Stärke des Wasserstromes ist schuld daran. Sie wirkt sich um so verheerender aus, je größer die Höhe ist, aus der das Wasser herabstürzt. Wie ist das zu erklären? – Um die Schäden auf ein erträgliches Maß hinabzudrücken, muß man dafür sorgen, daß das Wasser möglichst unbehindert abfließen kann. Man muß alles aus dem Wege räumen, was dem Wasserstrom Widerstand bieten könnte. Man „regelt" den Wasserlauf; man baut ihn aus. Welche Maßnahmen gehören dazu? Auch in der Ebene können sich solche Vorkehrungen als notwendig erweisen. – Ähnliche Verhältnisse liegen in jeder Wasserleitung vor. Immer wieder ist es neben der dem Wasser innewohnenden, durch die Gefällhöhe bedingten Arbeitsfähigkeit der Leitungswiderstand, der den Wasserstrom beeinflußt. – Auch beim elektrischen Strom haben wir bereits auf S.154 von einem *Widerstand* gesprochen. Da wir den Strom ohnehin als Folgeerscheinung der Spannung kennengelernt haben, ist zu vermuten, daß zwischen diesen drei grundlegenden Begriffen: der Spannung, der Stromstärke, dem Widerstand, enge Beziehungen bestehen.

GEORG SIMON OHM
(1789–1854)

2. G.S. Ohm - Spannung, Stromstärke, Widerstand. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge verdanken wir der Arbeit von Georg Simon Ohm. Er war der Sohn eines Erlanger Schlossermeisters. Nach dem Schulbesuch in seiner Vaterstadt studierte er Physik und Mathematik. Das Ergebnis seiner Arbeiten auf dem elektrischen Gebiet ist das nach ihm benannte *Grundgesetz des elektrischen Stromes*. Er veröffentlichte es in Berlin im Jahre 1827.

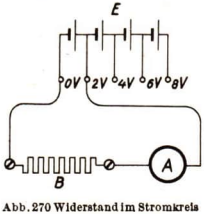


Abb. 270 Widerstand im Stromkreis

Wir beschaffen uns einen möglichst dünnen Eisendraht und klemmen ein 1 m langes Stück *B* zwischen zwei Klemmschrauben. Wir legen es in Reihe mit einem Amperemeter *A* an eine Zelle einer Akkumulatorenbatterie *E* (Abb. 270). Die Spannung beträgt 2 V. Die Stromstärke lesen wir am Amperemeter ab. Dann ersetzen wir den Draht *B* bei gleichbleibender Spannung durch Drähte von zwei-, drei-, vierfacher Länge. Unser Meßinstrument zeigt $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen Stromstärke an. Wir folgern daraus, daß die Drähte einen zwei-, drei-, vierfach so großen Widerstand besitzen wie der ursprüngliche Draht.
Wiederhole den Versuch mit einem veränderbaren Widerstand, mit dem du die Stromstärke in beliebiger Weise verändern kannst! Ein solcher Widerstand besteht aus einem sog. Widerstandsdraht, der den Strom sehr schlecht leitet. Die veränderbaren Widerstände werden als *Kurbel-* (Abb. 271) oder *Schiebewiderstände* (Abb. 272) hergestellt. Der Versuch zeigt uns:

Die Stromstärke wächst in dem Maße, wie der Widerstand abnimmt.

Wir behalten jetzt den längsten der vorhin benutzten Drähte bei, gehen aber von einer zu zwei, zu drei Akkumulatorenzellen über, steigern also die Spannung von 2 V auf 4 V, auf 6 V. Dabei wächst die Stromstärke auf das Zwei-, das Dreifache des ursprünglichen Betrages an. Wir finden:

Die Stromstärke wächst in dem Maße, wie die Spannung zunimmt.

Faßt man die beiden Ergebnisse zusammen, so erhält man das **Ohmsche Gesetz:**

Die elektrische Stromstärke wächst in dem Maße, wie die Spannung zunimmt und der Widerstand abnimmt.

Bei unseren Versuchen war uns die Spannung bekannt, die Stromstärke konnten wir am Amperemeter ablesen; demnach muß sich der Widerstand der benutzten Drähte berechnen lassen.
Es fehlt uns aber dazu noch eine Maßeinheit für den Widerstand. Er wird in **Ohm** (Ω) gemessen. Um die Widerstandseinheit immer wieder sehr genau herstellen zu können, hat man sie an einem Quecksilberfaden ausgemessen und hat gefunden:

Ein Quecksilberfaden von 1,063 m Länge und 1 mm² Querschnitt hat bei der Temperatur von 0° C den Widerstand 1 Ω.

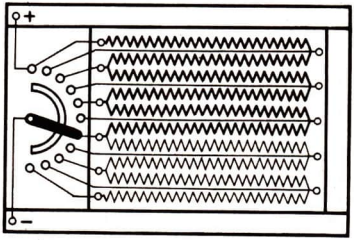


Abb. 271 Veränderbarer Kurbelwiderstand

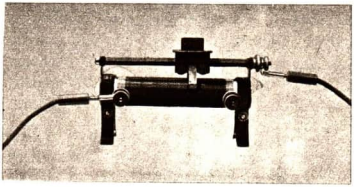


Abb. 272. Veränderbarer Schiebewiderstand

Bezeichnen wir die Spannung mit U (gemessen in Volt), die Stromstärke mit I (gemessen in Ampere) und den Widerstand mit R (gemessen in Ohm), dann erhalten wir die Beziehungen:

$$\text{Stromstärke } (I) = \frac{\text{Spannung } (U)}{\text{Widerstand } (R)},$$

$$\text{Spannung } (U) = \text{Stromstärke } (I) \cdot \text{Widerstand } (R)$$

und $$\text{Widerstand } (R) = \frac{\text{Spannung } (U)}{\text{Stromstärke } (I)}$$

oder abgekürzt nur mit Buchstaben:

$$I = \frac{U}{R}, \quad U = I \cdot R, \quad R = \frac{U}{I} \text{ (Ohmsches Gesetz).}$$

Rechne:

1. Durch einen Tauchsieder, der an eine 220-V-Leitung angeschlossen ist, fließt ein Strom von 2 A. Wie groß ist sein Widerstand?
   Wie groß müßte sein Widerstand bei gleichem Strom für eine 110-V-Leitung sein?
2. Wie groß ist die Stromstärke bei 220 V Spannung und 55 Ω Widerstand?
3. Wie groß ist bei einer Spannung von 220 V die Stromstärke in einem Bügeleisen mit einem Widerstand von 80 Ω, in einer Kochplatte mit einem Widerstand von 66 Ω, in einem Tauchsieder mit einem Widerstand von 120 Ω?
4. Die Hausleitung ist bei 220 V mit einer Sicherung für 6 A versehen. Was geschieht, wenn die unter 3. genannten Geräte gleichzeitig eingeschaltet werden?

Merke: Ein Amperemeter wird stets in Reihe geschaltet; ein Voltmeter liegt zur Meßstelle immer parallel.

§ 45. Die Kilowattstunde - Wie teuer ist die elektrische Arbeit?

1. Wie ermitteln wir die Arbeit, die der elektrische Strom verrichtet?

Jeder elektrische Strom, der einen Leiter eine gewisse Zeit durchfließt, verrichtet durch Auslösen einer der angeführten Wirkungen eine *Arbeit*. Wie früher unterscheiden wir davon die in 1 s verrichtete Arbeit und bezeichnen sie als die *Leistung* des Stromes. Um ihre Abhängigkeit von der Spannung und von der Stromstärke verständlich zu machen, ist es zweckmäßig, das Modell eines Wasserkreislaufes, wie es uns Abb. 273 veranschaulicht, zum Vergleich heranzuziehen.

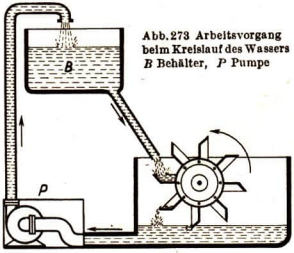


Abb. 273 Arbeitsvorgang beim Kreislauf des Wassers
B Behälter, *P* Pumpe

Eine Pumpe P hebt das Wasser in den Hochbehälter B empor. Von dort stürzt es herab und verrichtet durch Aufschlagen auf ein Schaufelrad eine Arbeit.

Nach den Feststellungen des § 20 ist sie gleich dem Produkt aus Kraft und Weg, mithin gleich dem in kpm gemessenen Produkt aus dem Gesamtgewicht des herabstürzenden Wassers und der Fallhöhe. Die Leistung, gemessen in kpm/s, ergibt sich hieraus durch Division dieses Produktes durch die Zeit. Hieran ändert sich nichts, wenn man die von 1 kp Wasser beim Herabstürzen verrichtete Arbeit mit der in 1 s abfließenden Wassermenge multipliziert.
Die Leistung des Wasserstromes wird bestimmt durch den Wasserdruck und die in der Sekunde auf das Schaufelrad fallende Wassermenge. Entsprechend hängt die Leistung des elektrischen Stromes von Spannung und Stromstärke ab.
Unsere Überlegung wird durch einen einfachen Versuch bestätigt:
Wir legen an eine Akkumulatorzelle (2 V) eine kleine Glühlampe L_1 (Taschenlampenbirne) in Reihe mit einem Amperemeter (Abb. 274a). Die Lampe leuchtet; es fließt ein Strom von etwa 0,6 A.
Schaltet man eine zweite Lampe L_2 der gleichen Art parallel zur ersten hinzu, so leuchten beide Lampen (Abb. 274b). Die Spannung der Stromquelle ist die gleiche geblieben (2 V); das Amperemeter zeigt einen Strom von 1,2 A an.
Legen wir dagegen beide Lampen, L_1 und L_2, hintereinander in den Stromkreis, so leuchten beide Lampen nur sehr schwach. Wir müssen die Spannung auf das Doppelte (4 V) erhöhen, mithin zwei Akkumulatorzellen wählen, wenn die Lampen wieder die alte Leuchtkraft haben sollen (Abb. 274c). Als Stromstärke lesen wir wieder 0,6 A ab.
Worin besteht bei unserem Versuch die Leistung des Stromes? Er erzeugt beim Fließen durch die Glühlampen in jeder Lampe Wärme und bringt dadurch die Lampen zum Leuchten, und zwar bei Versuch a) *eine* Lampe, bei Versuch b) und c) *zwei* Lampen. Wir entnehmen daraus die Berechtigung, die Leistung des Stromes bei b) und bei c) rein äußerlich als doppelt so groß wie bei a) anzusehen.
Bilden wir andererseits die Produkte aus den Maßzahlen der Spannung und Stromstärke, so ergibt sich

$$\text{bei a)}\ 2 \times 0{,}6 = 1{,}2, \quad \text{bei b)}\ 2 \times 1{,}2 = 2{,}4, \quad \text{bei c)}\ 4 \times 0{,}6 = 2{,}4.$$

Da auch diese Produkte im Falle b) und c) doppelt so groß wie im Fall a) sind, wählen wir sie als Maß für die Stromleistung und setzen fest:

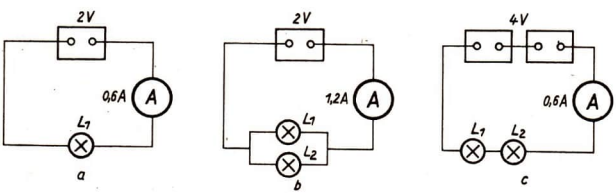


Abb. 274 Abhängigkeit der Stromleistung von Spannung und Stromstärke
a Stromkreis mit einer Lampe, *b* Stromkreis mit zwei parallel geschalteten Lampen
c Stromkreis mit zwei in Reihe geschalteten Lampen

Die vom elektrischen Strom in einer Sekunde geleistete Arbeit oder die Leistung (N) ist gleich dem Produkt aus Spannung U und Stromstärke I.
Leistung = Spannung · Stromstärke, $N = U \cdot I$.

Daraus ergibt sich als Maßeinheit für die elektrische Leistung das **Voltampere** (VA); dafür hat man die Bezeichnung 1 **Watt**[1]) (W) eingeführt. In der Technik benutzt man eine 1000mal so große Einheit, das **Kilowatt** (1000 W = 1 kW).
Auf einem Lampensockel lesen wir 220 V 40 W, auf einem Bügeleisen 220 V 600 W. Erkläre diese Angaben!
Für die vom Elektrizitätswerk gelieferte elektrische Arbeit ist außer der Spannung und der Stromstärke noch die Zeit maßgebend, während der das Gerät in Betrieb ist. *Die Arbeit*, die ein *Strom* bei einer Leistungsabgabe von 1 W während *einer Stunde* verrichtet, heißt *Wattstunde* (Wh[2])); der tausendfache Betrag ist eine **Kilowattstunde** (kWh). Es ist also

Arbeit = Leistung · Zeit, Arbeit = $N \cdot t$ oder Arbeit = $U \cdot I \cdot t$.

Brennt eine 40-Watt-Lampe 10 Minuten, dann haben wir die Leistung von 40 W während 600 s beansprucht; es ist also eine Arbeit von 40 W mal 600 s = 24000 Wattsekunden (Ws) verrichtet worden. Rechne 1 kWh in Ws um! Drücke danach die eben ermittelte Stromarbeit in kWh aus!

Rechne:

1. Wie lange kann eine 100-W-Lampe brennen, bis 1 kWh verbraucht ist?
2. Eine Hausfrau hat $\frac{1}{2}$ Stunde elektrisch gekocht. Die Leistung der Kochplatte beträgt 500 W. Wie groß ist die dem Leitungsnetz entnommene Arbeit?
3. Man hat vergessen, die Flurlampe (40 W) auszuschalten. Sie brennt von 22 bis 7 Uhr. Wieviel elektrische Arbeit ist vergeudet worden?
4. Ein Tauchsieder verbraucht in 15 Minuten 0,1 kWh. Wie groß ist seine Leistung?
5. Wie groß ist in einer 40-W-Lampe die Stromstärke bei 220 V? Welchen Widerstand hat die Lampe?

Merke:

Ws und kWh sind Arbeitsmaße.
W und kW sind Leistungsmaße.

2. Der Preis für 1 kWh - Messung der elektrischen Arbeit. Zu jeder Tages- und Nachtzeit stellt uns das Elektrizitätswerk elektrischen Strom zur Verfügung. Die Bedingungen, unter denen es die elektrische Arbeit liefert, nennt man *Tarif*. Als Einheit gilt eine Kilowattstunde. Der Preis für 1 kWh schwankt etwa zwischen 4 und 40 Pf. Zur Feststellung des Stromver-

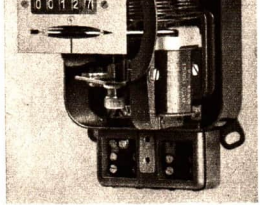


Abb. 275 Elektrizitätszähler (Gehäuse abgenommen)

1) Benannt nach James *Watt*, dem Erfinder der doppelt wirkenden Dampfmaschine (1736—1819)
2) h Abkürzung für hora (lat.) = Stunde

brauches ist in unserer Wohnung ein **Zähler** angebracht (Abb. 275), der selbsttätig den Stromverbrauch in kWh anzeigt.

Achte auf die Drehgeschwindigkeit des Rädchens bei Anschluß verschiedener Geräte! – Stelle durch Zählerablesung euren Tagesverbrauch (Wochen- und Monatsverbrauch) fest und errechne die zu zahlenden Gebühren! – Versuche durch genaue Ablesung während einer bestimmten Zeit die Leistung deiner Tischlampe oder eines Gerätes (z. B. Bügeleisen) zu berechnen und vergleiche deine Ergebnisse mit der auf den Geräten angegebenen Leistung!

§ 46. Elektrische Nachrichtenübertragung

1. Der Elektromagnet – Die elektrische Klingel. Ein Versuch soll uns die Wirkungsweise des Elektromagneten erklären: Wir umwickeln einen dicken eisernen Nagel (keinen Stahlnagel!) mit isoliertem Kupferdraht. Durch den Draht schikken wir elektrischen Strom und bringen eine Stahlfeder in die Nähe des Nagelkopfes (Abb. 276). Der Eisennagel ist ein Magnet geworden und zieht die Feder an. Beim Unterbrechen des Stromlaufes fällt die Feder wieder ab. Schließe und öffne den Stromkreis mehrmals! Den in der Drahtspule steckenden Nagel bezeichnet man als *Eisenkern*. Fließt Strom durch die Spule, dann wird der Eisenkern magnetisch, und wir sprechen von einem **Elektromagneten.**

Ein Elektromagnet besteht aus einer stromdurchflossenen Spule, in der ein Eisenkern steckt.

Worin unterscheidet sich ein Elektromagnet von einem Dauermagneten? Entferne den Nagel aus der Spule! Schicke Strom durch die Spule und prüfe ihr Verhalten zu einer frei beweglichen Magnetnadel!

Elektromagnete finden mannigfache technische Verwendung. Im elektrischen *Türöffner* zieht ein in das Türschloß eingebauter kleiner Elektromagnet die Sperrvorrichtung der Klinke zurück. Wird durch Loslassen des Druckknopfes der Stromkreis unterbrochen, so federt die Sperre in die alte Lage und hält die Klinke fest.

Beim *elektrischen Weichensteller der Straßenbahn* betätigt der Fahrstrom einen Elektromagneten, der die Weichenzunge in die gewünschte Stellung zieht.

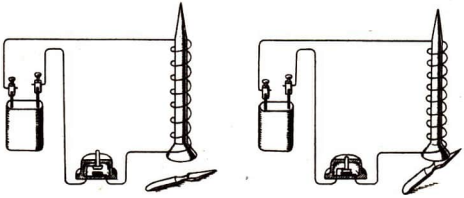


Abb. 276
Wie ein Elektromagnet eine Stahlfeder anzieht

Elektromagneten werden in jeder Größe und Stärke hergestellt. Bei der Beförderung und Aussortierung von Eisenschrott ist der Elektromagnet ein unentbehrliches Hilfsmittel (Abb. 277).

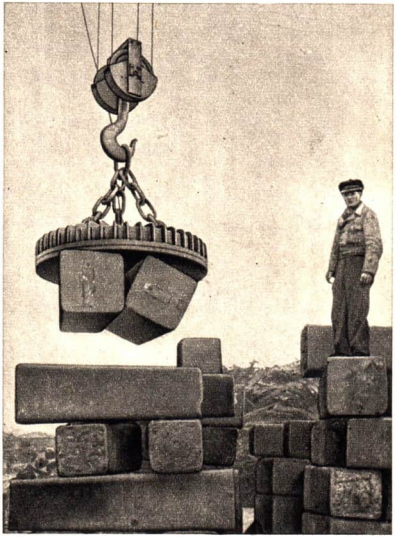


Abb. 277 Elektromagnet zum Heben von Stahl und Schrott im volkseigenen Stahlwerk Hennigsdorf. Der Magnet trägt 2 Stahlblöcke mit einem Gewicht von je 2500 kp, insgesamt also 5000 kp

Wie wirkt die elektrische Klingel? Verfolge den Stromlauf in Abb. 278! Durch Drücken auf den Klingelknopf wird der Stromkreis geschlossen. Der Anker wird angezogen und verbleibt in dieser Lage. Warum? Mehrmaliges Anschlagen des Klöppels an die Glocke läßt sich bei einer Klingel dieser Art nur durch wiederholtes Öffnen und Schließen des Stromes erreichen. Bei einer Klingel der üblichen Bauart zwingt eine äußerst einfache Einrichtung, der *Wagnersche Hammer* (Abb. 279), den Strom, die Unterbrechung selbsttätig vorzunehmen. Drückt man auf den Klingelknopf, so schließt man den Stromkreis, und der Elektromagnet zieht den Anker *A* an. Dabei entfernt sich der Anker von der Stellschraube *U*, und der Stromkreis ist bei *S* unterbrochen. Infolgedessen hört die magnetische Wirkung auf, der Anker federt nach *S* zurück und schließt den Stromkreis von neuem.

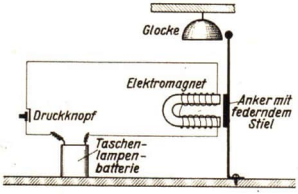
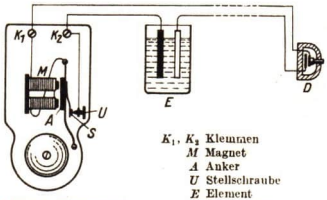


Abb. 278
Elektrische Klingel ohne Selbstunterbrecher



K_1, K_2 Klemmen
M Magnet
A Anker
U Stellschraube
E Element
D Druckknopf
S Unterbrechungsstelle

Abb. 279 Stromverlauf der elektrischen Klingel

Die Bewegungen des Ankers finden erst dann ihr Ende, wenn wir durch Loslassen des Klingelknopfes den Stromkreis unterbrechen. Versagt die elektrische Klingel, dann liegt es meist daran, daß die Stellschraube *U* die Ankerfeder in der Ruhelage nicht mehr berührt. Durch Nachstellen der Schraube behebt man den Fehler. Ziehe die Schraube nicht so weit an, daß der Anker den Eisenkern des Elektromagneten berührt! Warum?

FRIEDRICH GAUSS
(1777–1855)

WILHELM WEBER
(1804–1891)

2. Wir telegraphieren. Schon im Altertum übermittelte man eilige Nachrichten schnell durch Schall und Licht (Rufposten; Hörner; Flammen- und Rauchzeichen auf Bergspitzen usw.). Lichtzeichen werden heute noch benutzt: Signale bei der Eisenbahn; Blinkfeuer, Sturmbälle für die Schiffahrt. Die größte Umstellung im Fernmeldewesen ging vor sich, als es gelang, die Elektrizität in den Dienst der Nachrichtenübermittlung zu stellen. 1833 bauten die beiden Göttinger Professoren *Gauß* und *Weber* den ersten *Telegraphen*[1]). Als Zeichen, über die man sich vorher geeinigt hatte, dienten Ausschläge eines empfindlichen Galvanometers. 1837 verwendete der Amerikaner *Morse* den Elektromagneten zur *Zeichenübermittlung* und stellte aus Punkten und Strichen eine Buchstabenanordnung, das nach ihm benannte *Morsealphabet*, zusammen. Einige Jahre später wurde die Entdeckung gemacht, daß man zur Rückleitung des Stromes die Erde benutzen kann. Die Stationen brauchen also nur durch *einen* Draht verbunden zu werden, was namentlich auf weite Entfernungen eine erhebliche Einsparung von Material (Kupfer) und Arbeit bedeutet.

Von der Stromquelle fließt der Strom zum Zeichengeber *G* (Taster) (Abb. 280) und von hier weiter zum Elektromagneten auf der Empfangsstation, dann durch die Erde zurück zur Stromquelle *B* auf der Sendestation. Drückt man den Taster nieder, dann ist der Stromkreis geschlossen, und der Elektromagnet zieht den drehbaren Anker *A* an. Dadurch wird die rechte Seite des Ankers mit dem Schreibstift *S* in die Höhe gehoben und gegen einen Papierstreifen gedrückt, den ein Uhrwerk gleichmäßig an *S* vorbeizieht. Je nach der Dauer des Stromschlusses entstehen so auf dem Papierstreifen kurze oder längere Striche (man sagt: *Punkte und Striche*).

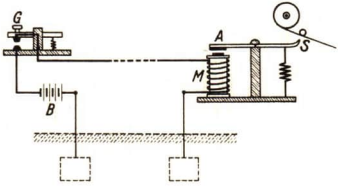


Abb. 280 Der Morsetelegraph

1) tële (griech.) = fern
gráphein (griech.) = schreiben

3. Rufe mich an! – Vom Telephon. In dem Hörer, den man von der Gabel des Fernsprechers nimmt, sind zwei Geräte vereinigt: ein *Sprech-* und ein *Hörapparat,* das **Mikrophon**[1]) und das **Telephon** (Abb. 281).

Abb. 281 Das moderne Telephon

a) Das Mikrophon. Im Mikrophon werden die Schallwellen der Sprache in Stromschwankungen umgewandelt. Wie diese Umwandlung vor sich geht, soll uns ein Versuch veranschaulichen (Abb. 282): Der Kohlestab K ist lose zwischen zwei Kohleblöcken A und B eingeklemmt, so daß er geringe Bewegungen ausführen kann. Auf das Grundbrett stellen wir einen Wecker. In den Stromkreis schalten wir einen Telephonhörer (z. B. Kopfhörer vom Rundfunk). Das Ticken der Uhr erschüttert das Brett und mit ihm den Kohlestab K. Das Stäbchen liegt bald mehr oder minder fest zwischen den beiden Berührungsstellen. Liegt es fest an, dann ist der Widerstand in der Leitung geringer, mithin die Stromstärke größer. Bei losem Anliegen wächst der Widerstand, und die Stromstärke nimmt ab. Treffen die durch das Ticken der Uhr entstandenen Schallwellen auf das Kohlestäbchen, so wandelt es die Schallwellen in elektrische Stromschwankungen um. Im Hörer können wir das Ticken der Uhr deutlich wahrnehmen.

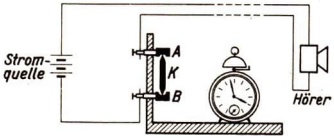
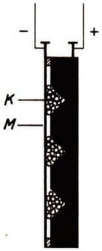


Abb. 282 Stabmikrophon

Unser Kohlestabmikrophon reicht nicht aus, die menschliche Stimme zu übertragen; dazu ist das Stäbchen zu schwer, es vermag den äußerst geringen Schwingungen nicht nachzugeben. Unsere Fernsprechgeräte besitzen *Kohlekörnermikrophone* (Abb. 283) mit vielen kleinen Berührungsstellen. Spricht man gegen die Membran M, so beginnt sie zu schwingen. Nehmen wir an, sie mache 450 Schwingungen in der Sekunde, dann werden die Kohlekörner K 450 mal zusammengedrückt, d. h. durch die innige Berührung wird der Leitungswiderstand geringer, und 450 mal fließt ein verstärkter Strom durch die Leitung. Membran sowohl wie auch Kohlekörner sind derartig fein, daß sie auf die geringsten Schwingungen ansprechen.

Abb. 283 Kohlekörnermikrophon



1) mikrós (griech.) = klein, phoné (griech.) = Ton, Sprache

Abb. 284 Schnitt durch ein Telephon

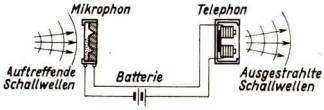
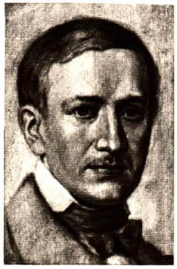


Abb. 285 Schema einer einfachen Fernsprechanlage



PHILIPP REIS (1834–1874)

b) Das Telephon. Es besteht aus einem Elektromagneten mit hufeisenförmigem Eisenkern E, vor dessen Polen sich als Anker eine federnde Eisenmembran M befindet (Abb. 284). Im Rhythmus der vom Mikrophon ankommenden Stromschwankungen zieht der Elektromagnet die Eisenmembran des Hörers stärker oder schwächer an. Sie macht dieselbe Zahl von Schwingungen wie die Membran des Mikrophons. Die Schwingungen der Membran übertragen sich auf die umgebende Luft, und unser Ohr empfindet sie als Schall. Das Telephon wandelt mithin elektrische Stromstöße in Schallwellen um.
Abb. 285 läßt in schematischer Darstellung erkennen, wie Mikrophon und Telephon in einem Stromkreis vereinigt sind.

Der Erfinder der Urform des Telephons ist Philipp Reis. 1860 entwickelte er das erste Telephon, doch gelangte seine Erfindung, deren Bedeutung er richtig erkannt hatte, nicht zur Ausführung im großen. 1876 schuf der Amerikaner Graham *Bell* das erste Telephon, das praktische Verwendung fand.

§ 47. Vom elektrischen Kraftwerk - Erzeugung des elektrischen Stromes

Wir haben bisher zu unseren Versuchen, zum Betrieb unserer elektrischen Lampen und Geräte dem Leitungsnetz elektrischen Strom entnommen, ohne zu fragen, wie er erzeugt wird. Die Stromquelle ist das Elektrizitätswerk oder die Überlandzentrale. Um die Wirkungsweise der im Kraftwerk befindlichen Maschinen verstehen zu können, ist die Kenntnis des Zusammenspiels von magnetischen und elektrischen Kräften erforderlich.

1. Wie elektrischer Strom erzeugt wird - Induktion. Eine aus vielen Windungen bestehende Drahtspule verbinden wir mit einem empfindlichen Strommeßgerät (Abb. 286). Wir stoßen einen kräftigen Stabmagneten in die Spule hinein. Das Meßgerät zeigt einen Ausschlag, so lange der Magnet bewegt wird: in der Spule fließt ein Strom. Ist der Magnet zur Ruhe gekommen, dann stellt sich der Zeiger des Meßinstrumentes wieder auf den Nullpunkt ein: die Spule ist stromlos. Beim Herausziehen des Magneten aus der Spule ist abermals ein Ausschlag des

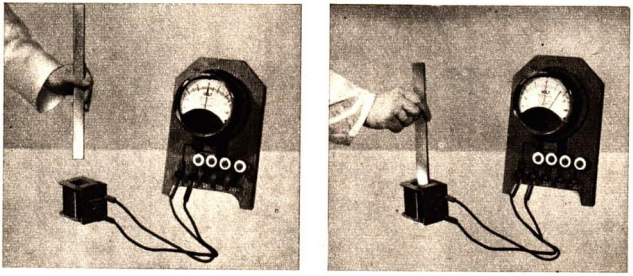


Abb. 286 Wie ein Magnet elektrischen Strom erzeugt

Meßgerätes zu beobachten, jedoch nach der entgegengesetzten Seite. Es fließt also wieder ein Strom, aber in umgekehrter Richtung. Dasselbe Ergebnis erhält man, wenn man die Spule über den Magneten schiebt.

In einer Spule entsteht ein elektrischer Strom, wenn man ihr einen Magneten nähert (in sie einführt) oder von ihr entfernt; der Strom ändert seine Richtung bei Änderung der Bewegungsrichtung.

Wie ist diese Erscheinung zu erklären? Wir wissen, daß der Magnet von einem magnetischen Feld umgeben ist. Wird der Magnet in die Spule hineingeschoben, so ändert sich das Magnetfeld in dem von den Windungen der Spule umschlossenen Raum; dann fließt in der Spule elektrischer Strom. *Der auf diese Weise erzeugte Strom heißt* **Induktionsstrom**[1]). Befindet sich der Magnet in der Ruhelage, so ändert sich das Feld nicht; es entsteht kein Strom. Ein Induktionsstrom entsteht nur bei einer Änderung des induzierenden Magnetfeldes.
Wir führen die Versuche mit schwächeren und stärkeren Magneten aus. – Wir nehmen Spulen von verschiedener Windungszahl und achten auf die Ausschläge des Meßinstrumentes. Wir tauchen den Magneten langsamer und schneller in die Spule. Wir erkennen:

Je stärker der Magnet ist, je mehr Windungen die Spule besitzt und je schneller die Bewegung erfolgt, desto stärker wird der Induktionsstrom.

Wir wiederholen den Versuch, indem wir statt des Magneten eine stromdurchflossene Spule benutzen (Abb. 287). – Wir stecken in die stromdurchflossene Spule einen Eisenkern *(Elektromagnet)* und beachten jetzt die Größe der Zeigerausschläge. Der Induktionsstrom ist wesentlich stärker geworden. Wir stecken den Elektromagneten in die Spule, die mit

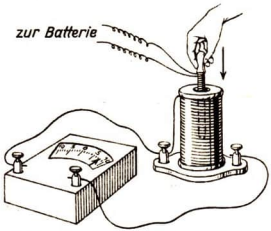


Abb. 287 Die stromdurchflossene Spule im Magnetfeld erzeugt einen Strom

1) indúctio (lat.) = Einführung, Erregung

dem Strommeßgerät verbunden ist, und belassen ihn darin. Schalten wir bei ruhenden Spulen den Strom des Elektromagneten aus oder ein, so zeigt das Strommeßgerät auch einen Ausschlag: es fließt ein Induktionsstrom. Durch das Aus- und Einschalten des Stromes ändert sich die Stärke des Elektromagneten und damit die Stärke des Feldes in der Spule.

Ein Induktionsstrom entsteht in einem geschlossenen Leiter, wenn die Stärke des von ihm umschlossenen Magnetfeldes geändert wird.

2. Stromerzeugende Maschinen. Erzeugt man einen Induktionsstrom durch Bewegen eines Magneten in einer Spule (Versuch Abb. 286), so muß der Magnet dauernd hin- und herbewegt werden. Der entstehende Induktionsstrom ändert bei jeder Hin- und Herbewegung seine Richtung, er ist ein **Wechselstrom.** — Eine Hin- und Herbewegung läßt sich technisch schwer verwirklichen; man läßt deshalb die Spule Drehbewegungen ausführen. Wie man das erreicht, zeigt Abb. 288. *N* und *S* sind die Pole eines starken Magneten. Sein magnetisches Feld ist durch die dünn gezeichneten, von *N* nach *S* verlaufenden Pfeile angedeutet. Im magnetischen Feld wird die Spule, von der in unserer Abbildung nur eine einzige Windung *A B C D* gezeichnet ist, gedreht. Die Enden der Drahtschleife sind an zwei gegeneinander isolierten Metallringen befestigt. Die Metallringe sitzen auf einer Achse, und auf ihnen schleifen zwei Metallfedern oder -bürsten, die mit einem Meßgerät verbunden sind. Dreht man die Kurbel in der Pfeilrichtung, dann durchschneiden die Drahtstücke *A B* und *C D* die magnetischen Feldlinien. Da sich infolgedessen das von der Leiterschleife umschlossene magnetische Feld ändert, entsteht ein Strom, der in dem in Abb. 288 festgehaltenen Augenblick in Richtung der Pfeile fließt. Bei einer vollen Umdrehung der Spule lassen sich

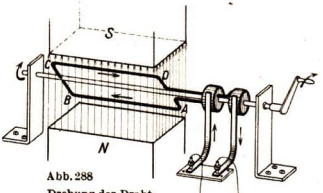


Abb. 288
Drehung der Drahtschleife im Magnetfeld

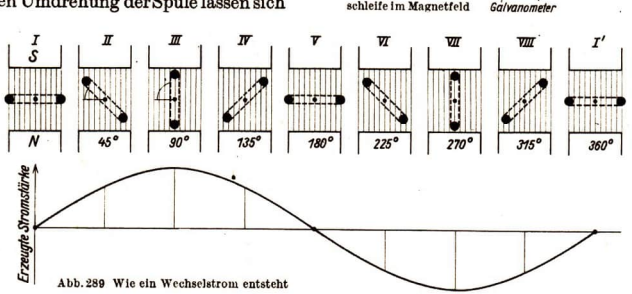


Abb. 289 Wie ein Wechselstrom entsteht

zwei Stellungen stärkster Stromerregung angeben. Sie werden in dem Augenblick erreicht, in dem die Drahtwindung in Abb. 288 senkrecht stehen würde. Überlege, welche beiden Stellungen die beiden Leiterstücke AB und CD in diesem Augenblick gerade einnehmen können! Die Feldlinien werden dann von AB und CD senkrecht durchschnitten. Beide Stellungen sind um 180° gegeneinander verdreht; in beiden Stellungen fließt der Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Spule.
Dazwischen durchläuft die Spule zwei Stellungen, in denen überhaupt kein Strom induziert wird. Dies ist der Fall, wenn die Drahtwindung im Bild waagerecht liegen würde. Die Feldlinien werden in diesem Augenblick nicht geschnitten; ein Strom wird nicht induziert. In diesen beiden Lagen tritt der Wechsel der Stromrichtung ein. Abb. 289 läßt Einzelheiten noch besser erkennen. Erkläre das Bild!

Dreht man eine Drahtschleife in einem Magnetfeld, so entsteht ein Induktionsstrom. Die Stärke des Stromes wächst von Null bis zu einem Höchstwert, der nach einer Vierteldrehung erreicht wird; sie nimmt im Verlauf der zweiten Vierteldrehung wieder bis auf Null ab. Jetzt wechselt die Stromrichtung, und in der zweiten Halbdrehung wiederholt sich der Vorgang. Es entsteht ein Wechselstrom.

Der in regelmäßigen Zeitabschnitten schwankende Wechselstrom läßt sich zur Beleuchtung nur verwenden, wenn die einzelnen Wechsel sehr schnell aufeinanderfolgen; sonst würden die Glühlampen ein flackerndes Licht aussenden. An die Stelle der einzelnen Drahtwindung tritt bei der stromerzeugenden Maschine im Elektrizitätswerk ein ganzes System von Induktionsspulen, das man als **Anker** bezeichnet. Der Anker läuft sehr schnell um; der Strom fließt dabei in einer Sekunde 50 mal hin und her. Eine vollständige Stromschwingung heißt eine *Periode*[1]). Bei diesem 50periodigen Wechselstrom brennen unsere Lampen scheinbar gleichmäßig, da unser Auge die schnellen Wechsel nicht mehr wahrzunehmen vermag (vgl. § 39).

Auch *Gleichstrom* läßt sich maschinell erzeugen, wie wir uns an Hand der Abb. 290 klarmachen wollen. Statt der beiden Schleifringe der Abb. 288 haben wir hier nur einen, der aus zwei gegeneinander isolierten Halbringen I und II besteht, auf denen die Metallbürsten A und K schleifen. In den Halbringen endet die Drahtschleife. In ihr fließt bei der gezeichneten Stellung der Strom von II nach I, wenn wir die Drahtschleife im Sinne des Uhrzeigers drehen. Nach einer Drehung von 180° ist O an die Stelle von U gekommen und U an die Stelle von O.

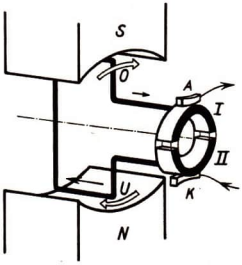


Abb. 290 Erzeugung von Gleichstrom

1) perí (griech.) = um, herum; hodós (griech.) = Weg

Der Strom fließt zwar jetzt in der Drahtspule in umgekehrter Richtung wie vorher, nämlich von I nach II, doch befindet sich Halbring I jetzt an der Abnehmerbürste *K* und Halbring II an der Bürste *A*. *K* ist also nach wie vor der negative, *A* der positive Pol. In der Außenleitung fließt der Strom in gleicher Richtung. Wir haben *Gleichstrom* erhalten, der sich allerdings in seiner Stärke periodisch ändert. Seine Entnahme wurde durch die beiden Halbringe ermöglicht. Man nennt eine solche Einrichtung *Stromwender* oder *Kommutator*[1]). Erkläre den Namen Stromwender!

Einer Stromerzeugungsmaschine kann man Gleichstrom entnehmen, wenn man den Anker mit einem Stromwender versieht.

Will man den Strom im großen erzeugen, so sind nicht nur starke Magnete erforderlich – man benutzt Elektromagnete –, sondern man ersetzt die Drahtschleifen durch drehbare Spulen bzw. Spulensysteme (Anker). An Stelle des zweiteiligen Kommutators tritt ein vielteiliger Kontaktgeber, ein sog. *Kollektor*[2]). Die Stromerzeuger unserer Elektrizitätswerke weisen Leistungen von vielen tausend Kilowatt auf. Einen wesentlichen Anteil an der Grundlegung der Elektrotechnik hatte *Werner von Siemens* (1816–1892).

3. Ein Besuch im Elektrizitätswerk. In den Stromerzeugern muß sich entweder der Anker oder der Magnet drehen, wenn Strom erzeugt werden soll. Den bewegten Teil der Maschine nennt man *Läufer*, den feststehenden *Ständer*. Zum Antrieb des Läufers dienen in der Regel *Turbinen*[3]), in denen man die Arbeitsfähigkeit, die *Energie*[4]), des strömenden Wassers oder des Dampfes ausnutzt. Näheres über Wasser- und Dampfturbinen bringen die §§ 52 u. 53. Abb. 291 zeigt den Maschinensaal eines Kraftwerkes.

Von der Stromerzeugung selbst kann man im Elektrizitätswerk nicht viel sehen. Nur die riesigen Schaltanlagen und ein Blick auf die vielen Meßgeräte mit den hohen Ampere- und Voltzahlen geben uns Kunde von der gewaltigen Leistung eines modernen Kraftwerkes, die in vielen Kraftwerken Hunderttausende von Kilowatt beträgt. Äußerste Sparsamkeit bei Erzielung eines größtmöglichen Nutzens ist die Vorbedingung für wirtschaftliches Arbeiten eines Kraftwerkes. Man errichtet deshalb Dampfkraftwerke zur Vermeidung eines unnötigen Kohletransportes möglichst in der Nähe der Kohlenflöze.

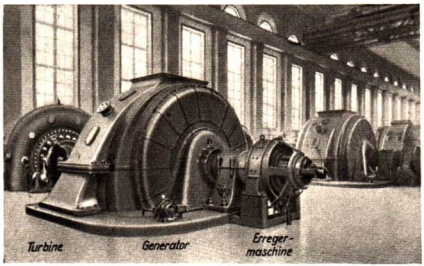


Abb. 291 Maschinensaal eines Wasserkraftwerkes

1) commutare (lat.) = verändern, wechseln
2) collector (lat.) = Sammler
3) turbare (lat.) = wirbeln
4) ĕnĕrgeia (griech.) = Wirksamkeit

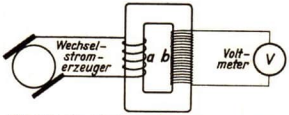


Abb. 292 Der Wechselstrom wird umgespannt

4. Die Hochspannungsleitungen führen uns den elektrischen Strom zu. Kraftwerke und Überlandzentralen versorgen weite Gebiete mit elektrischer Energie. Der elektrische Strom muß von der Erzeugungsstätte zur Verbrauchsstelle fließen. Ein Beispiel soll uns zeigen, welche Schwierigkeiten dabei zu überwinden sind: Das Kraftwerk K soll an eine 100 km entfernte Stadt S eine Leistung von 100 000 kW liefern. Die Verbrauchsspannung in der Stadt S betrage 220 V. Aus § 45 wissen wir, daß die Leistung gleich Spannung mal Stromstärke ist ($N = U \cdot I$). Das bedeutet in unserem Beispiel: K müßte einen Strom von mehr als 450 000 A durch die Fernleitung schicken, wenn es ihn mit der in der Stadt S üblichen Verbrauchsspannung von 220 V abgeben wollte. Das stößt auf größte Schwierigkeiten. Die Leitung müßte einen so großen Querschnitt haben, daß bei der Länge die Materialkosten kaum aufzubringen wären. Auch könnte sie nicht als Luftleitung verlegt werden, sondern es wären Erdkabel von riesigen Ausmaßen nötig. Wir können uns hier nur helfen, indem wir die Spannung erhöhen; dann sinkt bei gleichbleibender Leistung die Stromstärke. Liefert das Kraftwerk K dieselbe Leistung mit einer Spannung von 200 000 V, dann fließt durch die Leitung ein Strom von 500 A Stärke. Das ist durchaus wirtschaftlich. Man könnte auch noch eine Verteilung auf zwei Leitungen vornehmen, ohne daß die Anlagekosten zu groß werden. In S selbst muß dann die Spannung wieder auf die Verbrauchsspannung von 220 V herabgesetzt werden, bevor die Abnehmer den Strom erhalten.

Das *Umspannen* des Wechselstroms geht außerordentlich leicht vor sich. Das ist ein großer Vorteil gegenüber dem Gleichstrom. Wie es geschieht, zeigt ein einfacher Versuch: Wir wickeln zwei Spulen, a und b, um einen gemeinsamen Eisenkern (Abb. 292), von denen b aus den unten angegebenen Gründen mehr Windungen enthält als a. Schalten wir an die Spule a eine Stromquelle, so verlaufen die magnetischen Feldlinien in der Spule a geschlossen im Eisen und durchsetzen die Spule b. Wir wissen, daß in b ein Induktionsstrom entsteht, wenn sich das magnetische Feld der Spule a ändert. Dies geschieht in dauernder Wiederholung, wenn wir als Stromquelle einen Wechselstromerzeuger verwenden. Da sich die Stromstärke eines Wechselstromes ständig ändert, muß sich auch das magnetische Feld der Spule a in regelmäßigem Wechsel ändern. In Spule b entsteht somit ein Induktionsstrom, und zwar ebenfalls ein Wechselstrom.

Die an die Wechselstromquelle angeschlossene Spule a habe beispielsweise zehn Windungen; die Spannung betrage 5 V. Spule b habe 100 Windungen. Wir verbinden sie mit einem Voltmeter V und lesen eine Spannung von 50 V ab. Beschicken wir umgekehrt Spule b mit Wechselstrom bei einer Spannung von 20 V, so zeigt ein mit der Spule a verbundenes Voltmeter 2 V an. Die Spannung nimmt demnach mit der Zahl der Windungen zu bzw. ab. Bezeichnen wir die Spannungen mit U_1 und U_2, die Zahl der Windungen mit w_1 und w_2, dann ergibt sich:

$$\frac{\text{Spannung Eingangsseite}}{\text{Spannung Ausgangsseite}} = \frac{\text{Windungszahl Eingangsseite}}{\text{Windungszahl Ausgangsseite}} \quad \text{oder in Buchstaben:} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Eine Vorrichtung der geschilderten Art bezeichnet man als *Transformator*[1]). Da die Leistung sich beim Umspannen nicht ändert, so beträgt in unserm Beispiel die Stromstärke in *b* $\frac{1}{10}$ der Stromstärke in *a*. Auf die gleiche Weise geschieht die Umspannung des Stromes im großen.

Der im Elektrizitätswerk erzeugte Wechselstrom hat eine Spannung von 6000 bis 20000V, die in dem mit dem Kraftwerk verbundenen *Umspannwerk* unmittelbar auf eine Spannung von 110000 oder 220000 V gebracht wird. Der Strom verläßt das Werk durch die Hochspannungsfernleitungen (Abb. 293). Im Verbrauchsgebiet spannt ihn ein zweites Umspannwerk, das kleinere Gebiete versorgt, auf 25000 V herab. In dichter besiedelten Gegenden wird dann in einer zentral gelegenen Ortschaft der Strom auf 6000 V herabgespannt, und die Leitungen, die diese Spannung führen, münden in die allen bekannten *Transformatorhäuschen* (Abb. 294), in denen die letzte Umspannung auf die übliche Verbrauchsspannung erfolgt.

Abb. 293 Hochspannungsfernleitung

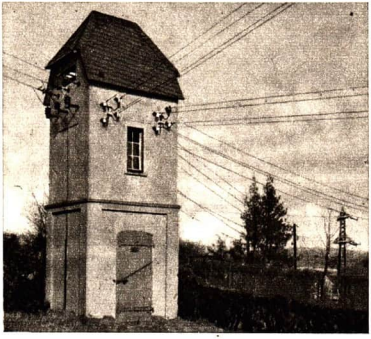


Abb. 294 Transformatorhäuschen

Elektrische Energie kann wirtschaftlich auf weite Strecken nur bei hoher Spannung übertragen werden. — An der Verbrauchsstelle muß der Strom auf die Verbrauchsspannung umgespannt werden.

§ 48. Der Elektromotor

1. Unsere elektrische Straßenbahn - Der Elektromotor. Wie wird der Straßenbahn der Fahrstrom zugeführt? – Wo ist die Rückleitung? – Wie erfolgt die Stromzuführung bei der elektrischen Stadtbahn, der S-Bahn? – Beobachte, wie der Straßenbahnführer die Fahrgeschwindigkeit regelt!

1) transformare (lat.) = umformen

Auf die Frage, wer die Räder des Straßenbahnwagens in Drehung versetzt, ist zu antworten: der **Elektromotor**[1]). Wir betrachten noch einmal die Abb. 290! Wird die Drahtschleife (der Läufer) im Magnetfeld gedreht, so entsteht in ihr ein elektrischer Strom, den wir an den Schleifkontakten *A* und *K* abnehmen können. Es ist mechanische Arbeit (Drehung des Läufers) in elektrische Energie umgewandelt worden. Unsere Maschine ist ein Stromerzeuger, ein **Generator**[2]), man sagt auch eine **Dynamomaschine**[3]). Dieser Vorgang der Energieumwandlung ist umkehrbar.

Das zeigt uns ein einfacher Versuch. Wir hängen nach Abb. 295 einen Aluminiumstab an zwei Metallbändern auf, die wir mit den Polen einer Gleichstromquelle verbinden; die Feldlinien des Hufeisenmagneten verlaufen senkrecht zum aufgehängten Stab. Schließen wir den Strom, so bewegt sich der Leiter je nach der Stromrichtung weiter in das Magnetfeld hinein oder aus ihm heraus; aus elektrischer Energie ist eine Bewegung des Leiters geworden.

In ähnlicher Weise gerät der Läufer der Abb. 290 in eine drehende Bewegung, wenn wir ihm durch die Schleifkontakte *A* und *K* elektrischen Strom zuführen. Aus elektrischer Energie entsteht mechanische Arbeit. Unsere Maschine wirkt dann als **Elektromotor**. Abb. 296 zeigt als Beispiel einen Elektromotor als Antriebsmaschine einer fahrbaren Preßlufteinrichtung, eines sog. *Kompressors*[4]), wie er zum Betreiben von Luftdruckhämmern, -meißeln,

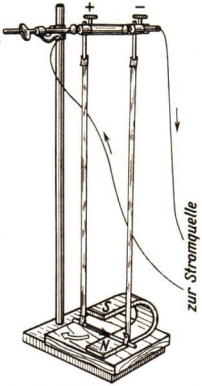


Abb. 295 Bewegung eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld

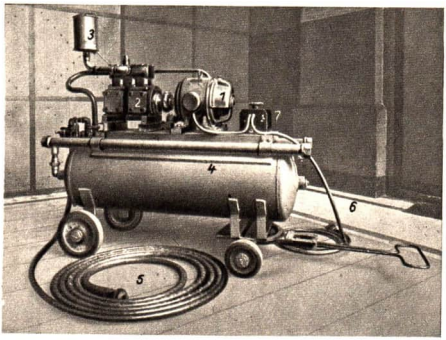


Abb. 296 Fahrbarer Kompressor mit Antrieb durch Elektromotor

1. Elektromotor
2. Druckpumpe für Luft (3 Zylinder)
3. Gehäuse mit Saugstutzen
4. Druckluftbehälter (Windkessel)
5. Druckluftschlauch
6. Anschlußkabel
7. Schalter (Anlasser)

1) movēre (lat.) = bewegen; motus (lat.) = Bewegung 2) Generator (lat.) = Erzeuger
3) dýnamis (griech.) = Kraft; machina (lat.) = Antrieb 4) comprimere (lat.) = zusammendrücken

-bohrern vielfach verwendet wird. Einer der ersten, der sich mit Erfolg um die Ausnutzung des elektrischen Stromes zum Antrieb von Maschinen bemühte, war der in Petersburg, dem heutigen Leningrad, als Professor wirkende Physiker *Jacobi* (1839).

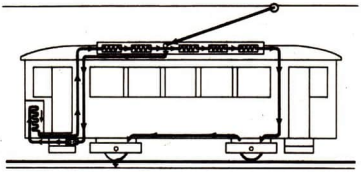


Abb. 297 Stromverlauf im Triebwagen der Straßenbahn

Wir merken:

Im Generator (Dynamomaschine) wird mechanische Arbeit in elektrische Energie umgewandelt.

Im Elektromotor entsteht aus elektrischer Energie mechanische Arbeit.

Die Antriebsmotoren der Straßenbahn liegen im Untergestell des Triebwagens. Zahnräder übertragen die Drehbewegung des Läufers auf die Radachsen. Die Regelung der Drehgeschwindigkeit – und damit der Fahrgeschwindigkeit des Wagens – erfolgt durch den Fahrschalter. Abb. 297 zeigt den Stromverlauf in einem Triebwagen. Durch Drehung der Kurbel am Führerstand schaltet der Fahrer die auf dem Dache des Wagens untergebrachten Widerstände ein oder aus und mindert oder erhöht dadurch den Stromfluß durch den Motor. Verfolge den Stromlauf durch den Wagen von der Abnahme durch die Kontaktrolle bis zur Rückleitung durch die Schiene an Hand der Abb. 297!
Auch im Eisenbahnbetrieb haben sich elektrische Zugmaschinen neben der Dampflokomotive bestens bewährt. Wir finden sie überall dort, wo elektrische Energie billig zur Verfügung steht (Wasserkraft, Kohlevorkommen).

2. Der Elektromotor hilft im Haushalt. Welche Arbeit kann uns der Elektromotor abnehmen? Nenne Geräte in Haus und Werkstatt, die mit einem Elektromotor ausgerüstet sind!
Durch den *Elektromotor* wird der elektrische Strom zu einem unentbehrlichen Helfer beim *Verrichten mechanischer Arbeit.* Die *Vorteile des Elektromotors* sind: stete Arbeitsbereitschaft, einfachste Energiezufuhr – der Stecker des Anschlußkabels ist nur in die Steckdose zu stecken –, leichte Bedienung, geringer Platzbedarf, vollkommene Sauberkeit, große Wirtschaftlichkeit.

a) Der Staubsauger (Abb. 298). Er hat bereits in viele Haushalte Eingang gefunden. Die auf der Motorwelle sitzende Flügelschraube, der *Propeller*[1]), saugt die Luft durch die Saugdüse an und drückt sie an der anderen Seite aus dem Gehäuse hinaus. Mitgerissene Staubteilchen und andere kleine Verunreinigungen sammeln

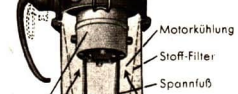


Abb. 298 Der Staubsauger

1) propellere (lat.) = vorwärtstreiben

sich in einem Kessel oder einem Filtersack. Ansatzrohre und Stahlschlauch dürfen nicht undicht sein, da sonst die Saugwirkung herabgesetzt wird.
Beschreibe den Weg des Luftstromes nach Abb. 298! Wie schützt man Propeller und Motor vor eindringendem Staub?

Abb. 299 Der Fön

b) Der Fön. Beim Haartrockner oder Fön (Abb. 299) saugt der Propeller die Luft durch Aussparungen im Motorgehäuse an und drückt sie durch ein Rohr nach außen. In dem Rohr ist ein Heizdraht spiralig auf ein Tongestell gewickelt. Schaltet man nur den Motor ein, so erhält man einen Kaltluftstrom. Nach Weiterdrehen des Schalters fließt auch durch die Heizspirale ein Strom und bringt sie zum Glühen. Die an ihr vorbeiströmende Luft erhitzt sich und trocknet das Haar oder leichte Wäschestücke.

c) In ländlichen Haushalten dient der Elektromotor zum Antrieb der *Milchschleuder* und *der Buttermaschine*. Stärkere Motoren treiben *Dresch-* und *Häckselmaschine, Pumpe, Kreis-* oder *Bandsäge, Schrotmühle* u. a. m. Große Landwirtschaftsbetriebe besitzen sogar *elektrische Melkanlagen*.

§ 49. Von elektrischen Strahlen

1. Elektrische Lichtreklame - Die Leuchtröhre. In Städten locken abends Lichtspielhäuser und Geschäfte mit farbigem Licht die Besucher an. Am Eingang oder an der Vorderfront der Gebäude sind Glasröhren angebracht, die in ihrer gesamten Länge hell und farbig leuchten. Die Lichterzeugung in diesen Röhren unterscheidet sich ganz wesentlich von der in einer elektrischen Glühlampe. Im Gegensatz zur Glühlampe findet in der Leuchtröhre nur eine sehr geringe Wärmeentwicklung statt. *Die Leuchtröhre strahlt „kaltes" Licht aus.*

Wie entsteht dieses kalte Licht? Die Leuchtröhre enthält in ihrem Innern ein so stark verdünntes Gas, daß der Druck des Gases nur noch einen sehr kleinen Bruchteil des normalen Luftdruckes beträgt. Wir wissen, daß Gase für den elektrischen Strom sehr schlechte Leiter sind. Wenn in Gasen ein Funke von nur wenigen Millimetern überspringen soll, so sind hohe Spannungen nötig. Denke an den Blitz und die dabei auftretenden Spannungen! Wird aber der Druck der Gase stark vermindert, so vermag ein elektrischer Strom in ihnen schon bei geringerer Spannung zu fließen.

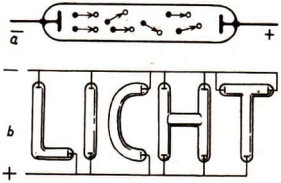


Abb. 300 Leuchtröhre. *a* einzelne Röhre, *b* zusammengesetzte Röhrenschaltung

Diese Verhältnisse liegen bei den Leuchtröhren der Lichtreklame vor. In jede

Röhre sind an ihren beiden Enden Stromzuführungsdrähte eingeschmolzen, die in je einer kleinen Blechscheibe endigen (Abb. 300a). Die Röhren sind meist mit einem Edelgas gefüllt, in der Regel Neon oder Argon, die sich hierfür als besonders geeignet erwiesen haben und aus der Luft gewonnen werden. Der Gasdruck in der Röhre beträgt höchstens 1 mm QS. Zu Reklamezwecken gibt man den Röhren die Form von Buchstaben und faßt sie gruppenweise zusammen (Abb. 300b).

Unter dem Einfluß der angelegten Spannung treten bei dem stark verminderten Gasdruck Elektronen aus der Kathode (vgl. Fußnote S. 170) aus, die sich mit großer Geschwindigkeit zur Anode hin bewegen. Dabei stoßen sie mit den Molekülen der noch vorhandenen Gasreste zusammen, die dadurch zum Leuchten angeregt werden.

In gasverdünnten Röhren treten beim Zusammenstoß der Elektronen mit den Gasmolekülen Leuchterscheinungen auf.

2. Kathodenstrahlen. Wird der Gasdruck in der Leuchtröhre weiter herabgesetzt, so wird die Lichterscheinung zwischen den Elektroden immer schwächer. Sinkt der Gasdruck auf $\frac{1}{100}$ mm QS. und weniger, dann treffen die Elektronen nicht mehr auf Gasmoleküle. Was ist die Folge? Die Leuchterscheinungen im Innern der Röhre verschwinden. Aber dafür beginnt an einigen Stellen das Glas der Röhre in grünlicher Farbe zu leuchten. Diese Leuchterscheinung wird von den Elektronen hervorgerufen, die den Röhrenraum bei dem stark verminderten Druck mit außerordentlicher Geschwindigkeit durchfliegen und auf die Glaswand prallen. Solche schnellfliegenden Elektronen heißen **Kathodenstrahlen.** Den Namen Strahlen haben sie von der Art ihrer Ausbreitung erhalten. Warum? Denke an die Lichtstrahlen! Ihre geradlinige Ausbreitung ist ebenso wie bei den Lichtstrahlen durch Schattenwirkungen feststellbar.

KONRAD RÖNTGEN
(1845—1923)

3. Röntgenstrahlen. Wenn die Kathodenstrahlen in der Röhre auf eine Metallfläche treffen, so entstehen wieder andere Strahlen, die von Konrad *Röntgen*[1]) entdeckt wurden (Abb. 301). Röntgen

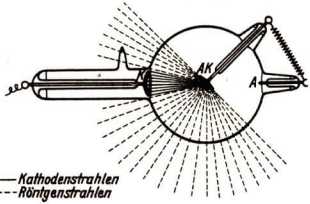


Abb. 301 Röntgenröhre. *A* Anode, *AK* Antikathode

1) Wilhelm Konrad *Röntgen*, am 27.3.1845 zu Lennep in der Rheinprovinz geboren, war Professor in Würzburg, wo er 1895 die nach ihm benannten Röntgenstrahlen entdeckte. Danach wurde er als Professor für Physik nach München berufen, wo er bis zu seinem Tode, am 10.2.1923, wirkte.

beschäftigte sich in seinem Laboratorium mit den Kathodenstrahlen. In einem verdunkelten Raum deckte er die Umgebung einer Kathodenstrahlröhre mit schwarzer Pappe ab. Dabei sah er, wie ein in der Nähe stehender Schirm, der mit einer Leuchtmasse bestrichen war, aufleuchtete. Der Schirm mußte also von Strahlen getroffen sein. Röntgen wollte diese abblenden. Allein es gelang ihm nicht; selbst durch dicke Pappe und Holz drangen die Strahlen hindurch. Als er die Hand vor den Schirm hielt, beobachtete er auf ihm das Umrißbild seiner Hand und sah die einzelnen Knochen. Röntgen hatte eine neue Strahlenart entdeckt. Man bezeichnet sie nach ihm als **Röntgenstrahlen.** Röntgen erkannte, daß die neuen Strahlen nur zustande kommen, wenn die Kathodenstrahlen auf ein Hindernis treffen. Von der Aufprallstelle gehen dann die Röntgenstrahlen aus. Daher besitzt die Röntgenröhre eine sogenannte **Anti-Kathode**[1]) oder Gegenkathode, auf die die Kathodenstrahlen aufprallen. Dabei werden sie gebremst und erzeugen neue Strahlen.

Die Röntgenstrahlen entstehen, wenn Kathodenstrahlen auf ihrem Wege gehemmt werden. Man nennt sie auch Bremsstrahlen.

Röntgenstrahlen sind für unser Auge unsichtbar; sie erzeugen aber auf einem sog. *Leuchtschirm* sichtbare Strahlen. Man unterscheidet *weiche* und *harte* Röntgenstrahlen je nach der Stärke, mit der sie Körper zu durchdringen vermögen. Je mehr man die Luft in der Röhre verdünnt und je höher die zwischen den Polen herrschende Spannung ist, desto „härter", d. h. durchdringender, werden die Strahlen.

Mit Hilfe der Röntgenstrahlen durchleuchtet der Arzt den Körper und macht an Hand des Röntgenbildes Feststellungen, die ihm eine Unterlage für die Behandlung geben. Abb. 302 zeigt einen Knochenbruch. In den Körper eingedrungene Fremdkörper (Nadeln)

1) anti (griech.) = gegen

Abb. 302 Knochenbruch

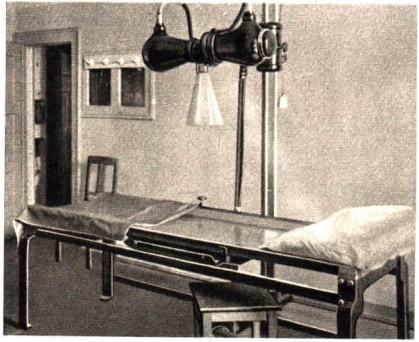


Abb. 303 Einrichtung für Röntgenaufnahmen in der Werk-Klinik des Leunawerkes

erkennt man bei der Durchleuchtung, so daß man sie operativ entfernen kann. Röntgenstrahlen ermöglichen Magen- und Lungenuntersuchungen und lassen Krankheitsherde in diesen Organen bzw. feinen Geweben erkennen.

Neben die *Durchleuchtung* (Abb. 303) tritt die *Röntgenbestrahlung*. Kranke Zellen sind schwächer und weniger widerstandsfähig als gesunde. Durch richtig bemessene Bestrahlung läßt sich das kranke Gewebe abtöten, gleichsam ausbrennen, ohne daß die gesunde Umgebung Schaden erleidet.

Mit der Verwendung der Röntgenstrahlen in der Heilkunde ist jedoch ihr Anwendungsgebiet noch nicht erschöpft. Auch die Metall- und Rohstofforschung benutzt die Röntgenstrahlen. Mit ihrer Hilfe können Fehler in der Struktur der Rohstoffe ermittelt werden.

Ferner ist es der Kunstforschung schon vielfach gelungen, Fälschungen alter Gemälde mit Hilfe der Durchleuchtung aufzudecken oder nachträgliche Übermalungen festzustellen. Schriftfälschungen auf wichtigen Urkunden erkennt man an dem Gebrauch anderer Tinte, auch sauberste Radierungen heben sich im Röntgenbild auf der Papiermaser deutlich ab.

MARIE SLODOWSKA-CURIE (1867–1934)

4. Erze senden Strahlen aus! - Radioaktivität. Röntgenstrahlen sind in der Lage, undurchsichtige Stoffe zu durchdringen. Eine ähnliche Strahlung ist ein Jahr nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung bei einer anderen Gelegenheit beobachtet worden. Ein schwarzes Erz, das in Jáchymov (früher Joachimstal) in der Tschechoslowakischen Republik zutage gefördert wurde und für die dortige Glasindustrie einen schwarzen Farbstoff lieferte, gab der Forschung ein Rätsel auf. Das Gestein, das den Namen *Uranpechblende* hat, konnte photographische Platten, die in einer Kassette lagen, *schwärzen*, als wären sie belichtet. Es gingen also von diesen Steinen unsichtbare durchdringende *Strahlen* aus. Wo war die Quelle der Strahlung zu suchen? Ihre Erforschung hatte sich das in Paris lebende Forscherehepaar Pierre *Curie* und Marie *Slodowska-Curie* als Lebensarbeit gewählt. Sie fanden (um 1900), daß in dem Erz in äußerst geringer Menge ein bis dahin unbekannter Stoff enthalten war, der die Strahlen aussandte. Sie nannten ihn **Radium**[1]) oder „*das Strahlende*". P. und M. Curie stellten auch fest, daß Radium auf bestimmte Krankheiten eine heilende Wirkung ausüben kann. Unter unsäglichen Mühen, Enttäuschungen und Aufopferung der Gesundheit setzten sie ihre Kraft daran, alle auftretenden Fragen zu lösen.

Die Entdeckung, daß dem Radium eine heilende Wirkung innewohne, lenkte bald die Augen der ganzen Welt auf das unscheinbare Erz aus dem Orte Jáchimov. Später wurde das Erz noch an vielen anderen Stellen der Erde

1) radius (lat.) =[Strahl]

gefunden. In USA werden beispielsweise jährlich aus den Erzen rd. 205 g und in Belgisch-Kongo rd. 180 g Radium gewonnen. Diese Zahlen können wir erst richtig würdigen, wenn wir bedenken, daß zur Reindarstellung von 1 g Radium 20000 kg Pecherz erforderlich sind.

Wo kommen die Strahlen her? Bis zur Entdeckung des Radiums glaubte man, daß die Atome die *kleinsten Teilchen* oder Einheiten eines Stoffes seien und nicht weiter zerlegt werden könnten. M. Curie zeigte, daß diese Ansicht nicht aufrecht zu halten war. Das Radium war von ihr als Grundstoff oder Element erkannt worden. Die *Radiumatome* verändern sich jedoch bei der Strahlung, und es entsteht ein anderes chemisches Element. Später konnte man nachweisen, daß nach einer großen Zahl von Umwandlungsvorgängen aus dem *Radium* ein Stoff entsteht, der sich als *Blei* erwies. Außerdem entsteht das Edelgas *Helium*, das bei der Atomumwandlung von Radium ausgestrahlt wird.

Im übrigen bestehen die ausgesandten Strahlen aus Elektronen, die bei der Umwandlung der Radiumatome von diesen mit überaus großer Geschwindigkeit ausgestoßen werden. Ferner gehen vom Radium Strahlen aus, die mit Röntgenstrahlen außerordentlicher Härte vergleichbar sind.

Für ihre Entdeckungen und die damals gewonnenen Erkenntnisse – Umwandlungen von Stoffen durch Strahlung – erhielt M. Curie 1911 den *Nobelpreis*, der an berühmte Forscher für bedeutende wissenschaftliche Arbeit ausgegeben wird.

Werden von einem Element Strahlen unter gleichzeitiger Stoffumwandlung ausgesandt, so nennt man es radioaktiv.

Der Zerfall findet unaufhörlich statt. Die Umwandlung der Stoffe ist oft erst nach einer sehr langen Zeitspanne beendet. So dauert es fast 1600 Jahre, bis die Stärke der Strahlung von 1 g Radium auf die Hälfte gesunken ist. Dann hat sich auch die Hälfte der Radiumatome in Blei umgewandelt. Die Bestimmung dieser *Halbwertszeiten* ist sehr wichtig und hat auch für die Feststellung des Alters unserer Erde eine große Bedeutung. Man schätzt es danach auf etwa 2000000000 Jahre.

§ 50. Elektrizität kann gefährlich werden

Wer mit elektrischem Strom umgeht, muß wissen, wo ihm Gefahren drohen; dann bewahrt er sich und seine Umgebung bei der nötigen Achtsamkeit vor Schaden. Weitaus die meisten Unglücksfälle und Sachschäden geschehen durch

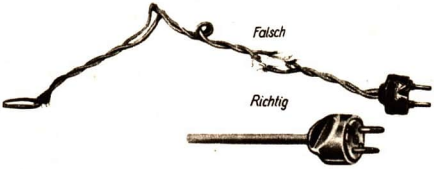


Abb. 304
Unzulässige und einwandfreie Anschlußschnur mit Stecker

Unvorsichtigkeit und durch Nachlässigkeit. Fließt Strom durch einen Leiter, so erwärmt sich dieser. Seine Temperatur darf nicht so hoch werden, daß Brandgefahr für die Umgebung entsteht. In § 36, 2 lernten wir die Sicherung als bewußt schwächste Stelle unserer Wohnungsleitung kennen. Sie schmilzt bei unzulässiger Belastung durch und unterbricht damit den Stromlauf. *Überbrücken der Sicherung durch Drähte ist verboten.*

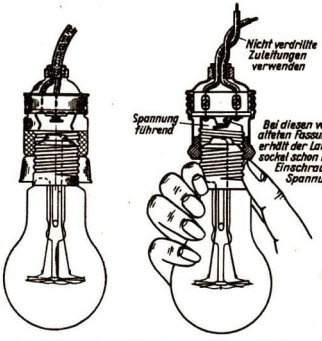


Abb. 305 Lampe mit und ohne Berührungsschutz

Der Einbau einer Sicherung in das Leitungsnetz befreit uns nicht von der Pflicht, unsere elektrischen Geräte, z. B. das Heizkissen oder das Bügeleisen, während des Betriebes zu beobachten.

Verwende vorschriftsmäßige Anschlußschnüre für die Geräte und achte darauf, daß sie keine Knicke und Schleifen bilden! Dadurch leidet die Isolierung, und Kurzschluß ist die Folge (Abb. 304).

Elektrische Lampen müssen Berührungsschutz haben. Berührt man beim Einschrauben einer Lampe das Gewinde (Abb. 305), so geht der Strom durch den Körper, wenn die Leitung unter Spannung steht; gesundheitliche Schäden können die Folge sein. Ebenso kann man durch schadhafte Schalter empfindliche elektrische „Schläge" erhalten. Ist die isolierende Schutzkappe beschädigt, dann muß der Schalter erneuert werden. Zum mindesten muß man ihn so lange außer Betrieb setzen, bis für Ersatz der Kappe gesorgt ist. *Das Berühren der spannungführenden Teile eines Schalters* bedeutet **Lebensgefahr!**

Während der menschliche Körper den Strom gut leitet, setzt ihm die *trockene* Haut einen verhältnismäßig großen Widerstand entgegen. Sie bietet einen gewissen Schutz bei zufälliger Berührung stromführender Leitungen. *Feuchte* Haut dagegen leitet sehr gut. *Achte darauf!*

1. Man darf Schalter und Lampenfassungen nicht mit einem feuchten Tuch abwischen! – 2. Niemals dürfen Lichtschalter und Steckdosen in der Küche in der Nähe der Wasserleitung angebracht werden! – 3. Ins Badezimmer, in die Waschküche, in Ställe usw. dürfen nur Lampen und Schalter verlegt werden, die gegen den Einfluß von Feuchtigkeit besonders geschützt sind.

Halte deine elektrischen Geräte in Ordnung!
Sieh nicht über aufgetretene Schäden hinweg, sondern sorge für sofortige Abhilfe!
Spiele nicht an Schaltern!
Beachtest du all diese Hinweise, dann wird dir die Elektrizität ein stets dienstbereiter Helfer sein, und du brauchst Gefahren nicht zu fürchten!

VI. *Die Verrichtung von Arbeit durch Maschinen*

§ 51. Kurze Übersicht über die Entwicklung der Maschinen

1. Einfache Maschinen. Von alters her war das Bestreben der Menschen darauf gerichtet, sich Hilfsmittel zur Arbeitserleichterung zu beschaffen. Vor allem war es ihnen um Hilfen beim Heben von Lasten zu tun. Der Hebel, die schiefe Ebene, der Keil sind uralte Vorrichtungen dieser Art. Später traten die Schraube, die Rolle, der Flaschenzug, das Wellrad hinzu. Wir haben diese Einrichtungen in den §§17 u. 18 als „einfache" Maschinen kennengelernt. Ihr Anwendungsbereich blieb keineswegs auf den Transport von Lasten beschränkt, sie wurden als Hilfsmittel zur Verrichtung von Arbeiten aller Art herangezogen.
Trotz allem aber war der Mensch nach wie vor auf den Einsatz eigener oder tierischer Muskelkräfte angewiesen. Die genannten Vorrichtungen können wohl dazu dienen, den zu einer Arbeitsleistung notwendigen Kraftaufwand zu verringern; sie werden aus diesem Grunde auch *kraftumformende Maschinen* genannt. Die Größe der Arbeit selbst aber wird dadurch, wie wir im § 20 erkannten, nicht im mindesten beeinflußt. Sie muß voll und ganz vom arbeitenden Menschen oder vom Tier geleistet werden.

2. Die Kraftmaschinen. Es ist nach dem Vorangehenden nicht verwunderlich, daß das Sinnen des Menschen unentwegt darauf ausging, Naturkräfte zu Arbeitsleistungen heranzuziehen. Die Bemühungen waren auch von Erfolg gekrönt; sie führten zur Erfindung der sog. *krafterzeugenden Maschinen*, kurz *Kraftmaschinen* genannt. So sind *Wasserräder und Windmühlen* seit mindestens zweitausend Jahren bekannt und heute noch im Gebrauch. Aus ihnen haben sich in neuerer Zeit die sog. *Turbinen* entwickelt.
Eine grundlegende Umgestaltung des gesamten Maschinenwesens aber bahnte sich erst nach Aufkommen der *Wärmekraftmaschinen* an. Die etwa seit Beginn des vorigen Jahrhunderts einsetzende allgemeine Verbreitung der Dampfmaschine hat das Gesicht der Technik völlig gewandelt, ja, man kann sagen, daß sie die moderne Technik überhaupt erst möglich gemacht hat. Einen weiteren mächtigen Impuls erfuhr diese Entwicklung dadurch, daß in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die *Dampfturbinen* und die *Verbrennungskraftmaschinen* erfunden wurden und daß die Elektrotechnik durch Schaffen der *elektrischen Kraftmaschinen* einen gewaltigen Aufschwung nahm.
All diese Umstände haben dazu geführt, die Formen des Wirtschaftslebens gänzlich zu verändern; sie haben neben anderen Ursachen dazu beigetragen, die

grundlegende Umgestaltung der gesamten Gesellschaftsordnung unserer Zeit einzuleiten.
Wir haben im Buch Beispiele von Kraftmaschinen kennengelernt. Wir wollen nunmehr unser Wissen zusammenfassen und einige Ergänzungen vornehmen.

§ 52. Wasser- und Windkraftmaschinen

1. Wasserräder. Je nachdem, ob das Wasser das Rad von oben, von der Seite oder von unten her beaufschlagt, unterscheidet man *oberschlächtige, mittelschlächtige und unterschlächtige Wasserräder.* Die oberschlächtigen Wasserräder (Abb. 306) sind meist Räder von großem Durchmesser und mit Zellen oder Bechern ausgestattet, die sich mit Wasser füllen. Das Rad wird durch das Gewicht des Wassers in Umdrehung versetzt. Oberschlächtige Wasserräder werden von kleinen Betrieben verwendet, wenn nur verhältnismäßig wenig Wasser mit geringem Gefälle zur Verfügung steht. Bei größeren, schnellfließenden Wassermengen werden vorzugsweise die leistungsfähigeren mittel- und unterschlächtigen Wasserräder (Abb. 307 und 308) eingebaut, die mit Schaufeln ausgerüstet sind und die Geschwindigkeit des Wassers ausnutzen.
Aus den Wasserrädern sind in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die *Wasserturbinen* hervorgegangen, die die Wasserräder an Leistungsfähigkeit bei weitem übertreffen und die Ausnutzung der Wasserkräfte zur Energieerzeugung in großem Maßstabe erst möglich gemacht haben. Wir beschränken uns

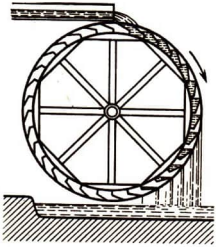


Abb. 306
Oberschlächtiges Wasserrad

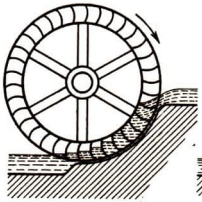


Abb. 307
Mittelschlächtiges Wasserrad

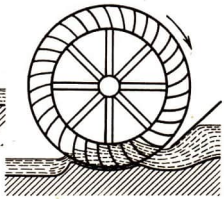


Abb. 308
Unterschlächtiges Wasserrad

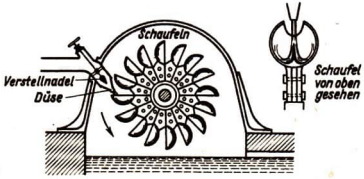


Abb. 309 Peltonrad im Querschnitt

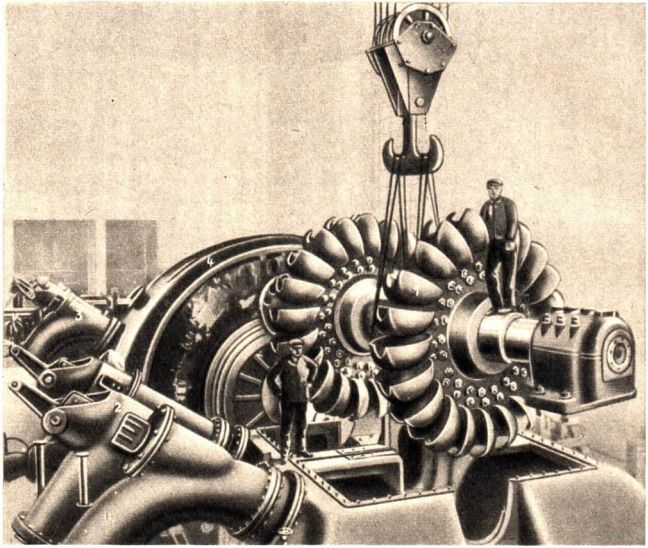


Abb. 310 Einbau der Laufräder einer der beiden Zwillingsfreistrahlturbinen des Kraftwerkes Nore in Norwegen; Leistung 36600 PS. 1. Laufräder, 2. je zwei Düsenregler für die vordere, 3. für die hintere Zwillingsturbine, 4. Turbogenerator (vgl. Abb. 291)

hier auf die *Freistrahlturbinen und die Überdruckturbinen*. Bei den erstgenannten, den sog. *Peltonrädern*[1]) (Abb. 309 u. 310), trifft ein aus einer Düse austretender kräftiger Wasserstrahl gegen die muldenförmigen Doppelschaufeln am Rande eines Rades und setzt dieses in Umdrehung. Turbinen dieser Art eignen sich insbesondere für große Gefällhöhen. Bei großen Wassermengen geringeren Druckunterschiedes bevorzugt man die zweite Art, die man auch *Francis-Spiral-Turbinen*[2]) nennt (Abb. 311 u. 312). Bei ihnen wird das Wasser durch verstellbare Leitschaufeln dem Schaufelrad zugeführt und durchströmt dieses von außen nach innen, um in der Achsenrichtung abzufließen.

2. Windkraftmaschinen. Sie sind wegen ihrer Abhängigkeit vom Winde für den Dauerbetrieb nicht geeignet. Wie das Wasserrad, ist die *Windmühle* seit dem Altertum bekannt. Zum Betreiben von Pump- und Berieselungsanlagen, bei

1) *Pelton*, wirkte als Ingenieur in San Francisco
2) *Francis*, engl. Ingenieur (1815—1892)

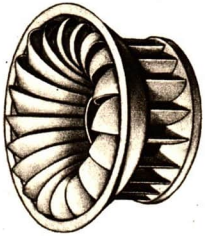


Abb. 311
Laufrad einer Francis-Spiral-Turbine

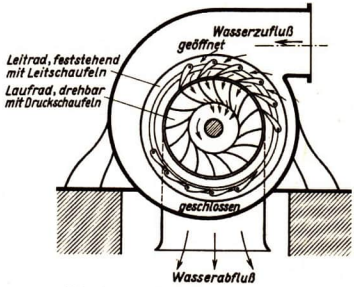


Abb. 312 Francis-Spiral-Turbine

denen es auf die Einsatzzeit nicht ankommt, findet man auf dem flachen Lande vielfach die wirksameren *Windräder*. Bei beiden Maschinen werden propellerartige, schmale, schräg gegen den Wind gestellte Flächen von einem drehbaren Gestell getragen. Sie werden vom anströmenden Wind beiseite gedrückt und lösen so eine Drehbewegung des Gestells aus.

§ 53. Dampfkraftmaschinen

1. Dampfkessel. Die betriebliche Grundlage aller Dampfkraftmaschinen bildet eine ausreichende Kesselanlage. Die Lokomotive, die wir in § 21 kennenlernten, ist mit einem *Flammrohrkessel* ausgerüstet, d. h. die Feuergase durchstreichen den Kessel der Länge nach in besonderen Rohren. Neuere Dampfkraftbetriebe sind in der Regel mit *Wasserrohrkesseln* verschiedener Bauart ausgestattet, bei denen das in Siederohren befindliche Wasser von den Feuergasen umgeben und verdampft wird. Abb. 313 zeigt als Beispiel einen stark vereinfachten Schnitt durch einen neuzeitlichen *Steilrohrkessel*. Das Wasser zirkuliert zwischen den zylindrischen Kesseln *A*, *B*, *C*, *D* durch die Siederohrgruppen I . . . V (kurze,

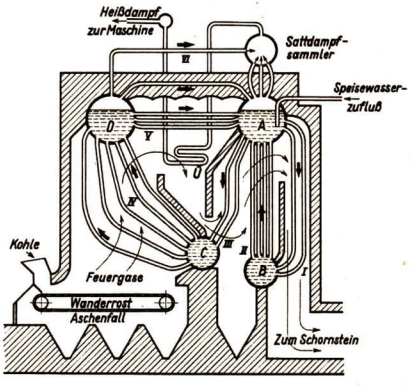


Abb. 313 Steilrohrdampfkessel (stark vereinfacht). *ABCD* Wasser-Dampf-Behälter, *O* Überhitzer, I–V Siederohrgruppe, VI Dampfrohre

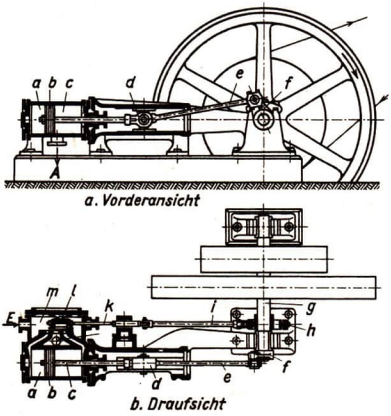


Abb. 314 Einzylindrige Dampfmaschine

kräftige Pfeile!). Der sich bildende Dampf wird durch die Rohrgruppe VI dem Dampfsammelrohr zugeführt. Verfolge den Wasserkreislauf im Kessel!

2. Kolbendampfmaschine. Sie ist uns schon als Antriebsmaschine der Lokomotive bekannt geworden. Wir wollen nunmehr noch die ortsfeste Dampfmaschine betrachten. Abb. 314 zeigt, etwas vereinfacht, die Vorderansicht und die Draufsicht einer *einzylindrigen liegenden Kolbendampfmaschine mit Schiebersteuerung.* Maschinen dieser einfachen Bauart werden heute nicht mehr gefertigt, doch lassen sie das Zusammenwirken der Maschinenelemente am klarsten erkennen.

Die Maschine ruht auf einem starken Sockel. Wir sehen links den Dampfzylinder *a* mit dem Kolben *b* und der Kolbenstange *c*, rechts die Maschinenwelle *g* mit dem Schwungrad. Durch die Pleuelstange *e* und die Kurbel *f* wird die hin- und hergleitende Bewegung des Kolbens in eine Drehbewegung umgewandelt. Für eine sichere Führung des Gelenkes zwischen Kolben- und Pleuelstange sorgt der Kreuzkopf *d*. Neben dem Zylinder liegt, in der Vorderansicht nicht sichtbar, der Schieberkasten *m* mit dem Schieber *l* (vgl. Abb. 315). Durch eine exzentrische Scheibe *h*, die Stoßstange *i* und die Schieberstange *k* wird die Drehbewegung in eine gleitende Bewegung zurückverwandelt.

Die exzentrische Scheibe ersetzt hier eine Kurbel, da eine solche nur am Ende einer Welle angebracht werden kann. Abb. 316 veranschaulicht ihre Wirkungsart.

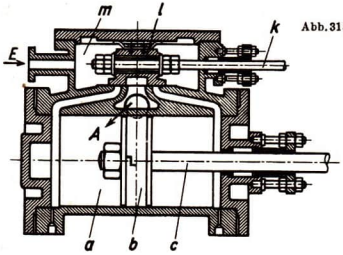


Abb. 315 Schiebersteuerung
E Dampfeintritt, *A* Dampfaustritt

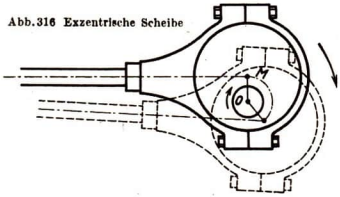


Abb. 316 Exzentrische Scheibe

Man erkennt, daß die Scheibe beim Drehen der Welle um diese herumschwingt und den Ring mitsamt der daran befestigten Stoßstange mitnimmt, ohne daß er gegen die Welle stößt.

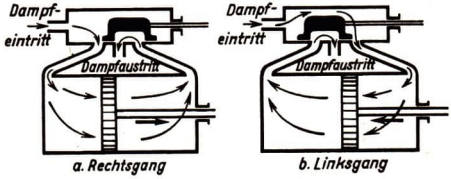


Abb. 317 Einfache Schiebersteuerung

Abb. 317 gibt schematisch die Arbeitsweise der Schiebersteuerung wieder. Ein wannenförmiger Muschelschieber schließt mit seinem Rand dampfdicht gegen die Wand des Schieberkastens und überdeckt dabei jeweils zwei der dort befindlichen drei Öffnungen. Er läßt den Frischdampf abwechselnd in den einen oder den andern Zylinderteil einströmen und stellt gleichzeitig die Verbindung des anderen Zylinderteils mit der Abdampfleitung her.

3. Die neuzeitliche Dampfmaschine. Die einfache Schiebersteuerung wird heute nicht mehr gebaut. An ihre Stelle ist die *Kolbenschiebersteuerung*, wie wir sie bei der Lokomotive kennenlernten, und, insbesondere bei ortsfesten Maschinen, die *Ventilsteuerung* getreten. Abb. 318 läßt deren Wirkungsweise erkennen. Die Ventile werden durch Stoßstangen betätigt, die ihren Antrieb von einer mit der Hauptwelle gekoppelten besonderen Ventilwelle aus über exzentrische Scheiben erhalten. Die Dampfzufuhr wird so gesteuert, daß die Eintrittsventile nicht während des ganzen Kolbenvorlaufs geöffnet bleiben, sondern schon vorher schließen. Der Vortrieb des Kolbens erfolgt dann durch Ausdehnung, *Expansion*[1]) des eingetretenen Dampfes, wodurch der *Wirkungsgrad* (s. § 56,3) der Maschine wesentlich gesteigert wird. Bei größeren Maschinen verteilt sich die Expansion meist auf zwei, ja auf drei Zylinder von wachsendem Querschnitt, die der Dampf der Reihe nach durchströmt und die auf dieselbe Welle einwirken. Alle neueren Kolbendampfmaschinen sind Expansionsmaschinen (Abb. 319).

Zu jeder neuzeitlichen ortsfesten Dampfmaschine gehört ein *Kondensator*, d. i. ein von Röhren mit Kühlwasser durchzogener Kessel, in dem sich der Dampf zu Wasser verdichtet (Abb. 320). Auf diese Weise wird das gereinigte Kesselwasser wieder gewonnen und kann dem Kessel wieder zugeführt werden. Vor allem aber wird dadurch der Gegendruck des Abdampfes herabgesetzt und so die Dampfkraft besser ausgenutzt.

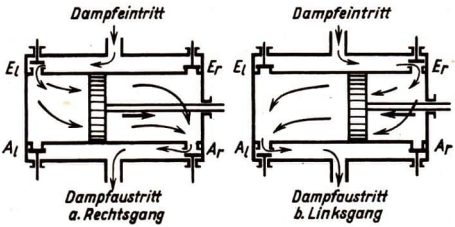


Abb. 318 Einfache Ventilsteuerung. *E* Eintritts-, *A* Austrittsventile

1) expándere (lat.) = entspannen

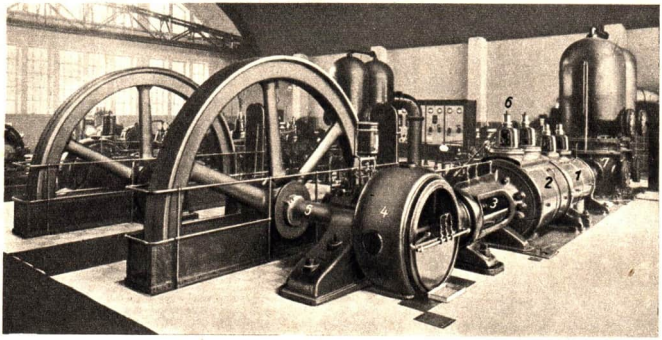


Abb. 319 Zweifach-Expansionsmaschine im Berliner Wasserwerk. Der Dampf durchströmt zwei hintereinanderliegende Zylinder mit gemeinsamer Kolbenstange. 1. Hochdruckzylinder, 2. Niederdruckzylinder, 3. Kreuzkopfgehäuse, 4. Kurbelgehäuse, 5. Welle mit Schwungrad, 6. 4 Ventile (4 weitere Ventile liegen unterhalb der Zylinder), 7. Pumpe

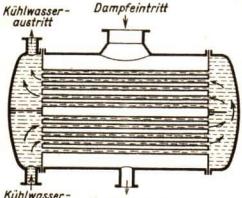


Abb. 320 Kondensator

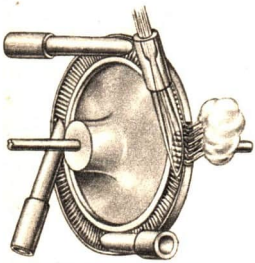


Abb. 321 Dampfturbinenlaufrad

Ebenso hat die Erfahrung gelehrt, daß der Wirkungsgrad der Maschine mit der Temperatur des Frischdampfes steigt. Aus diesem Grunde werden heute alle Dampfkessel mit einem sog. *Überhitzer* (vgl. Abb. 313) ausgestattet, in dem der Dampf weit über die Siedetemperatur erhitzt wird.

4. Die Dampfturbine. Etwa seit Beginn dieses Jahrhunderts ist die Kolbendampfmaschine in immer stärkerem Maße von der Dampfturbine verdrängt worden. Ähnlich wie bei der Wasserturbine, wird bei ihr die Geschwindigkeit des Dampfes ausgenutzt, der, aus einer Düse – *Lavaldüse* – strömend, gegen ein mit Schaufeln besetztes *Laufrad* stößt (Abb. 321). Wie bei der Kolbendampfmaschine erfolgt die Entspannung des Dampfes in mehreren Druckstufen, indem der Dampf mehrere auf derselben Welle sitzende *Laufräder* durchströmt. Dazwischengeschaltete feststehende *Leiträder* lenken mit ihren Schaufeln den Dampf wieder in die ursprüngliche Richtung (Abb. 322). Abb. 323, die eine geöffnete Dampfturbine darstellt, läßt deutlich die verschiedenen Gruppen von Laufrädern erkennen.

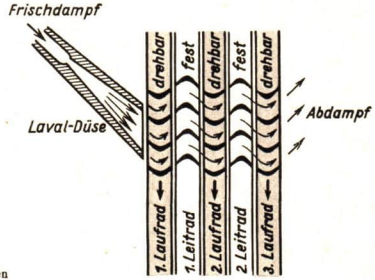
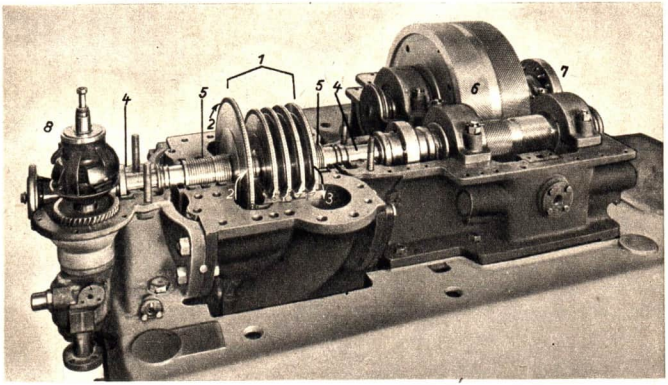


Abb. 322 Schnitt durch eine Dampfturbine (schematisch)

Abb. 323 Frischdampfkondensationsturbine (Gehäuse geöffnet) aus dem volkseigenen Betrieb Turbinenfabrik Dresden
1. Laufräder
2. Frischdampfzufuhr
3. Abdampfleitung
4. Lager der Turbinenwelle
5. Dichtungen
6. Zahnradvorgelege zur Herabsetzung der Geschwindigkeit
7. Koppelungsscheibe zum Anschluß der anzutreibenden Maschine
8. Laufzahlregler, mit Turbinenwelle gekoppelt, durch Schneckenrad getrieben



5. Verwendung der Dampfkraftmaschinen. In allen mit Dampfkraftmaschinen arbeitenden Großkraftwerken beherrscht heute die Dampfturbine das Feld. Sie hat gegenüber der Kolbendampfmaschine den Vorzug einer sehr gedrungenen, verhältnismäßig wenig Raum beanspruchenden Bauweise. Da bei ihr schwingende und hin- und hergleitende Maschinenteile nicht vorhanden sind, zeichnet sie sich durch einen außerordentlich ruhigen Gang aus. Sie ist die gegebene Antriebsmaschine für Einrichtungen, die selbst eine möglichst gleichmäßige Drehbewegung erfordern, wie elektrische Generatoren, Kreiselpumpen u. dgl., und ist in Kraftwerken und Wasserwerken, aber auch als Antriebsmaschine auf großen Schiffen vorwiegend anzutreffen. Dessenungeachtet wird auch die Kolbendampfmaschine ihre Bedeutung nicht verlieren. Man wird sie nach wie

vor dort verwenden, wo es sich um Maschinenanlagen von stark wechselnder Beanspruchung handelt, für die eine Turbine unwirtschaftlich wäre, z. B. als Fördermaschine für Schachtanlagen, als Antriebsmaschine für Bagger, Kräne, Straßenwalzen u. a. m. Auch für Lokomobilen[1]), d. s. ortsveränderliche Dampfmaschinen, die aus einem fahrbaren Kessel und einer damit festverbundenen Maschine bestehen, wird sie immer unentbehrlich bleiben. Erst recht gilt dies für die Lokomotiven, bei denen die Dampflokomotive wegen ihrer hohen Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit stets ihre Bedeutung behalten wird.

§ 54. Verbrennungskraftmaschinen

Als Verbrennungskraftmaschinen bezeichnet man solche Maschinen oder Motoren, bei denen der Treibstoff nicht zum Heizen eines Kessels dient, sondern im Arbeitszylinder selbst verbrannt wird. Die dabei entstehenden hochgespannten Verbrennungsgase wirken als Treibmittel unmittelbar auf den Kolben ein. Nach der Art des Treibstoffes unterscheidet man die *Gas- und Leichtölmotoren* (Benzinmotoren), auch *Explosionsmotoren* genannt, und die *Schweröl*motoren (Dieselmotoren). Die Leichtölmotoren müssen, wie wir schon in § 21, Abschnitt 2, erfuhren, mit einem Vergaser ausgestattet sein. Nach der Arbeitsweise kann man *Viertakt- und Zweitaktmotoren* unterscheiden. Wir haben in § 21 den Viertaktmotor näher kennengelernt und wollen uns hier auf den Zweitaktmotor beschränken.

1. Der Zweitaktmotor. Er hat seinen Namen daher, daß der gesamte Arbeitsvorgang auf zwei Takte, einen Hin- und einen Hergang, zusammengedrängt wird. Man erreicht dies dadurch, daß man dem Zylinder noch vor Beendigung des Aufpufftaktes (vgl. Abb. 140) mit einer Pumpe neuen Treibstoff zuführt. Zu diesem Zweck ist das Kurbelgehäuse nach außen gasdicht abgedeckt und mit dem Zylinder durch einen *Überströmkanal* verbunden, der aber erst freigegeben wird, wenn der Kolben nahezu seinen tiefsten Punkt erreicht hat. Das Kurbelgehäuse

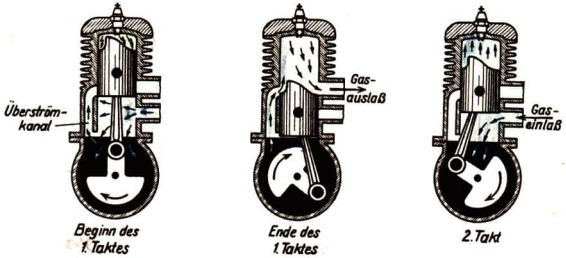


Abb. 324 Arbeitsweise des Zweitaktmotors

1) locus (lat.) = Ort; mōbilis (lat.) = beweglich

mit dem auf- und niedergehenden Kolben wirkt so wie eine Pumpe, die von außen Treibgas ansaugt, um es im geeigneten Augenblick in den Zylinder zu pressen.

Abb. 324 veranschaulicht die Arbeitsweise des Zweitaktmotors. Der erste Takt beginnt mit der Zündung des im Zylinder verdichteten Gasgemisches. Der Kolben wird durch die sich entspannenden Verbrennungsgase vorgetrieben; gleichzeitig wird das vorher in das Kurbelgehäuse eingesaugte Gasgemisch zusammengepreßt. Es strömt gegen Ende des ersten Taktes in den Zylinder über und spült, geleitet durch eine *Nase* des Kolbens, die letzten Reste der Verbrennungsgase aus dem Zylinderraum. Der zweite Takt umfaßt lediglich das Verdichten des Gasgemisches im Zylinder und das Ansaugen von Frischgas in das Kurbelgehäuse. Welche Takte des Viertaktmotors werden also zu einem zusammengezogen?

Wie man sieht, hat dieser Motor den Vorzug, ohne Ventile zu arbeiten, da der Kolben selbst die Ventilkörper vertritt. Er ist als Antriebsmaschine für Motorräder und Kraftwagen weit verbreitet (Abb. 325 und 326).

Abb. 325 Der neue DKW-Frontantriebwagen DKW-F-9-Innenlenker, Viersitzer. 28-PS-Dreizylinder-Zweitaktmotor, Frontantrieb, Freilauf, Doppelprofilrohrrahmen, Radstand 2350 mm. Der Wagen wird von den volkseigenen Deutschen Kraftfahrzeug-Werken (DKW) in Grießbach (Sachsen) gebaut.

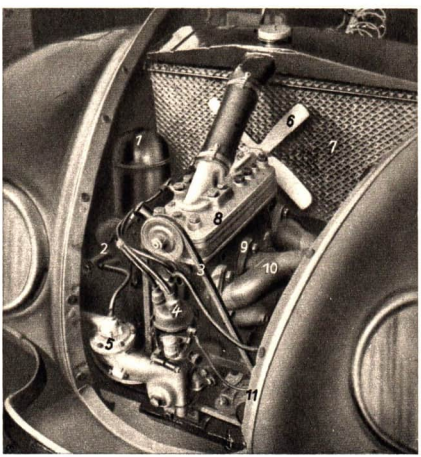


Abb. 326 Geöffnete Motorhaube des DKW-Typ F 9

28-PS-Dreizylinder-Zweitaktmotor
Bohrung und Hub 70 × 78 mm
Hubraum 900 cm³
Maximale Drehzahl 3500 U/min

1 Ansaug-Geräuschdämpfer
2 Vergaser
3 Keilriemenantrieb für Lüfter und Lichtmaschine
4 Verteiler
5 Kraftstoffpumpe
6 Lüfter (Ventilator)
7 Kühler
8 Zylinderkopf
9 Zylinderblock
10 Auspuffkrümmer
11 Lichtmaschine

Auch der mit Rohölen, sog. Schwerölen arbeitende *Dieselmotor*, der schon auf S. 96 erwähnt wurde, kann als Zweitaktmaschine gebaut werden.

2. Vorzüge und Bedeutung der Verbrennungskraftmaschinen. Der große Vorzug der Verbrennungskraftmaschinen gegenüber den Dampfkraftmaschinen ist darin zu sehen, daß sie keine Kesselanlagen brauchen, daß sie unabhängig davon als Maschinen weit weniger Platz beanspruchen und leichter sind als Dampfmaschinen gleicher Leistung. Außerdem entfällt bei ihnen die Anheizzeit; sie sind jederzeit arbeitsbereit. Der Treibstoff läßt sich leichter übernehmen und füllt einen erheblich geringeren Raum aus als die Kohle, ist allerdings, soweit es sich um Benzin handelt, feuergefährlich.
Diese Umstände lassen die Verbrennungskraftmaschinen wie keine anderen als Antriebsmaschinen für ortsveränderliche maschinelle Einrichtungen geeignet erscheinen. Die gewaltige Entwicklung, die das Kraftfahrwesen und später das Flugwesen seit Beginn dieses Jahrhunderts genommen haben, ist erst durch Erfindung der Verbrennungsmotoren möglich geworden. Auch im Schifffahrtswesen hat der Verbrennungsmotor der Dampfmaschine vielfach den Rang abgelaufen. Ebenso hat er als ortsfeste Kraftmaschine in viele Industriestätten Eingang gefunden.
Welche Arten der Verbrennungskraftmaschinen zum Einbau gelangen, hängt jeweils von den besonderen Umständen ab. Schwere Kraftfahrzeuge, größere Schiffe, Eisenbahntriebwagen, ortsfeste Kraftstationen wird man im allgemeinen mit den für Dauerbeanspruchung geeigneten Dieselmotoren ausrüsten, die für höchste Leistungen gebaut werden. Sie haben außerdem infolge der Verwendung des verhältnismäßig billigen Schweröls den Vorzug hoher Wirtschaftlichkeit. Die Tatsache, daß die Kolbendampfmaschine vielfach vom Verbrennungsmotor verdrängt worden ist, berechtigt aber keineswegs zu dem voreiligen Schluß, daß sie über kurz oder lang ganz durch ihn ersetzt sein wird. Wir haben oben Beispiele kennengelernt, bei denen sie unbestritten ihren Platz behaupten wird, von den Dampfturbinen als Großkraftmaschinen ganz zu schweigen.

§ 55. Elektrische Kraftmaschinen

1. Allgemeines zum Bau des Elektromotors. Im § 48 haben wir Einblicke in den Bau des Elektromotors erhalten. Wir sahen, daß der Elektromotor nichts anderes darstellt als eine Umkehrung der stromerzeugenden Maschine, der Dynamomaschine. In dieser wird durch Drehung des Ankers eine Spannung erzeugt und dadurch ein Strom hervorgerufen; beim Elektromotor löst das Zuführen eines elektrischen Stromes eine Drehung des Ankers aus. Dynamomaschine und Motor gleichen sich im Grundsätzlichen ihres Baues völlig, wenn sie sich auch in einigen konstruktiven Einzelheiten unterscheiden. Doch gilt diese Feststellung uneingeschränkt nur für den Gleichstrommotor. Beim Wechselstrommotor liegen die Dinge wesentlich anders. Wir müssen aber hier darauf verzichten, auf diese Zusammenhänge näher einzugehen, da uns die notwendigen physikalischen Voraussetzungen dafür fehlen.

2. Die Bedeutung der elektrischen Kraftmaschinen. Der ungeheure Einfluß, den die Entwicklung der elektrischen Kraftmaschinen auf die Industrialisierung der meisten Kulturländer gewonnen hat, ist dadurch zu erklären, daß Elektromotoren bei hoher Leistung einen außerordentlich geringen Platzbedarf haben und sehr einfach zu bedienen sind und daß sich elektrische Energie in bequemer Weise den einzelnen Verbrauchsstellen zuleiten läßt. Sie wird an zentraler Stelle in Großkraftwerken dort erzeugt, wo ausreichende Wasserkräfte oder geeignete Kohlevorkommen zur Verfügung stehen. Ihre Verteilung setzt zwar die Anlage eines Leitungsnetzes voraus, erfordert aber sonst keinen Einsatz von beweglichen Transportmitteln. Sie kann also auch dem entlegensten Verbraucher ohne Schwierigkeiten zugeführt werden. Da sich die zentrale Energieerzeugung als weit wirtschaftlicher erwiesen hat als die verteilte, ist die Mehrzahl der industriellen und landwirtschaftlichen Betriebe davon abgekommen, eigene Kraftanlagen zu unterhalten, und läßt sich vom Netz mit elektrischer Energie versorgen. Auch dort, wo man die eigene Kraftversorgung beibehalten oder gar ausgebaut hat, ist sie vollkommen auf elektrische Maschinen

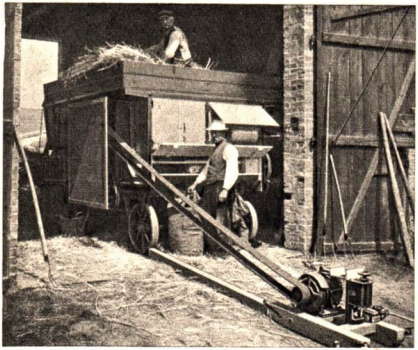


Abb. 327 Elektromotor auf Rutsche beim Antrieb einer Dreschmaschine. (Motorschutzkasten und Riemenschutzvorrichtung sind abgenommen)

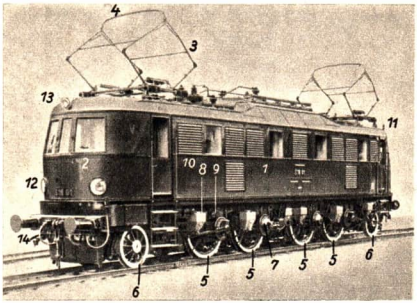


Abb. 328 Elektrische Vollbahn-Lokomotive für Personenverkehr „E 18", erbaut im Lokomotivwerk Hennigsdorf, jetzt volkseigenes Lokomotivbau- und elektrotechnisches Werk, Hennigsdorf.

Spannung: 15000 V Gewicht: 109000 kp Motorenzahl: 4 Dauerleistung: 4000 PS bei einer Geschwindigkeit von 130 km/Std. Größte Anzugskraft 20000 kp. Zulässige Höchstgeschwindigk. 150 km/Std. 1. Wagenkasten 2. Führerstand 3. Scherenstromabnehmer 4. Schleifstück 5. Treibräder 6. Laufräder 7. Achslager 8. Sandkasten 9. Tragfeder 10. Lüfterjalousie 11. Druckluftpfeife 12. Streckenlampe 13. Obere Signallampe 14. Schlauch für Druckluftbremse.
Motoren und Transformatoren stehen im Wagenkasten.

abgestellt. Jede Werkzeugmaschine, jede Drehbank, jede Pumpe, jedes Gebläse, jede andere Hilfsmaschine eines Betriebes ist mit ihrem eigenen Elektromotor versehen, der sie nach Bedarf in Tätigkeit setzt. In jeder Werkstatt, im Haus, in der Küche, auf dem Bauernhof (Abb. 327), überall ist der Elektromotor anzutreffen. Auch seine außerordentliche Bedeutung für die Entwicklung unserer Verkehrsmittel soll nicht vergessen werden. Erwähnt seien nur die elektrischen Fernbahnen (Abb. 328), die Straßenbahnen, die Hoch- und Untergrundbahnen. So ist der Elektromotor wahrhaft zu einem Helfer der Menschen geworden, der heute nicht mehr zu entbehren ist.

Man geht nicht fehl, die Erzeugung einer hinreichenden Menge elektrischer Energie neben einem hochentwickelten und sicher arbeitenden Verkehrswesen als die wichtigste Voraussetzung für jeden industriellen Aufstieg anzusehen. Dies kommt auch im Zweijahrplan zum Ausdruck, der bis zum Jahre 1950 eine Steigerung der Energieerzeugung auf 16 Milliarden kWh vorsieht, was gegenüber dem Stand von 1947 einem Zuwachs um 29% gleichkommt.

§ 56. Von der Energie

1. Was ist Energie? Wenn eine Maschine eine Kraftwirkung her vorrufen soll, so ist das immer mit einer Arbeitsleistung verbunden. An Arbeit aber kann eine Maschine nur das hergeben, was ihr selbst an Arbeit zugeführt wird. Wir erkannten schon in § 20, daß die Größe einer Arbeit nicht geändert werden kann. Das gilt grundsätzlich auch für die von der Maschine geleistete Arbeit.

Gelänge es, einen Eisenwürfel mit einer Kantenlänge von 1 km zu formen, so könnte man die gesamte für das Jahr 1950 angestrebte Energiemenge von 16 Milliarden kWh dadurch aufspeichern, daß man den Würfel gegen die Schwerkraft rd. 750 m hochhebt.

Am einfachsten sind diese Zusammenhänge bei den Wasserkraftmaschinen zu übersehen. Die aus ihnen herausgeholte Arbeit ist nichts anderes als die beim Herabfallen des Wassers aus einer bestimmten Höhe gewonnene Arbeit. Sie ist nach § 20 gleich dem Produkt aus Kraft und Weg, hier also aus Wassergewicht und Fallhöhe. Der gleiche Arbeitsaufwand ist vorher erforderlich, wenn das Wasser durch das Zusammenwirken von Verdunstung und Niederschlag auf die Ausgangshöhe gehoben wird. In dem Wasser ist dadurch gewissermaßen eine bestimmte Arbeitsmenge aufgespeichert worden, die beim Herabfallen wieder wirksam wird. Um diesem Gedanken Ausdruck zu verleihen, hat man den Begriff der **Energie** geprägt. Das Wort ist uns erstmalig auf S. 189 begegnet, ist uns aber seitdem noch öfter entgegengetreten. In physikalischem Sinne versteht man darunter den *Arbeitsvorrat* eines Körpers oder eines Körpersystems, seine *Arbeitsfähigkeit*, schließlich die *verbrauchte oder gewonnene Arbeit* selbst. Aber während der Begriff Arbeit im engeren Sinne auf die Bewegungslehre beschränkt bleibt *(mechanische Energie)*, kommt dem Energiebegriff eine viel weitergehende Bedeutung zu. Es hat sich herausgestellt, daß es sehr *verschiedene Arten von Energie* gibt. So sind auch *Wärme* und *Elektrizität* nichts

anderes als besondere Energieformen. An jeden Stoff ist *chemische Energie* gebunden, die bei chemischen Vorgängen in Form von Wärme frei oder verbraucht wird. Erwähnt seien ferner die *gestrahlte Energie* (Licht, Röntgenstrahlen) und schließlich die im Atom gebundene *Atomenergie*.

2. Kraftmaschinen als Energiewandler. Die Vorstellung der Verschiedenartigkeit der Energie hat sich für die gesamte naturwissenschaftliche Forschung als außerordentlich fruchtbar erwiesen und hat viele bedeutende Physiker zu wertvollsten Erkenntnissen angeregt. Sie gipfelten schließlich in dem von Hermann *von Helmholtz* (1821–1894) in seiner ganzen Tragweite erkannten Satz von der Erhaltung der Energie, der heute zu einem beherrschenden Grundsatz der gesamten Naturwissenschaft geworden ist.

Er besagt:

> **Energie bleibt ihrer Größe nach stets erhalten. Sie ist von der einen Form in die andere umwandelbar. Energie kann weder verlorengehen noch kann sie aus dem Nichts gewonnen werden.**

Dieses Gesetz wirft auch auf unsere Kraftmaschinen ein neues Licht. Auch sie sind ihm unterworfen. Man kann mit ihrer Hilfe Energie nicht im eigentlichen Sinne „erzeugen", obwohl diese Ausdrucksweise in der Umgangssprache oft verwendet wird. Was man mit ihnen erreichen kann, ist das Freimachen verborgener Energien, ihr Überführen in eine nutzbare Form. So verwandelt sich bei den Dampfkraftmaschinen beim Verbrennen der Kohle chemische Energie in Wärme, die sich über die Spannungsenergie des Dampfes wieder in mechanische Energie und somit in nutzbare Arbeit umsetzt. Sollte an die Wärmekraftmaschine ein elektrischer Generator angeschlossen sein, so vollzieht sich eine weitere Umwandlung in elektrische Energie, mit deren Hilfe im Elektromotor wieder mechanische Energie zurückgewonnen wird. Kraftmaschinen sind demnach keine Energieerzeuger, sie sind *Energiewandler*.

3. Der Wirkungsgrad. Wir erkannten im vorigen Abschnitt, daß zum Betrieb jeder krafterzeugenden Maschine ein gewisser Energieaufwand erforderlich ist, der in Form von nutzbarer Energie wieder aus der Maschine entnommen wird. Es erhebt sich die Frage, ob die Maschine das, was sie an Energie aufnimmt, wieder ungeschmälert hergibt. Leider ist dies nicht der Fall; es wird nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der aufgewendeten Energie in wirklich nutzbare Energie umgesetzt. Man bezeichnet das Verhältnis der ausgenutzten Energie zur insgesamt aufgewendeten Energie als den *Wirkungsgrad* der Maschine und gibt ihn in Prozenten der verbrauchten Energie an.

Beispiel:

Eine Dampfmaschine mittlerer Leistung verbraucht stündlich etwa 500 kg Kohle. Aus diesen wird beim Verbrennen eine Wärmemenge von rd. 3,6 Millionen kcal frei. Davon setzen sich etwa 650000 kcal in nutzbare Arbeit um. Der Wirkungsgrad beträgt demnach $\frac{650\,000}{3\,600\,000} = 0{,}18$, d. s. 18%.

Die nicht zur Wirkung gelangende Energie kann zwar, wie wir eben sahen, physikalisch nicht verlorengehen. Wohl aber kann man von einem Verlust in technischer Hinsicht bezüglich der Energieausnutzung sprechen. Er ist beispielsweise bei einer Dampfmaschine zurückzuführen auf das Entweichen einer beträchtlichen Wärmemenge mit den Verbrennungsgasen, auf die Wärmeabgabe seitens des Abdampfes im Kondensator, auf Wärmestrahlung aus dem Kessel und den Dampfleitungen, auf Reibung in der Maschine und auf andere Ursachen.
Der Wirkungsgrad beträgt bei einer Kolbendampfmaschine 15 bis 20 %, bei einer Dampfturbine 17 bis 21 %, bei einem Leichtölmotor 28 bis 32 %, bei einem Dieselmotor 33 bis 38 %. Es ist das Bestreben jedes Maschinenbauers, den Wirkungsgrad einer Kraftmaschine so hoch wie möglich zu gestalten.

4. Das Perpetuum mobile. Mit der Einführung des Energiebegriffs hat auch ein uraltes Trachten der Menschen seinen endgültigen Abschluß gefunden, nämlich das Bemühen, eine Maschine zu ersinnen, die nicht nur ohne den Aufwand irgendwelcher Betriebsmittel dauernd in Bewegung bleibt, sondern darüber hinaus noch nutzbare Arbeit leistet. Man nannte eine solche Maschine ein *Perpetuum mobile*[1]). Alle vermeintlichen Lösungen haben sich als trügerisch erwiesen, und das mußte so sein. Denn eine Maschine der gewünschten Art würde gegen den Satz von der Erhaltung der Energie und damit gegen eines der fundamentalsten Naturgesetze verstoßen. *Ein Perpetuum mobile zu konstruieren, ist unmöglich.* Sollte sich trotzdem jemand ernsthaft mit dieser Frage beschäftigen und sich der Hoffnung auf Erfolg hingeben, so bezeugt er damit, daß er nicht wissenschaftlich denken gelernt hat.

5. Energie ein Naturschatz. Wir haben erfahren, daß nutzbare Energie nur durch den Einsatz einer anderen Energie gewonnen werden kann. Dieser Umstand sollte jeden, der irgendeine Energiemenge verbraucht, nachdenklich stimmen und dazu veranlassen, haushälterisch mit ihr umzugehen. Eine Energiemenge kann zwar nach dem Vorangehenden physikalisch nicht verlorengehen, wohl aber sich in eine Form umwandeln, in der sie menschlicher Nutzung nicht mehr zugänglich ist. Dazu kommt, daß es sich bei der aufzuwendenden Energie meist um Wärme handelt, die durch Verbrennen von Kohle, Holz oder Treibstoff frei wird. Jedes Stückchen Kohle oder Holz aber, jeder Tropfen Treibstoff die verbrannt sind, können nicht zum zweiten Male verbrannt werden; sie sind für die weitere Nutzung verloren.
Darum sei sparsam im Energieverbrauch und handle nach dem Grundsatz:

Vergeude keine Energie! Nutze sie!

---

1) perpétuum (lat.) = das Fortdauernde; mōbilis (lat.) = beweglich

Abbe 139
Achse, optische 115. 121
Aderhaut 129
Adhäsion 47 u. f.
Akkumulator 173. 175
Ampere 172
Amperemeter 173
Anhangskraft 48
Anker 188 u. f.
Anode 170
Antikathode 196
Arbeit 91 u. f.
— des elektrischen Stromes 178 u. f.
Archimedes 58
Argon 195
Atmosphäre (Druckeinheit) 52. 65
Atom 166
Aufdruck 55
Auftrieb 57
Auge 129
Augenkammern 129
Ausbreitung des Lichtes 109
— — Schalles 97 u. f.
Ausdehnung durch Wärme 12 u. ff.
Autoscheinwerfer 118

Badethermometer 8
Batterie (elektr.) 173 u. ff.
Befestigungsschraube 84
Beharrungsvermögen 89
Beleuchtungsstärke 124
Benz 96
Berührungsschutz 199
Bild, scheinbares 114. 117. 118. 122. 123. 135. 137
—, wirkliches 116. 117. 122. 128. 136. 139
Bildweite 122
Bildwerfer 128
Blende 123 u. f.
Blitz 168
Blitzableiter 169
Blitzschutz 169
Blockflöte 105
Bluttemperatur 8
Bodendruck 54
Bogenlampe 160
Brechung d. Lichtes 119 u. f.
Brechungswinkel 119 u. f.
Bremsstrahlung 196
Brennglas 121
Brennpunkt 115 u. f. 121
Brennstoffe 10
Brennweite 115. 121
Briefwage 76
Brillen 130 u. f.
Bügeleisen 155

C-Dur-Tonleiter 102
Celsius 9
Curie 197

Dampfmaschine 93. 204 u. f.
Dampfturbine 200. 206 u. f.
Deckglas 139
Deklination 149
Dezimalwaage 79
Dieselmotor 96. 210
Donner 169
Dosenbarometer 66
Drais, von 89
Drehschalter 158
Dreiklang 103
Drosselklappe 94
Druck 36. 52
— in Flüssigkeiten 52 u. ff.
— in Gasen 61 u. f.
Druckmesser 61
Druckpumpe 67
Druckschalter 158
Druckschraube 84
Drucküberträgung 53
Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen 196
Dynamo 192 u. f.

Echo 100 u. f.
Edelgas 195
Edison 157
Eigenschwingung 104
Einfallslot 113
Einfallswinkel 113. 120. 124. 125
Einkochthermometer 8
Eiskeller 18
Eisschrank 18
Elastizität 37
Elektrizitätsteilchen 166
Elektrizitätswerk 150. 152. 180. 188. 189. 191
Elektrode 170
Elektrolyse 171
Elektromagnet 181 u. f.
Elektrometer 164
Elektromotor 191 u. f. 210
Elektron 166 u. f.
Elektronenstrom 167
Elektroskop 164
Element, galv. 152. 173
Energie 212 u. f.
—, Arten der 213
—, elektrische 189 u. f.
—, Satz von der Erhaltung der 213
Episkop 128
Erdatmosphäre 63
Erdfernrohr 137
Erdmagnetismus 149
Ergänzungsfarben 141
Erstarren 28 u. f.
Eustachische Röhre 107
Explosionsmotor 208
Exzentrische Scheibe 208

Fahrenheit 10
Fahrrad 87 u. f.
Fahrradpumpe 61
Farbenzerlegung 140 u. f.
Federn, elastische 36
Federwaage 36. 38
Federwolken 71
Feld, magnetisches 148
Feldlinien 148
Feldstecher 137
Fernpunkt 129
Fernrohr, astronomisches 136
— holländisches 138
Festigkeit 38
Festpunkte beim Thermometer 9
Feuerbohren 11
Feuerquirlen 11
Feuerschlagen 11
Feuerzeug 11
Fieberthermometer 8
Film 134
Fixpunkte beim Thermometer 9
Flammrohrkessel 203
Flaschenzug 82
Fleischwolf 85
Fön 194
Francis-Spiralturbine 202
Freilauf 89
Freistrahlturbine 202
Frontgewitter 168
Fundamentalabstand beim Thermometer 9

Galilei 138
Galvanometer 162
Galvanoskop 162
Gang beim Kraftwagen 96
Gasbrenner 26
Gasdruck 61
Gaskocher 26
Gasmesser 27
Gasverbrauch 22. 27
Gauß 182
Gefrierpunkt 8. 29
Gegenkathode 196
Gegenstandsweite 122
Gehörgang 107
Gehörknöchelchen 107
Generator 192 u. f.
Gerätestecker 154
Geräusch 102
Geschwindigkeit 86
Gewicht 38
— der Luft 62
Gewichtsdruck einer Flüssigkeit 56
— der Luft 64
Gewichtsatz 75
Gewitter 167
Glaskörper des Auges 129
Gleichgewicht 43
Gleichstrom 162 u. ff. 188 u. ff.
Glühlampe 157 u. f.
Goldene Regel der Mechanik 92
Grammophon 107 u. f.
Gruppenschalter 159
Grundton 106
Guericke 63

Haarfeuchtigkeitsmesser 72
Haarröhrchen 48
Hagel 71
Halbschatten 110 u. f.
Halbwertszeit 198
Haufenwolke 71. 167
Hebel 73. 77
Hebelgesetz 74
Hefnerkerze 125
Heizen 24
Heizkissen 155
Heizsonne 155
Helium 198
Helmholtz, von 213
Hochdruckgebiet 69
Hochspannung 152
Hochspannungleitung 191
Höhenmesser 66
Höhensonne 143
Hohlspiegel 115
Hohlspiegelbilder 116 u. f.
Hornhaut des Auges 129
Hörrohr 101
Hufeisenmagnet 145
Hydraulische Presse 53
Hygrometer 72

Induktion 185
Induktionsstrom 186 u. ff.
Infrarote Strahlen 142 u. f.
Iris 124. 129
Irisblende 124
Isolator 150 u. f.

Jablotschkow 159

Kachelofen 17. 24
Kaleidoskop 115
Kalorie 23
Kapillare 48
Kapillarkraft 48
Kassette 127
Kathode 170. 195
Kaufmannswaage 75
Kehlkopf 106
Keil 83
Kepler 136
Keplersches Fernrohr 136
Kernschatten 110 u. f.
Kettenrad 87
Kilogramm 39
Kilokalorie 23
Kilopond 39
Kilowatt 180
Kilowattstunde 180
Kippschalter 158
Klangfarbe 105 u. f.
Kleinbildkamera 127
Klingel, elektrische 182
Kochkiste 18
Kochplatte 153 u. f.
Kohäsion 47
Kohlekörnermikrophon 184
Kohlenherd 27
Kollektor 189
Kommutator 189
Kompaß 145
Kompressor 192
Kondensator bei der Dampfmaschine 205
—, elektrischer 165
Kondensieren 31
Kondensor 128
Körperfarben 142
Körperliches Sehen 133 u. f.
Kraft 38. 73. 91
— arm 74
— einheit 38
— maschine 200
— messung 38
Kraftwagenkühler 19
Kraftwerk 165. 185. 189. 190. 211
Kristallinse 129
Krümmungsmittelpunkt [115
Küchenwaage 36
Kugellager 88
Kühlhäuser 18
Kühlmischung 30
Kuppelung 96
Kurbel 80
Kurbelwiderstand 177
Kurzschluß 156
Kurzsichtig 129 u. f.

Laden des Akkumulators 175
Ladung, elektrische 165 u. ff.
Lärmbekämpfung 99
Last 73
— arm 74
Läufer 189
Laute 103
Lederhaut des Auges 129
Leichtölmotor 208
Leistung 92
—, elektrische 178 u. ff.
Leiter, elektr. 150 u. f. 170
Leitfähigkeit 170
Leuchtröhre 193
Licht 109
—, kaltes 193
— bogen 159

Lichtbrechung 119
Lichtgeschwindigkeit 111
Lichtquelle 110. 124 u. f.
Lichtstärke 124 u. f.
Lichtstrahl 109
Linsen, opt. 119 u. ff.
Lippenpfeife 105
Lippershey 138
Lochkamera 109. 118. 122
Lochsirene 102
Lodygin 157
Lokomotive 93. 203. 208
Lot 42
Luftdruck 31. 64. 68
Luftfeuchtigkeit 71
Lumpenwage 36
Lupe 122. 135

Magdeburger Halbkugeln 64
Magnesia 146
Magnet 145
— elsenstein 146
Magnetisches Feld 148
Magnetismus 145 u. ff.
Magnetnadel 146. 161. 163
Manometer 61
Maschine 85
Mattscheibe 112
Mattscheibenkamera 126
Membran 108. 184 u. f.
Mikrophon 184
Mikroskop 138 u. f.
Milliamperemeter 173
Millibar 68
Mischfarbe 141
Mißweisung 149
Mittelpunkt, optischer 115
Molekül 46. 147. 195. 197
Molekularmagnet 147
Mondfinsternis 111
Monochord 103
Morse 183

Nachbild 134
Nachhall 100
Nähmaschine 99
Nahpunkt 129
Neon 195
Netzhaut 129
— bild 129 u. ff.
Neue Kerze (NK) 125
Nichtleiter, elektr. 151
Niederschläge 71
Nordpol, magn. 146 u. ff.

Oberton 106
Objektiv 126. 136 u. ff.
Ohm 176
Ohm, Widerstand 176 u. f.
Ohmsches Gesetz 178
Ohr 107
Oktave 103
Okular 136 u. ff.
Operngias 136. 138
Orgelpfeife 105
Otto 96

Papin 94
Parallelschaltung 174
Pedal 87
Periode 188
Perpetuum mobile 214
Pfeifen 105
Pferdestärke 92
Photographische Kamera 126
Photometer 125
Plastische Körper 38
Platin 29. 171
Plattenkondensator 165
Pleuelstange 89. 94. 204
Pol, elektrischer 150. 171
—, —, negativer 161. 167. 170
—, —, positiver 161. 167. 170
—, magnetischer 146 u. ff.
Polsunow 94
Pond 39
Preiswage 76
Prisma 137. 140
Prismenglas 137
Pupille 123. 129

Quarzlampe 143
Quecksilber 8. 9. 68
Quecksilberbarometer 65
Quecksilberthermometer 8

Rachitis 144
Radioaktivität 197 u. f.
Radium 197 u. f.
Rasierspiegel 115
Réaumur 9
Regen 71
Regenbogen 140
Regenmesser 72
Reibung 88. 89
Reif 71
Reihenschaltung 174
Reis 185
Resonanz 104
Rolle 82
Rollfilmkamera 127
Römer 111
Röntgen 195
Röntgenstrahlen 195 u. f.
Rückblickspiegel 118
Rücktrittbremse 89

Saiteninstrumente 103
Sammelheizung 18
Sammellinse 121
Sauerstoff 171. 175
Saugpumpe 67
Schäfchenwolken 71
Schallausbreitung 97 u. ff.
Schalldämpfung 98
Schallgeschwindigkeit 99
Schallquelle 97
Schallstärke 100
Schallwellen 98
Schatten 110
Schattenphotometer 125
Schichtwolken 71
Schiebersteuerung 94. 204
Schiebewiderstand 177
Schiefe Ebene 83
Schienenstoß 15
Schirmwirkung, magnetische 147
Schmelzen 28
Schmelzpunkt 9. 29
Schmelzwärme 29
Schnecke (im Ohr) 107
Schnee 71
Schnellkochtopf 32
Schnellwaage 76
Schraube 84
Schraubenspindel 84
Schrotleiter 83
Schweben (im Wasser) 59
Schwerkraft 38
Schweröimotor 208
Schwerpunkt 43
Schwimmen 59
Schwingungen 101 u. f.
Sehfehler 129 u. f.
Sehwinkel 131
Seilwinde 81
Seitendruck 55
Senkblei 42
Senkwage 60
Sicherung 156
Sieden 31
Siedepunkt 9. 32
Siedetemperatur 33
Siemens, von 189
Solluxlampe 144
Sonnenfinsternis 111
Spannkraft der Federn 36
Spannung 151 u. ff. 165. 168. 176 u. ff.
Spektralfarben 140
Spektrum 140
Spezifisches Gewicht 41
Spiegel 112 u. f.
Spiegelgesetz 113
Sprachrohr 101
Springbrunnen 51
Spritzflasche 62
Ständer 189
Standfestigkeit 44 u. f.
Staubsauger 193
Steckdose 150
Stehaufmännchen 42
Steilrohrdampfkessel 203
Stephenson 94
Stereoskop 133
Steuersäule 80
Stimmbänder 106
Stimmgabel 98. 101
Strahlofen, elektr. 155
Straßenbahn, elektr. 193
Stromkreis 149 u. f.
Stromstärke 172
Stromwärme 153
Stromwender 189
Sucher 127
Südpol, magn. 146 u. ff.

Tafelwage 75
Tagesichtlampe 142
Takte des Viertaktmotors 95
Taschenlampenbatterie 173
Tau 71
Tauchsieder 155
Teilbarkeit 46
Telegraph 183
Telephon 184
Temperatur 7
Thermometer 7. 143
Thermometerskala 8
Thermosflasche 21
Tiefdruckgebiet 69
Tiefenschärfe 124
Tonhöhe 101 u. f.
Tonleiter 102
Torricelli 65
Totpunkt 90. 94
Transformator 191
Tretkurbel 87
Trockenelement 174
Trommelfell 107
Turbine 189. 200 u. ff. 206
Turmkochen 26

Überlandzentrale 162. 185.
Übersetzung 87 [190
Übersichtig 131
Ultrarote Strahlen 143
Ultraviolette Strahlen 142 u. f.
Umkehrlinse 137
Umspannen 190
Umspannwerk 191
Untersetzung 87
Uranpechblende 197

Ventilsteuerung 205
Verbrennungskraftmaschinen 200. 208 u. f.
Verbrennungsmotor 94. 208 u. f.
Verbundene Gefäße 50
Verdampfen 30 u. f.
Verdampfungswärme 33
Verdichten 30 u. f.
Verdunsten 33 u. f.
Vergaser 95
Vergrößerungsglas 136
Verschluß einer Kamera 124.
Viertaktmotor 95. 208
Volt 153
Volta 153
Voltampere 180
Voltmeter 153

Wagenheber 52 u. f.
Wagnerscher Hammer 182
Wanderkompaß 145
Wärme 7
— ausbreitung 17
— ausnutzung 28
— einheit 23
— gewitter 168
— grad 7
— leitung 17 u. f.
— menge 22
— quellen 10
— strahlung 21
— strömung 19
Warmwasserheizung 19
Wasserdampf 31
Wasserhahn 50
Wasserräder 200 u. f.
Wasserrohrkessel 203
Wasserstandsglas 51
Wasserstoff 171. 173. 175
Wasserturbinen 201 u. f.
Wasserturm 50
Wasserwage 51
Wasserwellen 98
Wasserzersetzung 170 u. f.
Watt 94, 180
Weber 183
Wechselgetriebe 96
Wechselschalter 159
Wechselstrom 162. 163. 187 188. 190 u. f.
Weitsichtig 130 u. f.
Wellrad 80
Wettervorhersage 72
Wetterwarte 72
Wichte 41. 59
Widerstand 175. 176 u. f.
Wind 69
— geschwindigkeit 69
— messer 69
— mühle 200. 202
— rad 203
— stärke 70
Winkelspiegel 115
Wippe 73
Wirkungsgrad 213
Wolken 70
Wurfhebel 79

Zähler, elektrischer 181
Zahnradgetriebe 81
Zeitlupe 135
Zeitraffer 135
Zentralheizung 18
Zerstreuungslinse 122
Ziliarmuskel 129
Zimmerthermometer 8
Zug 35
Züge des Kachelofens 24
Zündkerze 95
Zungenpfeife 105
Zurückwerfung des Lichtes 112 u. f.
— — Schalles 100
Zusammenhangskraft 47
Zustandsformen 28. 47
Zweitaktmotor 96. 208 u. ff.