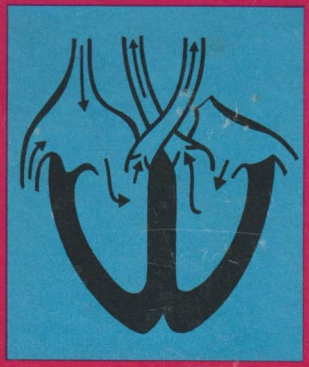
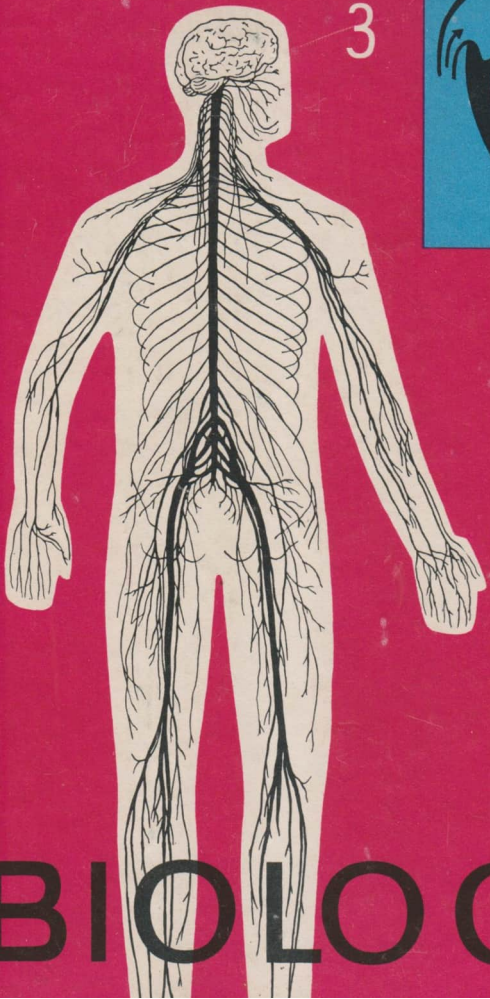
ERWEITERTE OBERSCHULE

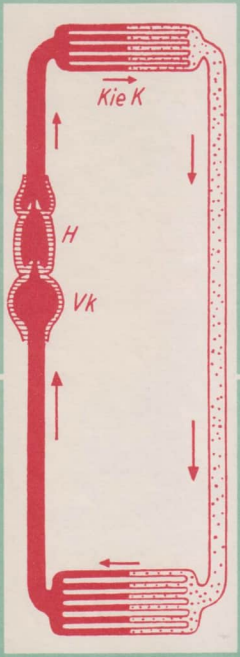
3





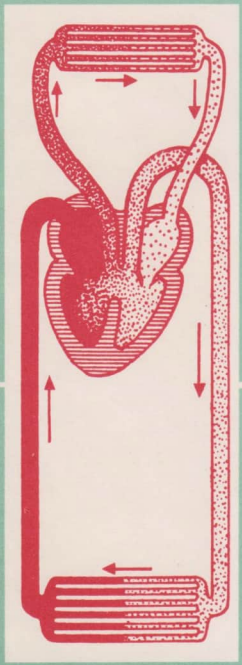
BIOLOGIE

Fisch

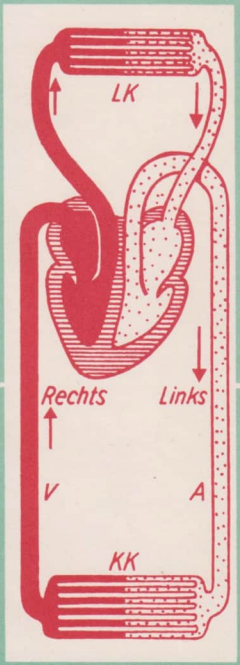


Lurch

Kriechtier



Säuger



BIOLOGIE
III

EIN LEHRBUCH FÜR DIE ERWEITERTE OBERSCHULE

11. KLASSE

ANATOMIE DES MENSCHEN

AUSGEWÄHLTE GEBIETE AUS DER PHYSIOLOGIE

VOLK UND WISSEN

VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1966

Dr. Karl Germershausen
verfaßte den Abschnitt Anatomie
Prof. Dr. Anneliese Sälzler
gestaltete den Abschnitt Hygiene
von Dr. habil. Hans-Günther Gießmann für diese Auflage neu
Medizinalrat Hubert Wieczorek
verfaßte den Abschnitt Säuglingspflege
Dr. Klaus Müntz
überarbeitete zusammen mit Prof. Dr. habil. Herwart Ambrosius den Abschnitt Physiologie
(Autoren der 1. Fassung — 1. Auflage 1962 —:
Prof. Dr. Herwart Ambrosius,
Dr. Armin Ermisch, Dr. Gerhard Lerch
und Dipl. Biol. Horst Schäffner).
Sie wurden dabei von den
Lehrern Günter Freudenberg und Gottfried Kopprasch unterstützt.

An der Überarbeitung des Lehrbuches wirkten außerdem Lehrer der
Bezirke Dresden und Leipzig sowie zahlreiche Fachwissenschaftler mit.

Redaktion: Gertrud Kummer

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen
Republik als Schulbuch bestätigt.

2., durchgesehene Auflage

Mit 145 Abbildungen im Text und 8 Farbtafeln
Redaktionsschluß: 15. November 1965
Einband: Günther Klaus
Ausstattung: Atelier Volk und Wissen, Berlin
ES 11 H · Bestell-Nr. 011151-2 · Preis 5,40 · Lizenz Nr. 203 · 1000/65(DN)
Satz und Druck: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden (III/9/1)

INHALTSVERZEICHNIS

Anatomie des Menschen

Stoffwechsel 6
Ernährung und Verdauung 6
Atmung und Atmungsorgane 23
Blut und Blutgefäßsystem 31
Blut 31
Gefäßsystem 39
Lymphe und Lymphgefäßsystem 47
Innere Sekretion 49
Urogenitalsystem 54
Ausscheidungsorgane 54
Geschlechtsorgane 56
Haut 60
Sinnesorgane 66
Hautsinnesorgane 66
Chemische Sinne 67
Sinnesorgane des Ohres 69
Lichtsinnesorgan 76
Nervensystem des Menschen 85
Zentralnervensystem 86
Vegetatives Nervensystem 101
Embryonalentwicklung des Menschen 104
Entwicklung des Keimlings nach Ausbildung der Keimblätter . . 107
Entwicklung und Ernährung eines gesunden Säuglings 112
Entwicklung körperlicher und geistiger Fähigkeiten im Säuglingsalter 115

Ausgewählte Gebiete aus der Physiologie

Einleitung 119
Bau und Funktion der Zelle 124
Die Zelle als Grundeinheit aller Lebewesen 125
Bau der Zelle 125
Die Zelle als osmotisches System 142
Die Zellvermehrung 144
Die Differenzierung der Zellen – Gewebe 147
Physiologie des Stoffwechsels 149
Die Bedeutung des Wassers für das Leben 150
Der Baustoffwechsel 153
Der Betriebsstoffwechsel 174
Zusammenwirken der Stoffwechselvorgänge im Organismus . . . 181
Kreislauf der Stoffe in der Natur 185
Physiologie der Fortpflanzung und Entwicklung 187
Wesen und Formen der Fortpflanzung 187

Übersicht über die geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung . . . 189
Geschlechtliche Fortpflanzung . . . 189
Entwicklung der befruchteten Eizelle . . . 194
Generationswechsel . . . 206
Reizphysiologie . . . 209
Reizbarkeit als Grundeigenschaft der lebenden Materie . . . 209
Der Reiz . . . 209
Die Erregung . . . 211
Die Reaktion . . . 214
Die Reizbeantwortung bei Tieren . . . 215
Die Reizbeantwortung bei Pflanzen . . . 219
Vergleichende Betrachtung der Reizvorgänge bei Tieren und Pflanzen . . . 225
Verzeichnis der Versuche . . . 227
Versuche . . . 228

Hygiene

Zur Geschichte der Hygiene . . . 249
Allgemeine und kommunale Hygiene . . . 252
Seuchen . . . 258
Sozialhygiene . . . 263
Arbeitshygiene . . . 271
Gesundheitserziehung . . . 278
Einige bedeutende Wissenschaftler . . . 282

Sachwörterverzeichnis . . . 286

ANATOMIE DES MENSCHEN

Der Körperbau des Menschen stimmt in wesentlichen Merkmalen mit dem der Wirbeltiere, vor allem der Säuger, überein; zugleich weisen Mensch und Säugetiere qualitative Unterschiede auf, die sich nur aus der besonderen stammesgeschichtlichen Entwicklung des Menschen erklären lassen. Mit diesen Unterschieden wollen wir uns im folgenden besonders beschäftigen.

Der Körperbau des Menschen ist durch die in langer Entwicklung entstandenen charakteristischen Merkmale – den aufrechten Gang und die Arbeit – gekennzeichnet.

Der aufrechte Gang bildete sich zunächst als zeitweilige, später als notwendige und alleinige Fortbewegungsform heraus. Das daraus resultierende Freiwerden der Vorderextremität war von großer Bedeutung für die Entwicklung der spezifischen Tätigkeit des Menschen – der Arbeit. Die Vorderextremitäten konnten eine neue Funktion, den Gebrauch von Werkzeugen, übernehmen.

Durch die Arbeit wurde die Hand in bestimmter Richtung geformt. Im Zusammenhang damit erfolgte eine Veränderung des gesamten Körpers.

Die Anfertigung von Werkzeugen, mit deren Hilfe er die Natur verändern konnte, entfernte den Menschen immer mehr vom Tier. Der Mensch paßte sich aktiv an die Umwelt an und wurde zu ihrem Beherrscher.

Das Leben in einer festgefügten Gesellschaft, die gemeinsame Arbeit verstärkten die qualitativen Unterschiede zwischen Mensch und Tier. Im Prozeß der gemeinsamen Arbeit entwickelte sich die Sprache und damit das Denken. Arbeit, Sprache und Denken unterscheiden den Menschen von allen übrigen Lebewesen.

Der Mensch ist nicht nur ein biologisches, er ist auch ein gesellschaftliches Wesen. Die gesellschaftlichen Beziehungen der Menschen untereinander lassen neue Gesetzmäßigkeiten wirksam werden, die objektiv vorhanden sind und nur für die menschliche Gesellschaft gelten: die von Karl Marx entdeckten sozialökonomischen Gesetzmäßigkeiten. Die Stellung des Menschen in der Natur ist demnach nur durch die Ergebnisse von Naturwissenschaft und Gesellschaftswissenschaft auf der Grundlage des historischen und dialektischen Materialismus richtig zu definieren.

Stoffwechsel

Der Stoffwechsel ist die grundlegende Eigenschaft aller lebenden Materie. Jeder Organismus nimmt dauernd Stoffe auf, wandelt sie in andere Stoffe um, baut sie schließlich unter Freiwerden von Energie ab und scheidet die Abbauprodukte aus. Diese komplizierten Stoffumwandlungen, die sich im Organismus abspielen, bezeichnet man

in ihrer Gesamtheit als Stoffwechsel. Er liegt allen Lebensvorgängen zugrunde und geht ohne Unterbrechung in jedem Organismus vor sich; er ist die notwendige Voraussetzung für dessen Existenz (s. S. 149).

Ein Stoffwechsel findet nicht nur im lebenden Organismus statt, sondern auch in der gesamten uns umgebenden Natur. „Der Unterschied aber ist der", so erklärt ENGELS, „daß bei unorganischen Körpern der Stoffwechsel sie zerstört, bei organischen aber notwendige Existenzbedingung ist."

Ernährung und Verdauung

Der Mensch benötigt wie alle anderen Lebewesen Nährstoffe, Wasser, Mineralstoffe, Vitamine und Sauerstoff; er ißt, trinkt und atmet. Die aufgenommenen Stoffe werden im Körper umgewandelt. Sie bilden und erhalten im Stoffwechselprozeß die Zellsubstanz, sie liefern auch die Energie zur Erhaltung des Lebens.

Energiebedarf des Körpers. Zu jeder Lebensfunktion wird Energie benötigt. Sorgfältige Messungen an vielen Menschen haben ergeben, daß der Energiebedarf des Körpers bei Erwachsenen in vollständiger Ruhe ohne Nahrungsaufnahme etwa 24 kcal je kg Körpergewicht in 24 Stunden beträgt. Dieser **Grundumsatz** ist innerhalb bestimmter Grenzen vom Alter, der Körpergröße und dem Geschlecht abhängig (bei Frauen liegt er durchschnittlich 1 bis 10% niedriger als bei Männern gleicher Körpergröße).

Täglicher Kalorienbedarf in verschiedenen Lebensaltern

Lebensjahr	Kalorienbedarf in kcal	
	männlich	weiblich
1.	700	700
7.	1 600	1 600
11.	2 100	1 900
15.	2 500	2 200
19.	2 800	2 400

Jede zusätzliche Tätigkeit, wie Sitzen, Laufen, ja schon die Verdauungsvorgänge selbst, erhöhen den Stoffumsatz **(Leistungsumsatz).** Der aus Grundumsatz und Leistungsumsatz bestehende **Gesamtumsatz** ist von der körperlichen Tätigkeit abhängig. Bei durchschnittlichem Körpergewicht und durchschnittlicher Arbeitsleistung hat man für verschiedene Tätigkeiten den durchschnittlichen Energieumsatz ermittelt.

Aus dieser Aufstellung geht hervor, daß bei körperlicher Arbeit der Leistungszuwachs im allgemeinen um so höher ist, je größer die zu der Arbeit notwendige Muskelleistung ist.

Auch die sportliche Betätigung führt zu erhöhten Stoffumsätzen. Im intensiven Training werden die höchsten Umsatzgrößen, etwa 8000 kcal, gemessen. Deshalb ist kalorienreiche und gut zusammengesetzte Nahrung für Sportler äußerst wichtig.

Täglicher Kalorienverbrauch bei verschiedener Tätigkeit

Tätigkeit	Energieumsatz in kcal
Ohne wesentliche körperliche Anstrengung (z. B. Schneider, Optiker, Chemiker)	etwa 2 800
Mit mäßiger körperlicher Anstrengung (z. B. Drucker, Lehrer, Arzt)	etwa 3 000
Mittelschwere körperliche Arbeit (z. B. Traktorist, Tischler, Schlosser, Fleischer)	etwa 3 400
Schwerste körperliche Arbeit (z. B. Landarbeiter, Bergmann, Gleisbauarbeiter, bei Arbeit ohne moderne technische Ausrüstung)	etwa 4 200 bis 4 500

Wissenschaftler und Praktiker haben wiederholt versucht, eine Schätzung des Wertes der Arbeitsleistung des Menschen nach dem Energieverbrauch vorzunehmen. Bei einem solchen Versuch kann – wie bereits FRIEDRICH ENGELS nachwies – „nichts als Unsinn herauskommen". Der Energieverbrauch ist hauptsächlich von der Muskelarbeit abhängig. Diese ist aber nur eine Seite des Arbeitsprozesses, der gesellschaftlich nützlichen Tätigkeit des Menschen. Die wirkliche Leistung eines Menschen in Kalorien auszudrücken, ist unmöglich.

Zusammensetzung der Nahrung

Die Nahrung des Menschen enthält neben den Nährstoffen, welche die notwendigen Kalorien liefern, noch Ergänzungsstoffe und Genußmittel.

Nährstoffe. Eiweiße, Fette und Kohlenhydrate werden als Nährstoffe bezeichnet. Sie sind in den verschiedenen Nahrungsmitteln in unterschiedlicher Menge enthalten (s. Tab. S. 12).

Eiweiße sind wichtige Bestandteile der Zelle, sie sind zugleich ein Produkt der Zelltätigkeit. Da im Körper des Menschen ständig neue Zellen aufgebaut werden, muß immer eine bestimmte Eiweißmenge in der Nahrung enthalten sein. Man rechnet beim Erwachsenen je kg Körpergewicht etwa 1 g Eiweiß täglich; Kinder und Jugendliche benötigen etwas mehr (Wachstum). Aminosäuren können nicht gespeichert werden. Sie werden teilweise in körpereigene Eiweiße umgewandelt. Nur ein kleiner Teil der aufgenommenen Aminosäuren wird im Energiestoffwechsel verbrannt. Zuviel aufgenommene Eiweiße belasten den Organismus.

Ein Drittel bis die Hälfte der in der Nahrung enthaltenen Eiweiße soll tierischer Herkunft sein, um den Bedarf an essentiellen Aminosäuren zu decken (das sind Aminosäuren, die für den Aufbau lebensnotwendiger Eiweiße unbedingt erforderlich sind. Für den Menschen sind acht von den über 20 Aminosäuren als essentiell erkannt worden). Pflanzliche Eiweiße sind außerdem durch die sie umgebenden Zellulosemembranen häufig schwer verdaulich. Die wichtigsten vollwertigen tierischen Eiweißträger sind Milch, Milchprodukte, Fleisch und Fisch, die wichtigsten pflanzlichen wenig ausgemahlene Mehlprodukte, Kartoffeln, Hülsenfrüchte und Nüsse.

Kohlenhydrate werden in Form von Monosacharidien (Traubenzucker, Fruchtzucker), Disacharidien (Rübenzucker) oder Polysacharidien (Stärke, Glykogen, Zellu-

lose) aufgenommen. Zellulose ist für den Menschen nahezu unverdaulich, als Ballaststoff zur Anregung der normalen Darmtätigkeit ist sie jedoch unentbehrlich.

Bei einer ausgewogenen Kost werden 60% der Kalorien durch Umsetzung von Kohlenhydraten erzeugt.

Im Übermaß zugeführte Kohlenhydrate werden in Fett umgesetzt und im Organismus gespeichert.

Fette können tierischer oder pflanzlicher Herkunft sein. Von allen Nährstoffen liefern sie bei der Umsetzung im Körper die meisten Kalorien. Man rechnet für den Erwachsenen etwa 0,3 bis 0,5 g Fett je kg Körpergewicht täglich. Unsere Nahrung muß unbedingt pflanzliche Fette enthalten, um dem Stoffwechsel die erforderliche Menge ungesättigter Fettsäuren zuzuführen.

Gleiche Mengen verschiedener Nährstoffe liefern bei ihrer Verbrennung verschieden große Mengen von Energie.

1 kg Kohlenhydrate	ergibt bei vollständiger Verbrennung	4 100 kcal
	beim Abbau im Körper	4 100 kcal
1 kg Fett	ergibt bei vollständiger Verbrennung	9 300 kcal
	beim Abbau im Körper	9 300 kcal
1 kg Eiweiß	ergibt bei vollständiger Verbrennung	5 500 kcal
	beim Abbau im Körper	4 100 kcal

Die Eiweiße liefern bei ihrem Abbau im Organismus weniger Kalorien als bei ihrer vollständigen Verbrennung, weil nur ein Teil ihrer Abbauprodukte Wasser und Kohlendioxid, ein anderer Teil aber Endprodukte von erheblichem Energiegehalt sind; zum Beispiel ist der Harnstoff, eines der Endprodukte des Eiweißstoffwechsels, noch recht energiereich.

Vergleicht man die Nahrungsstoffe nach ihrem Kaloriengehalt, so zeigt sich: 100 g Fett sind in bezug auf die Energielieferung 227 g Kohlenhydraten oder 227 g Eiweiß gleichwertig. Dennoch können sich diese Nährstoffe nur innerhalb gewisser Grenzen gegenseitig ersetzen. Zwar können Fette und Kohlenhydrate im Stoffwechsel weitgehend ineinander übergeführt werden, trotzdem ist ein gewisses Minimum an Fett in der Nahrung notwendig, um beispielsweise die Resorption der fettlöslichen Vitamine zu ermöglichen. Auch Eiweiße müssen in einer bestimmten Mindestmenge aufgenommen werden, da der menschliche Körper nur einen Teil der lebensnotwendigen Aminosäuren selbst aufbauen kann.

Ergänzungsstoffe. Wasser, Mineralien und Vitamine werden vom menschlichen Organismus unbedingt benötigt. Sie dienen jedoch nicht unmittelbar der Energiegewinnung. Man bezeichnet sie deshalb als Ergänzungsstoffe.

Wasser. Das Wasser dient im Körper als Quellmittel und bewirkt den kolloidalen Zustand des Protoplasmas. Außerdem ist es das Lösungsmittel für viele wasserlösliche Stoffe. Der Anteil des Wassers am Körpergewicht eines Menschen beträgt rund 60%. (Blut enthält etwa 80%, Muskulatur 76%, Knochen 21% H_2O.)

Außerdem entsteht bei der biologischen Oxydation der Nährstoffe Wasser. Bei vollständiger Verbrennung liefern 100 g Fett 107 g Wasser, 100 g Kohlenhydrate nur 55 g Wasser.

Durch die Abgabe von Schweiß, Harn, Kot und bei der Atmung verliert der Körper ständig Wasser. Bei schwerer körperlicher Arbeit können bei hohen Außentemperaturen 10 bis 12 Liter Schweiß täglich abgegeben werden.

Sinkt der Gesamtwassergehalt des Körpers nur um 10 bis 15%, so verlaufen die Stoffwechselvorgänge nicht mehr normal. Der Tod kann eintreten.

Der Mensch kann 30 Tage hungern, wenn er während dieser Zeit Wasser aufnimmt; völlig ohne Flüssigkeit kann er nur kurze Zeit – etwa 3 Tage – auskommen.

Mineralstoffe. Der Bedarf an Mineralstoffen ist unterschiedlich; er ist abhängig von der Funktion der darin enthaltenen Elemente.

K-, Ca- und Mg-Ionen sind für die Aufrechterhaltung des osmotischen Druckes in den Geweben wichtig, Ca-Ionen außerdem für den Aufbau von Knochen und Zähnen und für die Blutgerinnung;

Fe-Ionen haben für die Neubildung von Hämoglobin Bedeutung. Daran sind außerdem Co- und Cu-Ionen beteiligt.

PO_4-Ionen sind für den Knochenaufbau und als Energiespeicher bedeutend.

Jod ist für eine geregelte Schilddrüsentätigkeit notwendig, Fluor verleiht dem Zahnschmelz besondere Härte, Chlor ist für die Bildung von Salzsäure im Magen wichtig.

Keineswegs ist hier die Bedeutung der Mineralstoffe auch nur annähernd vollständig dargestellt. Mangel an Mineralien führt zu schweren Stoffwechselstörungen. Bei sich entwickelnden Organismen, also bei Kindern und Jugendlichen, können als Folge davon Entwicklungsverzögerungen eintreten.

Vitamine. Vitamine sind lebenswichtige organische Wirkstoffe, von denen die meisten mit der Nahrung aufgenommen werden. Viele Vitamine werden in lebenswichtigen Organen (z. B. der Leber) gespeichert. Sie greifen in eine Reihe lebenswichtiger Prozesse als Katalysatoren ein. Sie sind für den normalen Stoffwechsel unentbehrlich und teilweise am Aufbau der Fermente beteiligt.

Der Bedarf an Vitaminen ist nicht zu jeder Zeit gleich groß; bei schwerer Arbeit, bei Infektionen, während der Schwangerschaft steigt er stark an. Das Fehlen von Vitaminen in der Nahrung führt zu Mangelkrankheiten (Avitaminosen).

Im Jahre 1880 gewann der russische Gelehrte LUNIN aus Milch reine Eiweißstoffe, Fett, Milchzucker und Mineralstoffe. Tiere, die nur mit diesen Stoffen ernährt wurden, verloren an Gewicht, erkrankten und starben schließlich. Das Hinzufügen einer kleinen Menge Vollmilch zur Nahrung stellte, sofern sie rechtzeitig gegeben wurde, ihre Gesundheit wieder her. LUNIN kam auf Grund seiner Versuche zu der Schlußfolgerung, daß der Körper nicht nur Eiweißstoffe, Fette, Kohlenhydrate und Mineralstoffe benötigt, sondern auch noch andere, bis dahin unbekannte Substanzen. Der polnische Forscher FUNK gab diesen lebenswichtigen Wirkstoffen die Bezeichnung „Vitamine", weil er annahm, daß es Lebensstoffe (vita = das Leben) seien, die Stickstoff enthalten. Man bezeichnete die Vitamine mit den Buchstaben A, B, C, K usw.

Heute tragen die Vitamine meist außerdem Bezeichnungen, die sich auf ihre Wirkung, ihre chemische Zusammensetzung und ihr Vorkommen beziehen. Zur Zeit der Entdeckung als ein Wirkstoff aufgefaßte Vitamine (z. B. Vitamin B) sind heute in verschiedene Wirkstoffgruppen unterteilt (z. B. Vitamin B_1, B_2, B_{12}). —

Viele Vitamine werden in den Werken unserer pharmazeutischen Industrie, beispielsweise im VEB Jenapharm, synthetisch hergestellt (z. B. Dekristol, Ascorvit). Diese Vitaminpräparate können als Heilmittel bei den ersten Anzeichen einer Vitaminmangelerkrankung vom Arzt verabreicht werden.

Die industrielle Synthese der Vitamine ist eine bedeutende wissenschaftliche Leistung. Sie ermöglicht es, Millionen von Menschen bei schweren, früher nahezu kaum heilbaren Erkrankungen schnell zu helfen.

Vitamin A. Das Epithelschutzvitamin ist fettlöslich und gegen Temperaturen über 80 °C sowie gegen Sauerstoff empfindlich. Es wird vom Körper als Vitamin A (in Butter, Milch, Eigelb) oder in einer Vorstufe als Karotin aufgenommen. Besonders reich an Vitamin A ist der Lebertran. Karotin ist ein gelbroter Farbstoff; er kommt

auch in Früchten und Gemüsen vor (Mohrrüben, Spinat, Tomaten, Aprikosen). Karotin wird beim Übertritt vom Darm ins Blut in Vitamin A umgewandelt. Der tägliche Vitamin-A-Bedarf eines erwachsenen Menschen beträgt 5000 Internationale Einheiten (I. E.), das sind 1 bis 2 mg. Wenn der Vitamin-A-Bedarf des Körpers durch Karotin gedeckt werden soll, muß täglich die dreifache Menge des Vitamin-A-Bedarfs zugeführt werden. Vitamin A ist für das Wachstum von Bedeutung. Mangel an Vitamin A führt unter anderem auch zu einer Verhornung der Schleimhäute, zu einer schweren Erkrankung der Hornhaut des Auges und zu Nachtblindheit.

Vitamin B_1 (Aneurin) ist wasserlöslich und mäßig hitzeempfindlich. Es ist in der Kleberschicht der Körner von Weizen, Roggen, Reis, in Hülsenfrüchten sowie in Hefe, Eigelb, Milch, Schweinefleisch und anderen Nahrungsmitteln enthalten. Vitamin B_1 ist Fermentbestandteil im Kohlenhydratstoffwechsel und bietet Schutz gegen Infektionen. Bei Mangel an Vitamin B_1 treten Nervenentzündungen, Muskel- und Herzschwäche, Ödeme u. a. auf. Der Erwachsene braucht täglich etwa 1,5 mg Vitamin B_1.

Das Auftreten der Beri-Beri-Krankheit in den Reisländern Ost- und Südostasiens, die durch das Schälen des Reises, eine sehr einträgliche Geldquelle kapitalistischer Unternehmer, verursacht wurde, beruht auf Stoffwechselstörungen infolge von Mangel an Vitamin B_1.

Vitamin B_2 (Laktoflavin) ist Bestandteil der Atmungsfermente, die als Wasserstoffüberträger im Zwischenstoffwechsel an der Verbrennung des Wasserstoffs beteiligt sind. Es hat deshalb große Bedeutung für den Ablauf aller Zellstoffwechselvorgänge.

Vitamin B_6 (Pantothensäure) ist ein wichtiger Fermentbestandteil. Es ist unter anderem beim Fettabbau im Körper beteiligt.

Vitamin B_{12}, eine organische Kobaltverbindung, hat Bedeutung für die Bildung der Erythrozyten. Sein Fehlen verursacht perniziöse Anämie (s. S. 38). Es ist vor allem in frischer Leber und in vielen Mikroorganismen enthalten, aus denen es auch gewonnen werden kann.

Vitamin C ist wasserlöslich und hitzeempfindlich. Es wird von Sauerstoff zerstört; Schwermetallsalze wirken als Katalysatoren beschleunigend auf die Oxydation ein (Gefäße zur Aufbewahrung!). Deshalb darf man Nahrungsmittel, die Vitamin C enthalten, nicht längere Zeit zerschnitten im Wasser oder an der Luft liegenlassen und nicht lange kochen (Gemüsewasser nicht weggießen!). Vitamin C ist vor allem in Früchten (Schwarzen Johannisbeeren, Erdbeeren, Apfelsinen, Zitronen, Tomaten, Paprika, Hagebutten), Blattgemüse, Kartoffeln, Zwiebeln und Petersilie enthalten. Nach langer Lagerung enthalten die Nahrungsmittel weniger Vitamin C als im frischen Zustand. Der tägliche Vitamin-C-Bedarf eines Erwachsenen beträgt 75 bis 125 mg.

Vitamin C stärkt die Widerstandsfähigkeit des Organismus, sein Fehlen führt besonders im Frühling zu Frühjahrsmüdigkeit oder erhöhter Anfälligkeit gegen Infektionen, da im Winter vitaminreiche Nahrungsmittel seltener genossen werden.

In besonders schweren Fällen von Vitamin-C-Mangel treten Blutungen in der Haut, der Muskulatur und den Schleimhäuten auf. Schließlich kann auch Zahnausfall eintreten. Diese extremen Mangelerscheinungen wurden zuerst als Skorbut unter den Seefahrern bekannt, die lange Zeit ohne Frischgemüse auskommen mußten.

Vitamin D (es handelt sich um eine Gruppe von Vitaminen: D_1, D_2, D_3) ist fettlöslich und hitzebeständig, verliert also durch Kochen seine Wirksamkeit nicht. Der tägliche Bedarf beträgt 0,01 mg. Vitamin D kommt besonders im Eigelb, im Lebertran (D_3), in der Butter und auch im Hering vor. Der Körper kann es aus einer Vorstufe, dem Ergosterin, bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht in der Haut aufbauen.

Ultraviolette Strahlen sind nicht nur im direkten Sonnenlicht enthalten, sondern auch im zerstreuten Licht, Ersatz für die natürliche Strahlung bietet deshalb die Quarzlampe.

Vitamin D bewirkt die Ablagerung von Kalksalzen in der Grundsubstanz des Knochens. Mangel an Vitamin D führt zur Störung des Stoffwechsels; der Körper scheidet zuviel Kalzium aus.

Eine bekannte Krankheit ist die Rachitis. Sie wird durch Mangel an Vitamin D hervorgerufen und kommt vor allem bei Säuglingen und Kleinstkindern vor, die ungenügend ernährt und gepflegt sind. Ein rachitischer Säugling ist blaß, unruhig, weint viel und schwitzt stark.

Wenn Kalzium in den Knochen nicht ausreichend abgelagert werden kann, bleiben sie weich, so daß sie sich verbiegen können. Dadurch entstehen beim Laufenlernen die rachitischen O-Beine. Die Zähne brechen nicht zur rechten Zeit und nicht in der richtigen Reihenfolge durch. Muskeln, Sehnen, Gelenkkapseln usw. sind schlaff und schlecht entwickelt. Das Kind lernt erst spät sitzen, stehen und gehen. Durch die allgemeine Unterentwicklung verzögert sich auch die geistige Entwicklung des Kindes.

Als sich im 19. Jahrhundert in England, als dem ersten Land der Welt, der Kapitalismus entwickelte, lebten dort die Industriearbeiter in für uns unvorstellbarem Elend. Infolge der schlechten Wohn- und Ernährungsverhältnisse trat die Rachitis als Massenerscheinung auf. Auf diese Zusammenhänge ist es zurückzuführen, daß noch heute die Rachitis als „englische Krankheit" bezeichnet wird. Sie tritt in den Elendsvierteln kapitalistischer Großstädte auch heute noch häufig auf. Durch die Verbesserung der sozialen Verhältnisse kann diese Krankheit wirksam bekämpft werden.

Die Rachitis ist vermeidbar, wenn die Kinder genügend Bewegung im Freien haben und entsprechend ernährt werden. Zusätzlich wird in unserer Republik jedem Kind in den ersten beiden Lebensjahren von den Mütterberatungsstellen nach einem bestimmten Plan Vitamin D (Dekristol) verabfolgt. Durch diese Maßnahme sind schwere Fälle von Rachitis bei uns heute fast nicht mehr anzutreffen.

Vitamin E ist fettlöslich, hitzebeständig, wird durch ultraviolettes Licht, Alkalien und Sauerstoff zerstört. Es ist in Getreidekeimlingen, grünem Gemüse, im Eidotter, in der Milch und Butter enthalten. Vitamin E ist für die normale Funktion aller Organe, vor allem für die normale Funktion der männlichen Keimdrüsen und für den normalen Ablauf der Schwangerschaft unentbehrlich. Vitamin-E-Avitaminosen sind beim Menschen nicht bekannt. Der Tagesbedarf beträgt schätzungsweise 10 bis 25 mg Vitamin E.

Vitamin K ist fettlöslich. Es kommt in Grünkohl, Blumenkohl, Spinat, in Erbsen und in der Leber vor. Außerdem wird es von Darmbakterien gebildet. Vitamin K ist für die Blutgerinnung von außerordentlich großer Bedeutung. Menschen, die an Vitamin-K-Mangel leiden, neigen zu Blutungen.

Genußmittel. Außer den Nahrungsmitteln werden auch sogenannte Genußmittel aufgenommen. Das sind Stoffe, die oft keinen Nährwert haben, jedoch gute geschmackliche Eigenschaften besitzen und vor allem besondere Wirkungen auf das Nervensystem ausüben. Hierzu gehören in erster Linie der Tabak, der Alkohol und der Bohnenkaffee.

Diese Genußmittel zeigen ihre anregende Wirkung nur in kleinen Mengen. In größeren Mengen genossen, sind sie alle schwere Gifte, die bei andauerndem übermäßigem Genuß eine bleibende Schädigung des Körpers verursachen.

Unter Alkoholeinwirkung werden Selbstbewußtsein und Selbstvertrauen in dem gleichen Maße übersteigert, wie Urteilskraft, Leistungsvermögen und Reaktionsfähigkeit absinken. Der Mensch wird hemmungslos und verliert die Kontrolle über sich. So entstehen zum Beispiel die vielen durch Trunkenheit verursachten Verkehrsunfälle. Ständiger Alkoholgenuß führt vor allem zu einer bleibenden Schädigung der Zellen des

Nervengewebes und der Leber. Die Folgen bestehen im Nachlassen der Denkfähigkeit und in verschiedenen langwierigen, oft chronischen Krankheiten. Bei Kindern und Jugendlichen werden durch Alkohol die Zellen in ihrem Wachstum besonders schwer geschädigt.

Gänzlich andere Auswirkungen hat das Rauchen. Das im Tabak enthaltene Nikotin ist in erster Linie ein Gefäßgift. Es führt im Verlaufe von Jahren zu schweren Störungen des Organismus, vor allem zu Schäden am Herzen und am Kreislaufsystem. Auch gegen Nikotin ist der wachsende Organismus außerordentlich empfindlich. Es ist wichtig, daß jeder Jugendliche den Tabak meidet. Die krankhaften Veränderungen, die Tabakgenuß in der Jugend hervorruft, treten oft erst in späteren Lebensjahren in Erscheinung.

Das Nikotin ist nicht der einzige giftige Stoff, den der Mensch beim Rauchen aufnimmt. Besonders gefährlich sind Teerprodukte, die krebserregend wirken können (Lungenkrebs, Kehlkopfkrebs). Von allen Möglichkeiten des Tabakrauchens ist das Rauchen von Zigaretten die schädlichste.

Gewürze. Gewürze gehören wegen ihrer geschmacksverbessernden, häufig auch appetitanregenden und verdauungsfördernden Wirkung zu einer vollwertigen Kost. Sie enthalten ätherische Öle und Bitterstoffe. Viele Gewürze sind gleichzeitig Arzneimittel.

Zu den einheimischen Gewürzen gehören zum Beispiel Kümmel, Anis, Senf, Knoblauch, Dill und Petersilie. Wichtige ausländische Gewürze sind Pfeffer, Zimt, Paprika, Gewürznelken, Muskatnuß, Vanille und Ingwer.

In der Küche wird auch Speiseessig verwendet, er darf den Speisen jedoch nur in geringer Menge zugesetzt werden, da er eine starke Säure enthält (Vorsicht mit Essigessenz!).

Zusammensetzung wichtiger Nahrungsmittel

(Die Angaben beziehen sich auf 100 g Ware)

Nahrungsmittel	Kalorien in kcal	Eiweiß in g	Fett in g	Kohlenhydrate in g	Wasser in g	Vit. A I.E.	Vit. B_1 in mg	Vit. B_2 in mg	Vit. C in mg	Kalzium in mg
Schweinefleisch	238	11,2	20,6	0,2	37,3	—	0,6	0,25	—	10
Rindfleisch	101	17,4	3,0	0,5	51,5	150	0,15	0,25	—	19
Kalbfleisch	140	17,1	7,4	0,3	52,0	50	0,18	0,25	—	12
Schweineleber	137	19,2	5,2	2,5	71,5	8 000	0,40	3,00	20	10
Niere (Rind)	119	18,4	4,5	0,4	75,6	750	0,40	1,32	11	10
Geflügel	185	15,3	13,1	—	55,1	100	0,12	0,20	—	10
Hühnerei	152	12,3	10,7	0,5	65,6	1 400	0,10	0,34	—	60
Blutwurst	463	13,9	43,6	0,2	40,0	400	0,09	0,05	—	30
Leberwurst	211	6,9	19,5	0,3	42,0	400	0,09	0,13	—	20
Bockwurst	177	12,4	13,6	—	68,0	150	0,09	0,07	—	10
Seefisch	43	10,0	0,2	—	47,0	300	0,09	0,20	—	20
Süßwasserfisch	52	7,3	2,4	—	41,9	150	0,05	0,25	1,0	20
Vollmilch	59	3,4	2,7	4,8	88,5	150	0,04	0,20	1,3	120
Magermilch	37	3,7	0,2	4,8	90,6	—	0,04	0,15	1,3	120
Buttermilch	37	3,7	0,7	3,7	90,9	30	0,03	0,15	0,8	110
Joghurt	56	3,3	2,8	4,0	88,3	—	0,04	0,17	—	120
Quark (F-Milch)	90	17,6	0,1	4,1	77,1	—	0,03	0,08	0,9	300
Käse (40%)	338	26,3	23,6	2,5	41,0	1 330	0,05	0,36	—	675
Butter	751	0,9	80,0	0,9	17,0	3 000	—	—	—	15
Schweineschmalz	926	0,3	99,4	—	0,3	—	—	—	—	—

Nahrungsmittel	Kalorien in kcal	Eiweiß in g	Fett in g	Kohlenhydrate in g	Wasser in g	Vit. A I. E.	Vit. B_1 in mg	Vit. B_2 in mg	Vit. C in mg	Kalzium in mg
Pflanzenöl	925	—	99,5	—	0,4	375	—	—	—	—
Margarine	729	0,5	78,0	0,4	12,3	—	—	—	—	15
Zucker	409	—	—	99,8	0,1	—	—	—	—	—
Bienenhonig	334	0,4	—	81,0	18,5	—	0,66	0,82	2,0	5
Marmelade	274	0,7	—	65,2	30,1	15	0,03	—	—	20
Vollkornbrot, Roggen	247	7,4	1,1	50,4	37,3	—	0,20	0,07	—	25
Roggenmischbrot	251	6,3	0,9	52,9	38,5	—	0,12	0,07	—	20
Weißbrot	244	8,2	1,2	48,6	41,6	—	0,07	0,05	—	10
Weizenmehl, 40%	341	9,2	1,0	71,8	12,0	—	—	—	—	15
Weizenmehl, 70%	342	11,1	1,5	68,8	12,0	—	0,10	0,05	—	15
Weizengrieß	354	9,4	1,0	74,6	13,0	400	0,15	—	—	15
Teigwaren	360	9,6	1,0	75,9	12,5	—	0,12	—	—	15
Haferflocken	393	13,8	6,5	67,2	10,2	—	0,20	0,10	—	10
Reis (poliert)	358	6,9	0,5	79,4	12,6	—	0,02	0,08	—	10
Kartoffeln (gekocht)	72	1,5	0,2	15,7	81,0	—	0,10	0,07	7	10
Grüne Bohnen	37	2,5	0,2	6,0	89,1	500	0,09	0,24	4	40
Grüne Erbsen	33	2,6	0,2	5,0	85,4	400	0,12	0,30	20	20
Blumenkohl	20	1,6	0,2	2,9	90,9	33	0,10	0,10	50	20
Karotten	19	0,5	0,1	3,9	88,1	8 000	0,06	0,06	1,5	40
Spinat	15	1,8	0,2	1,4	93,3	10 000	0,17	0,15	20	130
Weißkohl	20	1,2	0,2	3,2	92,1	—	0,10	0,12	25	50
Kopfsalat	10	0,9	0,2	1,2	94,9	5 000	0,10	0,10	5	30
Pfifferlinge	24	2,1	0,3	3,0	91,4	—	0,01	0,16	—	7
Tomaten	19	0,9	0,2	3,4	93,4	1 670	0,08	0,05	25	10
Äpfel	57	0,4	—	13,0	82,0	—	0,12	0,05	6	10
Kirschen, süß	68	0,8	—	15,3	77,2	150	0,12	—	4	20
Pflaumen	72	0,8	—	15,9	75,6	100	0,12	0,05	5	10
Erdbeeren	43	1,3	—	7,6	85,4	—	0,12	—	44	30
Johannisbeeren (rot)	44	1,3	—	7,4	83,8	100	0,09	—	24	30
Johannisbeeren (schwarz)	68	1,0	—	13,7	79,0	400	0,09	0,02	140	30
Zitrone	37	0,05	—	5,5	53,1	—	0,05	0,01	50	10
Apfelsine	42	0,6	—	8,9	59,9	—	0,05	0,01	50	40
Birne	56	0,4	—	13,0	79,0	—	0,18	0,05	4	20

Einen Überblick über die Zusammensetzung wichtiger Nahrungsmittel gibt nebenstehende Tabelle. Beim Arbeiten damit ist allerdings zu bedenken, daß ihre Werte durch chemische oder physikalische Untersuchungen roher Nahrungsmittel gefunden wurden. Die Ausnutzung der Nahrung durch den Körper kann durchaus geringer sein. Dafür gibt es verschiedene Ursachen: Die enthaltenen Stoffe können nicht herausgelöst werden, beispielsweise bei unzerkleinerter Nahrung infolge schlechten Kauens; die Speisen können roh oder gekocht genossen werden. Verluste treten oft beim Zubereiten der Speisen ein.

Zubereitung und Aufbewahrung der Nahrung

Damit die zugeführte Nahrung voll ausgenutzt werden kann, muß sie gut und richtig zubereitet werden. Der biologische Nutzen der Zubereitung besteht vor allem darin, daß die Nahrung den Verdauungssäften besser zugänglich ist und demzufolge besser ausgenutzt werden kann. Dadurch wird eine geringere Nahrungsmenge benötigt. Außerdem werden die Verdauungsorgane entlastet.

Die Zubereitung der Nahrungsmittel hat verschiedene Aufgaben:

die Nahrung besser kaubar zu machen (z. B. Kochen von Fleisch),

die großen Moleküle zum Teil zu spalten (z. B. Brotbacken),

die Zellulosewände der Pflanzenzellen zu zerstören (z. B. Mahlen von Getreide).

Darüber hinaus werden bei der Zubereitung durch mäßigen Zusatz von Gewürzen und appetitliches Anrichten eine Verbesserung des Geschmacks und damit eine stärkere Anregung der Verdauungsorgane und eine bessere Verdauung erreicht.

Damit die Nahrungsmittel nicht verderben oder in ihrem Wert gemindert werden, müssen wir für die Zubereitung und Aufbewahrung einige wichtige Grundsätze beachten:

Von verderblichen Nahrungsmitteln soll kein größerer Vorrat gekauft werden. Besonders Fleisch, Wurst, Fisch und Milchprodukte sind nur für ein bis höchstens zwei Tage einzukaufen. Lebensmittel sollen kühl und luftig aufbewahrt werden. Sie müssen vor Fliegen, Mäusen und Ratten, die gefährliche Krankheitserreger übertragen können, geschützt sein (Aufbewahrung in dicht schließenden Gazeschränken). Von großem Vorteil sind Kühlschränke. Die in ihrem Inneren herrschende Temperatur von 0 bis 4 °C verhindert über zwei bis drei Tage das Verderben von Lebensmitteln.

Kartoffeln und Wintergemüse (z. B. Möhren) werden am besten licht- und frostgeschützt im Keller aufbewahrt.

Konserven sind vor dem Genuß sorgfältig zu prüfen. Sie müssen gut verschlossen sein. Nicht in jedem Fall läßt sich ihr Zustand durch Geruch oder Geschmack sicher feststellen. In verdorbenen Konserven sind oft Bakterien enthalten, die durch Kochen oder Braten nicht zerstört werden können. Konserven, bei denen der Deckel der Büchse aufgewölbt ist, dürfen nicht verbraucht werden.

Schädliche oder giftige Stoffe (z. B. Salzsäure, Salmiakgeist, Fleckenwasser, Medikamente, Terpentin oder Waschbenzin) dürfen auf keinen Fall in Gefäßen aufbewahrt werden, die auch der Aufbewahrung von Lebensmitteln dienen (z. B. Bierflaschen, Konservengläser). Sie sind von den Lebensmitteln streng getrennt aufzubewahren und dürfen für Kinder nicht erreichbar sein.

In der Küche muß peinliche Sauberkeit herrschen. Abfalleimer müssen immer zugedeckt sein. Nahrungsreste sollen nicht offen umherstehen. Nahrungsspritzer sind von Herd, Fußboden, Wänden usw. sofort zu entfernen.

Fliegen müssen energisch bekämpft werden. Wir nehmen ihnen durch Sauberkeit die Lebensgrundlage und töten sie durch geeignete Mittel.

Zur Zubereitung der Speisen gehört peinliche Sauberkeit der Arbeitsgeräte, der Hände und der Nahrungsmittel. Die Art der Zubereitung unterliegt wesentlich dem persönlichen Geschmack. Damit dem Körper genügend Vitamine zugeführt werden, ist aber folgendes zu beachten:

Gemüse und Kartoffeln dürfen nie lange im Wasser liegen. Wertvolle Stoffe, zum Beispiel Vitamin C, gehen dann aus dem Gemüse in das Wasser über.

Gemüse und Kartoffeln dürfen nicht zu lange gekocht („totgekocht"), warm gehalten oder mehrfach gewärmt werden. Dabei werden die meisten Vitamine zerstört.

Bei der Zubereitung von Gemüse sollte man eine kleine Menge roh zurückhalten und fein geschnitten unter das fertige Gericht mischen.

So oft wie möglich sollten roh zubereitete Gemüsesalate und ähnliches gegessen werden. Einseitige Rohkost oder ausschließlich pflanzliche, sogenannte vegetarische Kost ist allerdings ebenso abzulehnen wie übermäßiger Fleischgenuß. Die Verdauungsorgane des Menschen sind auf gemischte Kost eingestellt.

Fertig zubereitete Speisen sollten nicht öfter als einmal, und das auch nur unter besten Aufbewahrungsbedingungen, aufgewärmt werden. Durch mehrfaches Aufwärmen entwickeln sich leicht Krankheitskeime.

Milch sollte abgekocht verwendet werden. Vorzugsmilch von tuberkulosefreien Rindern kann – wenn sie ganz frisch ist – unabgekocht getrunken werden.

Sind die Speisen appetitlich angerichtet und schmackhaft zubereitet, werden sie im Körper besser als sonst verwertet. Speicheldrüsen und Magenschleimhaut werden schon durch Geruch und Geschmack, ja sogar durch den Anblick der Speisen zur Sekretion angeregt. Dadurch werden die Verdauungsorgane auf die Verarbeitung der Speisen vorbereitet.

Aufgaben und Fragen

1. Stellen Sie eine Tabelle über einige pflanzliche Nahrungsmittel zusammen, die folgende Fragen beantwortet:
   Von welcher Pflanzenart stammen die Nahrungsmittel? Zu welcher Pflanzenfamilie gehören die Pflanzen? Aus welchen Pflanzenteilen werden die Nahrungsmittel gewonnen? Welche Bedeutung haben diese Pflanzenteile für die Pflanze? Welche Nährstoffe, Vitamine usw. enthält das Nahrungsmittel? Wieviel Kalorien enthält es in 100 g Substanz?
2. Stellen Sie eine Liste der gebräuchlichsten einheimischen und ausländischen Gewürze zusammen! Von welchen Pflanzen stammen sie? Um welche Pflanzenteile handelt es sich dabei? Welche Bedeutung haben diese Gewürze für den menschlichen Organismus?
3. Notieren Sie sorgfältig die Nahrungsmittel, die Sie an einem bestimmten Tag zu sich genommen haben! Versuchen Sie mit Hilfe der Tabelle auf Seite 13 festzustellen, welche Mengen an tierischen und pflanzlichen Eiweißen und Fetten, Kohlenhydraten, Vitaminen und Kalzium Sie aufgenommen haben! Wie viele kcal wurden damit dem Körper zugeführt? Vergleichen Sie die ermittelten Werte mit den Bedarfszahlen! Bewerten Sie Ihre Ernährung an diesem Tag!
4. Warum soll das Abendessen nicht kurz vor dem Schlafengehen eingenommen werden?
5. Was ißt man am besten zum Abendbrot?
6. Überprüfen Sie Ihren Speiseplan einer Woche darauf, ob Sie Ihrem Körper die erforderliche Menge an Vitaminen durch entsprechende Zubereitung und Zusammenstellung der Nahrung zugeführt haben!
7. Durch welche Maßnahmen kann eine kontinuierliche Versorgung mit Vitaminen während des gesamten Jahres garantiert werden?

Das Verdauungssystem

Mundhöhle. In der Mundhöhle (Abb. 1) wird die Nahrung mechanisch zerkleinert, eingespeichelt und damit wesentlich für die Verdauung vorbereitet. Im Mundboden liegt die stark verformbare muskulöse Zunge, die mit der Wangenmuskulatur wesentlich am Kauvorgang, an der Formung des Bissens und am Schluckvorgang beteiligt ist. Die Seitenwände der Mundhöhle bilden die Wangen oder Backen; das Mundhöhlendach besteht vorn aus dem harten und hinten aus dem weichen Gaumen. In der Mitte des weichen Gaumens befindet sich das Zäpfchen, rechts und links davon liegen die vorderen und hinteren Gaumenbögen. Zwischen den beiden Bögen liegt rechts und links je ein großer Lymphknoten (Gaumenmandeln). Wenn die Gaumenmandeln entzündet sind und anschwellen, verursachen sie Schluckbeschwerden.

Zähne. Die Zähne dienen dem Zerkleinern der Nahrung. Mit den Schneidezähnen wird die Nahrung in einzelne Bissen zerteilt, die dann durch die Mahlzähne weiter zerrieben werden.

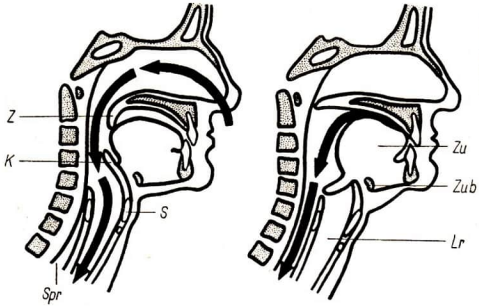


Abb. 1 Verhalten des weichen Gaumens (Z) und des Kehldeckels (K) beim Atmen (links) und Schlukken (rechts); Lr Luftröhre, S Schildknorpel, Spr Speiseröhre, Zu Zunge, Zub Zungenbein

Speicheldrüsen. In der Mundhöhle befinden sich drei Paar große Mundspeicheldrüsen, die täglich 1 bis 2 l Speichel absondern. Sie liegen unter der Mundschleimhaut, sind also in der Mundhöhle nicht zu sehen. Die Ohrspeicheldrüsen (Abb. 2) liegen rechts und links vor dem Gehörgang. Innen, an den Winkeln des Unterkiefers, befinden sich die Unterkieferspeicheldrüsen (Abb. 2) und im Mundboden die beiden Unterzungenspeicheldrüsen (Abb. 2). Die Ausführungsgänge der Ohrspeicheldrüsen münden rechts und links in der Wangenschleimhaut gegenüber den oberen Backenzähnen, die Ausführungsgänge der anderen Speicheldrüsen unter der Zunge.

Die Ohrspeicheldrüsen liefern schleimlosen, die Unterzungendrüsen stark schleimhaltigen Speichel. Der Speichel der Unterkieferdrüsen enthält wenig Schleim. Die Speicheldrüsen entnehmen wie alle Drüsen dem Blut bestimmte Stoffe und bereiten daraus ihre Drüsensekrete (Sekrete sind Ausscheidungen von Drüsen, z. B. Speichel; Abfallprodukte des Stoffwechsels, die aus dem Körper ausgeschieden werden, nennt man Exkrete – z. B. Harn –).

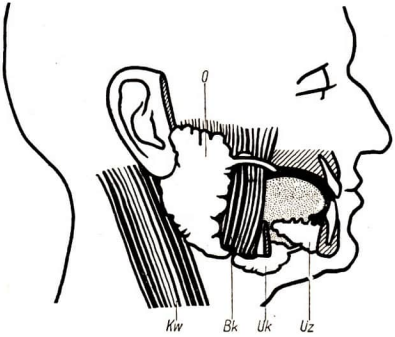


Abb. 2 Mundspeicheldrüsen
Bk Backenkaumuskel, Kw Kopfwender, O Ohrspeicheldrüse, Uk Unterkieferspeicheldrüse, Uz Unterzungenspeicheldrüse

Rachenhöhle. In der Rachenhöhle überkreuzen sich Atem- und Speiseweg. Beim Schlucken drückt der erhobene Zungenrücken gegen die Gaumenbögen und verlegt dem Bissen den Rückweg zur Mundhöhle. Das Gaumensegel hebt sich und schließt dadurch die Nasenhöhle von der Rachenhöhle ab. Gleichzeitig hebt sich der Kehlkopf und drückt dabei den Luftröhreneingang gegen den Kehldeckel (Abb. 1, rechts), wobei sich dieser zugleich nach hinten über den Kehlkopf legt. So ist auch der Luftweg verschlossen. Der Bissen muß also in die weitgeöffnete Speiseröhre gleiten. Beim Atmen sind die Eingänge der Luftröhre und der Nasenhöhle geöffnet (Abb. 1, links).

Wenn sich ein Bissen oder eine Flüssigkeit (z. B. Speichel) in der Mundhöhle befindet, kann der Schluckakt willkürlich eingeleitet werden; dann aber läuft er reflektorisch ab.

Speiseröhre. Die Speiseröhre ist etwa 25 cm lang. Im Hals und in der Brusthöhle verläuft sie hinter der Luftröhre, zieht dann durch das Zwerchfell und mündet in den Magen. Die Wand der Speiseröhre ist mit einer aus einem mehrschichtigen Plattenepithel bestehenden Schleimhaut ausgekleidet, um die eine Ring- und eine Längsmuskelschicht liegen.

Die Wandungen der Speiseröhre liegen für gewöhnlich aneinander. Nur beim Durchgang eines Bissens geben sie den Hohlraum frei. Die Ringmuskeln vor dem Bissen erschlaffen, während sich die Ringmuskeln hinter dem Bissen kontrahieren; die Längsmuskeln ziehen sich ebenfalls etwas zusammen, verkürzen die Speiseröhre und beschleunigen so die Bewegung der Speise. Dadurch wird der Speisebrei aktiv in den Magen befördert. Auf diese Art wird im gesamten Verdauungskanal der Speisebrei fortbewegt. Man nennt diese Bewegung Peristaltik. Feste Stoffe durchlaufen die Speiseröhre in 6 bis 8, Flüssigkeiten in 1,5 Sekunden.

Magen. Der Magen (Abb. 3 und Farbtafel 2) ist eine sackartige Erweiterung des Verdauungskanals. Am Magenmund, der Übergangsstelle von der Speiseröhre zum Magen, liegt ein glatter Ringmuskel. Ein kräftiger Schließmuskel, der Pförtner, verschließt den Magenausgang zum Dünndarm hin. Im Gegensatz zur Speiseröhre ist er mit einer Schleim-

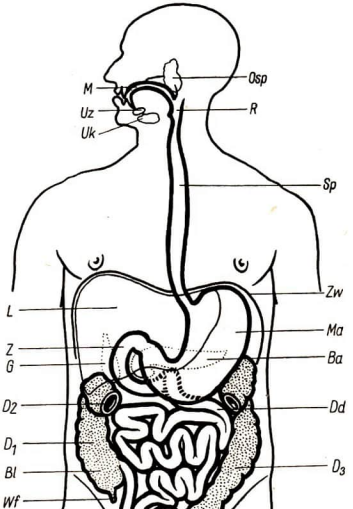


Abb. 3 Schema des Verdauungskanals (ein Stück des Grimmdarms – der Quergrimmdarm D_2 – herausgeschnitten). Ba Bauchspeicheldrüse (punktiert), Bl Blinddarm mit Wurmfortsatz (Wf), D_1, D_2, D_3 Grimmdarm (aufsteigender, querverlaufender und absteigender Teil), Dd Dünndarm, G Gallenblase (punktiert), L Leber, M Mundhöhle, Ma Magen, Md Mastdarm (Dickdarm auspunktiert), R Rachenhöhle, Osp Ohrspeicheldrüse, Sp Speiseröhre, Uk Unterkieferspeicheldrüse, Uz Unterzungenspeicheldrüse, Wf Wurmfortsatz, Z Zwölffingerdarm, Zw Zwerchfell

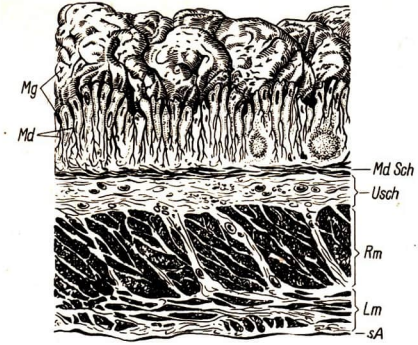


Abb. 4 Oberfläche der Magenschleimhaut mit dem Schnittbild der Magenwand
Mg Magengrübchen, Md Magendrüsen, Md Sch Muskulatur der Schleimhaut, Usch Unterschleimhaut, Rm Ringmuskel, Lm Längsmuskel, sA seröse Außenhaut

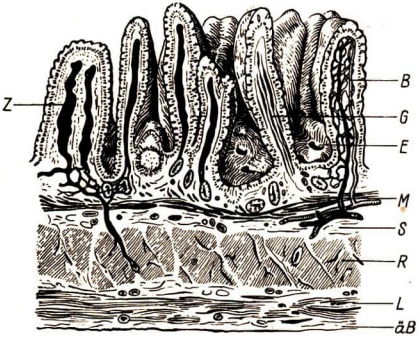
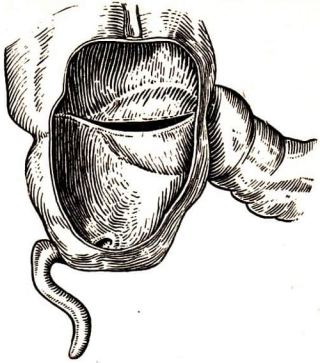


Abb. 5 Dünndarmschleimhaut (Oberfläche und Schnitt)
B Blutkapillarnetz der Zotte, G glatte Muskelfasern, E Einbuchtung, M glatte Muskelzellen, S Schleimhaut, R Ringmuskel, L Längsmuskel, äB äußere Bindegewebsschicht, Z zentrales Lymphgefäß

haut aus einschichtigem Epithel ausgekleidet. Sie enthält zahlreiche Drüsen. Die Magenwand besteht aus drei Muskelschichten, aus ringförmig, längs und schräg verlaufenden glatten Muskelfasern, die jeweils durch eine Lage lockeren Bindegewebes voneinander getrennt sind (Abb. 4). Außen ist die Magenwand vom Bauchfell, einem einschichtigen, aus dem mittleren Keimblatt entstandenen Epithelgewebe, überdeckt.

Dünndarm. Der Dünndarm (Abb. 3 u. Farbtafel 2) hat eine lichte Weite von etwa 3 cm und beim lebenden Menschen eine Länge von etwa 3 bis 5 m. Er bildet zahlreiche Windungen. Der Anfangsteil wird als Zwölffingerdarm bezeichnet. In diesen münden die Ausführungsgänge der Leber und der Bauchspeicheldrüse (Abb. 7). Die Schleimhaut des gesamten Dünndarms bildet ringförmige Falten (Abb. 5) und ist mit etwa

Abb. 6 Blinddarm eröffnet; zweifaltige Klappe zum Eingang des Dünndarms und Zugang zum Wurmfortsatz zeigend



4 Millionen bis 1 mm hohen Vorstülpungen, den Zotten (Abb. 5), bedeckt, die zum Dickdarm hin spärlicher werden. Sie vergrößern die resorbierende Oberfläche des Dünndarms. Unter den Deckzellen der Zotten liegt ein dichtes Kapillarnetz, in ihrer Achse beginnt ein feiner Lymphkanal (Abb. 5). Die Schleimhaut des Dünndarms besitzt in ihrer ganzen Ausdehnung eine große Zahl teils einzelliger (Becherzellen), teils mehrzelliger schlauchförmiger Drüsen.

Der Dünndarm mündet an der rechten unteren Seite der Bauchhöhle in den weiten Dickdarm. Da der Dünndarm oberhalb vom Anfangsteil des Dickdarms einmündet, bildet der Anfangsteil des Dickdarms einen blind endenden Sack, den Blinddarm mit dem Wurmfortsatz (Abb. 6).

Bauchspeicheldrüse. Die Bauchspeicheldrüse (Abb. 7) ist ein flaches, langgestrecktes Organ, das der hinteren Magenwand quer anliegt. Durch einen verästelten Ausführungsgang, der die ganze Drüse durchzieht, gelangt das Sekret, der Bauchspeichel, in den Zwölffingerdarm. Er enthält eine Reihe wichtiger Verdauungsfermente. Im Drüsengewebe der Bauchspeicheldrüse liegen wie Inseln die Langerhansschen Zellen.

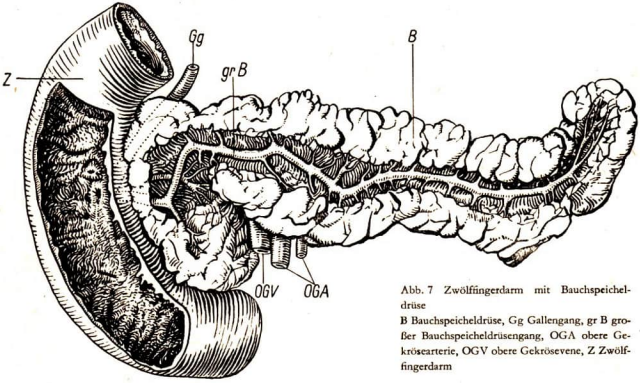


Abb. 7 Zwölffingerdarm mit Bauchspeicheldrüse
B Bauchspeicheldrüse, Gg Gallengang, gr B großer Bauchspeicheldrüsengang, OGA obere Gekrösearterie, OGV obere Gekrösevene, Z Zwölffingerdarm

Diese bilden ein Hormon (s. S. 49), das Insulin, das unmittelbar in das Blut abgegeben wird. Die Langerhansschen Inseln stehen mit den Ausführungsgängen der Bauchspeicheldrüse nicht in Verbindung.

Leber. Die Leber (Abb. 8 u. Farbtafel 2) ist die größte Drüse des menschlichen Körpers. Sie liegt größtenteils auf der rechten Körperseite unter dem Zwerchfell, etwa in gleicher Höhe wie der Magen. Das Drüsengewebe der Leber besteht aus nahezu einer Million kleiner Leberläppchen. Die Leberläppchen (Abb. 9) sind prismenförmige Körper von etwa 0,5 bis 1 mm Durchmesser. Sie bestehen aus feinen Strängen von Leberzellen. Zwischen den Leberzellen verlaufen feine Gallenkapillaren und Blutkapillaren. Durch die Pfortader, die sich in der Leber in zahllose feinste Äste und Blutkapillaren teilt, wird den Leberzellen vom Darm und von der Milz her Blut zugeführt. Außerdem erhält die Leber aus der Aorta arterielles Blut. Die Blutkapillaren der Pfortaderäste treten in die Leberläppchen ein und umspinnen jede einzelne Leberzelle (Abb. 9). Dadurch kommt das Pfortaderblut mit dem Lebergewebe in engste Berührung. Es fließt in das Innere der Leberläppchen zur Zentralvene, die in der Achse jedes Leberläppchens liegt. Alle Zentralvenen vereinigen sich zu größeren Venen und diese schließlich zur mehrästigen Lebervene. Die Lebervene mündet direkt unter dem Zwerchfell in die untere Hohlvene kurz vor deren Eintritt in den rechten Vorhof des Herzens. Das Blut der Pfortader führt den Leberzellen die im Darm resorbierten Stoffe (Kohlenhydrate und Eiweiße) und die Abbauprodukte der roten Blutkörperchen aus der Milz zu. Zum größten Teil werden diese Stoffe von den Leberzellen aufgenommen.

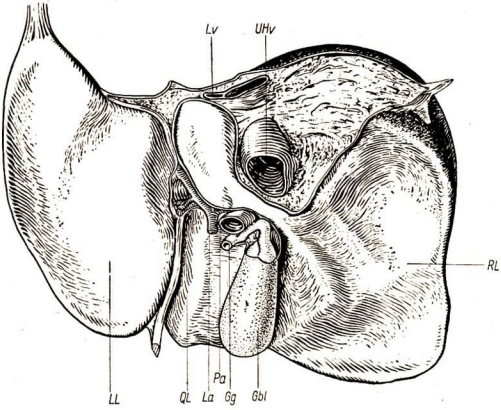
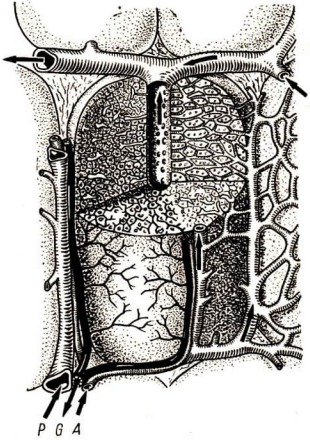


Abb. 8 Leber (von den Eingeweiden her gesehen)
Gg Gallengang, Gbl Gallenblase, La Leberarterie, LL linker Leberlappen, Lv Lebervene, Pa Pfortader, QL quadratischer Leberlappen, RL rechter Leberlappen, UHv untere Hohlvene

Abb. 9 Leberläppchen im Schema
P Pfortader – Äste der Pfortader liegen zwischen den Läppchen zusammen mit den Ästen der Leberarterie (A) und den Gallengängen (G)
Das Blut fließt aus den Zentralvenen in die Lebervenen (oben) ab.



In den Leberzellen spielen sich, der Vielzahl der zugeführten Stoffe entsprechend, mannigfaltige Stoffwechselvorgänge ab. Aus einem Teil des resorbierten Traubenzuckers wird Glykogen gebildet und in den Leberzellen gespeichert. Eiweiße werden in der Leber abgebaut. Fibrinogen, die Vorstufe des Fibrins, wird in der Leber aufgebaut. Aus Abbauprodukten des Blutfarbstoffes bilden die Leberzellen Gallenfarbstoffe, die sie zusammen mit anderen Stoffen als Gallensaft in die Gallenkapillaren absondern. Darin fließt er zur Außenseite der Leberläppchen hin, also in entgegengesetzter Richtung wie das Pfortaderblut in den Blutkapillaren. Die Gallenkapillaren vereinigen sich zu Gallengängen und diese zu dem großen Lebergallengang. Er leitet den Gallensaft zunächst in die an der Unterseite der Leber gelegene Gallenblase (Abb. 8). Hier wird er gespeichert und bei Bedarf reflektorisch durch den Ausführungsgang der Gallenblase in den Dünndarm abgegeben. Bauchspeicheldrüse und Leber sind lebenswichtige Organe. Ihr Ausfall kann den Tod herbeiführen.

Dickdarm. Am Dickdarm unterscheidet man einen aufsteigenden, einen querliegenden und einen absteigenden Abschnitt. Den aufsteigenden Teil des Dickdarmes bezeichnet man als Grimmdarm, den letzten Teil als Mastdarm (Abb. 3 u. Farbtafel 2). Der Dickdarm hat keine Zotten, jedoch ähnlich wie der Dünndarm Becherzellen und mehrzellige Drüsen. In den Wandungen des Grimmdarms befinden sich drei durchlaufende, bandartige Längsstreifen, die aus den hier zusammengebündelt verlaufenden Fasern der Längsmuskelschicht gebildet werden. Durch tiefe Einschnürungen der Ringmuskulatur entstehen an der Dickdarmwand in die Darmhöhlung vorspringende, halbmondförmige Falten, die mit der Peristaltik über die Darminnenfläche hinwandern. Von außen erscheint der zwischen zwei Einschnürungen liegende Teil des Dickdarms als Ausbuchtung.

Bauchfell. Das Bauchfell ist eine allseitig geschlossene, sackartige Haut mit einem spaltähnlichen Innenraum, der Bauchfellhöhle. Diese Haut überzieht mit ihrer Außenfläche die Wandungen der Bauchhöhle und die Oberfläche der meisten in der Bauchhöhle gelegenen Organe. Sie besteht aus Bindegewebe, das an der Innenseite des Bauchfellsackes von einem einschichtigen, eine seröse Flüssigkeit absondernden Epithel überzogen ist. Die vom Bauchfellepithel abgesonderte seröse Flüssigkeit macht die Innenseite des Bauchfellsackes glatt und feucht. Dadurch können die Bauchorgane, besonders der Magen und der Darm, bei Lage- und Größenänderungen reibungslos aneinander gleiten.

Während der Bauchfellsack beim Manne allseitig geschlossen ist, steht er bei der Frau durch die feine, in die Bauchhöhle führende Öffnung der Eileiter mit der Außenwelt in Verbindung.

Verdauungsvorgänge. Die aufgenommene Nahrung wird auf ihrem Weg durch den Verdauungskanal in lösliche Verbindungen überführt (Kohlenhydrate in Monosacharide, Eiweiße in Aminosäuren, Fette in Fettsäuren und Propantriol), die durch die Darmwand ins Blut (Monosacharide, Aminosäuren) oder in die Lymphe (Fettsäuren und Propantriol) diffundieren und in körpereigene Stoffe umgewandelt oder zu Energie umgesetzt werden. Die unverdaulichen Nahrungsreste werden durch den After abgegeben.

Diese Stoffumsetzungen erfolgen unter Einfluß von Fermenten in einer Reihe komplizierter chemischer Vorgänge (s. auch S. 166!).

Krankheiten des Verdauungskanals

Eine erhöhte Magensaftproduktion und insbesondere eine Erhöhung des Säuregehaltes des Magensaftes entsteht unter anderem bei Reizung der Magenschleimhaut (beispielsweise bei einer Entzündung oder einem Magengeschwür) oder reflektorisch bei Erkrankungen des Darmes, der Leber oder der Gallenwege. Die Folgen einer erhöhten Magensaftproduktion für den Organismus sind gering. Bisweilen kommt es zum sogenannten Sodbrennen, einem in der Speiseröhre aufsteigenden Schmerzgefühl. An der Entstehung des Sodbrennens sind jedoch auch Krämpfe der Speiseröhrenmuskulatur beteiligt.

Magengeschwüre können mannigfache Ursachen haben. Sie entstehen durch die Einwirkung des sauren Magensaftes auf eine geschädigte Magenschleimhaut. Normalerweise ist die Schleimhaut des Magens unempfindlich gegenüber der Einwirkung des Magensaftes. Eine Schädigung der Magenschleimhaut kann durch eine Entzündung (Gastritis) oder durch Durchblutungsstörungen in der Magenwand zustande kommen. Magenschleimhautentzündungen entstehen beispielsweise durch chemische Reizungen der Magenschleimhaut; besonders der übermäßige Genuß alkoholischer Getränke spielt hierbei eine ursächliche Rolle. Durchblutungsstörungen in der Magenwand beruhen auf Krämpfen oder Verstopfungen der feinen Blutgefäße, die die Magenwand versorgen. Solche Gefäßkrämpfe werden häufig durch starken Nikotingenuß hervorgerufen. Die Störungen, die durch Alkohol und Nikotin allein schon am Magen-Darm-Kanal hervorgerufen werden, machen es ratsam, deren Genuß einzuschränken oder ganz zu unterlassen.

Gallensteine. Bei einer abnormen Zusammensetzung des Gallensaftes, bei Gallenstauungen oder einer Infektion der Gallenwege fallen aus dem Gallensaft Niederschläge von Cholesterin, Kalk und Abbauprodukte des Blutfarbstoffes aus. Sie bilden in den Gallenwegen oder in der Gallenblase Steine. Der mechanische Reiz dieser Steine führt zu einer Entzündung der Gallenwege. Gerät ein Stein in den Ausführungsgang der Gallenblase, so löst er reflektorische, krampfartige Zusammenziehungen dieses Ganges aus. Dadurch entsteht die äußerst schmerzhafte sogenannte Gallenkolik. Löst sich der Krampf und wird der Stein in den Darm ausgestoßen, so geht die Gallenkolik bald vorüber. Bleibt der Stein jedoch im Gallengang stecken, so staut sich der Gallensaft, tritt in die Leber zurück, zerreißt hier die Wandungen der Blutkapillaren und dringt dadurch in den Blutkreislauf ein. Der erhöhte Gallensaftgehalt des Blutes führt meist zu einer gelblichen Verfärbung der weißen Lederhaut des Auges, dann der Haut; dies ist

ein wichtiges äußerliches Merkmal der sogenannten Gelbsucht. Durch warme Kompressen, die auf den rechten Oberbauch gelegt werden, und durch krampflösende Mittel kann den Krämpfen der Gallenwege entgegengewirkt werden. Gelingt die Ausstoßung eines Steines in den Darm nicht und löst er neue Gallenkoliken aus, so muß er operativ entfernt werden. – Außer durch Verlegung der Gallenwege kann Gelbsucht auch noch durch Erkrankungen der Leber oder durch den gehäuften Zerfall von roten Blutkörperchen zustande kommen.

Bakterielle Darmkrankheiten. Der Magen-Darm-Kanal ist die Eintrittspforte und zugleich das hauptsächlich erkrankte Organ bei einer Reihe von bakteriellen Infektionen. Die Übertragung der Bakterien, die diese Infektionskrankheiten erregen, geschieht meist durch Trinkwasser und Lebensmittel. Deshalb läßt sich in Gefahrengebieten die Infektionsmöglichkeit durch Abkochen von Nahrung und Getränken einschränken. Mangelnde Sauberkeit sowie unzureichende sanitäre Anlagen begünstigen die Infektion. Isolierung der Erkrankten sowie Desinfektion ihrer Ausscheidungen kann die Ausbreitung einer Seuche verhindern. Außerdem läßt sich durch eine Immunisierung gegen alle bakteriellen Darmkrankheiten ein wirksamer Impfschutz erzielen (s. S. 35).

Zu den bakteriellen Darmkrankheiten gehören Typhus, Paratyphus und Ruhr.

Besondere Bedeutung für die Verbreitung der bakteriellen Darmkrankheiten haben die Dauerausscheider infektiöser Darmbakterien.

Atmung und Atmungsorgane

Der Körper gewinnt die Energie, die er zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge benötigt, durch eine Kette langsamer, von Fermenten gesteuerter biologischer Oxydationen. Die Endprodukte dieser Oxydationen, Wasser und Kohlendioxid, werden durch den Gasaustausch aus dem Körper entfernt, Sauerstoff wird aufgenommen. Diesen Vorgang bezeichnen wir als Atmung.

Wir unterscheiden eine innere und eine äußere Atmung. Als äußere Atmung bezeichnet man den Luftwechsel in den Lungen, den Gasaustausch in den Lungenbläschen und den Transport der Gase im Blut. Die äußere Atmung erfolgt entweder an der gesamten Oberfläche eines Tieres (Hautatmung) oder an bestimmten, speziell ausgebildeten Stellen, den Atmungsorganen. Diese sind Aus- oder Einstülpungen der Körperoberfläche. Als innere Atmung bezeichnet man den Gasaustausch in den Geweben und die biologische Oxydation. Hierbei wird Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid gebildet.

Aufgabe

Geben Sie einen Überblick über die Atmungsorgane bei Arthropoden und Chordaten!

Atemwege. Die Luft strömt durch die oberen Luftwege (Nasenhöhle, Kehlkopf, Luftröhre), die am Gasaustausch nicht beteiligt sind, in die Lunge.

Nase. Durch die Nase (Abb. 1) strömt die Luft bei geschlossenem Mund ein und aus. Ihre beiden schmalen, hohen Höhlen sind durch eine Scheidewand (Septum) getrennt. An die von den Nasenbeinen und dem Oberkiefer (Abb. 1) umrahmten knöchernen Nasengänge schließt sich vorn das aus mehreren Knorpeln bestehende bewegliche Nasenskelett an.

Die im Nasenvorhof befindlichen Haare bilden einen Schutz gegen Fremdkörper. Die venenreiche Nasenschleimhaut besitzt ein mehrreihiges zylindrisches Flimmerepithel, wie es in allen Luftwegen vorkommt. Zur Vergrößerung der Schleimhautoberfläche springen drei Knochenplatten in die Nasenhöhlen vor, die Nasenmuscheln (Abb. 1). Sie ragen so weit nach innen und abwärts vor, daß nur ein schmaler Spalt bleibt, der bei Schwellung der Schleimhäute leicht verstopft (Schnupfen). Nachdem die Luft am Epithel der Riechschleimhaut entlang strömte, gelangt sie durch die hinteren Nasenöffnungen (Choanen) in den unpaaren Nasen-Rachenraum, in dessen oberem Abschnitt die Rachenmandel liegt. Im Rachenraum (Abb. 1) kreuzt die Luft den Speiseweg. Sie gelangt dann in die Luftröhre, an deren Eingang der Kehlkopf liegt. In der Nase wird die Atemluft erwärmt und gereinigt. Dabei werden bis zu 80% aller Staubteilchen und Keime aus der Atemluft entfernt. Becherzellen und Nasendrüsen befeuchten das Epithel gemeinsam mit der Tränenflüssigkeit, die in den unteren Nasengang abfließt. Dadurch wird die eingeatmete Luft nahezu mit Wasserdampf abgesättigt. Der Flimmerstrom schlägt rachenwärts. Die reichlichen Gefäße erwärmen die Luft. Von der Nase aus besteht Verbindung zu den sogenannten Nebenhöhlen (Abb. 1). Durch die Eustachische Röhre (Ohrtrompete) ist der Rachenraum mit dem Mittelohr verbunden.

Kehlkopf. Der Kehlkopf besteht aus mehreren durch Bänder und Muskeln beweglich verbundenen Knorpeln (Abb. 10). Der größte Knorpel, der Schildknorpel, ist vorn am Halse fühlbar. Am oberen inneren Rand des Schildknorpels ist der knorpelige Kehldeckel befestigt. Der Schildknorpel ist unten gelenkig mit dem Ringknorpel verbunden. Der Ringknorpel trägt auf dem oberen hinteren Rand die beiden kleinen Stellknorpel.

Von jedem Stellknorpel ziehen ein Muskel und ein elastisches Band, das Stimmband, durch den Kehlkopf zur Innenfläche der Vorderseite des Schildknorpels. Die Stimmbänder bilden die mit Schleimhaut überkleideten Stimmlippen, die einen Spalt, die Stimmritze, frei lassen. Oberhalb der Stimmlippen liegen die beiden durch Schleimhautfalten gebildeten Taschenfalten (Abb. 11).

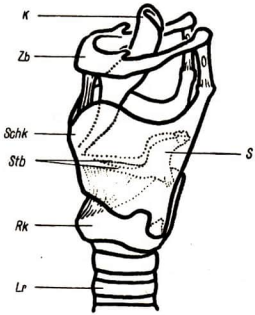
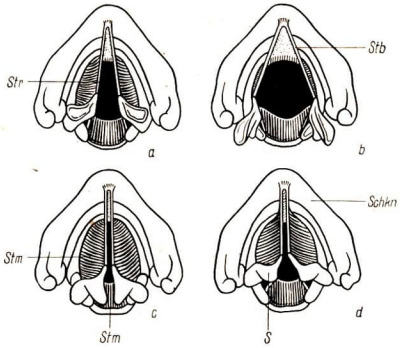


Abb. 10 Gerüst des Kehlkopfs von der Seite
K Kehldeckel, Lr Luftröhre, Rk Ringknorpel, S Stellknorpel, Schk Schildknorpel, Stb Stimmbänder, Zb Zungenbein

Durch Muskeln, die im wesentlichen an den Stellknorpeln, am Schildknorpel und am Ringknorpel ansetzen, können die Stimmlippen verkürzt, verlängert, gespannt und entspannt werden. Dadurch wird die Stimmritze geschlossen oder ganz geöffnet. Beim Atmen ist sie weit geöffnet, beim Singen oder Sprechen mehr oder weniger fest geschlossen (Abb. 11). Wird durch die angespannten Stimmlippen die aus der Lunge kommende Luft hindurchgepreßt, so geraten sie selbst und die hindurchstreichende Luft in Schwingungen und erzeugen Töne. Die Stimmbänder schwingen symmetrisch in der Frequenz der Tonhöhe. Die Tonhöhe unserer Stimme wird durch Länge, Spannung und Dicke der Stimmbänder bedingt. Die Tonstärke hängt von der Kraft des Luftstromes ab. Die Stimmbänder sind beim Manne etwa 25 mm, bei der Frau etwa 15 mm lang. Bei Jungen setzt im Alter von 14 bis 16 Jahren ein stärkeres Wachstum des Schildknorpels ein als bei Mädchen. Durch dieses

Abb. 11 Kehlkopf von oben (Schema)
Stellung der Stimmbänder;
a bei ruhiger Atmung, b bei starker Atmung,
c bei Stimmbildung, d bei Flüstersprache.
S Stellknorpel, Schkn Schildknorpel,
Stb Stimmbänder, Stm Stimmbandmuskel,
Str Stimmritze



Wachstum werden auch die Stimmbänder länger, die Stimme erhält eine tiefere Stimmlage (Stimmbruch).

Rachen-, Mund- und Nasenraum wirken gemeinsam als Resonanzraum, der die Stimme verstärkt. Die Resonanzräume verstärken bestimmte Obertöne und geben so der Stimme die Klangfarbe. Dort werden auch die Laute gebildet. Bei der Flüstersprache schwingen die Stimmbänder nicht mit. Die Stimmritze kann reflektorisch fast vollständig geschlossen werden, etwa wenn die Nervenendigungen der Nase durch Staub stark gereizt werden. Dann wird durch plötzliches Öffnen der Stimmritze die Luft in starkem Stoß herausgepreßt. Dabei werden vorhandene Fremdkörper aus Kehlkopf oder Nase entfernt (Niesen).

Das Husten wird in ähnlicher Weise bei starker Reizung der Kehlkopfschleimhaut hervorgerufen.

Luftröhre. Die Luftröhre ist etwa 12 cm lang. Ihre Wand besteht aus 16 bis 20 hufeisenförmigen Knorpelspangen, deren Bögen nach vorn gerichtet sind (Abb. 12). Die Hinterwand, die der Speiseröhre anliegt, ist eine bindegewebig-muskulöse Membran. Die Luftröhre ist ebenfalls mit Schleimhaut ausgekleidet, deren Wimperstrom Staubteilchen und Schleim rachenwärts bewegt. Die Knorpel halten die Luftröhre ständig offen. Etwa in Höhe des 5. Brustwirbels teilt sie sich in die beiden Hauptbronchien.

Aufgaben

1. Erläutern Sie nach der Abb. 12 und Farbtafel 2 Lage und äußeren Bau der Lunge!
2. Versuchen Sie die Lungengrenzen an Ihrem Körper zu zeigen!

Lungen. Die Lungen nehmen den größten Teil des Brustkorbes ein.

Jede Lunge wird von einer dünnen, glatten, stets feuchten Haut überzogen, dem Brustfell (Pleura). Das Brustfell besteht aus zwei Blättern. Eines umhüllt die Lunge (Lungenfell), das andere überzieht Brustkorbwand und Zwerchfell (Rippenfell). Beide

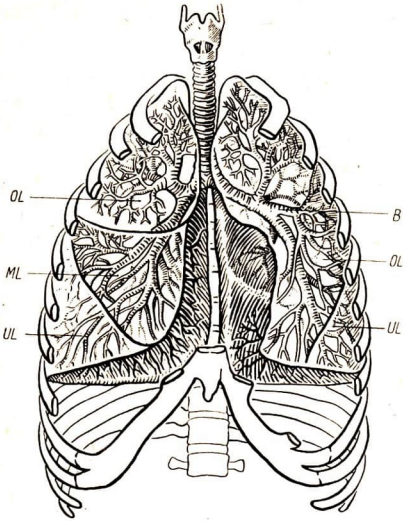


Abb. 12 Lungen mit Bronchialbaum
ML Mittellappen, OL Oberlappen,
UL Unterlappen, B Bronchien

gehen an der Lungenpforte (Hilus) ineinander über. Hier ziehen Bronchien, Blutgefäße, Lymphgefäße und Nerven zur Lunge.

Die zwei Blätter des Brustfelles sind durch einen kapillaren, mit seröser Flüssigkeit gefüllten Raum getrennt (Brustfellhöhle). Dadurch können sich beide Blätter bei der Atmung ohne Reibung gegeneinander verschieben. Durch diese nicht dehnbare Flüssigkeitsschicht haften beide Häute auch bei Dehnung des Brustkorbes aneinander. Bei der Einatmung wird dadurch die Lunge passiv erweitert.

Die Hauptbronchien verästeln sich in immer kleinere Bronchien, die bis zum Durchmesser von etwa 1 mm durch Knorpelringe versteift und mit Schleimzellen und Flimmerepithel versehen sind. Ihre Endabschnitte besitzen nur eine dünne Wand aus elastischem Gewebe und feinsten Muskelfasern. Sie enden in mikroskopisch kleinen Lungenläppchen, deren Ausbuchtungen wir Lungenbläschen nennen (Farbtafel 8).

Die Lungenbläschen besitzen einen Durchmesser von etwa 0,25 mm und eine Wanddicke von etwa 0,0004 mm. Sie werden von einem dichten Netz von Kapillaren und feinen elastischen Fasern umgeben. Die Bläschen werden bei der Einatmung erweitert, bei der Ausatmung verengt. Man schätzt die Anzahl der Lungenbläschen auf etwa 500 bis 700 Millionen. Ihre Gesamtoberfläche beträgt etwa 100 bis 120 m².

Atemvorgang. Der Luftwechsel in den Lungen erfolgt durch abwechselnde Vergrößerung und Verkleinerung des Brustraumes. Die Lungen liegen der Brustwand luftdicht an, deren Bewegung sie passiv folgen. Durch aktive Erweiterung des Brust-

korbes entsteht in den Lungen ein Unterdruck, der durch das Einströmen von Außenluft ausgeglichen wird (Einatmung). Umgekehrt hat jede Verkleinerung des Brustraumes ein Ausströmen der Luft zur Folge (Ausatmung).

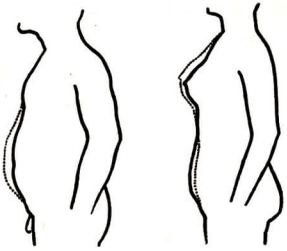


Abb. 13 Bauchatmung und Brustatmung (punktierte Linie: Einatmung)

Die Einatmung erfolgt durch Muskeltätigkeit. Wir unterscheiden zwei verschiedene Arten der Atmung: Brust- und Bauchatmung. Bei der Brustatmung erfolgt durch die Zwischenrippenmuskulatur ein Heben der Rippen, der Brustkorb erweitert sich (Abb. 13). Nachlassen der Muskeltätigkeit läßt die Rippen in die Ausgangslage zurückgehen. Bei tiefer Ausatmung ziehen die Bauchmuskeln als zusätzliche Ausatemmuskeln den Brustkorb abwärts. Bei der Brustatmung vergrößert sich der Durchmesser des Brustraumes.

Bei der Bauchatmung (auch als Zwerchfellatmung bezeichnet) wird durch Zusammenziehen der Zwerchfellmuskeln deren Wölbung abgeflacht. Dadurch wird der Brustraum in der Längsrichtung vergrößert. Die Kontraktion des Zwerchfells drängt die nicht zusammendrückbaren Baucheingeweide gegen die Bauchwand vor, die sich leicht hebt (Abb. 13). Bei der Ausatmung drücken die Bauchmuskeln die Eingeweide wieder zurück. Diese schieben das erschlaffte Zwerchfell hoch und verengen den Brustraum; zugleich ziehen sich die gedehnten Lungen zusammen (Abb. 14).

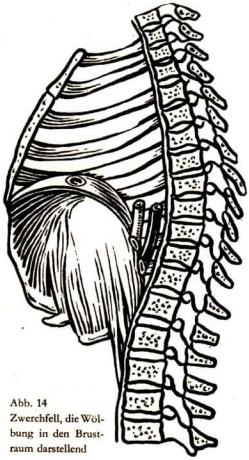


Abb. 14
Zwerchfell, die Wölbung in den Brustraum darstellend

Der Druck im Brustfellraum ist stets so groß wie in den Lungenbläschen. Dringt in den Brustfellraum Luft ein (z. B. bei einer Verletzung), so zieht sich die betreffende Lunge durch ihre Eigenelastizität zusammen.

Diese Tatsache wird in der Medizin genutzt. Durch ärztlichen Eingriff wird Luft in die Brustfellhöhle eingeleitet und dadurch eine Lunge zeitweilig stillgelegt. Durch einen solchen **Pneumothorax** kann beispielsweise die Ausheilung tuberkulöser Prozesse gefördert werden. Da die Luft durch das Brustfell resorbiert wird, muß der Pneumothorax mehrfach erneuert werden.

Regulationsstellen für Atemfrequenz und -tiefe liegen in Ganglienzentren des verlängerten Marks, im Atemzentrum. Von hier gehen Erregungen über Nerven zu den Atemmuskeln. Das Zentrum reagiert auf den Kohlensäuregehalt (pH-Wert) des Blutes. Sammelt sich beispielsweise bei intensiver Arbeit sehr viel Kohlendioxid im Blut an, so wird das Atemzentrum stark gereizt, die Atembewegungen werden tiefer und häufiger. Bei größter

Ruhe, etwa im Schlaf, atmen wir zwölfmal in der Minute, bei Bewegung, beispielsweise beim Gehen, etwa zwanzigmal. Bei größter Anstrengung erfolgen 40 bis 60 Atemzüge in der Minute. Die Zahl der Atemzüge beträgt beim Neugeborenen etwa 40 je Minute, bei Kleinkindern etwa 20 bis 25.

Neben dem Kohlensäuregehalt des Blutes wirken auch Erregungen, die von der Lunge und den Atemmuskeln ausgehen, als Reize auf das Atemzentrum. Sie bedingen den rhythmischen Wechsel von Ein- und Ausatmung. Außerdem kann das Atemzentrum durch Erregungen beeinflußt werden, die auch von der Haut ausgehen können. Ein solcher Reflex erhöht beispielsweise Zahl und Tiefe der Atemzüge bei plötzlichem Eintauchen des Körpers in kaltes Wasser. Auch psychische Erregungen beeinflussen die Atmung (Schreck, Angst, Freude).

Luftwechsel. Die Atemkapazität wird quantitativ mit dem Spirometer gemessen. Bei ruhiger Atmung wird bei jedem Atemzug nur ein recht kleiner Teil der sich in der Lunge und den Luftwegen befindenden Luft ausgetauscht (etwa 500 cm³). Diesen Teil bezeichnet man als **Atemluft.** Nach tiefster Einatmung können weitere 1500 cm³ **Ergänzungsluft** zusätzlich ausgeatmet werden. Weitere 1500 cm³ können als **Vorratsluft** nach ruhiger Ausatmung aus den Lungen ausgepreßt werden. Bei stärkster Ein- und Ausatmung können demnach fast 4000 cm³ Luft gewechselt werden. Diese **Vitalkapazität** schwankt nach Körperbau und Übung. Trainierte Sportler haben Vitalkapazitäten von 5000 bis 6000 cm³.

Selbst bei stärkster Ausatmung bleibt eine **Restluft** von etwa 1200 cm³ in der Lunge, die nicht gewechselt wird.

Gasaustausch. Die eingeatmete Luft enthält etwa 21 % Sauerstoff und 0,03 % Kohlendioxid, die ausgeatmete Luft 16 % Sauerstoff und 4 % Kohlendioxid (der Rest ist im wesentlichen Stickstoff). In der Lunge werden der Atemluft also durchschnittlich 5 % Sauerstoff entzogen.

Der Gasaustausch in den Lungenbläschen beruht auf der Diffusion der Gase.

Die Raumteile des Gases, die in einen Raumteil Flüssigkeit aufgenommen werden, sind abhängig von der Temperatur der Flüssigkeit und dem Druck, unter dem das Gas steht. Aus einem Gasgemisch absorbiert jede Flüssigkeit so viel von jedem Teil des Gemisches, wie dessen Teildruck entspricht. Luft ist ein solches Gemisch. Die Diffusion ist die Folge des Druckausgleiches bei verschiedenen Teildrucken innerhalb sich austauschender Gasmengen. Eine Diffusion von Gasen kann in Flüssigkeiten hinein erfolgen oder, wenn Gas in einer Flüssigkeit gelöst ist, aus dieser in das umgebende Gas (z. B. beim Öffnen des Verschlusses einer gefüllten Seltersflasche).

Das den Lungen zuströmende Blut hat einen höheren Kohlensäuredruck und einen niedrigeren Sauerstoffdruck als die Luft in den Lungen. Deshalb diffundiert der Sauerstoff aus den Lungenbläschen in das Blut, während das Kohlendioxid aus dem Blut in die Lungenbläschen abgegeben wird. Der Stickstoff diffundiert ebenfalls entsprechend seinem Teildruck in das Blut. Da er im Organismus in dieser Form nicht gebraucht wird, bleibt der Stickstoffgehalt des Blutes nahezu gleich.

Gemäß seinem Teildruck würde der Sauerstoff zu etwa 0,3 Vol.-% aufgenommen. Diese Menge wäre aber viel zu gering, um den Bedarf unseres Körpers zu decken. Tatsächlich wird etwa die 70fache Menge aufgenommen. Das geschieht dadurch, daß Sauerstoff sofort nach der Absorption chemisch an das Hämoglobin der roten Blutkörperchen gebunden und damit aus der Blutflüssigkeit entfernt wird. Das Hämoglobin bindet den Sauerstoff in einer leicht abspaltbaren Form und wird zum hellroten Oxyhämoglobin. In den Sauerstoff verbrauchenden Geweben geht Sauerstoff dem Druckgefälle folgend

in die Gewebszellen über. Die wirksame Farbstoffkomponente Häm enthält zweiwertiges Eisen, das diese reversible Bindung ermöglicht.

Die Oxydationsvorgänge in den lebenden Zellen führen zur Bildung von Wasser und Kohlendioxid. Durch den Bedarf an Sauerstoff besteht ein O_2-Druckgefälle vom arteriellen Blut zu den Geweben und ein ebensolches CO_2-Druckgefälle von den Geweben zum Blut. Entsprechend kann der Gasaustausch vor sich gehen. In den Lungenbläschen herrscht umgekehrt ein hoher Kohlendioxid- und geringer Sauerstoffdruck im venösen Blut gegenüber der Einatmungsluft.

Die Aufnahme und Übertragung des Sauerstoffs in den Geweben erfolgt durch die Atemfermente an den Zelloberflächen, die ebenfalls zweiwertiges Eisen enthalten.

Erstickung. Als Erstickung bezeichnet man das Aufhören der Lebensvorgänge infolge Sauerstoffmangels der Gewebe. Dieser Sauerstoffmangel kann verschiedene Ursachen haben: Mangel an Sauerstoff in der Atemluft oder zu geringer Sauerstoffdruck; Verengung beziehungsweise Verschluß der Atemwege; Störung der Fähigkeit des Blutes, Sauerstoff zu transportieren oder Vergiftung des sauerstoffübertragenden Atmungsfermentes der Zellen (beispielsweise durch Kohlenmonoxid).

Aufgabe und Frage

Erläutern Sie den Atemvorgang!
Welche Funktionen erfüllen die verschiedenen Abschnitte des Atemweges?

Erkrankungen der Atmungsorgane

Die Atmungsorgane stehen mit der Außenluft unmittelbar in Verbindung. Sie sind deshalb Infektionen und Temperaturschwankungen besonders ausgesetzt.

Häufige Erkrankungen der oberen Luftwege:

Schnupfen oder Nasenkatarrh wird durch ein Virus hervorgerufen. Er tritt häufig in einem durch Abkühlung geschwächten Organismus auf. Schnupfen äußert sich durch starkes Anschwellen der Nasenschleimhaut und verstärkte Sekretabsonderung. Nasenatmung und Geruchsvermögen sind behindert. Häufig treten Kopfschmerzen und allgemeine Mattigkeit, manchmal auch leichte Temperaturerhöhungen auf.

Entzündungen des Schlundringes und der Rachenmandeln (Angina) können durch verschiedene Erreger hervorgerufen werden. Meist treten Schluckbeschwerden und hohes Fieber auf, mitunter erfolgen Nierenkrankheiten.

Diphtherie ist eine besonders schwere Halsentzündung mit eitrigem Belag auf den Gaumenmandeln. Meist steigt die Körpertemperatur nur auf 38 bis 38,5 °C an.

Die Stoffwechselprodukte (Toxine) der Diphtherie-Erreger sind Gifte für den menschlichen Körper, die vor allem das Herz und das Nervensystem schädigen können. In der Deutschen Demokratischen Republik besteht Impfpflicht gegen die Diphtherie.

Entzündungen von Luftröhre, Bronchien oder Lungen werden vorwiegend durch Bakterien oder Viren hervorgerufen. So bewirken bestimmte Bakterien (Pneumokokken u. a.) den Austritt seröser Flüssigkeit aus den Kapillaren in die Lungenbläschen **(Lungenentzündung).** Ihre giftigen Stoffwechselprodukte erregen oft hohes Fieber, schädigen Herz und Kreislauf. Es ist unbedingt notwendig, bei derartigen Erkrankungen einen Arzt hinzuzuziehen und strenge Bettruhe einzuhalten.

Lungentuberkulose war über lange Zeit eine weit verbreitete Krankheit. Inzwischen ist es durch verschiedene Formen der Vorbeugung und Bekämpfung (z. B. Impfung

im Säuglingsalter), vor allem aber durch die ständige Verbesserung der sozialen Verhältnisse gelungen, sie in der DDR stark einzudämmen.

Meist erfolgt die Infektion durch Einatmung der Tuberkelbakterien.

Nahezu jeder Mensch in Europa infiziert sich im Laufe seines Lebens einmal mit Tuberkuloseerregern. Der gesunde Organismus ist in der Lage, die Erreger unschädlich zu machen. Gesunde Lebensbedingungen (Wohnung, Ernährung, Urlaub, viel Aufenthalt in frischer Luft, Sport) erhöhen die Widerstandsfähigkeit des Körpers gegen Tuberkuloseerreger. Durch frühzeitige Impfung mit BCG-Impfstoff (s. S. 34) wird bei noch nicht mit Tuberkelbakterien infizierten Kindern die Bildung von Gegengiften angeregt. Für die Heilung der Tuberkulose ist frühes Erkennen der Krankheit von großer Bedeutung. Deshalb werden in unserer Republik in regelmäßigen Abständen Reihenuntersuchungen (Schirmbilduntersuchung, Tuberkulinproben) durchgeführt. Es ist im Interesse jedes einzelnen und der gesamten Bevölkerung erforderlich, daß jeder die ihm in unserem Staate gebotenen Möglichkeiten zur Verhütung einer Tbk-Erkrankung auch tatsächlich nutzt.

Atmungshygiene. Für die richtige Funktion der Atmungsorgane und damit für den gesamten Organismus ist die Zusammensetzung der Luft, die wir atmen, von großer Bedeutung. In der Luft geschlossener, nicht durchlüfteter Räume sammeln sich Kohlendioxid, Staubteilchen und (besonders in Schleifereien und ähnlichen Betrieben) auch andere für den Organismus schädliche Stoffe an. Menschen, die viel Zeit in ungelüfteten Räumen verbringen, ermüden leicht und leiden an Kopfschmerzen. Die Gefahr der Infektion mit ansteckenden Krankheiten ist in geschlossenen Räumen besonders groß. Mit dem Staub werden Krankheitserreger aufgewirbelt und eingeatmet (besonders auch Tuberkelbakterien). Beim Husten, Niesen, Sprechen und Ausatmen können Krankheitserreger in die Luft und dadurch in die Atmungsorgane anderer Menschen gelangen. Diese Ansteckungsart, die Tröpfcheninfektion, ist beispielsweise bei Tuberkulose, Grippe, Diphtherie, Keuchhusten, Masern und Scharlach möglich.

Frische Luft wirkt belebend auf den Organismus. Deshalb sind die Lüftung der Räume und der häufige Aufenthalt im Freien wichtig. Nachts sollte man nach Möglichkeit bei offenem Fenster schlafen und morgens Freiübungen machen. Dort, wo sich viele Menschen aufhalten oder die Luft mit schädlichen Gasen und großen Mengen Staub verunreinigt wird, werden besondere Entlüftungsapparate aufgestellt, die die Luft ständig erneuern. Um den Staub möglichst zu beseitigen, reinigt man den Fußboden am besten mit einem feuchten Scheuertuch. In Schulen, Verwaltungsgebäuden und anderen öffentlichen Einrichtungen bindet man den Staub durch Ölen der Holzfußböden. Kleidung und Schuhe dürfen nicht im Zimmer geklopft beziehungsweise gebürstet werden.

Durch Maßnahmen des öffentlichen Gesundheitswesens wird dafür gesorgt, daß auch die Straßen in den Städten möglichst staubfrei sind. Regelmäßiges Sprengen und Säubern gepflasterter Straßen verhindert, daß Staub angesammelt und aufgewirbelt wird. Die Anlage von Grünflächen und die Bepflanzung der Straßenränder mit Bäumen erhöhen den Sauerstoffgehalt der Luft.

Aufgaben

1. Füllen Sie ein Becherglas mit Kalkwasser! Atmen Sie durch ein Glasröhrchen aus, das in das Kalkwasser eintaucht! Erklären Sie Ihre Beobachtung!
2. Wie können Sie sehr einfach nachweisen, daß die Ausatmungsluft relativ feucht ist?

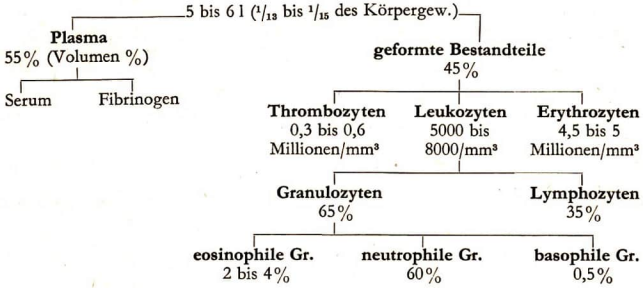
3. Halten Sie den Atem an, stellen Sie fest, wie lange Sie das ohne Beschwerden tun können! Atmen Sie einige Minuten möglichst lang, tief und schnell mehrmals ein und aus! Halten Sie danach den Atem erneut an und stellen Sie jetzt fest, wie lange Sie ohne Beschwerden den Atem anhalten können! Begründen Sie die Zeitdifferenz!
4. Berechnen Sie die ungefähre Luftmenge, die Sie in 24 Stunden einatmen! Wieviel Sauerstoff wird ungefähr vom Körper zurückbehalten und wieviel Kohlendioxid abgegeben?
5. Messen Sie Ihren Brustumfang bei tiefster Ein- und Ausatmung!

Blut und Blutgefäßsystem

Blut

Von den übrigen Geweben unseres Körpers unterscheidet sich das Blut dadurch, daß die Zwischenzellsubstanz flüssig ist. Die Grundsubstanz des Blutes ist das Plasma, die geformten Bestandteile sind die Blutkörperchen (Farbtafel 5). Die chemische Zusammensetzung beider Teile ist sehr kompliziert. Ihre Funktionen sind vielfältig.

Blut



Die zelligen Bestandteile des Blutes

Erythrozyten. Erythrozyten sind kleine, rundliche, biegsame, durch Kernverlust bikonkave Zellen, die sich im roten Knochenmark aus kernhaltigen Zellen (Erythroblasten) entwickeln. Mit einem Durchmesser von 7,5 µm und einer Dicke von 2,4 µm gehören sie zu den kleinsten Zellen unseres Körpers. Sie enthalten das Hämoglobin.

Hämoglobin ist eine Verbindung des eisenhaltigen Farbstoffs Häm – der chemisch dem Chlorophyll nahesteht – mit dem Eiweißstoff Globin. Es macht etwa 39% der Masse der Erythrozyten aus. Als Normalwert findet man 16 g in 100 cm³ Blut. 1 g Hämo-

globin kann 1,35 cm^3 Sauerstoff binden. Seine rote Farbe gibt den Erythrozyten die Eigenfarbe. Hämoglobin kommt bei Regenwürmern, Tellerschnecken, niederen Krebsen und beim Lanzettierchen gelöst im Plasma, bei allen Wirbeltieren in den roten Blutzellen vor. Hämoglobin hat mehr als alle übrigen im Tierreich vorkommenden Blutfarbstoffe (z. B. Hämozyanin bei der Teich- und Flußmuschel, einigen Schnecken, höheren Krebsen und Kopffüßern) die Fähigkeit, große Mengen Sauerstoff rasch zu binden und wieder abzugeben. Durch das Hämoglobin kann etwa 1 Liter O_2 im Blut gebunden werden, während im gesamten Plasma nur etwa 30 cm^3 O_2 gelöst sind.

Die Erythrozyten der Amphibien besitzen noch einen größeren Kern als die der Reptilien und Vögel. Bei den Säugern besitzen die Bildungszellen im roten Knochenmark noch Kerne. Im Blut der Säuger sind nur kernlose Erythrozyten vorhanden. Der Embryo, dessen rote Blutkörperchen in Leber und Milz gebildet werden, besitzt in den ersten Entwicklungsmonaten kernhaltige Blutzellen. Der in der Phylogenese (Stammesentwicklung) eingetretene Kernverlust und die Verkleinerung der Zellen stellen eine Anpassung an den erhöhten Sauerstoffbedarf der Säuger dar. Der vom Kern eingenommene Raum kann von dem sauerstoffbindenden Blutfarbstoff Hämoglobin eingenommen werden. Die Verkleinerung und die Scheibenform bedingen eine relative Zunahme der Oberfläche gegenüber dem Inhalt und erleichtern dadurch die Bindung und den Transport des Sauerstoffes.

Bei der Frau befinden sich etwa 4,5 Millionen, beim Mann etwa 5 Millionen rote Blutkörperchen in einem Kubikmillimeter Blut. Diese Zahlen sind jedoch nicht absolut. So haben beispielsweise Bewohner sehr hoch gelegener Gebiete mehr rote Blutkörperchen: Die Einwohner der Anden und Tibets etwa 8 Millionen; das ist eine Anpassung an den verminderten O_2-Druck der Luft.

Funktion des Blutes bei der Atmung. Eine Grundfunktion unseres Lebens ist die Atmung, der ständige Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid (s. S. 28).

Der Sauerstoff wird in den Lungenkapillaren reversibel an das Hämoglobin gebunden. Es entsteht Oxyhämoglobin, wobei ein Eisenatom des Hämoglobins ein Molekül Sauerstoff bindet. Die Menge des gebundenen Sauerstoffs ist außer vom Hämoglobin-Gehalt sehr stark vom Sauerstoffdruck abhängig. Beim normalen Luftdruck von 760 Torr beträgt der Sauerstoffteildruck 150 Torr. Die Sättigung des Hämoglobins beträgt dabei 95%. Mit abnehmendem Luftdruck fällt der Sauerstoffdruck der Luft, die Sättigung wird geringer (Höhenwirkung).

Während Sauerstoff nur durch das Hämoglobin transportiert wird, erfolgt der Transport des Kohlendioxids überwiegend durch das Plasma. Es wird an die dort gelösten Alkalien gebunden.

Bei einer Blutmenge von 5 l errechnet man etwa 25 Billionen rote Blutkörperchen, von denen jedes etwa eine Oberfläche von 100 μm^2 besitzt. Insgesamt ergibt das eine Fläche von etwa 2500 m^2. Diese dient jedoch nicht vollständig dem Sauerstofftransport. Nur die Blutkörperchen, die sich auf dem Wege von der Lunge zu den Sauerstoff verbrauchenden Geweben befinden, enthalten Oxyhämoglobin.

Außerdem kreist nie die volle Blutmenge im Körper. Etwa $^1/_3$ des Blutes wird in den Blutspeichern (Leber, Haut, teilweise Milz) vorübergehend festgehalten.

Die Lebensdauer der Erythrozyten beträgt etwa vier Monate. Sie werden in der Milz abgebaut. Die frei werdenden Abbauprodukte des Hämoglobins werden in der Leber zu Gallenfarbstoffen umgewandelt und mit dem Gallensaft (s. S. 21) in den Darm abgegeben. Das Eisen wird im roten Knochenmark wieder zum Aufbau neuer Erythrozyten verwandt.

Leukozyten. Die weißen Blutkörperchen sind amöboid beweglich. Sie besitzen einen Kern und sind farblos. Ihre Anzahl wechselt schon innerhalb bestimmter Grenzen im Verlaufe eines Tages. Nach ihrer Herkunft, Kernform und Färbbarkeit unterscheiden wir die im Knochenmark gebildeten Granulozyten (65%) und die in den lymphatischen Organen gebildeten Lymphozyten, die einen großen Teil der Immuneiweiße liefern (35%; Farbtafel 5).

Die Granulozyten besitzen einen mehrfach eingeschnürten Kern. Im Plasma der Zellen befinden sich zahlreiche färbbare Körnchen (Granula). Diese lassen sich mit sauren Farbstoffen (Eosin z. B. färbt eosinophile) oder seltener mit basischen Farbstoffen (basophile) anfärben. Bei den neutrophilen Leukozyten werden die Körnchen durch keinen der genannten Farbstoffe deutlich gefärbt.

Die Lymphozyten sind sehr klein, sie haben einen verhältnismäßig großen Kern, so daß das Plasma kaum erkennbar ist. Sie befinden sich vor allem in der Lymphe, dienen dem Transport von Kohlenhydraten und Fetten und haben Bedeutung für die Immunität des Körpers gegenüber Infektionen.

Die weißen Blutkörperchen können aus den Gefäßen auswandern. Das geschieht besonders in der Umgebung geschädigter Gewebe. Sie werden auch durch Stoffwechselprodukte eingedrungener Bakterien chemotaktisch angelockt. Überall, wo sie auftreten, können sie Abwehrfunktionen ausüben. Sie vernichten Bakterien und Fremdkörper im Blut und in den Geweben, indem sie diese mit ihrem Plasma umschließen, fermentativ auflösen und vernichten. Deshalb nannte sie der große russische Biologe Ilja Iljitsch Metschnikow (1845 bis 1916) Phagozyten (Freßzellen). Bei eingetretener Infektion werden die Leukozyten von allen Seiten an den Herd transportiert, nehmen Bakterien, Stoffwechselprodukte und Zellreste auf und grenzen zusammen mit den umliegenden Bindegewebszellen den Herd ab. Dabei zerfallen sie und bilden mit den Zelltrümmern und Bakterien den Eiter. Bei erhöhtem Bedarf, zum Beispiel bei inneren Infektionsherden, werden rasch neue Leukozyten in erhöhter Anzahl gebildet, so daß sich das normale Zahlenverhältnis der Blutzusammensetzung ändert. Der Arzt kann mit Hilfe eines solchen Blutbildes wichtige Schlüsse auf Art und Verlauf einer Erkrankung ziehen.

Die Lebensdauer der Leukozyten ist sehr begrenzt und sehr unterschiedlich. Sie beträgt unter Umständen nur Stunden, meist 2 bis 5 Tage.

Thrombozyten. Die Thrombozyten (Blutplättchen) sind sehr kleine (1 bis 4 μm) ungeformte Gebilde. Da sie sehr leicht zerfallen, ist ihre Menge schwer zu bestimmen. Sie haben eine wesentliche Funktion bei der Blutgerinnung (s. S. 36).

Blutplasma

Das Plasma besteht zu 90% aus Wasser; 6 bis 8% sind verschiedene Eiweiße, den Rest bilden Fette, fettähnliche Stoffe (Lipoide), Kohlenhydrate und Mineralbestandteile.

Die Eiweiße sind artspezifisch. Sie binden durch ihre Quellfähigkeit einen großen Teil des Plasmawassers. Außerdem sorgen sie mit dafür, daß der osmotische Druck, die Gefrierpunktserniedrigung (0,56 °C) und der pH-Wert (7,36) annähernd konstant bleiben. Eiweiße sind für die Blutgerinnung und die Abwehrfunktionen des Blutes von großer Bedeutung (s. S. 34 bis 36).

Die Mineralbestandteile (vor allem NaCl, dazu Kalium-, Kalzium-, Magnesiumsalze in Form von Chloriden oder Phosphaten) sind in bestimmten Mengenverhältnissen

enthalten. Sie verleihen dem Blut einen osmotischen Druck von etwa 7 Atmosphären. Das entspricht dem Druck einer 0,9%igen Lösung von NaCl (physiologische Kochsalzlösung). Da die verschiedenen Ionen spezifische physiologische Wirkung haben, ist die Konstanz des Ionenverhältnisses von größter Bedeutung für den normalen Ablauf der Lebensvorgänge.

Blutkörperchensenkung. Die Blutkörperchen sind normalerweise im Blute durch elektrische Ladungen gleichmäßig suspendiert. Läßt man ungerinnbar gemachtes Blut (Zusatz von Natriumzitrat, das Ca-Ionen bindet) längere Zeit in einem 20 cm hohen graduierten Röhrchen stehen, dann sinken die roten Blutkörperchen der Schwere nach zu Boden. Über ihnen setzt sich klares Plasma ab.

Nach ein und zwei Stunden liest man die Höhe des reinen Plasmas ab. Bei allen gesunden Menschen ist die Senkungsgeschwindigkeit der Erythrozyten annähernd gleich groß. Die Schnelligkeit des Sinkens ist vor allem von den Eiweißkörpern des Blutes abhängig.

Bei einigen krankhaften Prozessen wird durch vermehrte Eiweiße und die geänderten Ladungsverhältnisse die Senkungsgeschwindigkeit erhöht. Daraus zieht der Arzt wichtige Schlüsse über Art und Verlauf von Krankheiten.

Biologische Abwehrreaktionen des Blutes. Zu den wesentlichsten Funktionen des Blutes gehört der Schutz des Körpers vor Krankheitserregern (bestimmten Viren, Bakterien und Protozoen).

Wenn Krankheitserreger in den Organismus gelangen, so bilden sich im Körper Abwehrstoffe, die im Blutserum kreisen, die **Antitoxine.** Die Abwehrstoffe können entweder die giftigen Stoffwechselprodukte der Krankheitserreger unschädlich machen oder diese selbst auflösen beziehungsweise zusammenballen. Jede Art von Antikörpern wirkt nur gegen eine bestimmte Art von Krankheitserregern. So enthält zum Beispiel das Blutserum eines Menschen, der an Masern erkrankt war, Antitoxine, die die Masernerreger vernichten, während sie auf andere Krankheitserreger keine Wirkung haben. Die unschädlich gemachten Krankheitserreger werden von den Phagozyten aufgenommen.

Als **Immunität** bezeichnet man die Widerstandsfähigkeit des Organismus gegenüber bestimmten Krankheitserregern. Gegen manche Krankheitserreger, beispielsweise gegen die Erreger der meisten Tierseuchen, sind die Menschen von Geburt an unempfindlich. Gegen viele Infektionskrankheiten wird der Mensch jedoch erst durch das Überstehen der betreffenden Erkrankung immun. Diese erworbene Immunität beruht vorwiegend auf der Bildung von Antikörpern. Wenn zum Beispiel ein Mensch an Masern erkrankt, so bilden sich in seinem Blut Antitoxine gegen das Masernvirus. Die Antikörper bleiben auch nach Abklingen der Krankheit im Blut und verhindern in den meisten Fällen, daß der Mensch ein zweites Mal an Masern erkrankt. Es gibt aber auch einige Infektionskrankheiten, nach denen die Antikörper nur kurze Zeit im Blute bleiben und dann allmählich ausgeschieden werden. Bei derartigen Krankheiten (z. B. Diphtherie) hält die Immunität also nur eine gewisse Zeit an. Sowohl die angeborene wie auch die durch Überstehen einer Infektionskrankheit erworbene Immunität bezeichnet man als **natürliche Immunität.**

Durch Impfung oder durch Einspritzen eines Heilserums läßt sich eine **künstliche Immunität** gegen einige Infektionskrankheiten hervorrufen. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurde auf Grund der langjährigen Versuche des englischen Landarztes JENNER (s. S. 283) in der Pockenschutzimpfung das erste ungefährliche Mittel zur künstlichen Immunisierung gefunden. Die Pockenschutzimpfung beruht auf der Tatsache, daß das Pockenvirus sich auf Kühe übertragen läßt und in deren Körper so geschwächt wird,

daß es für den Menschen ungefährlich wird. Seine immunisierende Fähigkeit verliert es dabei nicht. Impft man das Virus von einer Kuh auf einen Menschen zurück, so macht dieser nur eine leichte Entzündung (Pockenerkrankung) an der geimpften Körperstelle durch. In seinem Organismus bilden sich dabei genügend Antikörper, die ihn gegen eine weitere Infektion mit Pockenviren für mehrere Jahre immunisieren. Nach der Veröffentlichung der Arbeiten JENNERS führte man Kuhpockenimpfungen in allen Ländern der Erde erfolgreich durch.

Die Pockenschutzimpfung wurde in England entwickelt, doch fanden sich gerade in diesem Lande Menschen, die gegen ihre allgemeine Einführung Protest erhoben. Reaktionäre Gelehrte behaupteten, daß die Menschen auf Grund der Kuhpockenimpfung zu Tieren würden. Mitglieder des englischen Parlaments bezeichneten in ihren Reden die Impfung als Schmach und Verbrechen. Der Papst erklärte alle Menschen, die sich gegen Pocken impfen ließen, als gottlos. Bis heute besteht in England kein Impfzwang. Infolgedessen ist die Zahl der Pockenerkrankungen in England höher als in den Ländern mit Impfzwang.

Seit der Entdeckung der Pockenschutzimpfung sind viele andere Schutzimpfungen (beispielsweise gegen Diphtherie, Typhus, Fleckfieber, Ruhr, Tuberkulose) entwickelt worden. Bei diesen Schutzimpfungen werden entweder abgetötete oder in ihrer Infektionskraft geschwächte Krankheitserreger in den Organismus eingespritzt. Da sie den Organismus zur Bildung von Antikörpern veranlassen, ohne zu einer Erkrankung zu führen, bezeichnet man diese Art der künstlichen Immunisierung als **aktive Immunisierung.**

Die Entwicklung der Schutzimpfung zeigt, wie die Menschen die Furcht vor Krankheiten überwanden und wie sie durch wissenschaftliche Erforschung der Krankheitsvorgänge Mittel fanden, der gefürchteten Seuchen Herr zu werden. Der Mensch steht also der Natur nicht machtlos gegenüber, sondern vermag sie in steigendem Maße zu beherrschen.

Ist eine Infektionskrankheit bereits ausgebrochen, so läßt sie sich in vielen Fällen durch Injektion von Seren heilen, die spezifische Antikörper enthalten. Je früher die Injektion erfolgt, desto sicherer und durchgreifender ist die Wirkung. Bei drohender Infektion (Diphtherie, Wundstarrkrampf) kann der Körper durch Injektion derartiger Heilseren vorübergehend immunisiert werden. Die Injektion von Seren, in denen Antikörper vorhanden sind, bezeichnet man als **passive Immunisierung.** Sie hält nicht so lange an wie die aktive Immunisierung, da die injizierten Antikörper rascher wieder ausgeschieden werden als die im eigenen Körper gebildeten.

Eine andere Art der Antikörper sind die **Lysine,** die artfremde Zellen auflösen. Besonders wichtig sind die Hämolysine. Sie lösen artfremde Blutkörperchen auf. Lysine sind in jedem Blut vorhanden. Deshalb ist eine Blutübertragung zwischen Tieren verschiedener Art oder zwischen Tier und Mensch nicht möglich.

Agglutinine sind Antikörper, die artfremde Zellen oder Blutkörperchen, die in das Blut gebracht werden, verklumpen (agglutinieren, s. S. 36 u. 37). Sie werden danach abgebaut.

Präzipitine werden bei Übertragung artfremden Eiweißes im Blut gebildet. Wird ein zweites Mal dasselbe Eiweiß übertragen, bilden die Präzipitine mit dem Eiweiß einen Niederschlag (Präzipitat). Darum verwendet man bei wiederholten Impfungen innerhalb kurzer Zeit möglichst verschiedene Tierseren.

Die Präzipitinreaktion ist auch von Bedeutung für den Abstammungsnachweis. So fällt beispielsweise das Serum eines mit Menschenblut vorbehandelten Tieres Menschen-

blut stark aus, Schimpansenblut wird sogar noch stärker, Gorilla- oder Orangblut weniger stark gefällt. Je entfernter die Verwandtschaft ist, desto geringer ist die Fällung.

Während die Antitoxine therapeutische Bedeutung haben, besitzen die Agglutinine und Präzipitine für den Reagenzglasversuch diagnostischen Wert.

Die Abwehrkräfte des Organismus, insbesondere seine Fähigkeit zur Bildung von Antikörpern, sind von seiner körperlichen Verfassung sowie von den Lebensbedingungen abhängig. Unterernährung, Überanstrengung, Depressionen erhöhen die Anfälligkeit gegenüber Infektionskrankheiten. Daraus ergibt sich, daß die soziale Ordnung, in der der Mensch lebt und arbeitet, von großer Bedeutung für seine Gesundheit ist.

Aufgabe

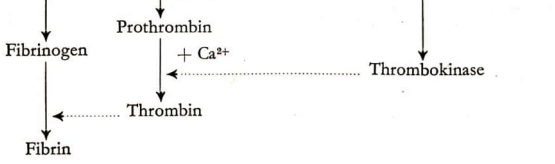
Stellen Sie in einer schematischen Übersicht die verschiedenen Formen der Immunität und die Möglichkeiten zusammen, wie sie erreicht werden!

Blutgerinnung. Aus dem Gefäßsystem entnommenes Blut gerinnt in einem Glasgefäß bereits nach wenigen Minuten. Es bildet sich ein festes Gerinnsel, der Blutkuchen. Dieser zieht sich in den nächsten Stunden zusammen und preßt dabei eine gelbliche, klare, klebrige Flüssigkeit aus, das Blutserum. Der Blutkuchen besteht aus dem feinmaschigen Gerüst des Eiweißkörpers Fibrin, in dessen Maschen die Blutkörperchen liegen. Das Fibrin ist in einer inaktiven Form als Fibrinogen im Plasma enthalten.

Bei der Gerinnung fällt ein im Plasma gelöster Eiweißkörper, das Fibrinogen, als Fibrin fädig aus und verklebt mit den zelligen Bestandteilen des Blutes. Das kann aber nur geschehen, wenn zugleich Blutplättchen, Kalziumionen und eine Reihe von Fermenten anwesend sind.

Durch Verletzung eines Gefäßes oder Berührung des Blutes mit Fremdkörpern wird durch das Ferment Thrombokinase, das in den Geweben, vor allem aber in den Thrombozyten enthalten ist, das Ferment Prothrombin (Thrombogen) im Serum zu Thrombin aktiviert. Dabei müssen Kalziumionen anwesend sein. Das Thrombin verursacht die Ausfällung des im Plasma gelösten Fibrinogens zu Fibrin. Das Prothrombin ist ebenfalls ein Eiweißkörper, der in der Leber unter dem Einfluß von Vitamin K gebildet wird.

Das folgende Schema gibt, stark vereinfacht, die Vorgänge bei der Blutgerinnung wieder.



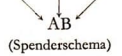
Bei der Gerinnung des Blutes in der Wunde entspricht der Schorf dem Blutkuchen. Bei Wirbellosen ist eine Blutgerinnung nur bei Arthropoden zu beobachten. Bei allen übrigen schließen sich die Wunden durch Muskelkontraktion.

Blutgruppen. Seit dem Jahre 1901 weiß man durch die Ergebnisse der Arbeiten des österreichischen Forschers KARL LANDSTEINER (s. S. 284), daß es beim Menschen verschiedene Blutgruppen gibt. Die Zusammenballung roter Blutkörperchen durch Blut einer anderen Blutgruppe beruht auf dem angeborenen Vorhandensein oder Nichtvorhandensein zweier Substanzen an der Oberfläche der Erythrozyten. Diese Substanzen, die mit den Buchstaben A und B bezeichnet werden, bestimmen die Blutgruppe. Die roten Blutkörperchen eines Menschen enthalten entweder die agglutinable Substanz A oder B oder beide zusammen, AB, oder keine, 0 (Null). Danach wurden von LANDSTEINER vier Blutgruppen (A, B, AB und 0) unterschieden. Im Serum der Gruppe A befinden sich Agglutinine, die die Erythrozyten der Gruppe B zusammenballen. Man bezeichnet diesen Stoff als Agglutinin β oder Anti-B. Im Serum der Gruppe B befindet sich Agglutinin α oder Anti-A. AB hat keine Agglutinine, 0 besitzt α und β.

Bei der Blutübertragung sind vor allem die Eigenschaften der Erythrozyten des übertragenen Blutes von Bedeutung. Die relativ geringe Menge des übertragenen Blutserums wird im Blut des Empfängers so stark verdünnt, daß die in ihm enthaltenen Agglutinine keine wesentliche Wirkung hervorrufen können. Darum kann das Blut der Blutgruppe 0 im Notfall auf Menschen mit anderen Blutgruppen übertragen werden (Universalspender). Umgekehrt kann auf Menschen der Blutgruppe AB Blut aller Blutgruppen übertragen werden (Universalempfänger). Wegen der dennoch auftretenden geringen Reaktion bei Blut verschiedener Gruppen verwendet man möglichst Spenderblut der gleichen Gruppe.

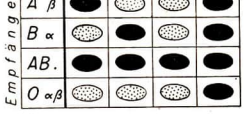
Vor jeder Übertragung muß die Blutgruppe von Spender und Empfänger festgestellt werden. Diese Bestimmung erfolgt mit Testseren. Auf einen Objektträger (Abb. 15) mit zwei Aushöhlungen werden die beiden Seren A (mit Agglutinin β) und B (mit Agglutinin α) gebracht. In jedes Serum kommt ein Tropfen des zu bestimmenden Blutes. Verklumpen beide, handelt es sich um die Blutgruppe AB, verballt nur der Tropfen im Serum A, um die Blutgruppe B, agglutiniert der im Serum B, ist es die Gruppe A. Bei 0 erfolgt keine Agglutination.

Die Verteilung der Blutgruppen ist bei Völkern und Völkergruppen unterschiedlich. In Deutschland beträgt die Häufigkeit der Blutgruppen für A etwa 45%, für B etwa 15%, für AB etwa 5%, für 0 etwa 35%. Die Blutgruppen werden durch Vererbung festgelegt.



(Spenderschema)

Abb. 15
Bestimmung der Blutgruppen
(schwarz: Blut mischbar, punktiert: Blut agglutiniert)



Rh-Faktor. Der zuerst 1940 bei Versuchen mit Rhesusaffen entdeckte Rh-Faktor wurde von besonderer klinischer Bedeutung. Bei etwa 80% der Europäer ist der Rh-Faktor vorhanden, sie sind Rh-positiv (Rh). Die anderen 20% sind rh-negativ (rh).

Überträgt man einem rh-negativen Menschen Rh-positives Blut, können sich im Empfängerblut Antistoffe bilden, die bei einer späteren Übertragung Rh-positiven Blutes dessen Erythrozyten auflösen. Hat beispielsweise eine rh-negative Frau durch Schwangerschaft mit einem Rh-positiven Kind oder durch frühere Transfusion mit Rh-Blut Antikörper gebildet, können diese das Blut des Rh-positiven Kindes auflösen. Dadurch treten oftmals Fehlgeburten ein, jedoch im allgemeinen noch nicht beim 1. oder 2. Kind. Beobachtungen ergaben, daß die meisten rh-negativen Menschen nur wenig Rh-Antikörper bilden, so daß Komplikationen selten sind. Auch im Rh-System gibt es verschiedene Untergruppen.

Bei Tieren sind Blutgruppen lediglich von einigen Haustieren bekannt. Sie haben meist noch zusätzliche Gruppen, Pferdeblut beispielsweise hat sechs Agglutinine. Den menschlichen Blutgruppen am nächsten stehen die der Menschenaffen.

Blutverlust. Blutverluste über 1 l sind lebensgefährlich. Nach größeren Verlusten fehlen die Erythrozyten für die Atemfunktion, vor allem aber fehlt die Flüssigkeit für die Füllung der Gefäße und des Herzens. Dadurch kommt es zum Zusammenbruch des Kreislaufs. Die Flüssigkeit wird vom Körper recht schnell ergänzt, langsamer – etwa nach 20 Tagen – die Erythrozyten. Erst nach Wochen ist die volle Hämoglobinmenge wieder vorhanden (etwa nach 40 Tagen).

Krankheiten des Blutes

Da das Blut als Mittler zwischen den Organen des Körpers dient, geben seine Zusammensetzung und seine Veränderung nicht nur Aufschluß über den Zustand der Blutbildungsorgane, sondern in vielen Fällen auch über Krankheitsprozesse, die sich in anderen Organen abspielen. Außerdem gibt es besondere Blutkrankheiten, bei denen Veränderungen der blutbildenden Organe oder des Blutes im Vordergrund stehen.

Bei den **Anämien** ist der Hämoglobingehalt des Blutes abnorm niedrig. Sie entstehen durch mangelhafte Hämoglobin- oder Erythrozytenbildung, durch große Blutverluste oder gesteigerten Hämoglobinabbau. Eine mangelhafte Hämoglobin- oder Erythrozytenbildung kann verschiedene Ursachen haben. Da im Hämoglobinmolekül Eisen gebunden ist, kann unter anderem Eisenmangel im Organismus zur Anämie führen. Diese Form der Anämie kann durch Zufuhr von Eisenpräparaten geheilt werden. Eine andere Form, die sogenannte perniziöse Anämie, beruht meist auf dem Fehlen des für die Erythrozytenbildung notwendigen Vitamins B_{12}. Durch ständige Zufuhr frischer Leber, in der große Mengen von Vitamin B_{12} enthalten sind, durch dauernde Anwendung von Leberpräparaten oder des reinen Vitamins ist es möglich, an perniziöser Anämie Leidende am Leben und arbeitsfähig zu erhalten. Nahezu alle Infektionskrankheiten führen durch einen Reiz auf die blutbildenden Organe zu einer vorübergehenden Vermehrung der weißen Blutkörperchen (Leukozytose). Die Leukozyten spielen für die Abwehr der in den Organismus eingedrungenen Krankheitserreger eine wesentliche Rolle. Durch Wucherung des Bildungsgewebes der Leukozyten kann es zu einer andauernden Vermehrung der weißen Blutkörperchen kommen. Es werden dann massenweise unreife, funktionell minderwertige Vorstufen der Leukozyten in die Blutbahn abgegeben. Derartige Erkrankungen bezeichnet man als **Leukämien.** Da durch die Wucherung das Bildungsgewebe der Erythrozyten verdrängt wird, kommt es sekundär meist auch zu Anämien. Unbehandelte Leukämien verlaufen tödlich. Röntgenbestrahlungen der Blutbildungsorgane und verschiedene Medikamente führen zu einer Schädigung der wuchernden Zellen und wirken günstig auf den Krankheitsverlauf.

Ist der normale Gerinnungsvorgang bei verschiedenen Blutkrankheiten (z. B. Bluterkrankheit) gestört, dann können selbst kleine Wunden zur Verblutung führen.

Verletzungen der Gefäßwände können zur Blutgerinnung innerhalb der Gefäße, zur Thrombose, führen. Die entstehenden Blutgerinnsel können gefährlich werden, wenn sie das Gefäß verschließen oder durch den Blutstrom von der Gefäßwand losgerissen werden und Schlagadern in Lunge oder Gehirn verstopfen (Embolie). Durch gerinnungshemmende Medikamente läßt sich die Gerinnungsfähigkeit des Blutes herabsetzen.

Gefäßsystem

Angetrieben vor allem durch die Tätigkeit des Herzens, wird das Blut bei allen Säugern in einem geschlossenen Blutgefäßsystem durch den Körper befördert. Die Gefäße, die das Blut aus dem Herzen herausführen, werden Schlagadern **(Arterien)** genannt, die zum Herzen zurückführenden bezeichnet man als Blutadern **(Venen).** Dabei spielt die Beschaffenheit des Blutes keine Rolle. Die feinen Endverzweigungen der Arterien gehen in den Geweben in mikroskopisch feine Haargefäße **(Kapillaren)** über, durch deren Wände der Stoffaustausch erfolgt. Danach sammelt sich das Blut in den Venen.

Blutgefäße. Der Aufbau der größeren Gefäße läßt drei Schichten erkennen (Abb. 16). Innen liegt die Innenhaut, die aus glatten Zellen besteht, an denen das Blut keinen

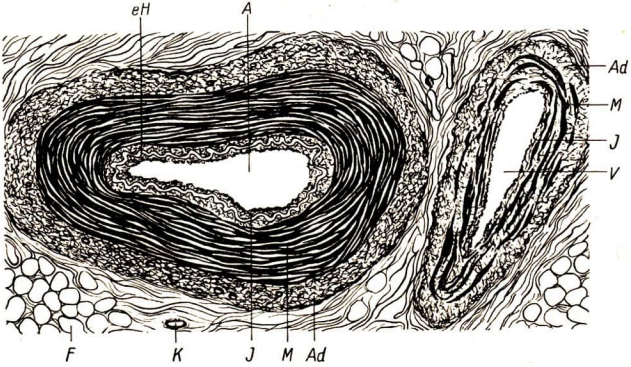


Abb. 16 Gefäße im Querschnitt
A Arterie, Ad locker verfilzte Bindegewebehülle, eH elastische Hülle, F Fettgewebe, I Endothelzellen, K Kapillare, M glatte Muskulatur mit dazwischenliegenden elastischen Fasern, V Vene

Reibungswiderstand findet. Die mittlere Schicht setzt sich aus ringförmig angeordneten glatten Muskelfasern und Bindegewebsfasern zusammen. Sie ist bei den Arterien kräftig, bei den Venen schwach entwickelt. Die Außenhaut besteht aus derbem Bindegewebe, dessen Fasern in der Längsrichtung der Gewebe verlaufen. Die Muskelschicht kann den

Abb. 17
Venenklappen in einer Oberschenkelvene

Querschnitt des Gefäßes verändern und den Bedürfnissen des Kreislaufs anpassen. Die Außenhaut verbindet die Gefäße mit ihrer Umgebung.

Die Veneninnenwand trägt in Abständen taschenartige, herzwärts offene Klappen, die den Rückfluß des Blutes verhindern (Abb. 17).

Die Wand der Kapillaren ist einschichtig (Abb. 16). Die Kapillaren können eine Weite von 5 bis 20 μm besitzen. (Vergleichen Sie diese Weite mit der Größe der Erythrozyten!)

Überall im Körper finden wir Kapillaren. Aber nicht alle sind gleichzeitig und gleichmäßig durchblutet. Je nach Belastung des Organs kann die Durchblutung sehr unterschiedlich sein. So kann die Anzahl der durchbluteten Kapillaren im arbeitenden Muskel auf das 20- bis 50fache steigen.

Das Herz ist ein in die Blutbahn eingeschalteter Hohlmuskel, der sich rhythmisch zusammenzieht und wieder erschlafft und dadurch das Blut in dauernder Bewegung hält. Seine Größe entspricht etwa der geballten Faust seines Trägers, sie ist jedoch stark von Alter, Geschlecht und von der Arbeit abhängig, die es leisten muß. Bei Schwerarbeitern und Sportlern ist das Herz relativ vergrößert.

Das Herz liegt ähnlich wie die Lunge in einer aus zwei Blättern bestehenden geschlossenen sackartigen Hülle, dem Herzbeutel. Das innere Blatt liegt dem Herzen direkt an. Zwischen beiden Blättern befindet sich eine geringe Menge seröser Flüssigkeit. Dadurch kann sich das ständig tätige Herz ohne großen Reibungswiderstand gegen das äußere Blatt des Herzbeutels bewegen (Abb. 18).

Die Herzspitze berührt die vordere Brustwand im 5. Zwischenrippenraum etwas einwärts unter der linken Brustwarze (Farbtafel 2).

Das Herz ist ein Teil des Kreislaufsystems. Sein Aufbau entspricht dem der großen Arterien. Wir unterscheiden drei Schichten, deren innerste das Endokard und deren mittlere das Myokard ist. Die Herzaußenwand (Epikard) entspricht der Außenwand der Blutgefäße.

Die Herzmuskelwand besteht aus den spezifischen Herzmuskelfasern (Abb. 19). Die nicht durch Zellgrenzen getrennten verzweigten Muskelfasern geben dem Organ die Fähigkeit, durch ihre gleichmäßige Kontraktion das Blut fortzubewegen.

Das Herz ist durch eine vollständige Scheidewand in zwei Hälften getrennt. Jede Herzhälfte besteht aus einem Vorhof (Atrium) und einer Herzkammer (Ventrikel). Die rechte Herzhälfte treibt das vom Körper kommende Blut in die Lunge, die linke das von der Lunge kommende in den Körper. Da die Widerstände im Körperkreislauf größer sind als im Lungenkreislauf, ist auch die Muskulatur der linken Herzhälfte stärker entwickelt als die rechte. Sie ist etwa 1 cm stark. In jede Herzhälfte ist ein zweifacher Ventilmechanismus eingebaut, die Herzklappen. Sie verhindern das Zurückströmen des Blutes (Abb. 20).

In die Vorhöfe münden die großen Venen. Aus dem Körper kommt durch die obere und untere Hohlvene das sauerstoffarme Blut, das in der unteren Hohlvene Nährstoffe aus Darm und Leber mitbringt. Die Körperhohlvenen münden in den rechten Vorhof. Die Öffnung zwischen rechtem Vorhof und rechter Herzkammer wird durch eine drei-

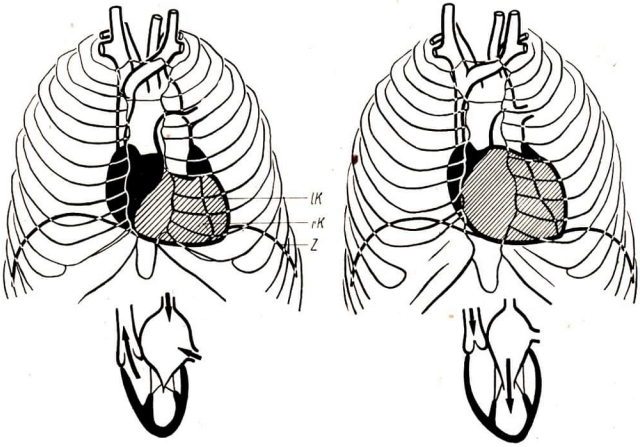


Abb. 18 Lage des Herzens im Brustkorb; a Kammersystole, Vorhof (schwarz) erweitert; unten Schema der Herztätigkeit; lK linke Kammer, rK rechte Kammer, Z Zwerchfell; b Kammerdiastole

zipflige, die zwischen linker Vorkammer und linker Herzkammer durch eine zweizipflige Klappe ventilartig verschlossen (Segelklappen, Abb. 20). Von ihrem freien Rand ziehen dünne, sehnige Fäden zu Muskelvorsprüngen der Kammerwand (Papillarmuskeln, Abb. 20). Diese Anheftungen verhindern ein Zurückschlagen der Segel in die Vorhöfe bei der Kammerkontraktion.

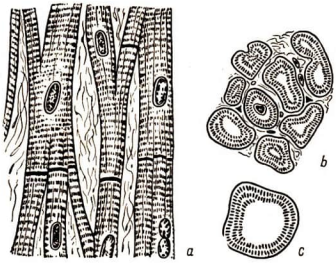


Abb. 19 Herzmuskulatur; a Längsschnitt, b Querschnitt, c Reizleitungsfaser im Querschnitt

Die Bewegung der Segelklappen erfolgt wie die der Taschenklappen passiv durch den Blutstrom. Wird das Blut aus dem Vorhof durch dessen Kontraktion in die Kammern gedrückt, werden die Segelklappen geöffnet. Ist die Herzkammer gefüllt und zieht sich deren Muskulatur zusammen, dann werden die Segelklappen durch den Druck des Blutes in ihre Verschlußstellung gepreßt.

Aus der linken Herzkammer entspringt die Aorta, aus der rechten die Lungenarterie. An der Ursprungsstelle von Aorta und Lungenarterie liegen je drei nach diesen Arterien hin offene halbmondförmige Taschenklappen (Abb. 20). Bei der Kammerkontraktion drängt das ausfließende Blut diese Klappen leicht zur Seite. Ist der Pumpstoß vorüber und die Kammer erschlafft, dann ebbt das Blut aus den elastischen Adern zurück und drängt dabei die Klappen in Sperrstellung.

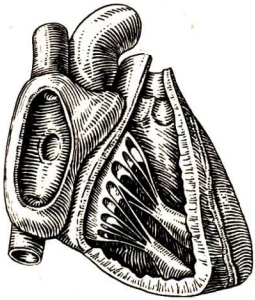


Abb. 20 Rechter Vorhof und rechte Herzkammer (von vorn)

Die ununterbrochene Tätigkeit des Herzens verlangt eine besonders reiche Durchblutung der Herzmuskulatur. Die Gefäße des Herzens heißen Herzkranzgefäße. Die beiden Herzkranzarterien entspringen aus der Aorta unmittelbar nach deren Austritt aus der linken Kammer. Sie ziehen sich mit Verästelungen an der vorderen und hinteren Herzwand bis an die Herzspitze hin. Die Herzkranzvenen vereinigen sich zu einem einzigen großen Gefäß, das in den rechten Vorhof mündet (Abb. 21). Dieser Kreislauf ist der kürzeste unseres Körpers überhaupt. Ihn durchlaufen etwa 10% der Gesamtblutmenge.

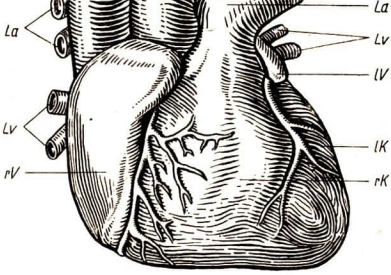


Abb. 21 Herz mit Kranzgefäßen (Vorderansicht) Ab Aortenbogen, La Lungenarterie, lK linke Herzkammer, lV linker Vorhof, Lv Lungenvene, oH obere Hohlvene, rK rechte Herzkammer, rV rechter Vorhof

Reizbildung und Reizleitung. Das Herz besitzt im Gegensatz zu den Skelettmuskeln ein eigenes Reizbildungszentrum und Reizleitungssystem. Dieses besteht nicht aus Nerven, sondern aus modifizierten Muskelfasern, die plasmareicher und fibrillenärmer sind als die übrigen Herzmuskelfasern. Das Reizbildungszentrum liegt an der Einmündung der oberen Hohlvene (Sinusknoten). Von dort ziehen Faserbündel zur unteren Hohlvenenmündung (Abb. 20). Nahe der Vorhofscheidewand liegt ein anderer Knoten, der Vorhofknoten, am Boden des rechten Vorhofs. Von ihm aus geht ein Faserbündel in die rechte Kammer. Dort teilt es sich in zwei Bündel. Eines bleibt in der rechten Kammer, das andere zieht durch die Scheidewand in die linke. Beide versorgen also die gesamte Herzmuskulatur.

Im Reizbildungszentrum bilden sich in der Minute etwa 60 bis 80 Reize. Das Herz arbeitet automatisch, solange es von Blut durchströmt wird. Präparierte Tierherzen können außerhalb des Körpers stundenlang schlagen, wenn sie von Blut oder physiologischer Kochsalzlösung durchströmt werden.

Obgleich das Herz automatisch schlägt, kann seine Tätigkeit auch durch nervöse Reize beeinflußt werden. Es wird durch das vegetative Nervensystem (s. S. 101) versorgt.

Bei extremer Reizung kann die Herztätigkeit ganz aussetzen (Boxhieb, Aufschlagen auf dem Bauch oder auf die Halsseite).

Die Herztätigkeit ist von vielen weiteren Faktoren abhängig, beispielsweise von Regulationen des Hirns, von Hormonen, Muskelarbeit, Wärmeregulation und psychischen Einwirkungen (Angst, Freude, Schreck).

Funktion des Herzens. Die der Herzmuskulatur zugeleiteten Erregungen verursachen eine Kontraktion, die wellenartig von den Vorhöfen über die Herzkammern zur Herzspitze fortschreitet. Dabei kontrahieren sich beide Herzhälften im gleichen Rhythmus. Zu Beginn jeder Herzaktion findet eine Kontraktion der Vorhöfe statt, die durch eine Erregung vom Reizbildungszentrum ausgelöst und von dort zur Vorhofmuskulatur geleitet wurde. Erregungsauslösend wirkt der Druck des Blutes im gefüllten Vorhof. Die Drucksteigerung in den Vorhöfen treibt das Blut durch die sich öffnenden Segelklappen in die erschlafften Herzkammern. Wenn die Erregung bis zur Muskulatur der Herzkammern gelangt, erfolgt sofort die Kontraktion der Kammern. Der Druckanstieg läßt die Segelklappen in ihre Ausgangsstellung zurückschlagen, der Weg zum Vorhof ist verschlossen, die Taschenklappen öffnen sich. Das Blut aus der linken Kammer wird in die Aorta, das aus der rechten Kammer in die Lungenarterie gepreßt. Wenn sich die Herzkammern zusammenziehen, wird die Scheidewand zwischen Vorhöfen und Herzkammern gegen die Herzspitze gezogen. In die dadurch erweiterten Vorhöfe strömt das Venenblut ein. Nach Erschlaffung der Herzkammern herrscht in den Arterien ein größerer Druck als in den Kammern. Dadurch schließen sich die Taschenklappen, der Weg des Blutes zur Herzkammer ist versperrt. Danach tritt eine kurze Pause, die sogenannte Herzpause, ein. Dann beginnt die neue Kontraktionswelle (Abb. 22).

Die Kontraktion des Herzens können wir als feine Erschütterung der Brustwand fühlen. Dieser Herzspitzenstoß entsteht dadurch, daß das Herz bei der Zusammenziehung Form und Lage verändert und dabei mit der Spitzengegend an die vordere Brustwand stößt (Abb. 18).

Hört man die Herztätigkeit ab, dann hört man bei jeder Aktion zwei Töne. Bei der Kammerzusammenziehung entsteht der erste, dumpfere Ton; der zweite, hellere entsteht beim Aneinanderschlagen der Taschenklappen. Die Kontraktion der Vorkammern dauert 0,1 sec., die der Herzkammern

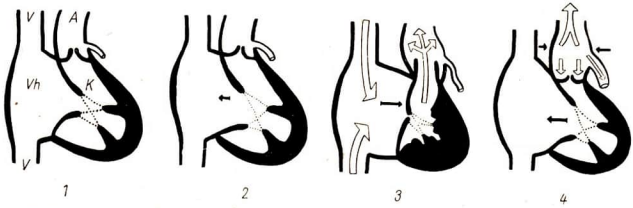


Abb. 22 Herztätigkeit in 4 Phasen (Schema)
1 Herzpause, 2 Vorhofsystole, 3 Kammersystole mit gleichzeitiger Vorhofdiastole, 4 Kammerdiastole; A Arterie, K Kammer, V Hohlvenen, Vh Vorhof
Die weißen Pfeile geben die Bewegung des Blutes an, die schwarzen Pfeile die der Ventilebene.

0,3 sec. Dann ruhen Vorkammer und Kammer etwa 0,4 sec, die Herzpause tritt ein. Die Kammerpause (0,4 sec + 0,1 sec) ist also fast doppelt, die der Vorkammer (0,4 sec + 0,3 sec) siebenmal so lang wie die Kontraktionszeit.

Die normale Anzahl der Herzschläge des Menschen liegt beim Erwachsenen zwischen 60 und 80 in der Minute (Neugeborenes 130, Kind von 10 Jahren 90). Sie wechselt aber stark bei verschiedener Tätigkeit des Menschen (Sport, anstrengende körperliche Tätigkeit, psychische Einflüsse, Temperatur). Sie ist schon im Stehen um etwa 10 Schläge höher als im Liegen. Bei jedem Herzschlag werden etwa 70 cm³ Blut aus dem Herzen ausgeworfen. Bei 70 Herzschlägen je Minute werden also 4900 cm³ Blut in die Aorta gepumpt. Fast die gesamte Blutmenge durchströmt demnach in jeder Minute einmal das Herz.

Wie jeder Muskel kann auch der Herzmuskel durch planmäßige Übung gestärkt werden. Regelmäßige, vielseitige sportliche Betätigung, vor allem Schwimmen, kräftigen bei langsamer Leistungssteigerung das Herz. Das zeigt sich in besseren sportlichen Ergebnissen bei gleicher oder geringerer Anstrengung, anatomisch in der Zunahme des Herzgewichts, physiologisch in niederer Herzschlagzahl bei größerem Schlagvolumen; das bedeutet eine Kraftersparnis für das Herz, das bei Frequenzüberhöhung durch erhöhte Arbeitsleistung bis zu 35 l Blut je Minute auswerfen kann.

Die Abhängigkeit des Herzgewichts von seiner Leistung

(Herzgewicht je kg Körpergewicht)

Stallkaninchen	2,4 g	Schäferhund (untrainiert)	7,1 g
Hase	7,7 g	Schäferhund (trainiert)	9,2 g
Hausente	6,9 g	Mensch (untrainiert)	4,8 g
Wildente	11,0 g	Mensch (trainiert)	8,0 g

Die bei der Erregung der Herzmuskulatur auftretenden elektrischen Potentiale können durch feine Meßinstrumente abgeleitet und registriert werden.

Für die Herztätigkeit von größter Bedeutung ist die Tätigkeit der elastischen Arterien. Sie unterstützt die Herzarbeit wesentlich. Beim stoßweisen Auswerfen des unelastischen Blutes gibt die elastische Gefäßwand nach und dehnt sich. Dabei wird die kinetische Energie des strömenden Blutes in potentielle der elastischen Arterienwand verwandelt. Nach der Kammerkontraktion ist der Druck des Herzens geschwunden, aber in der Aortenwand ist Energie gespeichert. Die Aortenwand zieht sich dann zusammen und transportiert so das Blut weiter. Dabei pflanzt sich die Druckwelle fort (Abb. 22). Die Druckwelle, die mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 6 m in der Sekunde über die

Arterien hinläuft, kann man als Pulswelle („Schlagadern") fühlen. Sie ist aber nicht mit der Geschwindigkeit des Blutes gleichzusetzen (20 bis 60 cm/sec in der Aorta). Das Blut steht also in der Schlagpause des Herzens nicht still; der zunächst rhythmische Fluß wird annähernd gleichmäßig („Windkesselwirkung der Aorta").

Blutdruck. Mit zunehmender Entfernung der Gefäße vom Herzen nimmt der Blutdruck ab. Die Ursache liegt in der Vergrößerung des Gesamtquerschnitts der Gefäße und im wachsenden Reibungswiderstand in den engeren Gefäßen.

Der Blutdruck in der Armarterie beträgt bei der Kammerkontraktion normal etwa 120 Torr, bei der Erschlaffung 80 Torr. Mit zunehmendem Alter nimmt der Blutdruck zu.

Aufgaben und Fragen

1. Besitzen alle Wirbeltiere kernlose Erythrozyten?
2. Stellen Sie eine Übersicht der vielfältigen Funktionen des Blutes auf und belegen Sie diese mit Beispielen!
3. Erklären Sie die Funktion der Venenklappen!
4. Erläutern Sie durch schematische Skizzen die Herzfunktion!

Der Blutkreislauf

Die Fische besitzen einen einfachen Kreislauf. Durch das Herz strömt venöses Blut. Das Blut kreist nur langsam im Körper. Bei den luftatmenden Wirbeltieren wird infolge der Lungenatmung und der Erhöhung des Stoffwechsels ein rascherer Kreislauf notwendig. An Stelle einer Herzkammer werden zwei Kammern ausgebildet, die anatomisch verbunden sind, aber getrennt arbeiten. Es bildet sich das in der Phylogenese immer vollständiger entwickelte Nebeneinander zweier Kreisläufe (siehe vordere innere Umschlagseite).

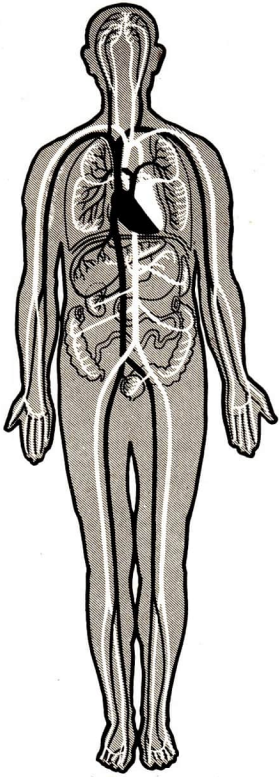


Abb. 23 Hauptblutgefäße (Arterien weiß, Venen schwarz)

Das aus der Lunge kommende sauerstoffreiche Blut wird aus der linken Herzkammer in die Aorta gepumpt, die als aufsteigende Aorta bogenartig nach links oben hinten steigt, sich dann im Aortenbogen abwärts krümmt und als absteigende Aorta vor der Wirbelsäule durch die Brusthöhle zieht (Farbtafel 6). Nach den beiden Kranzgefäßen entspringen außerhalb des Herzbeutels

aus dem Aortenbogen die drei großen Gefäße, die zum Kopf und zu den Armen führen, zuerst als gemeinsamer Stamm, aus dem die rechte Schlüsselbein- und Halsschlagader, dann die linke Hals- und Schlüsselbeinschlagader hervorgehen (Abb. 23 u. Farbtafel 6).

Von der absteigenden Arterie führen Äste zu den Brusteingeweiden und zur Brustwand. Die Aorta tritt dann durch das Zwerchfell in den Bauchraum, hier zweigen Arterien zum Magen, zur Leber, zur Milz, zu den Nieren, Nebennieren und anderen Bauchorganen ab. Etwa in Höhe des 4. Lendenwirbels gabelt sich die Aorta in die beiden großen Hüftschlagadern, die sich danach nochmals in die äußere und innere Hüftschlagader teilen, die äußeren verlaufen zu den Beinen, die inneren versorgen die Beckenorgane.

Die Arterien verzweigen sich in den Organen zu immer feineren Ästen und schließlich bis zu den Kapillargefäßen. Durch die bis dahin eingetretene Verlangsamung des Blutstromes (0,05 cm/sec) ist eine wichtige Voraussetzung für den Stoffaustausch durch die Kapillarwände geschaffen (Blutdruck 20 bis 25 Torr). Bei einem Durchmesser von etwa 8 bis 10 μm können die roten Blutkörperchen die Kapillaren nur hintereinander passieren. Da das Lumen der Kapillaren durch nervöse und hormonale Reize geändert werden kann, haben sie große Bedeutung für die Mechanik des Kreislaufs und die gesamte Herztätigkeit. In den Kapillargefäßen kann durch verschließbare Querverbindungen zwischen kleinen Arterien und Venen, die arteriovenösen Kurzschlüsse, der Blutstrom reguliert werden. Sind die Querverbindungen geöffnet, wird das Organ weniger stark durchblutet (z. B. Darmzotten). Es fließt direkt in die Venen ab, ohne die Kapillaren zu durchströmen. So werden tätige Organe besser durchblutet als solche, die gerade nicht beansprucht werden.

Das kohlendioxidreiche Blut sammelt sich in kleinen Venen, die sich zu größeren vereinigen. Das venöse Blut des Kopfes, des Halses, der Arme und der Brust sammelt sich in der oberen Hohlvene. Aus den Beinen und aus dem Bauch fließt es in die untere Hohlvene, die fast parallel zur absteigenden Aorta verläuft. Beide Hohlvenen münden in die rechte Herzvorkammer. Viele Venen liegen in der Nähe der Arterien und sind mit ihnen durch Bindegewebe verbunden. Jede Pulswelle drückt auf die Begleitvenen und entleert sie. Wegen der Venenklappen kann das Blut aber nur in die der Pulswelle entgegengesetzte Richtung fließen. So treibt der Puls der anliegenden Arterien das Venenblut herzwärts. In ähnlicher Weise wirkt der Muskeldruck bei der Kontraktion der Muskulatur auf die Venen ein. Im Brustraum wirken zusätzlich der dort herrschende Unterdruck und die Saugwirkung des Herzens (Venendruck im Brustraum 0 bis 20 Torr).

Von der rechten Herzvorkammer strömt das Blut in die rechte Herzkammer, die es dann in den Lungenkreislauf drückt. Die Lungenarterie enthält venöses Blut. Sie teilt sich in zwei Äste, einen für die linke und einen für die rechte Lunge. Jeder Arterienast verzweigt sich in immer feinere Arterien und schließlich in Kapillaren, die die Lungenbläschen umgeben. Hier vollzieht sich der Gasaustausch. Das sauerstoffreiche arterielle hellrote Blut strömt durch mehrere Lungenvenen in den linken Vorhof. Von hier gelangt es in die linke Herzkammer, die es wieder in den Körperkreislauf pumpt.

In den Körperkreislauf ist der Pfortaderkreislauf als Nebenschluß eingeschaltet (Abb. 23 u. Farbtafel 7). Die Venen aus den Kapillaren des Magen-Darm-Kanals und der Milz münden nicht unmittelbar in die untere Hohlvene, sondern vereinigen sich zunächst in der Pfortader, die zur Leber führt. Hier strömt das Blut nochmals durch ein

Kapillarsystem, wobei es in enge Berührung mit den Leberzellen kommt. Dabei wird ein großer Teil im Darm resorbierter Nährstoffe von den Leberzellen aufgenommen und weiterverarbeitet. Die Leberkapillaren vereinigen sich schließlich zu kleinen Venen, die sich zu den großen Lebervenen zusammenschließen, die in die untere Hohlvene münden.

Aufgaben und Fragen

1. Begründen Sie, warum man nicht unmittelbar nach dem Essen schwimmen soll; warum geistiges Arbeiten nach den Hauptmahlzeiten schwerfällt (Ermüdung)!
2. Skizzieren Sie ein Schema des Verlaufs der wichtigsten Blutgefäße!
3. Erläutern Sie den Verlauf des Pfortaderkreislaufs!

Lymphe und Lymphgefäßsystem

Die Lymphe entsteht aus Blutplasma, das durch die dünnen Wände der Kapillaren hindurch in die Gewebsspalten gelangt. Die aus den Zellzwischenräumen austretende Lymphe wird entweder unmittelbar von Blutgefäßen wieder aufgenommen oder sammelt sich in den Gewebsspalten. Von hier aus wird sie durch besondere Gefäße (Lymphgefäße) dem Blutkreislauf wieder zugeführt. Die Lymphgefäße sind netzartig untereinander verbunden und schließen sich in ihrem Verlauf vielfach den großen Blutgefäßen an. Die aus den Darmzotten nach Aufnahme fettreicher Speisen abfließende

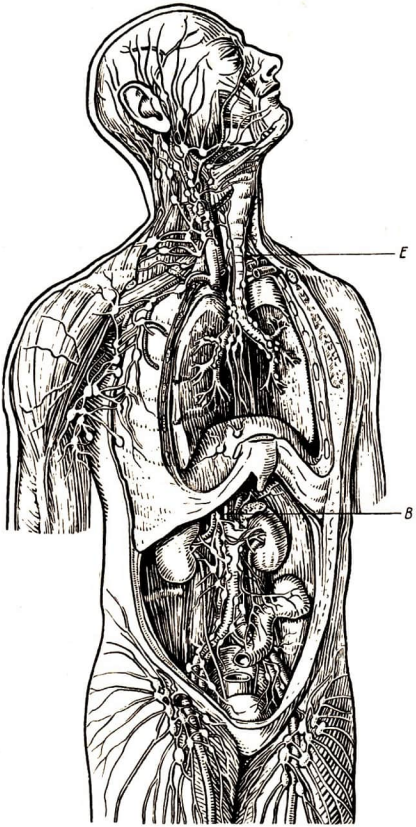


Abb. 24 Lymphbahnen und Lymphknoten des Körpers
B Beginn des Milchbrustgangs, E Ende des Milchbrustgangs

Lymphe, der Chylus, ist mit Nährstoffen beladen und durch Fetttröpfchen milchig getrübt. Er sammelt sich in den Chylusgefäßen der Darmzotten. Im Milchbrustgang laufen die Lymphgefäße der unteren Körperhälfte und ein Teil der Lymphgefäße der oberen Körperhälfte zusammen. Der Milchbrustgang, der keine Beziehungen zu den Milchdrüsen hat, liegt vor der Wirbelsäule und mündet in Zuflußvenen der oberen Hohlvene. In 24 Stunden durchfließen ihn etwa 2 Liter Lymphe.

Die Fortbewegung der Lymphe erfolgt vor allem durch den Druck der Eingeweide- oder Skelettmuskulatur auf die Lymphgefäße. Taschenklappen verhindern ein Zurückfließen, so daß die Lymphe jeweils nur in einer Richtung fließt. Auch die Atembewegung und die Pulsation der Blutgefäße, an denen die Lymphgefäße verlaufen, tragen zur Fortbewegung der Lymphe bei.

In den Verlauf der Lymphgefäße sind Lymphknoten eingeschaltet. Sie liegen besonders zahlreich im Rachen (Rachen- und Gaumenmandeln), im Gekröse, in den Achselhöhlen, an den Lungenwurzeln und in der Leistengegend (Abb. 24 u. 25). Die Lymphknoten sind Filter für Fremdkörper (Staub, Kohleteilchen u. a.); außerdem werden in ihnen die in die Lymphbahn eingedrungenen Bakterien aufgefangen. Die Bakterien können in den Lymphknoten eine Entzündung verursachen, die sich in einer schmerzhaften Schwellung der Lymphknoten äußert. In den Lymphknoten werden die Lymphozyten gebildet und in die Lymphe abgegeben. Sie gelangen durch den Milchbrustgang in das Blut.

In der Milz werden ebenso wie in den Lymphknoten Fremdkörper und Bakterien aufgefangen und Lymphozyten gebildet. In der Milz werden auch rote Blutkörperchen

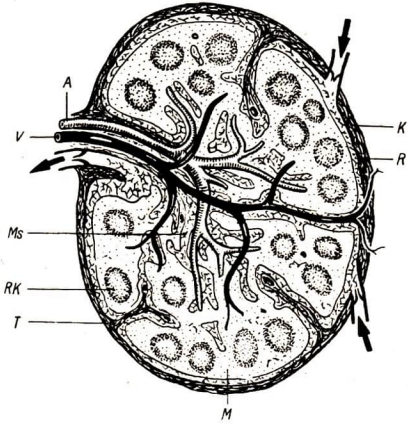


Abb. 25
Schema eines Lymphknotens
A Arterie,
K Kapsel,
M Marksubstanz,
Ms Marksinus (Markerweiterung),
R Randsinus (Randerweiterung),
RK Rindenknötchen,
T Trabekel (Bälkchen) mit Gefäßen,
V Vene

abgebaut. Sie ist wie die Leber ein Blutspeicherorgan. Während der Embryonalentwicklung werden in der Milz Erythrozyten gebildet.

Unter krankhaften Bedingungen kann es zur Ansammlung von Lymphflüssigkeit in den Zwischenzellräumen kommen (Ödem). Dabei schwillt das Gewebe an.

Aufgaben und Fragen

1. Bleiben Sie eine Weile ruhig sitzen oder liegen! Zählen Sie Ihren Puls! Zählen Sie nach 20 Kniebeugen wieder! Vergleichen Sie und begründen Sie!
2. Legen Sie die Finger auf die gut sichtbaren Gefäße am Handrücken! Warum ist in ihnen kein Pulsschlag zu fühlen?
3. Nennen Sie Tiere, die kein Blut haben! Wie gehen bei ihnen Atmung und Ernährung vor sich?
4. Warum fließt das Blut in den Kapillaren langsamer als in den Venen?
5. Warum ist der Blutdruck in den Venen niedriger als in den Kapillaren?
6. Binden Sie die Schlagadern eines Armes für einige Minuten ab! Verfolgen Sie den Lauf der Venen an Hand und Unterarm! Welche Wirkung haben enge Strumpfbänder in Kniestrümpfen?

Innere Sekretion

Mit der Entwicklung vom einzelligen zum mehrzelligen Organismus bildeten sich Regulationssysteme aus, welche die Tätigkeit der Organe koordinieren. Zellen und Organe stehen untereinander in Wechselbeziehungen, die einerseits durch die regulierende Tätigkeit des Nervensystems hergestellt, andererseits durch das Blut gesteuert werden. Viele Organe sondern Substanzen in das Blut ab, die die Funktionen anderer Organe beeinflussen. Wir haben bereits bei der Betrachtung des Blutkreislaufs und der Atmung die große Bedeutung des bei der Atmung entstehenden Kohlendioxids kennengelernt. Das empfindliche Atemzentrum reagiert auf jede Veränderung des Kohlendioxidgehaltes im Blut. Es wird durch chemische Reize gesteuert. Die Darmschleimhaut bildet Sekretin, das auf dem Blutwege die Tätigkeit der Bauchspeicheldrüse anregt. Die Bauchspeicheldrüse kann jedoch auch direkt durch das Nervensystem zur Sekretion veranlaßt werden.

Das Gastrin hält die durch Eiweiß reflektorisch ausgelöste Salzsäure-Pepsin-Sekretion des Magens aufrecht. Auch die Zottenbewegung des Dünndarms wird durch in der Darmwand selbst gebildete Anregungsstoffe gesteuert. Bei der Übertragung der Erregung von den Nervenendigungen auf die Erfolgsorgane sind ebenfalls chemische Stoffe beteiligt.

Wir sehen, daß die Tätigkeit vieler Organe und Zellen durch feinste chemische Reize gesteuert wird.

Von besonderer Bedeutung für die Ausbildung und Funktion der Organe sind die Sekrete der Hormondrüsen (Hormone). Diese geben ihr Sekret direkt an das Blut ab im Gegensatz zu den Drüsen, die ihr Sekret an die innere oder äußere Oberfläche des Organismus abgeben. Daher werden sie als Drüsen mit innerer Sekretion (Inkretdrüsen oder innersekretorische Drüsen) bezeichnet. Sie besitzen keine Ausführungsgänge und sind von vielen Kapillaren umgeben, die das Inkret aufnehmen.

Hormone sind körpereigene, hoch wirksame Stoffe, die wirkungs-, aber meist nicht artspezifisch sind. Sie ähneln in mancher Hinsicht den Vitaminen, nur werden sie stets im

Körper gebildet. In den meisten Fällen wirken sie entfernt von den Organen, in denen sie gebildet werden. Ihr Transport erfolgt durch das Blut. Sie werden bereits in geringen Mengen wirksam; zum Beispiel werden täglich etwa 0,4 mg Schilddrüsenhormone gebildet (Hormonspiegel etwa 10 mg).

Die Wirkungsweise der Hormone wurde vor allem durch krankhafte Erscheinungen bei Über- oder Unterproduktion der Inkretdrüsen erkannt. Im Tierversuch hat die experimentelle Forschung wichtige Ergebnisse erzielt. Man untersuchte die Ausfallserscheinungen bei operativer Entfernung und Wiedereinpflanzung der Drüsen. Durch Einpflanzen frischen tierischen Drüsengewebes, durch Einspritzen von Drüsenextrakten, teilweise auch durch Verfüttern von Drüsengewebe lassen sich Ausfallserscheinungen wieder beheben.

Chemisch stellen die Hormone keine einheitliche Stoffgruppe dar. In einigen Fällen handelt es sich um Eiweißkörper. Diese lassen sich nicht über den Magen-Darm-Kanal verabreichen, da sie dort abgebaut werden. Andere sind nicht so kompliziert gebaut, ihre Struktur ist bekannt. Sie können synthetisch hergestellt werden. Eingepflanzte Drüsengewebe sind nur begrenzte Zeit wirksam, weil sie keine Hormone erzeugen und bald resorbiert werden. Da die Hormone innerhalb der Wirbeltiere nicht artspezifisch sind, kann man sie aus tierischen Drüsen gewinnen und zur Behandlung kranker Menschen anwenden (Insulin).

Zu den Drüsen mit innerer Sekretion gehören: Hypophyse, Schilddrüse, Epithelkörperchen, Langerhanssche Inseln der Bauchspeicheldrüse, Nebennieren, Keimdrüsen, Thymus, Epiphyse. Die Hormone stehen in vielfacher gegenseitiger Wechselwirkung, teils wirken sie fördernd, teils hemmend aufeinander.

Schilddrüse. Die Schilddrüse liegt vor der Luftröhre etwas unterhalb des Schildknorpels (Farbtafel 2). Sie ist 20 bis 30 g schwer und besteht aus einer Unmenge bis 0,5 mm großer Bläschen, deren Wand von einem einschichtigen Epithel gebildet wird. Dieses scheidet in die Bläschen eine eiweißreiche Flüssigkeit ab, in der das Hormon als Thyreoglobulin enthalten ist. Das Thyreoglobulin besteht aus einer Wirkgruppe (dem jodhaltigen Thyroxin) und einem Eiweißkörper (Globulin) als Trägersubstanz. Das Thyroxin ist in seiner Struktur bekannt und kann synthetisch hergestellt werden.

Das Schilddrüsenhormon regelt vor allem den Stoffwechsel der Zellen. Es reguliert die Intensität des Stoffwechsels und paßt ihn den jeweils gegebenen Erfordernissen an. Es wirkt überwiegend auf den Kohlenhydratumsatz, aber auch auf den Fett- und Eiweißumsatz beschleunigend. Dadurch hat es Einfluß auf das Wachstum. Die Tätigkeit der Schilddrüse wird von einem Hormon der Hypophyse geregelt. Reichliche Thyroxinsekretion hemmt, geringe fördert die Ausschüttung dieses Hypophysenhormons. So hält sich der Hormonspiegel relativ konstant.

Beim Fehlen des Schilddrüsenhormons durch krankhafte Schädigung der Schilddrüse oder nach vollkommener operativer Entfernung sinkt der Stoffumsatz; Wachstum und Entwicklung des Körpers werden gehemmt. Bei Kindern hat das Zwergwuchs zur Folge. Sie bleiben körperlich und geistig auf einer kindlichen Stufe stehen (Kretinismus). Bei Erwachsenen kommt es zu einer Abnahme der körperlichen und geistigen Regsamkeit, zur teigigen Anschwellung der Haut und infolge der Herabsetzung der Verbrennungsvorgänge zu einer Gewichtszunahme (Myxödem). Die Körpertemperatur sinkt. Durch Verabreichung von Hormonpräparaten lassen sich diese Erscheinungen beheben.

Die Basedowsche Krankheit beruht auf einer Überfunktion der Schilddrüse. Der Stoffumsatz ist enorm gesteigert. Trotz reichlicher Nahrung tritt Abmagerung ein. Herzschlag und Atmung sind beschleunigt, die Körpertemperatur ist überhöht; die Erkrankten

sind leicht erregbar. Ein kennzeichnendes Symptom ist das Hervortreten der Augäpfel. Durch operative Verminderung des Drüsengewebes oder durch medikamentöse Hemmung der Hormonproduktion lassen sich auch diese Krankheitserscheinungen beheben.

Die Schilddrüse kann sich krankhaft vergrößern, ohne entsprechend mehr Hormon zu bilden (z. B. bei Jodmangel in Gebirgsgegenden). Sie ist dann äußerlich als Anschwellung unter der Haut des Halses sichtbar (Kropf). Sie kann durch mechanische Verdrängung der Luftröhre gefährlich werden und wird dann operativ verkleinert.

Epithelkörperchen. Aus dem Epithel der während der Embryonalentwicklung vorübergehend angelegten 3. und 4. Kiementaschen entstehen zwei innersekretorische Organe: die Epithelkörperchen und der Thymus.

Die Epithelkörperchen befinden sich an der Hinterfläche der Schilddrüse (Nebenschilddrüsen). Es sind 2 Paar kleine, ovale Körperchen von höchstens Erbsengröße. Sie wiegen zusammen etwa 0,10 bis 0,15 g. Ihr Hormon, das Parathormon, ein eisen- und schwefelhaltiger Eiweißkörper, reguliert den Kalziumgehalt des Blutes. Es hat damit zugleich wesentlichen Einfluß auf den Phosphorstoffwechsel. Beim Ausfall des Hormons sinkt der Kalziumspiegel des Blutes. Die Folge ist eine Übererregbarkeit des gesamten Nervensystems, die zu lang anhaltenden Krämpfen führt (Tetanie). Durch Zufuhr des Hormons kann man diese Erscheinungen beheben.

Thymus (Bries). Die Thymusdrüse liegt auf dem Herzbeutel und reicht etwa bis zur Schilddrüse. Ihre Bedeutung ist recht umstritten. Ungefähr im 12. Lebensjahr erreicht sie mit etwa 40 g ihr größtes Gewicht. Unter dem Einfluß der Keimdrüsen wird danach das Drüsengewebe abgebaut und durch Fettgewebe ersetzt. Ein Hormon ist bisher nicht bekannt. Auf Grund von Tierversuchen nimmt man an, daß der Thymus das Längenwachstum der Knochen fördert und die Keimdrüsenentwicklung hemmt. Mit Thymus gefütterte Kaulquappen kommen nicht zur Metamorphose, wachsen aber zu abnormer Größe heran.

Langerhanssche Inseln der Bauchspeicheldrüse. Die Inseln sind reichlich durchblutete Zellgruppen von 0,05 bis 0,5 mm Durchmesser. In diesen Zellen werden zwei Hormone gebildet, die antagonistisch wirken, das Insulin und das Glukagon. Beide sind an der Regelung des Zuckerstoffwechsels beteiligt. Insulin begünstigt die Bildung von Glykogen aus Blutzucker in der Leber und Muskulatur und bewirkt dadurch das Absinken des Blutzuckerspiegels auf Normalwerte (um 0,1%). Seine Gegenspieler sind das Glukagon und das Adrenalin des Nebennierenmarks. Sinkt der Zuckerspiegel, beispielsweise durch erhöhte Muskeltätigkeit, werden vermehrt Glukagon und Adrenalin ausgeschüttet, unter deren Wirkung aus dem Glykogen wieder Traubenzucker gebildet wird, der dann für weitere Energiegewinnung zur Verfügung steht.

Mangel an Insulin führt zum Ansteigen des Zuckerspiegels und zu mangelhafter Verwertung der Kohlenhydrate. Infolge des zu hohen Zuckergehaltes im Blut wird Zucker im Harn ausgeschieden. Man bezeichnet diese Krankheit als Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus). Durch dauernde, geregelte Injektion von Insulin, das aus den Bauchspeicheldrüsen von Schlachttieren gewonnen wird, und strenge Diät lassen sich die Symptome der Krankheit beseitigen.

Nebennieren. Die paarigen, je etwa 10 bis 18 g schweren Organe sitzen dem oberen Nierenpol kappenförmig auf (Farbtafel 3). Sie bestehen aus dem Mark und der Rinde.

Beide Schichten bilden Hormone. Die Hormone der Markschicht, Adrenalin und Noradrenalin, üben nahezu gleiche vielfältige Stoffwechselfunktionen aus. Als Gegenspieler des Insulins erhöhen sie den Blutzuckerspiegel durch Anregung des Abbaus des in der Muskulatur und der Leber gespeicherten Glykogens. Das Adrenalin, dessen Aus-

schüttung vom Nervensystem gesteuert wird, führt im Blutkreislauf zur Gefäßverengung in ruhenden, unter Umständen zur Erweiterung in tätigen Gefäßen, zur Blutdrucksteigerung und zur Beschleunigung und Verstärkung des Herzschlags. Die glatte Muskulatur in den Wandungen des Darms und der Bronchien erschlafft, die Pupillen erweitern sich unter dem Einfluß des Adrenalins.

Die vielfältigen Wirkungen des Adrenalins nutzt man in der Medizin. Man verwendet es zur Anregung des Herzens und zur Steigerung eines abnorm niedrigen Blutdrucks. Bei Operationen mit lokaler Betäubung wird es gespritzt, um die Blutgefäße im Operationsgebiet zu verengen. Dadurch wird die Blutung verringert und das Abströmen des Betäubungsmittels verlangsamt.

Adrenalin wurde als erstes Hormon synthetisch gewonnen.

Die Kenntnisse über die Hormone der Nebennierenrinde haben sich in den letzten Jahren stark erweitert. Das Cortin besteht aus einer großen Zahl verschiedener Substanzen, von denen bisher etwa 30 isoliert wurden. Man kann die Hormone der Nebennierenrinde in drei Gruppen einteilen:

Hormone, die auf den Mineral- und Wasserstoffwechsel wirken (vor allem auf Na, K und Cl),
Hormone, die vor allem auf den Kohlenhydratstoffwechsel wirken,
Hormone, die auf Eiweißstoffwechsel und Geschlechtsfunktion wirken.

Schon geringe Ausfälle der Rindenhormone führen zu schweren Störungen im gesamten Stoffwechselgeschehen.

Keimdrüsen. In den Ovarien und Hoden werden neben den Keimzellen auch Hormone gebildet. Die Sexualhormone, die naturgemäß bei beiden Geschlechtern verschieden sind, besitzen die gleiche chemische Grundstruktur. Beide sind für die Entwicklung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale (z. B. Unterschiede im Körperbau, Stimmlage) von entscheidender Bedeutung.

Das männliche Geschlechtshormon bewirkt die Ausprägung des männlichen Körperbaus. Ausfall des Hormons vor der Geschlechtsreife bedingt Ausbleiben der sekundären Geschlechtsmerkmale, Riesenwuchs und Fettsucht.

Die weiblichen Sexualhormone, das Follikel- und Gelbkörperhormon, steuern die zyklischen Veränderungen der Uterusschleimhaut (s. S. 58). Beim Fehlen der Hormone kommt es zu schweren Ausfallserscheinungen, bei Jugendlichen werden die sekundären Geschlechtsmerkmale nicht ausgebildet. Es treten Änderungen des Verhaltens und verstärktes Längenwachstum auf.

Hypophyse. Die Hypophyse (Hirnanhangdrüse; Abb. 49 u. 50) ist etwa 0,6 bis 0,8 g schwer und kirschkerngroß. Sie liegt an der Unterfläche des Hirns im Türkensattel, einer Vertiefung des Keilbeins. Sie ist durch einen Stiel mit dem Zwischenhirn verbunden und gliedert sich in drei Abschnitte. Der Hinterlappen entwickelt sich aus dem Boden des Zwischenhirns (Neurohypophyse). Ihm entgegen wächst aus dem embryonalen Rachendach der Vorderlappen (Adenohypophyse). Zwischen beiden entsteht aus Vorderlappensubstanz der beim Menschen wenig entwickelte Zwischenlappen. In ihrer Gesamtheit ist die Hypophyse das hormonale Zentralorgan, von dem aus im Zusammenwirken mit der Großhirnrinde über das Zwischenhirn fast alle innersekretorischen Drüsen gesteuert werden.

Bisher wurden mindestens 6 Hormone aus dem Vorderlappen isoliert. Als einziges wirkt das Wachstumshormon direkt auf die Körperzellen, die restlichen wirken über andere endokrine Drüsen. Bei Überfunktion des Wachstumshormons kommt es in der Jugend u. a. zu Riesenwuchs, bei Unterfunktion zu proportionalem Zwergwuchs (viele Liliputaner). Die übrigen Hormone regen die Funktionen der

Nebennierenrinde und der Schilddrüse an, als geschlechtsunspezifische Hormone steuern sie bestimmte Funktionen der Ovarien und Hoden. Beim weiblichen Geschlecht veranlassen sie die normale periodische Tätigkeit der Ovarien und damit der Uterusschleimhaut, beim männlichen Geschlecht beeinflussen sie vor allem die Samenreifung. Während der Schwangerschaft und der Milchdrüsentätigkeit wird ein Milchabsonderungshormon wirksam (Prolaktin).

Die Ausschüttung der übergeordneten Hormone erfolgt in Wechselwirkung mit der Sekretion der anderen Hormondrüsen. Ihre starke Sekretion hemmt, ihre schwache fördert die Ausschüttung des entsprechenden Vorderlappenhormons. So wird der Hormonspiegel ständig reguliert.

Der Hypophysenzwischenlappen bildet bei niederen Vertebraten (Schollen, Fröschen, Chamäleon u.a.) ein Pigmenthormon, das den raschen Farbwechsel steuert. Der Reiz wird durch die Lichteinwirkung vor allem auf Netzhautzellen ausgelöst. Beim Menschen wird diese Funktion nicht mehr ausgeübt.

Aus dem Hypophysenhinterlappen sind zwei Hormone bekannt. Das eine (Vasopressin) wirkt blutdrucksteigernd und reguliert zugleich die Wasserausscheidung in den Nieren. Es fördert die Resorption des Wassers aus den Harnkanälchen in das Blut und hemmt so die Wasserausscheidung. Der Ausfall dieses Hormons bewirkt die Ausscheidung enormer Harnmengen. Das zweite Hormon (Oxytoxin) bewirkt die Kontraktion des Uterus (Wehen bei der Geburt). Alle Hypophysenhormone sind Eiweiße. Regulierend für die normale Tätigkeit wirkt das zentrale Nervensystem. Während im Vorderlappen die Hormone unmittelbar gebildet werden, ist der Hinterlappen nur Speicher- und Abgabeorgan der in Teilen des Zwischenhirns gebildeten Hormone (Neurosekretion).

Epiphyse. Die Funktion der Epiphyse oder Zirbeldrüse ist noch weitgehend unbekannt. Sie bildet sich etwa vom 7. Lebensjahr an zurück. Sie hat hemmenden Einfluß auf die Geschlechtsentwicklung. Verfrühter Funktionsausfall (des unbekannten Hormons!) führt zu verfrühter Geschlechtsreife. Wahrscheinlich hemmt die Epiphyse die Bildung der Hypophysenhormone, welche die Keimdrüsensekretion regulieren.

Durch die Erforschung der Funktionen der Hormondrüsen ist es heute bereits möglich geworden, viele Krankheiten zu heilen, die früher als unheilbar galten. Durch regelmäßige Zufuhr von Schilddrüsenpräparaten beispielsweise lassen sich die meisten bei der Unterfunktion der Schilddrüse auftretenden Krankheitserscheinungen günstig beeinflussen. Die früher regelmäßig zum Tode führende Zuckerkrankheit kann durch Insulineinspritzungen heute wirksam bekämpft werden. Nicht weniger wichtig sind die Erfolge bei der Anwendung der wissenschaftlichen Kenntnisse von der Wirkung der Hormone in der Tierzucht. Durch Zufuhr bestimmter Hormone oder durch Entfernung einer innersekretorischen Drüse gelingt es, die Entwicklung von Tieren in die von uns gewünschte Richtung zu lenken. Kastrierte männliche Tiere beispielsweise liefern mehr Fett und sind ruhigere Arbeitstiere. Mit Hilfe von Hormonen läßt sich das Wachstum von Tieren steigern; Eiablage und Milcherzeugung werden erhöht. Auch die Fruchtbarkeit, die Entwicklung des Gefieders und des Felles kann man durch Zufuhr geeigneter Hormone erhöhen.

Urogenitalsystem

Zum Urogenitalsystem gehören die Ausscheidungs- und Geschlechtsorgane. Sie entstehen sowohl stammesgeschichtlich wie auch in der Embryonalentwicklung zum Teil aus gleichen Anlagen. Auch im ausgebildeten Zustand stehen sie noch in engem anatomischem Zusammenhang.

Ausscheidungsorgane

Die Abgabe (Exkretion) überflüssiger und bei längerem Verbleib im Körper giftiger Endprodukte des Stoffwechsels erfolgt in festem, flüssigem oder gasförmigem Zustand durch den Darmkanal, die Leber, die Lunge (CO_2), die Haut oder die Niere. Die Nieren haben neben Leber und Lunge das Blut ständig zu regenerieren. Ihre Aufgabe ist es, die aus dem Eiweißstoffwechsel frei gewordenen Endstoffe flüssig auszuscheiden und das Salz-Wasser-Gleichgewicht im Blut – und damit im Körper – aufrechtzuerhalten. Das Ausscheidungsprodukt der Niere ist der Harn.

Harnorgane. Die Harnorgane bestehen aus den paarigen Nieren, den paarigen Harnleitern, der unpaaren Harnblase und der Harnröhre (Farbtafel 3).

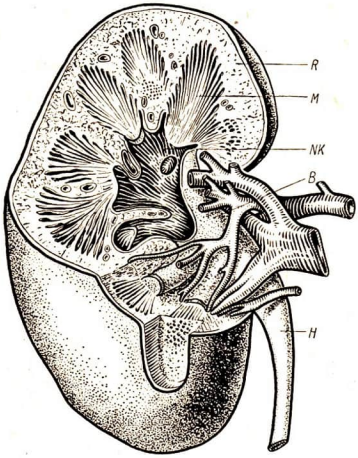


Abb. 26 Linke Niere (von hinten aufgeschnitten)
B Nierenbecken, H Harnleiter, M Mark, NK Nierenkelch, R Rinde

Nieren. Die etwa 11 cm langen und 200 g schweren Nieren liegen in der Lendengegend links und rechts der Wirbelsäule außerhalb der Bauchfellhöhle. An der Nierenpforte treten die aus der Aorta abzweigende Nierenarterie, die Nierenvene und der Harnleiter ein (Abb. 26 u. Farbtafel 3). Die Nieren sind in Fettgewebe eingebettet und von einer Bindegewebekapsel umgeben. Ihrem oberen Pol liegen die Nebennieren auf. Das etwa 1 cm starke Mark besteht aus 10 bis 15 Nierenpyramiden, deren Spitzen als Nierenpapillen in das Nierenbecken vorspringen. Auf der Spitze jeder Pyramide münden etwa 30 Sammelröhren, die durch den Zusammenschluß feiner Harnkanälchen entstehen. Diese entspringen in den in der Rindenschicht liegenden Nierenkörperchen (Abb. 27).

Ein Nierenkörperchen (Malpighisches Körperchen) besteht aus einem Knäuel von Kapillaren, das von einer doppelwandigen Kapsel umgeben ist. Die Kapillarschlingen werden von einer kleinen Arterie gespeist. Nach

dem Durchfließen des Kapillarnetzes sammelt sich das weiterhin arterielle Blut in einem dünneren abführenden Gefäß (Abb. 27), das den Bau einer Arterie zeigt und sich in ein Kapillarnetz aufteilt, welches ein Harnkanälchen umspinnt. Erst dort wird das Blut venös. Das Harnkanälchen entspringt gegenüber dem Ein- und Austrittspunkt des zu- und abführenden Gefäßes aus der Kapsel des Nierenkörperchens (Abb. 27). Die Markschicht besteht aus gerade verlaufenden Abschnitten der Harnkanälchen und aus Sammelröhren, die Rinde vor allem aus den Nierenkörperchen und den gewundenen Teilen der Harnkanälchen. Jede Niere besitzt etwa 100000 Nierenkörperchen von je 200 bis 300 μm Durchmesser.

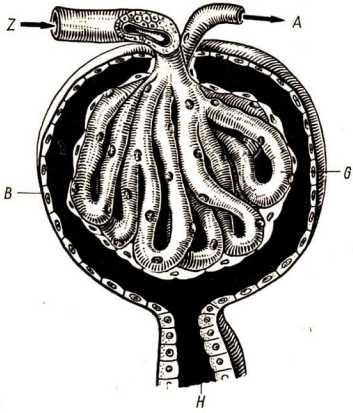


Abb. 27 Nierenglomerulum A Abführende Arterie, B Bowmansche Kapsel, G Gefäßknäuel, H Harnpol, Z zuführende Arterie

Harn. Die gesamte Blutmenge unseres Körpers fließt täglich etwa dreihundertmal durch die Nieren. In den Nierenkörperchen und den sich anschließenden Teilen der Harnkanälchen wird der Harn abgesondert. Aus den Kapillarschlingen wird in die Kapsel der Nierenkörperchen ein Filtrat des Blutplasmas abgeschieden, das aus Wasser und den im Blutplasma echt gelösten Stoffen (z. B. Traubenzucker, Kochsalz, Harnstoff) besteht. Die kolloidal gelösten Stoffe (z. B. Eiweiß) werden zurückgehalten.

Auf dem Wege durch die Harnkanälchen wird das Filtrat verändert. Die Epithelien in der Wand der Nierenkanälchen resorbieren Wasser und bestimmte für die Erhaltung des Körpers wichtige Stoffe (Traubenzucker, teilweise auch Kochsalz) aus dem Filtrat, während sie andere Substanzen in das Filtrat abscheiden. So entsteht aus dem wasserreichen Filtrat der Nierenkörperchen allmählich der konzentrierte Harn.

Täglich werden etwa 1 bis 1,5 l Harn gebildet. Der größte Anteil der im Harn gelösten Stoffe entfällt auf die stickstoffhaltigen Endprodukte des Eiweißumsatzes, in erster Linie auf den Harnstoff $CO(NH_2)_2$. Er wird von der Leber aus dem beim Eiweißabbau entstehenden giftigen Ammoniak (NH_3) gebildet. Da Eiweiß im Körper nicht gespeichert wird, ist die Menge des täglich gebildeten und ausgeschiedenen Harnstoffes der mit der Nahrung aufgenommenen Eiweißmenge proportional. Im Durchschnitt werden am Tage 30 bis 40 g Harnstoff ausgeschieden. Außer Harnstoff enthält der Harn Urate, Kochsalz, Sulfate, Phosphate und geringe Mengen vieler anderer Stoffe. Die Farbe des Harns wird durch verschiedene, zum Teil aus Gallenfarbstoffen entstehende Verbindungen bedingt. Der Harn des gesunden Menschen enthält keine Eiweißstoffe und keinen Zucker.

Harnableitende Organe. Harnleiter, Harnblase und Harnröhre sind die harnableitenden Organe. Der Harn fließt aus den Sammelröhren unverändert in das Nierenbecken ab. Von dort läuft er kontinuierlich in die ableitenden Organe weiter.

Die beiden nicht ganz bleistiftdicken, etwa 30 cm langen Harnleiter münden von hinten unten in die Harnblase (Farbtafel 2 u. 3). Peristaltische Bewegungen befördern den Harn tropfenweise in die Harnblase, wo er gesammelt wird. Die Harnblase faßt 0,5 bis 1 l, doch tritt gewöhnlich bereits bei etwa 350 cm³ Inhalt Harndrang ein. Ein innerer glatter und ein äußerer quergestreifter Schließmuskel schließen die Harnblase zur Harnröhre hin ab. Beim Öffnen der Schließmuskeln fließt der Harn durch die Harnröhre aus.

Erkrankungen der Nieren. Die meist ohne große Schmerzen verlaufende Nierenentzündung äußert sich vor allem durch eine Blutdruckerhöhung und das Auftreten von Eiweiß und Blut im Harn. Sie erfordert sofortige ärztliche Behandlung. Andernfalls kann es durch Verödung der Nierenkörperchen zur sogenannten Schrumpfniere kommen.

Durch Ausfällung der im Harn gelösten Salze können sich in den harnableitenden Wegen Nierenbeckensteine oder Blasensteine bilden. Sie verursachen oft chronische Entzündungen. Gerät ein Nierenbeckenstein in den Harnleiter, so zieht sich dieser krampfartig zusammen. Dadurch entstehen kolikartige Schmerzen. Bisweilen wird der Stein nach Aufhören des Krampfes durch die Peristaltik des Harnleiters in die Blase weiterbefördert. Nierenbeckensteine und Blasensteine können operativ entfernt werden.

Geschlechtsorgane

Bei allen bisher behandelten Organen zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede bei den Geschlechtern. Die Geschlechtsorgane, die der Arterhaltung dienen, gehen zwar embryonal aus gleichen Anlagen hervor, entwickeln sich aber bereits sehr früh bei beiden Geschlechtern zu verschiedener Form und unterschiedlicher Funktion.

Bei beiden Geschlechtern unterscheidet man die Bildungsstätten der Fortpflanzungszellen – die paarigen Eierstöcke (Ovarien) bei der Frau und die paarigen Hoden beim Mann – von den ableitenden Wege- und Begattungsorganen.

Weibliche Geschlechtsorgane

Zu den weiblichen Geschlechtsorganen (Abb. 28) gehören außer den paarigen Eierstöcken (Ovarien) die paarigen Eileiter und die unpaare Gebärmutter (Uterus).

Ovarien. Die Ovarien sind ovale, graubraune Organe von etwa 4 cm Länge, 2 cm Breite und 1 cm Dicke. Sie liegen vor dem Kreuzbein-Darmbein-Gelenk im kleinen Becken und sind durch eine Bauchfellfalte an der Beckenseitenwand befestigt. Auf dem Querschnitt erkennt man eine bindegewebige, gefäßreiche Markschicht und eine ebenfalls bindegewebige Rindenschicht, in der die weiblichen Keimzellen liegen.

Während der Individualentwicklung machen die Keimzellen eine Reifung durch. Sie sind im Ovar des jungen weiblichen Embryos von einem einschichtigen Epithel – dem Follikelepithel – umgeben. Diese mit einschichtigem Follikelepithel umgebene Eizelle bezeichnet man als Primärfollikel (Durchmesser etwa 0,01 mm). Schon während der Embryonalentwicklung und der Kindheit, in stärkerem Maße während der Geschlechtsreife, beginnt sich das Follikelepithel bei einem Teil der Primärfollikel zu vermehren. Zugleich rückt der Follikel gegen die gefäßreiche ernährende Marksubstanz vor. Es entsteht der Sekundärfollikel. Die Zellen werden zylindrisch und umgeben die Eizelle schließlich in mehreren Schichten. Während der Geschlechtsreife entwickelt sich ein Teil der Sekundärfollikel weiter zu Tertiärfollikeln (Graafscher Follikel, so benannt nach seinem Beschreiber Reinier de Graaf [17. Jahrhundert], der der Meinung war, es handle sich hier um das Ei. Das wurde aber erst 1827 von Baer entdeckt).

Das Epithel sondert eine Flüssigkeit ab, die den Zusammenhang der Zellen im Innern löst. Es entsteht ein flüssigkeitsgefüllter Hohlraum. Die Eizelle liegt, von wenigen Lagen Follikelepithelzellen umgeben, an der Innenwand des Hohlraums.

Die Eizelle selbst ist inzwischen auch gewachsen. Man kann im Plasma einen größeren Kern und das Kernkörperchen deutlich erkennen. Die reifen Eizellen sind mit einer Größe von 140 bis 200 μm die größten des Körpers. Der etwa 2 cm große Follikel rückt an die Oberfläche des Ovars und wölbt diese mehr und mehr vor. Er bildet das Follikelhormon, das die Wachstumsphase der Gebärmutterschleimhaut steuert.

Nicht alle Tertiärfollikel kommen zur Entwicklung. Von den embryonal angelegten etwa 100 000 Follikeln gelangen nur ungefähr 400 zur vollen Reife.

Nach dem Beginn der Geschlechtsreife platzt etwa alle vier Wochen in einem der Eierstöcke der jeweils reifste Tertiärfollikel, die Bindegewebsschicht reißt (Follikelsprung). Die unter hohem Druck stehende Flüssigkeit spült das von wenigen Epithelzellen umgebene Ei in den anliegenden Eileiter. In den geplatzten Follikel hinein wachsen Bindegewebe, Follikelepithelzellen und Gefäße. Durch Einlagerung von Lipoiden (fettähnlichen Stoffen) und einem gelben Farbstoff (Lutein) erhält er eine gelbe Farbe. Er ist zum Gelbkörper geworden, der ein Hormon, das Gelbkörperhormon, bildet. Dieses steuert die Veränderungen der Gebärmutterschleimhaut (Sekretionsphase).

Wird das Ei nicht befruchtet, bildet sich der Gelbkörper durch Schrumpfung und Verfettung allmählich zurück. Wird es befruchtet, bleibt der Gelbkörper etwa bis in die zweite Hälfte der Schwangerschaft hinein erhalten. Das Gelbkörperhormon verhindert, daß während dieser Zeit sprungreife Follikel platzen und daß der wachsende Embryo ausgestoßen wird.

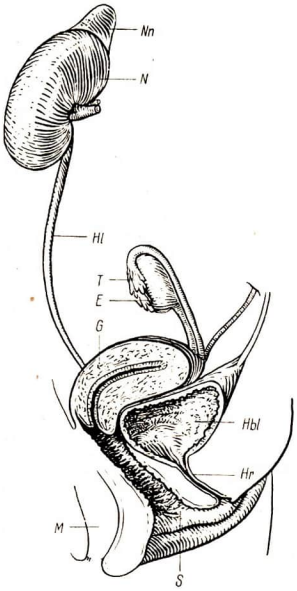


Abb. 29 Urogenitalsystem der Frau
E Eierstock, G Gebärmutter, Hbl Harnblase, Hl Harnleiter, Hr Harnröhre, N Niere, Nn Nebenniere, M Mastdarm, S Scheide, T Tube (Eileiter)

Eileiter. Die Eileiter sind 10 bis 15 cm lange schlauchförmige Organe. Sie beginnen am Ovar mit einer trichterförmigen Erweiterung. Während sie hier frei in die Bauchhöhle ragen, führt das andere Ende zum Uterus (Abb. 28). Jeder Eileiter ist durch eine Bauchfellfalte an der Leibeshöhlenwand befestigt. Zur Zeit des Follikelsprunges legt sich die gelappte trichterförmige Erweiterung auf das Ovar, so daß das ausgestoßene Ei normalerweise nicht in die Bauchhöhle fällt, sondern direkt in den Eileiter gelangt.

Die Lichtung des etwa 0,5 cm dicken Eileiters besitzt zahlreiche verzweigte Schleimhautfalten mit Flimmerepithel. Durch die Flimmerbewegung und durch peristaltische Bewegungen des Eileiters gelangt das Ei zum Uterus.

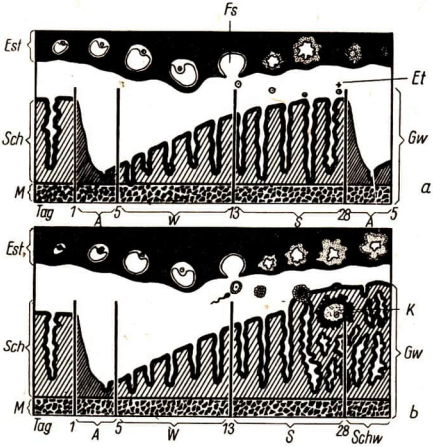


Abb. 29

a Schema des Menstruationszyklus,
b Veränderung der Gebärmutterschleimhaut und des Eierstocks bei Eintritt einer Schwangerschaft

A Abstoßungsphase,
Est Eierstock,
Et Eitod,
Fs Follikelsprung,
Gw Gebärmutterwand,
K Keimling,
M Muskulatur,
S Sekretionsphase,
Sch Schleimhaut,
Schw Schwangerschaft,
W Wachstumsphase

Uterus. Der Uterus dient zur Aufnahme des befruchteten Eies, das sich hier bis zur Geburtsreife entwickelt, und zum Austreiben der reifen Frucht bei der Geburt. Er hat etwa Birnenform, ist 7 bis 8 cm lang, 4 bis 5 cm breit und etwa 3 cm dick. Seine Wand ist äußerst dehnbar.

Das dicke obere Ende des Uterus bezeichnet man als Uteruskörper, das dünnere, untere Ende als Uterushals, der in die Scheide (Vagina) hineinragt. Der Uterus ist mit einer Schleimhaut ausgekleidet, die nach Eintritt der Reife zyklischen Veränderungen unterworfen ist (Abb. 29).

Jede der periodischen Schleimhautveränderungen besteht aus drei Phasen: einer Wachstums-, einer Sekretions- und einer Abstoßungsphase.

Unter der Wirkung des Follikelhormons des gerade heranreifenden Follikels wächst die Schleimhaut stark (Wachstumsphase). Dabei vermehren sich die Drüsen- und Bindegewebszellen. Diese Phase dauert etwa 14 Tage. Die Bildung des Follikelhormons wird durch ein Hormon der Hypophyse gesteuert.

Nach dem Follikelsprung, der etwa in die Mitte zwischen zwei Menstruationen fällt, bildet sich der Gelbkörper. Die Uterusschleimhaut steht nunmehr unter dem Einfluß des Gelbkörperhormons, dessen Bildung durch ein weiteres Hormon der Hypophyse gesteuert wird. Die Schleimhaut füllt sich in dieser Phase stark mit Nahrungsstoffen und Blut an. Sie wird zur Aufnahme eines Eies und zu dessen Ernährung befähigt. Die Drüsen der Schleimhaut beginnen Sekrete abzusondern (Sekretionsphase).

Das Ei bleibt nur wenige Stunden befruchtungsfähig. Wird es befruchtet, nistet es sich in die Schleimhaut ein. Bleibt es unbefruchtet, fällt der vom befruchteten Ei ausgehende Reiz aus, der Gelbkörper bildet sich zurück, die oberste, etwa 7 mm dicke

Schleimhautschicht des Uterus wird unter Blutung ausgestoßen. Das mit Stücken der Schleimhaut vermischte Blut gerinnt nicht. Es fließt durch den Uterushals in die Scheide ab. Diesen Vorgang bezeichnet man als Menstruation oder Periode. Sie dauert etwa 3 bis 5 Tage. Danach wächst die Schleimhaut unter dem Einfluß des Follikelhormons wieder zu ihrer ursprünglichen Dicke heran.

Solche zyklischen Menstruationsvorgänge gibt es außer beim Menschen nur noch bei den höheren Affen, sonst nirgends im Tierreich.

Die männlichen Geschlechtsorgane

Außer den paarigen Hoden gehören dazu die paarigen Samenleiter und Bläschendrüsen sowie die Vorsteherdrüse. In der etwa kastaniengroßen Vorsteherdrüse vereinigen sich Harnröhre und Samenleiter zum gemeinsamen Harnsamengang (Abb. 30).

Hoden. Die Hoden sind Organe von etwa 3 bis 5 cm Länge, die durch eine bindegewebige Scheidewand voneinander getrennt ständig im Hodensack liegen. Im Bindegewebsgerüst des Hodens verläuft eine große Menge kleiner, gewundener Kanälchen (Hodenkanälchen). In ihrer Wand liegen die Samenbildungszellen und deren Ernährungszellen, die Fußzellen. Mit Beginn der Geschlechtsreife bildet sich dauernd ein Teil der Samenzellen zu Samenfäden um. Die Samenzellenreifung erfolgt unter Beteiligung der ernährenden Fußzellen. Außerdem wird im Hoden das männliche Geschlechtshormon gebildet.

Die Hodenkanälchen vereinigen sich im Nebenhoden, der dem Hoden unmittelbar anliegt und als Samenspeicher dient, zum etwa 4 cm langen, stark gewundenen Nebenhodengang. Dieser setzt sich in den Samenleiter fort, der durch den Leistenkanal in das kleine Becken zieht. Dort verläuft er unterhalb der Harnblase und mündet durch die muskulöse Vorsteherdrüse hindurch in die Harnröhre. Die Vorsteherdrüse (Prostata) besteht aus 30 bis 40 kleinen Einzeldrüsen, deren Sekret für die Lebens- und Befruchtungsfähigkeit der Samenzellen von Bedeutung ist. Die Ausführungsgänge münden in die hintere Wand der Harnröhre. Davor befinden sich noch zwei kleine Drüsen, die Bläschendrüsen. Sie liegen unmittelbar den Samenleitern an. Sie münden in deren letzten Abschnitt und geben ebenfalls ein flüssiges, alkalisches Sekret ab.

Der Samen besteht aus der Samenflüssigkeit und den Spermien (Samen). Die Samenflüssigkeit entsteht durch die Mischung der Sekrete von Nebenhoden, Bläschendrüsen und der Vorsteherdrüse. Die Spermien sind eigenbewegliche Zellen von etwa 0,06 mm Länge, an denen man Kopf, Mittelstück und Schwanz unterscheiden kann. Der Kopf besteht aus dem Kern und einem Teil des Plasmas der umgebildeten Keimzelle. Im Mittel-

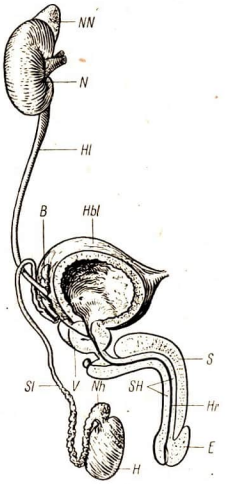


Abb. 30 Urogenitalsystem des Mannes
B Bläschendrüse, E Eichel, H Hoden, Hbl Harnblase, Hl Harnleiter, Hr Harnröhre, N Niere, Nh Nebenhoden, NN Nebenniere, S und SH Schwellkörper des Penis, Sl Samenleiter, V Vorsteherdrüse

stück befindet sich das Zentralkörperchen. Die schlängelnde Bewegung des Schwanzes verleiht den Spermien Beweglichkeit (s. auch S. 191).

Krankheiten der Geschlechtsorgane

Gebärmutterkrebs. In den letzten Jahren sind immer mehr Fälle von Gebärmutterkrebs, bösartigen Wucherungen an der Gebärmutter (Uterus), bekannt geworden. Durch regelmäßige, vorbeugende Untersuchungen (Kolposkopie-Reihenuntersuchungen), die für alle Frauen vom 30. Lebensjahr ab regelmäßig durchgeführt werden, ist ein frühzeitiges Erkennen und damit eine erfolgreiche Behandlung dieser gefährlichen Krankheit möglich. Alle Frauen über 30 Jahre sollten sich deshalb mindestens einmal jährlich einer solchen Untersuchung unterziehen.

Geschlechtskrankheiten. Unter dieser Bezeichnung faßt man Infektionskrankheiten der Geschlechtsorgane zusammen, die fast immer durch Geschlechtsverkehr übertragen werden. Sie gehören zu den sozial bedingten Krankheiten. Kriege und Nachkriegsjahre trugen wesentlich zu ihrer Verbreitung bei. Geschlechtskrankheiten unterstehen besonderen Gesetzen im Rahmen der Seuchenschutzgesetzgebung, da sie bei gehäuftem Auftreten großen volkswirtschaftlichen Schaden anrichten können. Durch die ständige Verbesserung der sozialen Verhältnisse und die staatlich organisierten Bekämpfungsmaßnahmen ist die Zahl der Erkrankungen in der DDR ständig zurückgegangen, jedoch sind die Geschlechtskrankheiten noch nicht völlig ausgemerzt. Die wichtigsten Geschlechtskrankheiten sind die Gonorrhoe und die Syphilis.

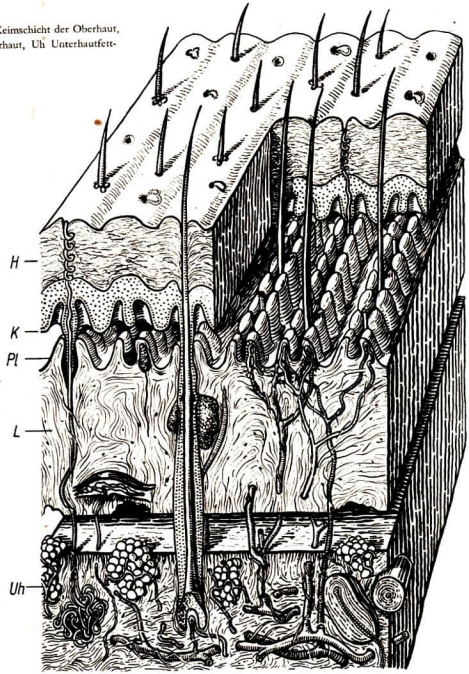
Haut

Die Haut schützt den Körper gegen viele schädigende Umwelteinflüsse. Sie dient unter anderem der Wärmeregulation, scheidet Sekrete ab und enthält zahlreiche Reizaufnahmeorgane, die Rezeptoren für Tast-, Druck- und Temperaturreize. Ein Querschnitt durch die Haut (Abb. 31) zeigt schon bei schwacher Vergrößerung mehrere Schichten: die Oberhaut (Epidermis), die Lederhaut (Corium) und die Unterhaut (Subcutis).

Oberhaut. Die Oberhaut (Epidermis) und ihre Abkömmlinge (Nägel, Haare und Drüsen; Abb. 32 u. 33) entwickeln sich aus dem Ektoderm. Die Epidermis ist ein mehrschichtiges Epithelgewebe. Bei einem erwachsenen Menschen von mittlerer Körpergröße bedeckt die Oberhaut eine Fläche von etwa 1,6 m². Die Dicke der Epidermis ist an den verschiedenen Körperstellen sehr unterschiedlich, sie beträgt 0,05 bis 4 mm.

Die oberen Zellagen des Epithels verhornen und sterben ab. Dementsprechend unterscheidet man an der Oberhaut die an der Oberfläche gelegene Hornschicht und die darunterliegenden unverhornten Zellen mit der Keimschicht. Die obersten Lagen schilfern dauernd als kleine Schüppchen ab, besonders, wenn ihr Zusammenhalt beim Waschen durch Seifenwasser gelockert wird. Die Hornschicht hat je nach ihrer mechanischen Beanspruchung eine verschiedene Dicke. An den Fußsohlen und an den Handtellern ist sie 1 bis über 2 mm dick. An anderen Körperstellen beträgt ihre Dicke nur

Abb. 31 Haut
H Hornschicht der Oberhaut, K Keimschicht der Oberhaut, L Lederhaut, Pl Papillen der Lederhaut, Uh Unterhautfettgewebe



0,03 mm. Die abgeschilferten Lagen der Hornschicht werden ständig aus der darunterliegenden Keimschicht ersetzt, die aus teilungsfähigen Zellen besteht.

Die neugebildeten Zellen rücken nach und nach weiter zur Oberfläche vor und beginnen allmählich zu verhornen. In den Zellen der Keimschicht werden Körnchen des dunklen Hautpigments (Melanin) gebildet. Sie verleihen der Haut eine mehr oder weniger dunkle Tönung. Außerdem finden sich beim Menschen regelmäßig auch in der Lederhaut einzelne pigmentbeladene Zellen. Die Art des Pigments ist bei allen Menschenrassen gleich; die verschiedenartige Hautfarbe wird lediglich durch die unterschiedliche Menge bedingt. Das Pigment der Oberhaut entsteht bei allen Menschen erst nach der Geburt; auch Neger werden hell geboren, bekommen aber schon in den ersten Tagen

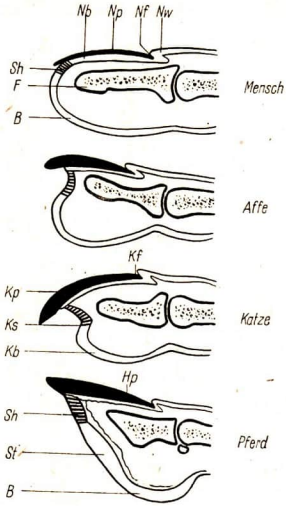


Abb. 32 Hornbildungen der Haut
B Ballen, F letzter Fingerknochen, Hp Hufplatte, Kb Krallenfalz, Kp Krallenplatte, Ks Krallensohle, Nb Nagelbett, Nf Nagelfalz, Np Nagelplatte, Nw Nagelwall, Sh Sohlenhorn, St Strahl

nach der Geburt durch Bildung von Pigment unter dem Einfluß des Lichtes eine dunkle Hautfarbe.

Die Oberhaut ist nicht von Blutgefäßen durchzogen. Sie wird durch Diffusion von den Gefäßen der unter ihr liegenden Lederhaut ernährt. In ihren unteren Teilen befinden sich freie Nervenendigungen, die Rezeptoren der Schmerzempfindung.

Lederhaut. Die Lederhaut geht aus dem Mesoderm hervor, sie ist durch zapfen- oder leistenförmige Vorsprünge mit der Epidermis verzahnt. Sie besteht aus straffem Bindegewebe und enthält viele Kapillargefäße.

In die Lederhaut eingesenkt liegen Haarbälge, Talgdrüsen, Schweißdrüsen, ferner Sinneskörperchen und an manchen Körperstellen glatte Muskelzellen (z. B. zum Aufrichten der Haare).

Unterhaut. Auch die Unterhaut wird vom Mesoderm gebildet; sie besteht aus lockerem Bindegewebe, in das Ansammlungen von Fettzellen eingelagert sind. Fett ist ein schlechter Wärmeleiter, deshalb bildet das Fettgewebe der Unterhaut einen guten Wärmeschutz.

Schleimhäute. Die Schleimhäute sind weiche, feuchte Häute. Sie bestehen, ähnlich wie die Außenhaut, aus Epithel- und Bindegewebe. Im allgemeinen sind sie nicht verhornt. Sie kleiden Körperöffnungen und Körperhöhlen aus (z. B. Mundhöhle, Nase und Magen-Darm-Kanal).

Hornbildungen der Haut. Haare und Nägel bestehen wie die verhornten Zellen unserer Oberhaut aus Horn oder Keratin, einem Eiweiß. An den Nägeln kann man ebenso wie an der Oberhaut eine Hornschicht und eine Keimschicht unterscheiden. Die Lederhaut des Nagels bildet das sogenannte Nagelbett. Die Nagelplatte ist mit dem Nagelbett fest verbunden. Der hintere Abschnitt des Nagels, die Nagelwurzel, ist die Wachstumszone des Nagels. Sie liegt unter einer Hautfalte, dem Nagelwall (Abb. 32). Durchschnittlich wächst ein Fingernagel in jeder Woche um etwas mehr als 1 mm.

Die Haare entstehen durch eine zapfenförmige Wucherung der Keimschicht der Epidermis, die sich in die Lederhaut einsenkt (Abb. 31). In das untere Ende des Haarkeimes wächst aus der Lederhaut die aus Bindegewebe bestehende Papille hinein, die Gefäße und Nerven enthält. Sie ernährt das Haar. An einem ausgewachsenen Haar unterscheidet man den frei über die Haut hervorragenden Teil (Haarschaft) und den in der Haut wurzelnden Teil (Haarwurzel). Die Haarwurzel ist an ihrem unteren Ende, in das die Haarpapille eingestülpt ist, zwiebelförmig aufgetrieben (Haarzwiebel). In der Haarzwiebel liegen die teilungsfähigen Zellen, die das Material zum Aufbau des Haarschaftes liefern.

Die Haarwurzel wird von einer schlauchförmigen Einsenkung der Epidermis und der Lederhaut, dem Haarbalg, umgeben.

Auf dem Kopf stehen die Haare im allgemeinen am dichtesten, im Durchschnitt etwa 120 auf einem Quadratzentimeter. Ein Kopfhaar wächst täglich etwa 0,2 mm und kann zwei bis drei Jahre alt werden. Die übrige Körperhaut, mit Ausnahme der Haut der inneren Handflächen und der Fußsohlen, trägt ebenfalls mehr oder weniger starke Behaarung.

Von glatten Muskelfasern, die von einer Seite des Haarbalges schräg zur Oberhaut laufen, können die Haare aufgerichtet werden. Durch ihre Kontraktion entsteht die sogenannte Gänsehaut.

Talgdrüsen. Die Talgdrüsen bilden sich wie die Epidermis aus dem Ektoderm. Es sind bläschenförmige unverästelte oder verästelte, in der Lederhaut liegende Drüsen (Abb. 33). Meist finden sie sich am Haarbalg und münden nahe an der Hautoberfläche in dessen Innenraum. An einigen Körperstellen (z. B. Nasenflügel) kommen sie auch unabhängig von Haaren vor. Ihr fettiges Sekret, der Hauttalg, besteht aus abgestoßenen Zellen, die zu einem Talgbrei verschmelzen. Dieser Hauttalg hält die verhornten Teile der Oberhaut geschmeidig. Verstopft ein Ausführungsgang einer Talgdrüse, so häuft sich Sekret in ihr an, es entsteht ein sogenannter Mitesser.

Schweißdrüsen. Auch die Schweißdrüsen sind Hautdrüsen. Sie sind über die ganze Körperoberfläche verteilt. An manchen Stellen (beispielsweise in den Achselhöhlen) liegen besondere Schweißdrüsen, die den Schweißgeruch verursachen. Schweißdrüsen sind knäuelartig gewundene Schläuche (Abb. 31). Sie liegen in der Lederhaut und in der obersten Schicht der Unterhaut und münden auf der Epidermis. In der Haut des Menschen befinden sich etwa zwei Millionen Schweißdrüsen.

Die Menge des abgesonderten Schweißes wird durch das vegetative Nervensystem reguliert („kalter Schweiß" bei starkem Erschrecken).

Der Schweiß besteht zu 98% aus Wasser, im übrigen vorwiegend aus Kochsalz, Ammoniak und Harnstoff und ist giftig. Die Schweißdrüsen unterstützen die Nieren bei der Ausscheidung von Abbauprodukten des Stoffwechsels. Die Verdunstung des Schweißes trägt zur Abkühlung des erhitzten Körpers und damit zur Wärmeregulierung bei. Bei großer körperlicher Leistung können bis zu 10 l Schweiß täglich abgegeben werden; auch ohne besondere körperliche Tätigkeit verdunsten wir täglich 1 bis 1,5 l.

Milchdrüsen. Die Milchdrüsen der weiblichen Brust weisen einen ähnlichen Bau auf wie die Schweißdrüsen. Sie bestehen aus je 15 bis 20 Einzeldrüsen. Der Ausführungsgang jeder

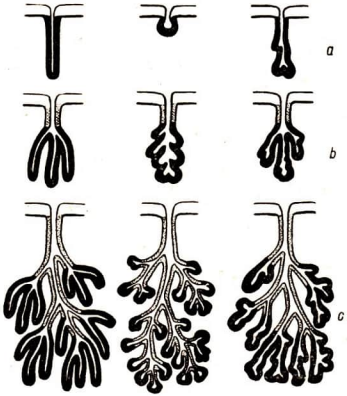


Abb. 33 Drüsenformen (Schema)
a Einzeldrüse, b verästelte Drüse, c zusammengesetzte Drüse

Einzeldrüse ist kurz vor der Ausmündung in die Brustwarze säckchenartig erweitert. Die Räume zwischen den einzelnen Drüsenteilen sind mit Bindegewebe gefüllt. Die Milchdrüse ist die größte Hautdrüse. Sie entwickelt sich zu Beginn der Geschlechtsreife aus bei beiden Geschlechtern gleichen Drüsenanlagen unter dem Einfluß der weiblichen Sexualhormone.

Funktionen der Haut. Die Hornhaut schützt die unter ihr liegenden lebenden Zellen. An den Stellen, die starker Beanspruchung ausgesetzt sind, wird die Hornschicht sehr dick. Schwielen und Hühneraugen sind Verdickungen der Haut. Die mit dem Sekret der Talgdrüsen bedeckte Hornschicht ist für Wasser undurchlässig und setzt die Verdunstung herab. Nur fettlösliche Stoffe können den Hauttalg durchdringen und von der Haut aufgenommen werden. Das Unterhautfettgewebe schützt als weiches Polster viele Organe vor Druckeinwirkung, ist Energiespeicher und Wärmeschutz.

Sonnenbestrahlung erhöht die Stoffwechselvorgänge der lebenden Zellen. Dringen die Sonnenstrahlen bis zur untersten Schicht der Epidermis ein, so bilden sich in der Keimschicht große Mengen von Pigment. Die Haut erhält eine bräunliche Farbe. Diese Färbung filtert die Sonnenstrahlen ab. Übermäßige Einwirkung der Sonnenstrahlen kann jedoch den Ablauf der Lebensprozesse in den Zellen stören (Sonnenbrand).

Bei vielen Tieren mit dünner und wenig verhornter Epidermis (z. B. Fröschen) wird eine große Menge von Stoffwechselprodukten durch die Haut ausgeschieden. Beim Menschen spielt die Ausscheidung durch die Haut keine merkliche Rolle mehr. Etwa 95% des Stickstoffes werden in Form von Harnstoff, Harnsäure und anderen Abbauprodukten durch die Nieren und nur etwa 5% durch die Schweißdrüsen der Haut abgegeben. Unter besonderen Bedingungen (z. B. Störung der Nierentätigkeit) können die Schweißdrüsen jedoch auch eine größere Menge von Stoffwechselprodukten ausscheiden. Die Hautatmung des Menschen ist gering. Sie überschreitet nicht 1% der Lungenatmung.

Die Lederhaut wird von vielen Blutgefäßen durchzogen. Steigt die Außentemperatur, so erweitern sich die Gefäße und werden von einer größeren Menge Blut durchströmt. Die Abgabe von Wärme durch die Epidermis an die Luft geht schneller vor sich als bei verengten Gefäßen. Fällt die Außentemperatur, so ziehen sich die Gefäße reflektorisch zusammen. Die Wärmeabgabe durch die Haut nimmt ab. Die Erweiterung und die Zusammenziehung der Blutgefäße werden durch das vegetative Nervensystem reguliert. Die Körpertemperatur des gesunden Menschen bleibt zu jeder Jahreszeit konstant. Hierbei wirkt das Unterhautfettgewebe als Wärmeisolator. Innerhalb eines Tages schwankt die Körpertemperatur bei den einzelnen Menschen um wenige Zehntelgrade zwischen 36 und 37 °C. Im Körper entsteht durch den Stoffwechsel ständig Wärme. Durch ein im Zwischenhirn gelegenes spezifisches Regulationszentrum wird die Wärmeabgabe des Körpers reguliert und die Körpertemperatur nahezu konstant gehalten. Unter dem Einfluß des Temperaturzentrums wird unter anderem auch die Tätigkeit der Schweißdrüsen geregelt. Eine wichtige Rolle spielt die Haut als Träger der Tast- und Temperatursinnesorgane (s. S. 66).

Schäden und Erkrankungen der Haut

Durch physikalische (mechanische, thermische) oder chemische Schädigungen können Wunden entstehen. Wird lediglich die Epidermis geschädigt, so heilt diese oberflächliche Wunde sehr bald durch Regeneration des Epithels. Werden aber die Lederhaut und die in ihr verlaufenden Blutgefäße verletzt, so bildet sich durch die Gerinnung des in die Wunde austretenden Blutes zunächst ein Schorf. In den Schorf hinein sprossen

Bindegewebszellen und Kapillaren. Nach und nach füllt das neu entstehende Bindegewebe den durch die Verletzung entstandenen Defekt auf. Dabei wird der Schorf aufgelöst, seine an der Oberfläche befindlichen Lagen werden schließlich abgestoßen. Über das Bindegewebe hinweg wuchert von den Wundrändern Epithelgewebe und stellt so bei kleinen Wunden nach etwa sechs bis acht Tagen den ursprünglichen Zustand wieder her.

Die Wundheilung verläuft jedoch nur dann ohne Komplikationen, wenn sich keine Krankheitserreger in der Wunde ansiedeln können. Aus diesem Grunde soll man die Wundränder zunächst mit keimtötenden Lösungen (Sepso) betupfen und dann die Wunde mit einem keimfreien Verband bedecken.

Zu starkes Erwärmen oder Abkühlen einzelner Körperstellen führt zu Verbrennungen oder Erfrierungen der Haut. Sie beruhen meist auf Entzündungsvorgängen und Ernährungsstörungen der geschädigten Stellen. Je nach der Schwere der Verbrennungen oder Erfrierungen unterscheidet man drei Grade:

1. Grad: Es entsteht eine durch vermehrte Durchblutung der Haut hervorgerufene Rötung (Sonnenbrand!), der bei Erfrierungen ein Erbleichen (Gefäßkrampf) vorausgeht. Mitunter tritt auch Gewebsflüssigkeit aus den Gefäßen aus. Die Hautrötung geht nach einiger Zeit wieder von selbst zurück.
2. Grad: Der Austritt von Gewebsflüssigkeit aus den Gefäßen verstärkt sich. In der Epidermis bilden sich durch Verflüssigung der mittleren Epithellagen Blasen. Die Heilung erfolgt durch Regeneration vom unverletzten Epithel her.
3. Grad: Völlige Zerstörung der Epidermis und mehr oder weniger auch der Leder- und Unterhaut. Die Heilung erfolgt durch Bildung einer aus Bindegewebe bestehenden Narbe.

Ist mehr als ein Drittel der Körperoberfläche verbrannt, so tritt meist durch die sich bildenden giftigen Abbauprodukte des Zelleiweißes nach einigen Stunden oder Tagen der Tod ein.

Hauthygiene. Die Haut wird durch den in den Talgdrüsen erzeugten Talg eingefettet und dadurch geschmeidig gehalten. Auf der Talgschicht bleiben Schmutz und Hautschuppen haften. Die Ausscheidungen der Schweißdrüsen lagern sich auf der Haut ab. Dadurch verschmutzt die Haut ständig und kann ihre Funktion nicht mehr richtig ausführen. Waschen mit Seife löst die Talgschicht und damit den Schmutz von der Haut. Doch darf der Haut dabei nicht zuviel Fett entzogen werden, sonst wird sie trocken und spröde. Deswegen verwendet man Seifen mit einem hohen Gehalt an Fettsäuren. Durch kalte Waschungen wird die Durchblutung der Haut angeregt. Zweckmäßige, leichte, der Witterung entsprechende und saubere Kleidung trägt ebenfalls dazu bei, die Haut gesund und funktionsfähig zu erhalten.

Die Pflege der Haut ist sehr wichtig; ungepflegte Haut erkrankt leicht. Erkrankungen der Haut führen oft zu Störungen im gesamten Organismus.

Aufgaben und Fragen

1. Vergleichen Sie Bau und Funktion der Haut bei Vertretern verschiedener Ihnen bekannter Tierstämme! Führen Sie solche Vergleiche auch bei Reptilien, Vögeln und Säugern durch!
2. Übergießen Sie die Haut des Handrückens mit Wasser! Was beobachten Sie? Begründen Sie Ihre Beobachtung!
3. An welchen Stellen der Haut liegen Schweißdrüsen besonders gehäuft?
4. Prüfen Sie, bei welchem Abstand die Spitzen eines stumpfen Stechzirkels an verschiedenen Stellen des Körpers gerade noch als zwei Berührungsreize der Haut empfunden werden!

Alle unsere Lebensfunktionen stehen unter dem regelnden Einfluß des Nervensystems. Hier laufen die durch Umwelteinflüsse hervorgerufenen Erregungen zusammen und lösen bestimmte Reaktionen aus. Die gesteigerte Erregbarkeit selbst ist die Leistung differenzierter Körperzellen, der Sinneszellen. In ihnen ist durch den Reiz eine meßbare (O_2-Verbrauch, Potentialmessung) Zustandsänderung des Plasmas eingetreten. Diese Erregung wird auf Nervenzellen übertragen und auf den Nervenbahnen zum Zentralnervensystem geleitet. Hier erfolgt entweder nur die Aufnahme, in den meisten Fällen auch die Auslösung einer Reaktion.

Die aufnehmenden Sinneszellen können über die Körperoberfläche zerstreut verteilt oder zu größeren, oft sehr komplizierten Sinnesorganen mit leistungssteigernden Hilfseinrichtungen vereint sein (z. B. Auge, Ohr). Daneben gibt es noch die inneren Sinneszellen, die uns über die Lage des Körpers im Raum und seine Bewegungen sowie über die Spannung der Muskeln unterrichten. Zu diesen inneren Sinnen rechnet zum Teil auch der wichtige Schmerzsinn.

Hautsinnesorgane

Die Haut, die unseren Körper gegen die Umwelt abschließt, wird von physikalischen und chemischen Reizen getroffen. Aus dem Epithel haben sich die einzelnen Sinnesorgane als Aufnahmeapparate (Rezeptoren) für die verschiedenen Reizarten entwickelt.

Im mehrschichtigen Epithel der Haut liegen zahlreiche **freie Nervenendigungen** (Abb. 31), die an kein besonderes Sinnesorgan herantreten. Sie sind auch in vielen inneren Organen anzutreffen und dienen der Schmerzempfindung. Mit einer feinen Stachelborste kann man die Dichte dieser Schmerzpunkte in der Haut feststellen (am Arm 72 auf 1 cm^2, an anderen Stellen 100 und mehr). Einige innere Organe sind besonders reich an Schmerzpunkten (z. B. Knochenhaut, Bauchfell, Brustfell, Gelenke).

Freie Nervenendigungen umgeben auch die Wurzelscheiden der Haare und machen damit das als Hebel wirkende Haar zu einem feinen Berührungsrezeptor.

In den Coriumpapillen liegen die **Meißnerschen Tastkörperchen** (Abb. 31). Sie sind mikroskopisch klein, oval und liegen unmittelbar unter dem Epithel. Eine Nervenfaser dringt in das Tastkörperchen ein und spaltet sich in feine Fibrillennetze auf. Tastkörperchen vermitteln feinste Druckempfindungen und liegen am dichtesten an den Endgliedern der Zehen und Finger. Hier liegen bis 200 auf 1 cm^2. Auf der Vorderseite des Unterschenkels finden wir 10 Meißnersche Körperchen auf 1 cm^2, auf dem Rücken noch weniger.

Etwa an denselben Stellen des Epithels liegen auch die **Krauseschen Endkolben**; besonders zahlreich sind sie in den Schleimhäuten (z. B. in der Mundhöhle). Sie dienen als Kälterezeptoren. Als Wärmerezeptoren werden die **Ruffinischen Körperchen** angesehen, die tiefer in der Lederhaut liegen. Es sind große spindelförmige Endorgane, die wie die Krauseschen Endkolben sehr ungleich über die Körperoberfläche verteilt sind. Sie liegen am dichtesten auf den Beugeseiten der Gliedmaßen und am Augenlid. Die Kältepunkte sind zahlreicher als die Wärmepunkte. Auf 10 Kältepunkte kommt etwa 1 Wärmepunkt.

Die Wärme-Kälteempfindung gibt uns keinen absoluten Wert wie ein Thermometer; sie gibt nur Temperaturunterschiede und -änderungen, Wärmezufuhr oder -entzug an. Wir empfinden wegen der unterschiedlichen Leitfähigkeit ein Stück Holz trotz gleicher Temperatur wärmer als Metall. Daß wir nur Temperaturveränderungen empfinden, beweist auch, daß uns die durch Kleidung bedeckte Körperhaut und die freie Gesichtshaut gleich warm erscheinen, obwohl die Hauttemperatur unter der Kleidung beträchtlich höher liegt als die der freien Gesichtshaut.

Das Unterrichten über Temperaturdifferenzen ist biologisch bedeutsam, denn so ist es dem Körper möglich, bei Änderung der Außentemperatur durch entsprechende Reaktionen seine Temperatur konstant zu halten. Temperaturen unter —10 °C und über +70 °C werden als Schmerz empfunden, ebenso starke Druck- oder Zugreize. Die inneren Organe haben keine Temperaturempfindung.

Die größten Sinneskörperchen sind die **Vater-Pacinischen Lamellenkörperchen,** die im Unterhautbindegewebe liegen und bis 4,5 mm lang werden. Sie sind rundlich-spindelförmige Organe, die aus konzentrischen Bindegewebslamellen gebildet werden, zwischen denen sich Flüssigkeit befindet. An einem Pol tritt ein sensibler Nerv ein, der sich im Inneren in ein Fibrillennetz auflöst. Lamellenkörperchen befinden sich vor allem im Unterhautgewebe der Hand und des Fußes. Sie kommen außerdem an den Gelenken und Sehnen, in der Knochenhaut, im Bauchfell und am Herzbeutel vor. Sie sind wahrscheinlich Druckrezeptoren, die Spannungsänderungen vermitteln, wie sie beispielsweise bei Bewegungen der Gliedmaßen und bei Druckeinwirkungen eintreten. Teilweise sollen sie auch Rezeptoren des osmotischen Druckes in den Geweben sein.

Durch die Hautrezeptoren werden uns verschiedenartige Empfindungen vermittelt. Wir unterscheiden Druck- und Berührungsempfindungen, Kälteempfindung, Wärmeempfindung, Schmerzempfindung.

Beim Betasten eines Gegenstandes werden die verschiedenen Rezeptoren gleichzeitig gereizt. Sie vermitteln uns eine einheitliche Wahrnehmung des betasteten Gegenstandes. Erst nachträglich können wir die an einer Wahrnehmung beteiligten Empfindungen (Form, Oberflächenbeschaffenheit, Temperatur) trennen.

Als Tastsinn bezeichnen wir die Gesamtheit der Druck- und Berührungsempfindungen ohne Rücksicht auf die sie vermittelnden Rezeptoren.

In den Muskeln und Sehnen befinden sich bis 3 mm lange, sehr dünne, spindelartige Gebilde, die stets in der Längsrichtung der Muskeln und Sehnen liegen. Sie werden als Muskel-, Sehnen- und Gelenkspindeln bezeichnet. Sie sind die Rezeptoren des Muskelsinnes, die den Grad der bei einer Bewegung auftretenden Spannung des betreffenden Organs vermitteln. Die vor allem dem Kleinhirn zugeführten Erregungen sind wichtig für die unbewußte Körperhaltung. Mit den Lamellenkörperchen und anderen Rezeptoren zusammen orientieren uns diese Spindeln über die Stellung unserer Gliedmaßen. Bei vollkommener Vertaubung der Haut um ein Gelenk kann man mit geschlossenen Augen dessen Stellung nicht mehr sicher angeben.

Chemische Sinne

Bei Wirbeltieren und Insekten lassen sich anatomisch und physiologisch zwei Formen der chemischen Sinne feststellen: Geschmacks- und Geruchssinn.

Geschmackssinn. Bei den Wirbeltieren liegen die Geschmacksrezeptoren in der Mundhöhle. Bei den Säugetieren und beim Menschen sind die Rezeptoren zu Ge-

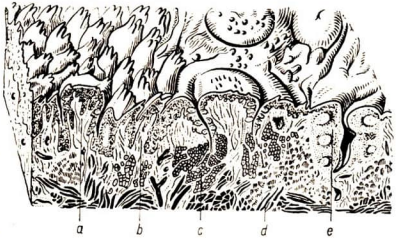


Abb. 34 Zungenoberfläche (Schema)
a Pilzpapille mit Geschmacksknospen,
b Fadenpapille, c Spüldrüsen,
d Zungenmuskulatur, e Zungenmandel

schmacksknospen zusammengeschlossen, die in das Epithel der Zungenpapillen eingelassen sind (Abb. 34), vereinzelt auch noch im Epithel des Rachens und Kehldeckels vorkommen. Die Zunge trägt verschieden geformte Papillen; große umwallte am Zungengrund (Abb. 34), kleine pilzförmige auf der Zungenoberfläche und blattförmige am Zungenrand. Zwischen den größeren Papillen stehen viele feine fadenförmige Papillen (Abb. 34).

Die tonnenförmigen Geschmacksknospen bestehen aus länglichen spindelförmigen Zellen, ein Teil dient als Stützzellen, die anderen sind die Sinneszellen, an die der sensible Nerv herantritt. Sie tragen auf der Epitheloberseite Sinnesstiftchen, die in ein Loch der Epitheloberfläche hineinragen (Geschmacksporus). Sie nehmen die Geschmacksreize auf.

Der Mensch hat insgesamt etwa 3000 Geschmacksknospen, von denen sich die meisten an den 8 bis 12 umwallten Papillen und an den über 200 pilzförmigen Papillen befinden.

Man unterscheidet vier Geschmacksqualitäten: süß, sauer, bitter und salzig. Die Geschmacksknospen an der Zungenspitze sind besonders empfindlich für süß, die des Zungengrundes für bitter, die des Zungenrandes für sauer.

Über die chemische Struktur, die ein Stoff haben muß, um eine bestimmte Geschmacksqualität hervorzurufen, wissen wir wenig. Unterschiedlich gebaute Moleküle, wie die von Zucker, Saccharin und Chloroformdämpfen rufen die gleiche Geschmacksempfindung, nämlich süß, hervor. Die Empfindung sauer wird stets durch freie Wasserstoffionen hervorgerufen.

Bei der Nahrungsaufnahme und beim Kauen werden Stoffe frei, die in die Nasenhöhle aufsteigen und Geruchsempfindungen hervorrufen. Geschmacks- und Geruchssinn stehen in enger Beziehung zueinander. Beim Schnupfen wird durch starke Schleimabsonderung die Lösung gasförmiger Stoffe in der Flüssigkeitsschicht der Nasenschleimhaut vermindert. Wir schmecken nichts. Der Geschmackssinn ist aber tatsächlich unverändert, nur die Geruchsempfindung ist gestört. Aromatischer Geschmack, wie der des Weines und des Obstes, ist stets eine kombinierte Geschmacks- und Geruchsempfindung. Dazu kommen in der Zunge Kalt- und Warmempfindungen und Tastempfindungen. Auch schwache Schmerzempfindungen (Pfeffer, Meerrettich) werden hervorgerufen. Alle Empfindungen zusammen ergeben das, was wir Geschmack nennen.

Der Geruchssinn. Das Riechorgan ist eines der phylogenetisch ältesten Sinnesorgane der Chordaten, das bei den Tieren eine viel größere Bedeutung besitzt als beim Menschen. Mit ihm wittern die Tiere Nahrung, Artgenossen und Feinde.

Das Geruchsorgan befindet sich am Anfang des Atemweges. Die Sinneszellen liegen in einem geschlossenen Feld, dem Riechfeld, zusammen, das über der oberen Nasenmuschel und am oberen Teil der Nasenscheidewand liegt. Das Riechepithel ist von einer Flüssigkeitsschicht bedeckt. Die gasförmigen Stoffe wirken nicht direkt auf die Riechzellen ein. Sie lösen sich zunächst in der Flüssigkeitsschicht.

Die Riechzellen tragen am Ende ihres äußeren Fortsatzes ein feines Härchen, das Riechhärchen, das von den reizfähigen Atomgruppen der in der Flüssigkeit gelösten Gasmoleküle gereizt wird. Das innere Ende der Riechzellen geht unmittelbar in eine Faser des Riechnervs über. Zwischen den Riechzellen stehen langgestreckte Stützzellen.

Unsere Geruchsempfindungen sind zumeist Mischempfindungen, die aus einigen wenigen Geruchsqualitäten oder Grundgerüchen (z. B. würzig, blumig, harzig, faulig) zusammengesetzt sind.

Die Mischgerüche benennt man meist nach ihrer Herkunft (Veilchenduft, Fischgeruch usw.). Bei der Entstehung mancher Geruchsempfindungen (z. B. der des Ammoniaks) kombiniert sich die reine Geruchsempfindung mit anderen, besonders mit leichten Schmerzempfindungen, da die betreffenden Stoffe auch die freien Nervenendigungen in der Nasenschleimhaut reizen. Verschiedene Konzentrationen des gleichen Stoffes rufen oft ganz verschiedene Geruchseindrücke hervor (Parfüm). Auffällig ist, daß die meisten Stoffe geruchlos sind, beispielsweise sind nur 4 chemische Elemente riechbar (Chlor, Brom, Jod, Fluor).

Von manchen Stoffen genügen kleinste Mengen, um Geruchsempfindungen auszulösen. So genügt oft schon $^1/_{250}$ der Menge, die nötig ist, um einen Stoff mit dem Spektroskop nachzuweisen, $1{,}6 \times 10^{-11}$ g Kampfer in einem Liter Luft werden noch gerochen.

Sinnesorgane des Ohres

Das Ohr ist ein kompliziertes Sinnesorgan, in dem drei mechanische Sinne vereinigt sind: das Gehörorgan und die Organe der Lage- und Bewegungsempfindung (Abb. 35). Die spezifischen (adäquaten) Reize für das Hörorgan sind die Schallwellen. Das Gehör vermittelt uns die Wahrnehmung von Tönen und Geräuschen. Das Organ der Lageempfindung reagiert auf Schwerkraftreize und vermittelt die Empfindung der Lage des Kopfes und damit des Körpers im Raum. Die Sinneszellen des Bewegungsorgans vermitteln uns die Empfindung der Beschleunigung und Verlangsamung der Drehbewegung des Kopfes. Die beiden letztgenannten Organe sind die phylogenetisch ältesten Organe, das Hörorgan ist das phylogenetisch jüngste Organ des Ohres.

Die Organe der Lage- und Bewegungsempfindung werden auch als statische Organe, das Hörorgan wird als akustisches Sinnesorgan bezeichnet.

Das Ohr wird anatomisch in drei Abschnitte gegliedert: das äußere Ohr, das Mittelohr und das innere Ohr. Das äußere Ohr und das Mittelohr dienen allein der Schalleitung, das innere Ohr enthält, voneinander getrennt, die Rezeptoren für das Gehörorgan und für die Organe der Lage- und Bewegungsempfindung.

Das Gehörorgan

Die Fähigkeit, Schallwellen aufzunehmen, ist nur bei Arthropoden (vor allem bei Insekten) und bei Wirbeltieren entwickelt. Das Gehörorgan der Säuger hat sich im Laufe der Stammesgeschichte aus dem Lagesinnesorgan der niederen Wirbeltiere entwickelt.

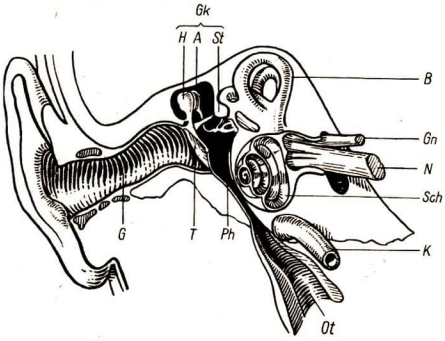


Abb. 35 Schnitt durch das menschliche Ohr
B Bogengänge, G Gehörgang, Gk Gehörknöchelchen (H Hammer, A Amboß, St Steigbügel), Gn Gesichtsnerv (VII. Gehirnnerv), K innere Kopfschlagader, N Gehörnerv (VIII. Gehirnnerv), Ot Ohrtrompete, Ph Paukenhöhle, Sch Schnecke (eröffnet), T Trommelfell

Äußeres Ohr. Ohrmuschel und Gehörgang bis zum Trommelfell bilden das äußere Ohr. Die Ohrmuschel ist eine von elastischem Knorpel gestützte Hautfalte (Abb. 35). Nur das Ohrläppchen ist frei von Knorpel. Während die Ohrmuschel bei den meisten Säugern durch gut ausgebildete Muskeln bewegt werden kann, sind diese Muskeln beim Menschen rudimentär.

Durch die verschiedenen Windungen und Vorsprünge der Ohrmuschel werden die Schallwellen in den Gehörgang reflektiert. Dabei gelangen Schallwellen, die vor oder hinter der Ohrmuschel ihren Ursprung haben, mit verschiedener Stärke in den Gehörgang (Abb. 35). Das ist von Bedeutung bei der Bestimmung der Richtung des Schallreizes.

Der etwa 35 mm lange Gehörgang besteht aus einem äußeren, knorpligen Abschnitt und einem inneren knöchernen, der im Schläfenbein liegt.

Die Talgdrüsen und Ohrschmalzdrüsen in der Haut des äußeren Gehörganges sondern Sekrete ab, die zusammen mit abgeschilferten Epithelien das Ohrschmalz ergeben. Das Sekret der Drüsen fettet die Wand des Gehörganges und das Trommelfell ein.

Das Trommelfell ist eine etwa $^1/_{10}$ mm dicke, nahezu kreisförmige, trichterartig eingezogene elastische Membran von etwa 1 cm Durchmesser (Abb. 35). Es schließt den Gehörgang gegen das Mittelohr ab und wird durch Schallwellen in Schwingungen versetzt.

Mittelohr. Das Mittelohr (Abb. 35) besteht aus der Paukenhöhle, den Gehörknöchelchen und der Ohrtrompete (Eustachische Röhre). Letztere leitet sich phylogenetisch vom Spritzloch der Haie ab. Die Paukenhöhle ist ein mit Schleimhaut ausgekleideter Hohlraum des Schläfenbeins. Sie ist mit Luft gefüllt und durch die etwa 37 mm lange Ohrtrompete mit dem Rachenraum verbunden. Diese dient dem Druckausgleich zwischen der Außenluft und dem Druck in der Paukenhöhle. Die Wände der Ohrtrompete liegen im allgemeinen aufeinander, öffnen sich aber beim Schlucken. Dadurch wird der Luftdruck in der Paukenhöhle dem der atmosphärischen Luft angeglichen, das Trommelfell steht auf beiden Seiten unter gleichem Luftdruck. Das ermöglicht seine normale Schwingung. In der Wand, welche die Paukenhöhle zum inneren Ohr hin ab-

schließt, befinden sich zwei kleine, durch Membranen verschlossene Öffnungen, das ovale und das runde Fenster.

Im Mittelohr sind die drei gelenkig miteinander verbundenen Gehörknöchelchen — Hammer, Amboß und Steigbügel — untergebracht (Abb. 35). Der Hammer ist mit seinem Griff dem Trommelfell angeheftet. Die Grundplatte des Steigbügels sitzt dem ovalen Fenster auf. Der Amboß verbindet Hammer und Steigbügel. Durch diese Kette wird der Schall vom Trommelfell zum Innenohr geleitet. Die Bewegungen der Gehörknöchelchen werden durch zwei sehr kleine Muskeln beeinflußt. Der Steigbügelmuskel ist der kleinste Muskel des menschlichen Körpers.

Die durch das Trommelfell aufgenommene Energie der Schallwellen wird durch die Kette der Gehörknöchelchen im vollen Umfange auf das ovale Fenster übertragen. Ohne sie würde sich die Energie in der Paukenhöhle nach allen Seiten verbreiten, nur ein Bruchteil käme für den Hörvorgang zur Wirkung.

Die drei Gehörknöchelchen sind nur bei den Säugern ausgebildet.

Inneres Ohr. Wegen seines komplizierten Baues wird dieses Raumsystem als Labyrinth bezeichnet. Es liegt in verschieden geformten Hohlräumen des Schläfenbeins. Seine knöchernen Wandungen bezeichnet man als das knöcherne Labyrinth. In ihm liegt das häutige Labyrinth (Abb. 36).

Das Innenohr stammt phylogenetisch von den Seitenlinienorganen der im Wasser lebenden Wirbeltiere ab, die Strömungsreize aufnehmen und heute noch bei Fischen und Amphibienlarven ausgebildet sind. Aus einem bei Reptilien und Vögeln noch schlauchförmigen Gebilde des Innenohres windet sich bei den Säugern die Schnecke auf, die das schallaufnehmende Organ enthält.

Das knöcherne Labyrinth besteht aus Vorhof, Schnecke und Bogengängen (Abb. 35 u. 36). Der Vorhof ist der mittlere Teil des Labyrinths. In ihn münden die 3 Bogengänge und die Schnecke.

Im knöchernen Labyrinth befindet sich das häutige Labyrinth, das dem knöchernen nicht genau anliegt. Der verbleibende Zwischenraum ist mit Außenlymphe angefüllt.

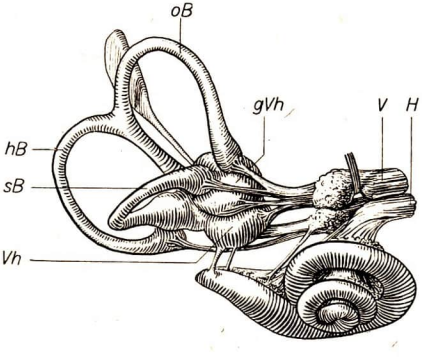


Abb. 36 Häutiges Labyrinth mit Nerven (Seitenansicht)
hB hinterer Bogengang, oB oberer Bogengang, sB seitlicher Bogengang, Vh Vorhofsäckchen, gVh großes Vorhofsäckchen, H Hörnerv, V Vestibularnerv

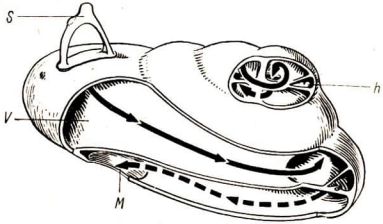


Abb. 37 Rechte Schnecke, eröffnet
h häutiger Schneckengang, M Membran im runden Fenster am Ende der Paukentreppe, S Steigbügel im ovalen Fenster, V Vorhof und Beginn der Vorhoftreppe

Das häutige Labyrinth besteht aus den beiden Vorhofsäckchen, aus den drei häutigen Bogengängen und dem Schneckengang. Alle Teile stehen untereinander in Verbindung und sind mit Innenlymphe angefüllt.

Schnecke. Die Schnecke ist etwa 5 mm hoch und an der Basis etwa 7 mm lang. In zweieinhalb Windungen umzieht der Schneckengang die Achse der knöchernen Schnecke, die Schneckenspindel (Abb. 37). Von dort ragt eine Knochenlamelle frei in die Schneckenhöhlung. Von ihrem Rand gehen zwei spitzwinklig zueinanderstehende Häute an die äußere Wand der Schnecke ab. Durch die Spirallamelle und den Schneckengang wird die Höhlung der knöchernen Schnecke in zwei Kanäle geteilt, in die obengelegene Vorhoftreppe und die darunter liegende Paukentreppe (Abb. 37). An der Spitze der Spindel, wo die Knochenlamelle aufhört und der etwa 0,5 mm weite und 35 mm lange, häutige Schneckengang blind endet, stehen beide Treppen durch das Schneckenloch miteinander in Verbindung. Das untere breite Ende der Vorhoftreppe wird durch das ovale Fenster gegen die Paukenhöhle abgeschlossen. Am Ende der Paukentreppe liegt das runde Fenster. Im Schneckengang befindet sich Innenlymphe, in Vorhof- und Paukentreppe Außenlymphe.

Während der knöcherne Schneckengang durch alle $2^1/_2$ Windungen annähernd den gleichen Querschnitt hat, wird die Grundmembran von der Grund- zur Spitzenwindung hin breiter. Die in die Grundmembran eingebetteten radiär angeordneten Fasern sind an der Basis etwa 100 μm, an der Schneckenspitze 500 μm lang.

Auf der Basilarmembran (Grundmembran) des Schneckenganges liegt das eigentliche Hörorgan, das Cortische Organ. Wie in jedem Sinnesorgan befinden sich in ihm die unterschiedlich gebauten Sinnes- und Stützzellen (Abb. 38 u. 39). Die durch Stützzellen mit der Grundmembran verbundenen Hörzellen tragen am oberen Ende Sinneshaare, die in lockerer Berührung mit der darüberliegenden Deckmembran stehen. Die Sinneszellen werden von Nervenausläufern umsponnen. Die Nervenfasern ziehen über die Spirallamelle zu den Ganglienzellen in der Schneckenspindel, deren zentrale Fortsätze den Hörnerv bilden.

Hörtheorie. Druckschwankungen der Luft setzen das Trommelfell in Schwingungen. Die Schalleitung bis zum Trommelfell ist also Luftleitung. Die Weiterleitung des Schalles bis zu den Sinneszellen des inneren Ohres erfolgt vom Trommelfell über die Gehörknöchelchen. Das Trommelfell ist nicht nur Trennwand; ähnlich wie die Membran eines Telefons spricht es auf alle auftreffenden Wellen gleich gut an und verbindet hohe Empfindlichkeit mit angemessener Dämpfung. Es wirkt als schallweicher Druckempfänger.

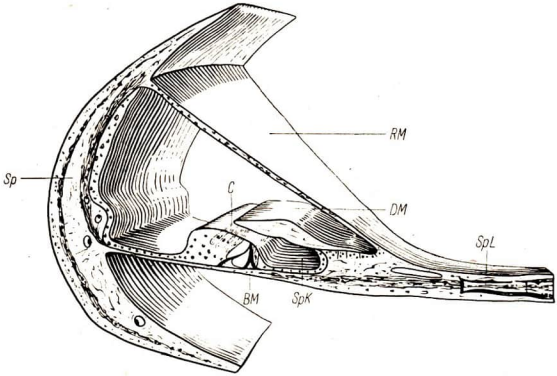


Abb. 38 Häutiger Schneckengang
BM Basilarmembran, C Cortisches Organ mit Hörzellen, DM Deckmembran, RM Reißnersche Membran, Sp Spiralbändchen, SpK Spiralkanal, SpL Spirallamelle

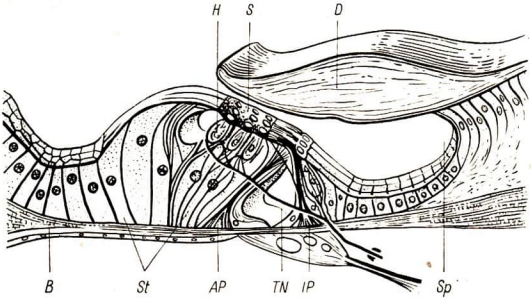


Abb. 39 Cortisches Organ
AP Äußere Pfeilerzelle, B Basilarmembran, D Deckmembran, H Hörzellen, IP innere Pfeilerzelle, S Siebplatte, Sp Spiralkanal, St Stützlamelle, TN Tunnel mit Nervenfaser

Die Gehörknöchelchen sind so angeordnet, daß die Schwingungsamplitude des Trommelfells unter etwa 20fachem Kraftgewinn verkleinert wird. Am ovalen Fenster wird sie unter Druckverstärkung auf die Außenlymphe des Vorhofes übertragen. Die Schwingungen der Lymphe setzen nun den häutigen Schneckengang in Bewegung. Auf

Grund genauer, sehr schwieriger Untersuchungen weiß man heute, daß die Basilarmembran nicht straff gespannt ist, sondern ein spannungsfreies Häutchen darstellt, dessen Fasern sich vielfältig verbinden. Zudem sind die Fasern teilweise in eine homogene Grundmasse eingebettet. Man weiß heute, daß der ganze häutige Schneckengang zwischen beiden Treppen in der Frequenz der Töne schwingt, wobei die Membran zur Vorhoftreppe ihr Schwingungsmaximum nahe ihrem Ansatzpunkt an der Spirallamelle hat, während das der Grundmembran nahe des Ansatzes an der Außenwand der Schnecke liegt. In der Verbindungslinie dieser Maxima liegt das Cortische Organ, so daß auch dort maximale Schwingungen zustande kommen. Die mitschwingende Innenlymphe erregt wahrscheinlich mit der ebenfalls schwingenden Deckmembran die Sinneshärchen.

Die Nachgiebigkeit der Basilarmembran steigt sehr schnell mit wachsendem Abstand vom ovalen Fenster. Dementsprechend fällt ihre Elastizität in der gleichen Richtung. So werden je nach Schwingungszahl verschiedene Stellen der Basilarmembran verschieden stark erregt. Die hochfrequenten Schwingungen versetzen, da sie allein auf die straffere Basilarmembran wirken können, diese in der Nähe des ovalen Fensters in Eigenschwingungen. Die niedriger frequenten Schwingungen bewirken das in größerem Abstand vom ovalen Fenster. Bei einem Klanggemisch werden also verschiedene Abschnitte der Basilarmembran in Schwingungen versetzt.

So kommt es, daß jede Tonhöhe von einem bestimmten Ort des Schneckenganges vermittelt wird. In der Spitzenwindung werden die tiefsten Töne (von etwa 16 Hertz an), in der Basilarwindung die höchsten (etwa 20 000 Hertz) aufgenommen.

Wir können auch Schallwellen hören, die über die Schädelknochen geleitet werden. Setzt man beispielsweise eine Stimmgabel auf den Kopf, dann hört man besser, da man über beide Leitungen hört, als wenn sie über den Kopf gehalten wird. Wir hören selbst unsere eigene Stimme über beide Leitungen. Darum erkennen wir sie oftmals nicht, wenn sie vom Tonband abgenommen wird.

Mit zunehmendem Alter nimmt der Hörumfang des Menschen ab. Manche Tiere hören auch im Ultraschallbereich (Fledermäuse, Hunde).

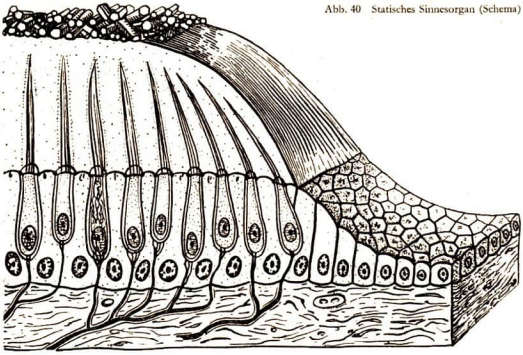
Organe der Lage- und Bewegungsempfindung

Statische Sinnesorgane, die unter Einwirkung der Schwerkraft den Körper über die Lage im Raum orientieren, sind stammesgeschichtlich sehr alt und treten bei den Wirbeltieren in verschiedener Ausbildung auf Trotz unterschiedlicher Organisationshöhe der Tiere ist der Bau der Schweresinnesorgane relativ einfach und gleicht sich weitgehend.

Vorhof. Bei den Säugetieren und beim Menschen befindet sich in jedem der beiden Vorhofsäckchen je eine Stelle für die Lageempfindung. Sie besteht aus Sinnes- und Stützzellen. Die Sinneszellen tragen lange Sinneshärchen, die in eine Gallertschicht ragen, in die kleine Kalkkörnchen eingelagert sind (Abb. 40 u. 41). Da die Grundflächen der Lagesinnesorgane in verschiedenen Ebenen liegen, führt jede Änderung der Lage des Kopfes zu einer anderen Belastung der Sinneszellen durch die Gallertschicht mit den Kalkkörnchen. Die Erregung läuft über den Nerv vor allem zum Kleinhirn und veranlaßt dort reflektorisch Stellungsänderungen des Kopfes oder des Körpers.

Das Organ der Bewegungsempfindung liegt in den drei Bogengängen, die aus dem größeren der beiden Vorhofsäckchen hervorgehen. Jeder dieser häutigen, etwa 0,2 mm weiten Bogengänge besitzt dort, wo er in das Vorhofsäckchen mündet, eine flaschenartige Erweiterung, die Ampulle (Abb. 41). In dieser liegt auf einer weit in das Innere vorspringenden Leiste das Sinnesepithel, in dem zylindrische Sinneszellen mit langen

Abb. 40 Statisches Sinnesorgan (Schema)



Sinneshaaren zwischen Stützzellen stehen (Abb. 41). Die Leiste steht senkrecht zur Ebene des Bogengangs. Die Sinneshaare sind wie beim Lagesinnesorgan gemeinsam von einer gallertigen, kammförmigen Masse umgeben, der Cupula. Sie reicht fast bis an die gegenüberliegende Wand der Ampulle (Abb. 41). Wie die Gallertschicht des Lagesinnesorgans schwimmt sie in der Innenlymphe und kann durch die sich bewegende Lymphe auf den Sinneshärchen der Sinneszellen sehr leicht je nach Richtung des Flüssigkeitsstromes abgebogen werden.

Bei plötzlicher Drehbewegung des Kopfes macht die Innenlymphe auf Grund ihrer Trägheit die Bewegung nicht in gleicher Weise mit wie die Bogengänge. Die Innenlymphe wird relativ zur Wandung der Bogengänge verschoben, die Cupula wird abgebogen, und die Sinneszellen werden gereizt. Die Reizung kommt uns als Drehbewegung in entsprechender Richtung zum Bewußtsein. Da die drei Bogengänge jeder Seite senkrecht aufeinander stehen, kommt bei jeder Drehbewegung mindestens in einem Bogengang jeder Seite ein Flüssigkeitsstrom zustande. Bei geradliniger Ortsbewegung des Kopfes ohne Drehung entsteht in keiner Ampulle ein Flüssigkeitsstrom. Die Erregungen werden zum Kleinhirn geleitet, von dem reflektorisch Gegenbewegungen des Kopfes oder des Körpers ausgelöst werden. Nach mehrfacher schneller Umdrehung

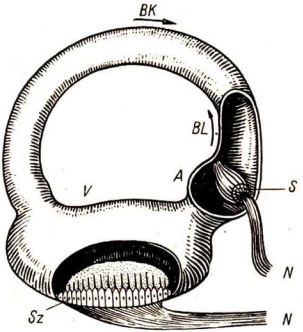


Abb. 41 Lage- und Bewegungsorgane im Bogengang
A Ampulle, N Nerven, S Rezeptoren der Ampulle, Sz Rezeptoren eines Säckchens, V Ventrikel, BK Bewegung des Kopfes, BL Bewegung des Labyrinthwassers

des Körpers kreist die Flüssigkeit im waagerechten Bogengang auch dann noch weiter, wenn der Körper schon wieder stillsteht. Dadurch werden die Sinneszellen in den Ampullen noch weiter gereizt, während mit den Augen und den Sinnesorganen in den Muskeln schon der Stillstand des Körpers wahrgenommen wird. So entsteht der Drehschwindel. Ebenso kann das fortgesetzte Schwanken eines Schiffes auf See durch eine dauernd wechselnde übermäßige Reizung des Organs der Lage- und Bewegungsempfindung ein Schwindelgefühl hervorrufen (Seekrankheit).

Lichtsinnesorgan

Die Aufnahme von Lichtreizen ist nicht an das Vorhandensein bestimmter Organe (Augen) gebunden. Wir finden sehr einfache Lichtsinneszellen bereits bei den niedersten Vertretern des Tierreichs. Die Unterschiedlichkeit der Sehleistung liegt weitgehend im Vorhandensein und Bau von zusätzlichen Hilfseinrichtungen begründet. Je nach ihrer Entwicklungshöhe dienen die Augen der Wahrnehmung der Helligkeitsunterschiede, der Wahrnehmung der Richtung des einfallenden Lichtes, dem Bewegungs- und Bildsehen. Das sichtbare Spektrum wird in unterschiedlicher Breite und Intensität wahrgenommen (manche Tiere sehen beispielsweise ausgezeichnet im ultravioletten Bereich).

Bau des Auges. Der Bau des menschlichen Auges stimmt im wesentlichen mit dem aller Säugetieraugen überein. Das Auge besteht aus dem Augapfel und den Schutz- und Bewegungsorganen des Auges (Abb. 42 u. 43).

Der Augapfel hat annähernd kugelförmige Gestalt. Sein Durchmesser beträgt etwa 24 mm. Die Wand des Augapfels, der entwicklungsgeschichtlich eine Ausstülpung des Zwischenhirns ist, gliedert sich in drei übereinanderliegende Häute.

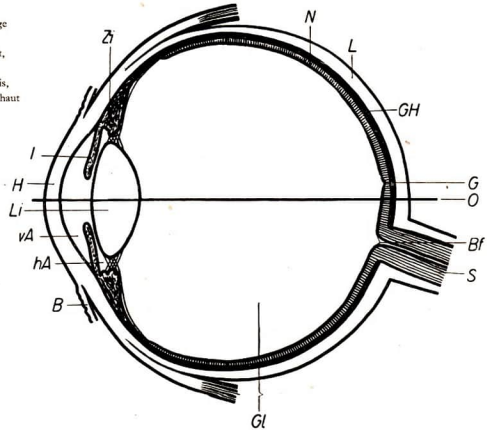
Die **äußere Augenhaut** besteht aus straffem Bindegewebe. Sie bildet eine feste Kapsel, die dem Auge die Form gibt und im vorderen Teil, der uhrglasförmig vorgewölbten Hornhaut, durchsichtig ist. Der größere, weiß erscheinende hintere Teil wird als Lederhaut bezeichnet. Sie enthält am Sehnervenaustritt eine 1,5 mm große siebförmige Öffnung.

Die **mittlere Augenhaut** besteht aus der Aderhaut, dem Ziliarkörper und der Regenbogenhaut (Iris). Sie ist an ihrer Innenseite mit dem zur inneren Augenhaut gehörenden Pigmentepithel verwachsen. Die Aderhaut ist reich an Pigmentzellen und Blutgefäßen, durch welche die Gewebe des Augapfels ernährt werden. Der Ziliarkörper liegt um die Linse zwischen Aderhaut und Iris. Im Querschnitt dreieckig, ragt er etwas ins Augeninnere vor. An seinem freien Ende erheben sich wimperförmige Fortsätze, von denen feine Fasern ausgehen, an denen die Linse befestigt ist. Von den Fortsätzen wird das Kammerwasser gebildet. Im Ziliarkörper liegt der Akkommodationsmuskel, der die Akkommodation des Auges bewirkt.

Die zwischen den Aufhängebändern befestigte Linse ist ein farbloser, bikonvexer, zelliger Körper. Sie ist elastisch und durchsichtig. Mit zunehmendem Alter läßt ihre Elastizität nach.

Als Fortsetzung des Ziliarkörpers biegt der vordere Teil der mittleren Augenhaut, die Iris, fast rechtwinklig zur Augenachse hin ab. Sie läßt in der Mitte ein Loch frei, die Pupille. Diese kann durch einen etwa 1 mm breiten Ringmuskel reflektorisch verengt, durch ein System radiär angeordneter glatter Muskelzellen erweitert werden. Die Iris enthält Pigmente; die verschiedene Pigment-Dichte und die unterschiedliche Dicke des Gewebes rufen die Färbung der Iris hervor. Beim Albino fehlt das Pigment völlig, so-

Abb. 42
Horizontalschnitt durch das Auge
B Bindehaut, Bf blinder Fleck,
G Zentralgrube, GH Gefäßhaut,
Gl Glaskörper, H Hornhaut,
hA hintere Augenkammer, I Iris,
L Lederhaut, Li Linse, N Netzhaut
O optische Achse, S Sehnerv,
vA vordere Augenkammer,
Zi Ziliarfortsatz



wohl im Irisbindegewebe wie im Pigmentepithel, das dahinter liegt. Man sieht die roten Blutgefäße der Iris. Da die Lichtstrahlen durch die Iris hindurchdringen, leuchten sie das ganze Auge aus. Dadurch erscheint auch die Pupille rot. Enthält nur die hintere Pigmentschicht das Pigment, erscheint die Iris blau oder grau, enthält auch das Irisgewebe Pigment, ist sie braun oder fast schwarz.

Durch den Glaskörper, eine durchsichtige, gallertartige Substanz, wird die Netzhaut, die an der Hinterwand des Auges der Aderhaut nur lose anliegt, an die äußeren Schichten des Augapfels gedrückt und dem Augapfel ein gewisser Innendruck gegeben.

Die Iris teilt den Raum zwischen durchsichtiger Hornhaut sowie Linse und Glaskörper in die vordere und hintere Augenkammer. Beide sind mit dem Kammerwasser gefüllt.

Die **innere Augenhaut** besteht aus zwei Schichten, der einschichtigen Pigmentschicht, die mit der Aderhaut verwachsen ist, und der lichtempfindlichen Netzhaut (Retina). In der sehr kompliziert gebauten Netzhaut liegen die lichtempfindlichen Rezeptoren. Die innere, dem Glaskörper anliegende Schicht besteht aus Nervenfasern. Diese entspringen aus Ganglienzellen, die eine unter der Nervenfaserschicht liegende Ganglienzellschicht bilden. Diese Ganglienzellen sind mit einer zweiten, weiter außen liegenden Schicht von Ganglienzellen verbunden. Erst deren Fortsätze enden in den eigentlichen Sehzellen. Bei diesen lassen sich zwei verschiedene Arten unterscheiden, die **Stäbchenzellen** und die **Zapfenzellen.** Die Stäbchen haben dünnere, die Zapfen dickere Außenglieder. Die längeren Stäbchen sind zahlreicher vorhanden als die kürzeren Zapfen. (Man schätzt in der Retina eines menschlichen Auges 7 Millionen Zapfen und 130 Millionen Stäbchen.) Die Stäbchen vermitteln die Helligkeitsempfindung, die Zapfen Farbempfindung und deutliches Sehen.

Mit dem 1850 von HERMANN VON HELMHOLTZ entwickelten Augenspiegel kann man in das Augeninnere sehen. Betrachtet man den Augenhintergrund, dann fallen zwei Punkte auf, ein runder weißer Fleck und seitlich davon eine ovale, gelblich erscheinende Stelle, genau gegenüber der Pupille, der gelbe Fleck. Von dem weißen Punkt gehen rötliche, sich verzweigende Gefäße ab. An dieser Stelle treten der Sehnerv und die ihn begleitenden Gefäße in den Augapfel ein. Hier finden sich weder Stäbchen noch Zapfen, nur Nervenfasern. Deshalb haben wir hier keine Sehempfindungen. Dies ist der blinde Fleck. Wenn wir mit beiden Augen sehen, bemerken wir ihn nicht, weil er in jedem Auge einer anderen Stelle des Gesichtsfeldes entspricht.

Im gelben Fleck liegen keine Stäbchen, sondern nur sehr dicht gestellte, besonders schmale Zapfen. Hier ist die Stelle des schärfsten Sehens. Von hier aus nimmt nach allen Richtungen die Zahl der Zapfen ab. Darum sehen wir einen von der Seite in das Gesichtsfeld tretenden Gegenstand zuerst verschwommen. Er erscheint um so deutlicher, je mehr er sich der Mitte des Gesichtsfeldes nähert.

Die Stäbchen werden schon durch geringe Lichtmengen gereizt. Die Zapfen benötigen eine größere Lichtmenge zur Erregung. Sie vermitteln das Farbsehen. Dazu sind höhere Lichtmengen notwendig, deshalb sehen wir in der Dämmerung und am Abend Farben ungenau oder gar nicht. In den Augen mancher Tagtiere fehlen die Stäbchen (Eidechsen, Schlangen, Schildkröten, manche Vögel); Dunkelseher (Geckonen, nächtlich jagende Fledermäuse und Lemuren) haben nur Stäbchen in der Netzhaut.

Augenmuskeln. Das Auge ist in der Augenhöhle in einen Fettkörper eingelagert, der gegen den Augapfel durch eine zarte Bindegewebshaut abgegrenzt ist. Dadurch wird die reibungslose Bewegung des Auges gesichert. Der Augapfel wird durch sechs Augenmuskeln bewegt (Abb. 43). Die Muskeln sichern eine allseitige Beweglichkeit des Auges. Beide Augen werden stets gleichsinnig bewegt. Das Zusammenspiel der Muskeln beider Augen ist außerordentlich fein abgestimmt und verhindert, daß Doppelbilder der Außenwelt entstehen (Doppelbilder können z. B. bei Übermüdung und Alkoholrausch zustande kommen, auch bei einer Ohnmacht fällt die Koordination der Augen aus, „Verdrehen der Augen").

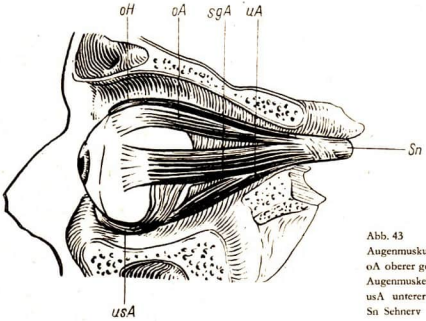


Abb. 43
Augenmuskulatur der linken Augenhöhle von der Seite
oA oberer gerader Augenmuskel, sgA seitlicher gerader Augenmuskel, uA unterer gerader Augenmuskel, usA unterer schräger Augenmuskel, oH Augenlidheber, Sn Sehnerv

Schutzorgane des Auges. Einen weitgehenden Schutz gewährt bereits die **knöcherne Augenhöhle**, in der das Auge liegt. Die **Augenbrauen** leiten von der Stirn herabrinnenden Schweiß ab. Die **Lider** sind Falten der Gesichtshaut, deren Innenseiten von einer Schleimhaut, der Bindehaut, bedeckt sind. Durch Ringmuskeln können die Lider über das Auge gezogen werden. Sie schützen die Hornhaut und verschließen das Auge gegen Lichteinfall, vor allem beim Schlaf. Die Bindehaut setzt sich über den vorderen Teil der Lederhaut fort und geht am Hornhautrand in das Hornhautepithel über.

Das Sekret der Talgdrüsen, das den Lidrand fettet, verhindert das Überfließen der Tränenflüssigkeit, die von der im oberen äußeren Augenwinkel gelegenen **Tränendrüse** abgesondert wird. Diese ist etwa bohnengroß und liegt seitlich oben unter dem Dach der Augenhöhle (Abb. 44).

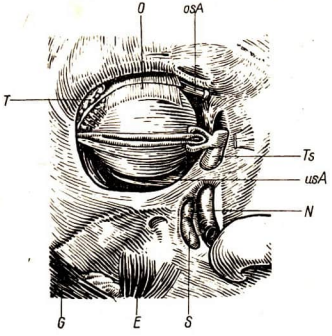


Abb. 44 Tränenapparat (ein Teil des Knochens ist entfernt)
E Eckzahnmuskel, G großer Jochbeinmuskel, N Nasentränengang, O oberer Lidmuskel, osA oberer schräger Augenmuskel, S Schleimhaut der Oberkieferhöhle, T Tränendrüse, Ts Tränensack mit beiden Tränengängen, usA unterer schräger Augenmuskel

Durch den Lidschlag wird die gering eiweißhaltige, schwach salzige, bakterienhemmende Tränenflüssigkeit ständig über die vordere Augenfläche verteilt. Durch den nasenwärts gelegenen Tränensack fließt sie in den Tränennasenkanal ab, der in der vorderen Hälfte des unteren Nasenganges mündet. Physikalische und chemische Reize können den Tränenstrom vermehren (Reizgase, Fremdkörper, Kälte u. a.). Nur beim Menschen verstärkt sich der Tränenfluß auch bei psychischen Erregungen (Schmerz, Trauer, Lachen).

An den Außenseiten der Lidränder sitzen die langen, nach außen gebogenen **Wimpern.**

Sehvorgang. Die von einem leuchtenden Gegenstand ausgehenden oder von einem beleuchteten Gegenstand reflektierten Lichtstrahlen werden durch die Hornhaut und die Linse nach den Gesetzen der Optik gebrochen. Die Brechkraft des Auges beträgt in Ruhestellung (d. h. bei Einstellung auf die Ferne) etwa 60 Dioptrien. Davon entfallen auf das linsenlose Auge etwa 45 Dioptrien, die von der Krümmung der Hornhaut und deren Brechungsindex abhängig sind. Die Hornhaut bildet mit dem hinter ihr liegenden Kammerwasser eine Komplexlinse. Die Linse besitzt etwa 15 Dioptrien, wenn sie im Ruhezustand durch Spannung der Aufhängebänder abgeflacht ist. Dann vereinigen sich parallel einfallende Strahlen im gelben Fleck und erzeugen hier, ähnlich wie in der Kamera auf dem Film, ein umgekehrtes, reelles, verkleinertes Bild. Die in den Sinneszellen entstehenden Erregungen werden über die Ganglienzellen der Retina und die Fasern des Sehnervs in das Gehirn weitergeleitet. In der Großhirnrinde kommen uns die Erregungen als Abbilder der äußeren Umwelt zum Bewußtsein.

Akkommodation. Die Akkommodation ist eine Anpassung des Auges an verschiedene Entfernungen des betrachteten Gegenstandes vom Auge.

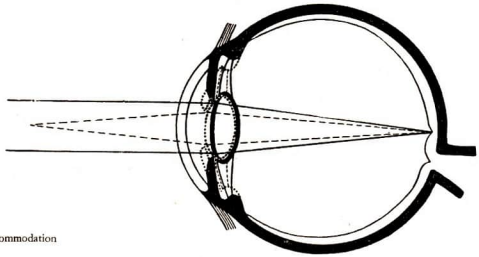


Abb. 45 Strahlengang und Akkommodation

In Ruhestellung ist der Ziliarmuskel erschlafft, die Aufhängebänder der elastischen Linse sind gespannt, die Linse ist abgeflacht. Der Fernpunkt liegt im Unendlichen. Durch die Tätigkeit des Ziliarmuskels werden die Ziliarkörperfortsätze und die Aufhängebänder entspannt, die Linse wölbt sich entsprechend ihrer Eigenelastizität stärker und wird auf das Nahsehen eingestellt. Dabei rückt nur ihre Vorderfläche nach vorn (Abb. 45). Die Muskelkontraktion erfolgt reflektorisch.

Nahsehen erfordert demnach dauernde Anspannung des Muskels. Deshalb soll man anhaltende Naharbeit durch kurzes Blicken in die Ferne unterbrechen.

Bei der Akkommodation können Jugendliche einen 7 cm entfernten Gegenstand noch scharf sehen. Die Linse wölbt sich stark, ihre Brechkraft nimmt um 15 Dioptrien zu. Im Alter läßt die Elastizität nach, die Linse krümmt sich nicht mehr so stark, die Naheinstellung wird geringer. Der Nahpunkt rückt immer weiter in die Ferne (Altersichtigkeit). Etwa mit Erreichung des 70. Lebensjahres geht bei den meisten Menschen die Elastizität der Linse völlig verloren. Die Altersichtigkeit kann durch eine Brille mit Konvexlinsen ausgeglichen werden.

Pupillenreaktion. Die Pupillen beider Augen sind normalerweise gleich groß und rund. Je nach der herrschenden Helligkeit erweitern oder verengen sie sich und regulieren so reflektorisch die einfallende Lichtmenge. Die Pupillenreaktion läßt sich leicht beobachten, wenn man bei hellem Licht die Augen mit den Händen bedeckt und diese dann schnell wegzieht. Bei hellem Licht kontrahiert sich der Ringmuskel der Iris und verengt die Pupille. Im Dunkeln erweitern die radiären Muskeln die Pupille. Der Pupillenreflex ändert also in gewissen Grenzen durch Erweiterung und Verengung der Pupille die einfallende Lichtmenge wie eine Blende an der Kamera. Auch wenn nur ein Auge von Lichtstrahlen getroffen wird, erfolgt die Pupillenreaktion beidseitig.

Netzhaut-Adaptation. Die Anpassung der Netzhaut an die sich ändernde Lichtintensität wird als Adaptation bezeichnet. Treten wir aus dem hellen Sonnenlicht ins Dunkle, sehen wir fast nichts. Erst langsam nimmt die Lichtempfindlichkeit der Sehzellen zu, wir erkennen die Gegenstände. Die Lichtempfindlichkeit kann nach einer halben bis einer Stunde auf den 10 000fachen Wert gesteigert sein. Treten wir wieder ins Helle, so werden wir für kurze Zeit geblendet. Aber schon nach Minuten haben sich die Sehzellen dem Tageslicht angepaßt. Die Anpassung an helles Licht erfolgt bedeutend schneller als an Dunkelheit.

Wir unterscheiden Hell- und Dunkeladaptation. Im dunkeladaptierten Auge enthalten die Außenglieder der Stäbchen einen roten Farbstoff, den Sehpurpur (Rhodopsin). Er setzt sich aus einem Eiweißanteil unbekannter Struktur und einer lichtempfindlichen Vorstufe des Vitamins A zusammen. Bei Lichteinfall wird der Sehpurpur teilweise zerstört. Dabei werden die Stäbchen erregt. Im Dunkeln wird der Sehpurpur langsam wieder aufgebaut. Je mehr Sehpurpur vorhanden ist, desto leichter lassen sich die Stäbchen erregen. Die Bildung des Sehpurpurs erfolgt aus Stoffen, die aus dem Blut und dem Pigmentepithel stammen.

Im dunkeladaptierten Auge sind die Zapfen ausgeschaltet. Die Stäbchen sind lichtempfindlicher als die Zapfen, können aber keine Farben unterscheiden, nur Helligkeitsunterschiede. Im helladaptierten Auge sind die Stäbchen ausgeschaltet.

Körperliches Sehen. Auf der Netzhaut entsteht ein flächenhaftes, zweidimensionales Bild. Unsere Gesichtswahrnehmungen dagegen sind körperlich, dreidimensional. Beim körperlichen Sehen wirken verschiedene Faktoren zusammen. Ein wichtiger Faktor ist die Tatsache, daß wir mit zwei Augen sehen. Das rechte Auge sieht den Gegenstand etwas mehr von rechts, das linke etwas mehr von links; es entstehen zwei etwas verschiedene Bilder. Erst im Gehirn werden diese Bilder zu einem einzigen, nunmehr körperlich erscheinenden Bild kombiniert.

Außerdem spielen beim körperlichen Sehen die Luftperspektive und das perspektivische Sehen eine Rolle. Als Luftperspektive bezeichnet man die Tatsache, daß durch die verschieden starken Luftschichten, die zwischen zwei verschieden weit entfernten Gegenständen liegen, die Licht- und Farbintensitäten dieser Gegenstände in unterschiedlicher Stärke abnehmen. Das perspektivische Sehen entsteht dadurch, daß ein weiter entfernter Gegenstand eine kleinere Abbildung auf der Netzhaut erfährt als ein nahe liegender. Auf Grund unserer Erfahrungen wissen wir, welche Größe die einzelnen Objekte tatsächlich haben. Der Vergleich der relativen Größen der Gegenstände vermittelt uns einen Eindruck von der Entfernung der Gegenstände.

Sehstörungen und Augenkrankheiten

Bei vielen Menschen finden sich Abweichungen vom normalen Bau des Auges, die die Sehfähigkeit beeinträchtigen. Die Abweichungen betreffen meist die Länge der Augenachse oder die Brechkraft der Linse (Abb. 46).

Ist die Augenachse zu lang, so entsteht bei normaler Linse das scharfe Bild des Gegenstandes nicht auf, sondern vor der Netzhaut. Diese **Kurzsichtigkeit** wird durch Brillen mit Konkavgläsern (Zerstreuungslinsen) korrigiert. Die **Übersichtigkeit** beruht auf abnormer Kürze des Augapfels. Die Lichtstrahlen können sich erst hinter der Netzhaut zu einem scharfen Bild vereinigen. Im Alter läßt die Elastizität der Linse nach, so daß sie sich bei der Betrachtung naher Gegenstände nicht mehr ausreichend wölben kann. Dadurch können sich die von nahen Gegenständen kommenden Strahlen auch bei normaler Länge des Augapfels erst hinter der Netzhaut zu einem scharfen Bild vereinigen (**Alterssichtigkeit**). Die Korrektur von Übersichtigkeit und Alterssichtigkeit erfolgt durch Konvexgläser (Sammellinsen; Abb. 46).

Ist die Hornhaut nicht gleichmäßig gekrümmt, so wird ein Punkt nicht mehr punktförmig, sondern als Strich auf der Netzhaut abgebildet (**Astigmatismus**). Durch Zylindergläser mit angepaßter Achsenstellung läßt sich diese Störung häufig ausgleichen. (Zylindergläser sammeln beziehungsweise zerstreuen Lichtstrahlen nur in einer der beiden Einfallsebenen, während sie in der anderen keine Brechkraft besitzen.)

Eine Trübung der Augenlinse bezeichnet man als grauen Star. Man kann in solchen

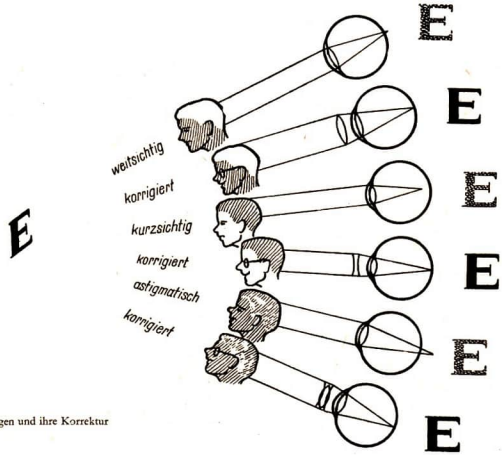


Abb. 46 Häufige Sehstörungen und ihre Korrektur

Fällen die Augenlinse operativ entfernen und durch Brillen, deren Gläser die Brechkraft der entfernten Linse ersetzen, ausreichendes Sehen ermöglichen. Bei einer Trübung der Hornhaut kann man diese teilweise entfernen und durch eine gesunde ersetzen.

Sehr viele innere Krankheiten, insbesondere Infektionskrankheiten, können das Auge in Mitleidenschaft ziehen (z. B. Tuberkulose, Zuckerkrankheit, Nervenkrankheiten).

Bindehautentzündung tritt entweder als Folge von mechanischen oder chemischen Reizen oder durch Infektion auf. Eine gefährliche und stark ansteckende, hartnäckige Form der Bindehautentzündung ist die Ägyptische Augenkrankheit (Trachom), die durch ein Virus hervorgerufen wird. Sie greift oft auf die Hornhaut über und kann zu schweren Sehstörungen führen. Diese Krankheit ist in den Ländern Afrikas und Asiens noch weit verbreitet. Das ist vor allem auf die außerordentlich mangelhafte ärztliche Betreuung und die schlechten sozialen Verhältnisse in den bisher kolonialen oder halbkolonialen Gebieten zurückzuführen. In einigen Gebieten Burmas und Vietnams sind beispielsweise 80 bis 90% der Bevölkerung an Trachom erkrankt.

Die **Farbenblindheit** beruht auf einer angeborenen Funktionsstörung der Zapfenzellen. Sie tritt meist als Rot-Grün-Blindheit beziehungsweise -Schwäche, selten als Blau-Gelb-Blindheit oder gar als völlige Farbenblindheit auf. Farbenblinde sind für manche Berufe (z. B. Lokomotivführer) nicht geeignet.

Eine Reihe von Augenkrankheiten ist mit **Nachtblindheit** verbunden. Eine seltene Form der Nachtblindheit entsteht durch Mangel an Vitamin A in der Nahrung.

Das **Schielen** entsteht vielfach durch Überwiegen eines Augenmuskels über seinen Gegenspieler oder durch Lähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln.

Eine meist harmlose, aber bisweilen sehr hartnäckige Erkrankung sind die **Gerstenkörner,** die durch Entzündung von Talgdrüsen am Lidrand entstehen.

Sind **Fremdkörper** unter die Augenlider gelangt, so darf man auf keinen Fall am Auge reiben. Dadurch können Entzündungen entstehen. Sitzt der Fremdkörper unter dem oberen Augenlid, entfernt man ihn, indem man das obere Augenlid über das untere zieht und den Augapfel bewegt. Dadurch wird der Fremdkörper von den Wimpern des Unterlids abgewischt. Sitzt der Fremdkörper unter dem unteren Augenlid, so genügt es, das Augenlid abwärts zu ziehen und den Fremdkörper mit dem Zipfel eines sauberen Taschentuchs zu entfernen. Gelingt die Entfernung nicht ohne weiteres, so muß umgehend ein Arzt aufgesucht werden.

Augenhygiene. Zur Erhaltung der normalen Funktionsfähigkeit des Auges ist es wichtig, die Regeln der Augenhygiene zu beachten. Bei jeder Arbeit muß für ausreichende Beleuchtung gesorgt und die Möglichkeit der Verwendung optischer Hilfsmittel geprüft werden. Als ausreichend kann man eine Beleuchtung dann ansehen, wenn ein Mensch mit normaler Sehkraft die Schrift dieses Buches in einer Entfernung von etwa 1 m vor seinen Augen mühelos entziffern kann. Bei ungenügender Beleuchtung ist der Mensch gezwungen, den Arbeitsgegenstand aus geringerer Entfernung zu betrachten und dadurch den Akkommodationsmuskel stark anzuspannen, so daß dieser ermüdet. Auch eine zu grelle Beleuchtung kann zu verschiedenartigen Augenerkrankungen, zum Beispiel zu Bindehautentzündung, führen. Schweißer und Schleifer beispielsweise tragen Schutzbrillen gegen das schädliche ultraviolette Licht. Lampen müssen so angebracht sein, daß sie die Augen nicht direkt beleuchten und den Arbeitsplatz gut erhellen. Richtige Beleuchtung erleichtert die Arbeit und vermindert die allgemeinen Ermüdungserscheinungen. Bei allen Augenerkrankungen muß die Hilfe eines Augenarztes in Anspruch genommen werden.

Übersicht über die Sinnesorgane

Nach der Art der Reize kann man die Sinnesorgane folgendermaßen einteilen:

Reizart	Rezeptoren	Empfindungen
Mechanische Energie		
Berührung oder Druck	Hautsinneskörperchen	Tast-, Druck-, Berührungsempfindungen
Muskel- und Sehnenspannung	Gelenkspindeln in Muskeln und Sehnen	Spannungsempfindungen
Schwerkraft	Organe der Lage- und Bewegungsempfindungen	Lage- und Bewegungsempfindungen
Beschleunigung		
Luftschwingungen	Gehörorgan	Schallempfindungen
Wärmeenergie	Temperatursinneskörperchen	Wärme- und Kälteempfindungen
Chemische Energie		
Gase	Geruchsorgan	Geruchsempfindungen
Lösungen	Geschmacksknospen	Geschmacksempfindungen
Strahlende Energie		
Lichtwellen	Auge	Licht- und Farbenempfindungen
Alle Energieformen	Freie Nervenendigungen	Schmerz

Aufgaben und Fragen

1. Welche Sinnesorgane sind am Erkennen der Größe eines Gegenstandes beteiligt?
2. Verbinden Sie einem Mitschüler die Augen! Geben Sie ihm einen Gegenstand in die Hand! Er soll feststellen, wie dessen Oberfläche beschaffen ist!
   Welche Rezeptoren haben ihm den Gegenstand charakterisieren helfen?
   Geben Sie dem Mitschüler ein Stück Brot in die Hand und lassen Sie es ihn essen! Führt er es richtig zum Munde?
   Geben Sie dem Mitschüler in eine Hand ein 50-Gramm-Gewicht, in die andere ein 100-Gramm-Gewicht! Er soll angeben, in welcher Hand er das schwerere Gewicht hält!
   Führen Sie diese Versuche an sich selbst aus! Stellen Sie ähnliche Versuche zusammen! Begründen Sie die Ergebnisse der Versuche!
3. Warum kann ein Tier erblinden, wenn man ihm die Tränendrüsen entfernt?
4. Welche reflektorischen Bewegungen schützen das Auge?
5. Wie nehmen die verschiedenen Lebewesen Lichtreize auf?
6. Betrachten Sie einen Gegenstand mit beiden Augen! Drücken Sie mit dem Finger seitlich leicht gegen einen Augapfel! Wie verändert sich das Bild? Erklären Sie!
7. Nehmen Sie eine Taschenuhr zwischen die Zähne und achten Sie auf das Ticken! Wird es verstärkt oder schwächer gehört?
8. Warum kann sich ein Entzündungsprozeß vom Nasen-Rachen-Raum leicht auf das Mittelohr ausdehnen?
9. Wenn sich ein Flieger aus großer Höhe dem Erdboden nähert, wird sein Trommelfell nach innen gedrückt, er vernimmt ein unangenehmes Dröhnen, und sein Hörvermögen läßt nach! Begründen Sie!
10. Verschließen Sie Mund und Nase fest mit der Hand! Versuchen Sie kräftig auszuatmen! Welche Wirkung hat das auf die Ohren? Schlucken Sie nach dem Versuch! Begründen Sie die Erscheinungen!
11. Begründen Sie die Gehörempfindung beim Tauchen unter Wasser!
12. Verbinden Sie einem Mitschüler die Augen! Rufen Sie ihm von verschiedenen Seiten zu! Lassen Sie ihn die Richtung der Schallquelle angeben!
13. Vergleichen Sie das Riechvermögen des Menschen mit dem von Tieren (z. B. Hund, Reh)!
14. Kann ein Mensch, der das Geruchsvermögen eingebüßt hat, als Koch arbeiten? Begründen Sie Ihre Meinung!
15. Prüfen Sie mit Hilfe eines sauberen Pinsels und wäßriger Lösungen von Salz, Zucker, Speiseessig und Bittersalz die Empfindlichkeit der verschiedenen Zungenbereiche!
16. Warum bemühen wir uns, einen Gegenstand, den wir näher kennenlernen wollen, mit den Fingern zu berühren?
17. Heben Sie einen leeren und einen vollen Eimer! Achten Sie auf den Unterschied der Empfindungen in den Muskeln und Gelenken!

Die Organe des vielzelligen Körpers zu einer funktionellen Einheit zu verbinden, deren Tätigkeit zu koordinieren und entsprechend den inneren und äußeren Umwelteinwirkungen zentral zu steuern, ist Aufgabe des Nervensystems. Die reizaufnehmenden Organe stehen über das Nervensystem mit den reizbeantwortenden Organen in Verbindung. Das Nervensystem hat die Fähigkeit, diese von den Sinneszellen aufgenommenen Reize, die in Erregungen umgewandelt werden, entsprechend ihrer Bedeutung für den Organismus bestimmten Erfolgsorganen zuzuleiten.

Nervensysteme sind schon bei niederen Vielzellern ausgebildet. Stammesgeschichtlich sehr früh entwickelten sich Zentralisationspunkte, in denen Nervenzellen gehäuft liegen. Diese Zentralisation erreicht ihren Höhepunkt bei den Wirbeltieren; sie besitzen ein Gehirn. Der Mensch vermag in besonders ausgeprägter Form dem Zentralnervensystem zugegangene Erregungen auch zu konservieren und später erst zu reproduzieren. Damit bildete sich die Grundlage für die bewußte Tätigkeit und alle geistigen Fähigkeiten, wie sie den Menschen auszeichnen. Das Nervensystem des Menschen stellt die höchste Stufe dieses Entwicklungsprozesses dar.

Am Nervensystem des Menschen lassen sich drei Teile unterscheiden:

das aus Gehirn und Rückenmark bestehende **Zentralnervensystem,**

die vom Zentralnervensystem ausgehenden Nerven, das **periphere** Nervensystem,

das **vegetative** Nervensystem, das vor allem die Tätigkeit der inneren Organe reguliert und aufeinander abstimmt.

Alle Teile des Nervensystems stehen in engem Zusammenhang miteinander. Deshalb lassen sie sich weder nach ihrem Bau noch nach ihrer Funktion scharf gegeneinander abgrenzen. Ihre Einteilung ist nicht anatomisch bedingt, sie soll lediglich Übersicht und Einblick in Bau und Funktion des einheitlichen Nervensystems erleichtern.

Nervengewebe. Die kleinsten Bausteine des Nervensystems sind zwei Arten von Zellen, die Nervenzellen und die Gliazellen. Die Nervenzellen dienen der Aufnahme und Leitung von Erregungen. Die Gliazellen haben Ernährungs- und Stützfunktionen.

Die Nervenzellen oder Ganglienzellen bestehen aus dem Zelleib und einem oder mehreren Fortsätzen, die von diesem ausgehen (s. Abb. 59). Diese dienen der Erregungsleitung. Die am häufigsten vorkommenden Nervenzellen besitzen einen langen, sich nicht verzweigenden Fortsatz, den Neuriten, der bis 1 m lang werden kann. Er ist bei den meisten Zellen von einer besonderen Hülle, der Markscheide, umgeben, die von den Schwannschen Zellen gebildet wird. Sie werden als sogenannte Schwannsche Scheide bezeichnet. In Abständen von etwa 1 mm erscheint die Markscheide ein-

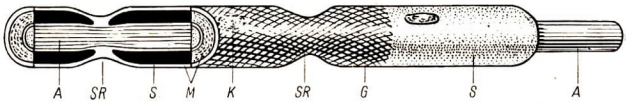


Abb. 47 Schema der Markscheidenumhüllung der Nervenfaser
A Achsenzylinder (Neurit), G Gitterfaserhülle, K Kern (Schwannsche Scheidenzelle), M Markscheide, S Schwannsche Scheide, SR Ranvierscher Schnürring

geschnürt (Abb. 47). Diese Stellen werden als Schnürringe bezeichnet. Hier stoßen zwei Schwannsche Zellen aneinander. Außerdem besitzen die meisten Nervenzellen mehrere kurze, sich baumartig verzweigende Dendriten, durch die sie mit anderen Nervenzellen in Verbindung stehen.

Im Zelleib der großen Zellen befinden sich der Zellkern und die Tigroidschollen. Wahrscheinlich stellen die Tigroidschollen Reservestoffe für den Zellstoffwechsel dar. Genaueres über ihre Funktion ist nicht bekannt. Außerdem sind durch bestimmte Färbemethoden feinste Faserstrukturen, die Neurofibrillen, nachweisbar, die das Plasma der Zelle und die Fortsätze durchziehen.

Man vermutete bisher in den Neurofibrillen die Elemente der Erregungsleitung. Neuere Untersuchungen haben diese Vermutung nicht bestätigt. Die Neurofibrillen sind in lebenden Nerven in dieser Form nicht zu erkennen, sondern werden erst bei der Fixation des zu untersuchenden Gewebes sichtbar.

Die Gesamtheit der Neuriten des Zentralnervensystems bezeichnet man als weiße, die der Ganglienzellen als graue Substanz, eine Nervenzelle mit allen Fortsätzen als Neuron. Ein Reiz erregt zwar die gesamte Nervenzelle, die Erregung kann aber nur an einem bestimmten Ende auf weitere Zellen übertragen werden. Dieses Ende kann keine Reize aufnehmen, während die anderen Enden nur Reize aufnehmen können. Das Nervensystem besteht aus Millionen von Neuronen.

Die Nervenzellen werden nicht unmittelbar von Umweltreizen erregt. Sie sprechen auf die von Sinneszellen stammenden Erregungen an und übertragen sie auf das Zentralnervensystem, das entsprechende Reaktionen auslöst oder die Erregungen aufbewahrt.

Die Neuriten mehrerer Nervenzellen laufen zusammen und bilden dünnere oder dickere, von Bindegewebshüllen umgebene Bündel, die Nerven. In ihnen verlaufen Bahnen, die Erregungen vom Zentralnervensystem zu den Organen leiten, und auch solche, die Erregungen von den Sinnesorganen zum Zentralnervensystem leiten (gemischte Nerven).

Der Nerv enthält niemals Nervenzellen. Diese liegen in den Nervenknoten (Ganglien) oder in den Sinnesorganen.

Nach der Geburt findet keine Neubildung von Nervenzellen mehr statt. Noch mehrere Jahre lang reifen während der Embryonalentwicklung angelegte Neurone aus, indem sich ihre Markscheiden ausbilden. Darum werden einige Nerven erst Wochen oder Monate nach der Geburt leistungsfähig (z. B. die Neuriten der Großhirnzellen).

Zentralnervensystem

Das Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) liegt in einer Knochenhöhle, die im Kopfbereich (Gehirn) aus den Knochen des Hirnschädels, der Schädelkapsel, gebildet wird. Im Bereich des Halses und des Rumpfes (Rückenmark) besteht sie aus den Wirbelbögen, die durch starke Bänder miteinander verbunden sind und den Wirbelkanal bilden. Zwischen der Knochenwand und dem Nervengewebe liegen drei Hüllen, die das gesamte Zentralnervensystem schützend umgeben (Farbtafel 4). Im Schädel ist die äußere Hülle fest mit dem Knochen verwachsen, in der Wirbelsäule nicht. Das Rückenmark wird dadurch bei Bewegungen der Wirbelsäule nicht verzerrt oder gequetscht. Zwischen der mittleren und der dem Nervengewebe fest anliegenden inneren Hülle befindet sich ein Zwischenraum, der mit Flüssigkeit (Liquor) gefüllt ist. Dadurch ist das Zentral-

nervensystem weitgehend gegen mechanische Beschädigungen geschützt. Der Liquor verhindert außerdem das Vordringen von Krankheitserregern oder das Zentralnervensystem schädigenden Stoffen.

In einigen Gebieten des Zentralnervensystems liegen hauptsächlich Nervenzellen, in anderen verlaufen die langen Fortsätze der Nervenzellen. Sie führen aus den höheren Abschnitten des Zentralnervensystems zu den tiefer gelegenen und schließlich in den Körper beziehungsweise umgekehrt. Man bezeichnet die Gebiete, in denen die Zellen liegen, nach ihrer Färbung als graue Substanz des Zentralnervensystems. Die Gebiete, in denen die Fortsätze der Nervenzellen liegen, erscheinen weiß und werden darum als weiße Substanz bezeichnet.

Das Rückenmark

Das Rückenmark ist ein 40 bis 45 cm langer, etwa 1 cm dicker Strang, der vom Hinterhauptsloch bis in die Höhe des 2. Lendenwirbels reicht. An seiner Vorderseite ist eine deutliche Längsfurche ausgebildet. Vom Rückenmark zweigen 31 Paar Rückenmarksnerven ab. Sie treten aus dem Mark beiderseits mit je einer vorderen und hinteren Wurzel aus. Beim Durchtritt durch das Zwischenwirbelloch vereinigen sich die beiden Wurzeln einer Seite zu einem Rückenmarks- oder Spinalnerven (Abb. 48).

Am Rückenmarksquerschnitt (Abb. 48) erkennt man um den sehr feinen Zentralkanal, der mit den Hohlräumen im Gehirn in Verbindung steht, die schmetterlingsförmige graue Substanz, die von der weißen umgeben ist. In den Vorderhörnern liegen die Nervenzellen, von denen aus die Erregungen zu den Muskeln geleitet werden. Darum bezeichnet man sie als motorische Vorderhornzellen. Ihre Neuriten treten als motorische Nervenfasern an der Vorderseite des Rückenmarks aus und bilden die vordere Wurzel des Spinalnerven. An den Nervenzellen der Hinterhörner enden Ner-

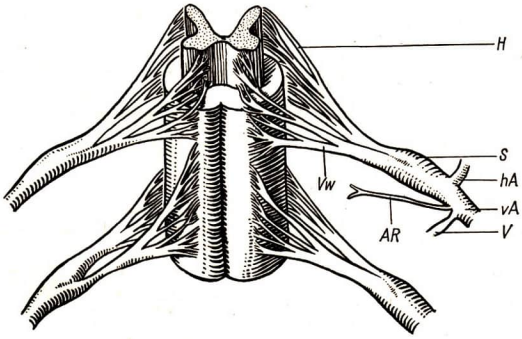


Abb. 48 Wurzeln und Äste des Rückenmarksnerven
AR Ast zu den Rückenmarkshäuten, H Hinterwurzelfaser, hA hinterer Ast, S Spinalganglion, V Verbindungsast zum Grenzstrang, vA vorderer Ast, Vw Vorderwurzelfasern

venfasern, die Erregungen zum Rückenmark leiten. Diese Neuriten werden als sensible Nervenfasern bezeichnet. Ihre Nervenzellen liegen kurz vor ihrem Eintritt in das Rückenmark in einer knotenartigen Anschwellung der hinteren Wurzel, dem Spinalganglion. Die hintere Wurzel enthält also sensible Bahnen, deren Zellen im sensiblen Spinalganglion liegen.

An den Dendriten der motorischen Nervenzellen des Vorderhorns enden Neuriten, deren Nervenzellen in höheren Abschnitten des Zentralnervensystems liegen. Fortsätze der sensiblen Nervenzellen im Hinterhorn ziehen zu höheren Abschnitten des Zentralnervensystems. Die Gesamtheit der Nervenfasern, die von den Nervenzellen der grauen Substanz des Rückenmarks ausgehen oder zu ihnen hinführen, bilden die weiße Substanz. Innerhalb derselben lassen sich Bündel von Nervenfasern gleicher Funktion gegeneinander abgrenzen. Diese bezeichnet man als Leitungssysteme oder Bahnen des Rückenmarks.

Der grauen Substanz liegen unmittelbar kurze Bahnen an, die die Nervenzellen zweier oder mehrerer Abschnitte des Marks funktionell miteinander verbinden. Diesem schon bei niedersten Wirbeltieren ausgebildeten Eigenapparat des Rückenmarks liegt beim Menschen ein viel mächtigeres Leitungssystem auf, das die Erregungen zu höheren Zentren des Zentralnervensystems leitet.

Die wichtigsten Leitungssysteme sind:

das Pyramidenbahnsystem (motorisch),
das extrapyramidale System (motorisch),
das sensible Hinter- und Seitenstrangsystem.

Die Nervenzellen, deren Fasern das Pyramidenbahnsystem bilden, liegen in der vorderen Zentralwindung der Großhirnrinde. Die aus der linken und der rechten Hälfte des Großhirns entspringenden Pyramidenbahnen überkreuzen sich in Höhe des verlängerten Marks und ziehen zu den motorischen Nervenzellen des Vorderhorns. Die Pyramidenbahn leitet die nervösen Erregungen für die willkürlichen Bewegungen der Muskeln. Bei der Beutelratte macht die Pyramidenbahn 3,6%, beim Menschen etwa 30% der weißen Substanz aus.

Die extrapyramidalen Bahnen nehmen ihren Ursprung von Ganglienzellgruppen im Zwischen- und Mittelhirn (Abb. 50). Sie ziehen in ihrer Mehrzahl an den Seiten des Rückenmarks abwärts und enden ebenso wie die Pyramidenbahnen an den motorischen Vorderhornzellen. Die extrapyramidalen Bahnen leiten Erregungen, die geläufige, von der Aufmerksamkeit unabhängig verlaufende Bewegungen bewirken (z. B. die Bewegungen der Arme beim Gehen, das unwillkürliche Gebärdenspiel bei Schmerz, Freude, Trauer usw.).

Das sensible Leitungssystem nimmt seinen Ursprung von den sensiblen Spinalganglien. Die sensiblen Bahnen ziehen im Hinterstrang und in den Seitensträngen des Rückenmarks aufwärts. Die hier geleiteten Erregungen werden auf weitere Neurone umgeschaltet und erreichen die hintere Zentralwindung der Großhirnrinde, wo sie zu Empfindungen umgeformt werden.

Außer dem langen, Gehirn und Rückenmark miteinander verbindenden Leitungssystem gibt es im Rückenmark Neurone, die Kurzschlüsse zwischen motorischen und sensiblen Nervenzellen innerhalb des Rückenmarks herstellen. Diese Nervenzellen bezeichnet man als Schaltneurone. Sie bilden die Grundlage für alle Reflexe, die innerhalb des Rückenmarks ablaufen. Zum vollständigen Reflexbogen eines lediglich durch das Rückenmark verlaufenden Reflexes gehören fünf Abschnitte:

das Sinnesorgan (Rezeptor), das den aus der Umwelt kommenden Reiz aufnimmt und in eine nervöse Erregung umsetzt;
die sensiblen Nervenfasern, die diese Erregung vom Sinnesorgan über die Spinalganglien zu den sensiblen Hinterhornzellen des Rückenmarks weiterleiten;

ein oder mehrere Schaltneurone, die die Verbindung zwischen den sensiblen Hinterhornzellen und den motorischen Vorderhornzellen herstellen können und das Reflexzentrum bilden;
die motorischen Fasern, die die Erregung von den Vorderhornzellen zum Erfolgsorgan weiterleiten;
das Erfolgsorgan (Effektor), das auf diese Erregung mit einer Tätigkeit reagiert.

Beim Menschen ist eine große Anzahl von Rückenmarksreflexen bekannt, die für den Arzt auch Bedeutung für das Erkennen von Krankheiten des Rückenmarks haben.

Je weniger Neurone am Reflexbogen beteiligt sind, um so kürzer ist die Reflexzeit. Reflexe, die nur zwei Neurone durchlaufen, bezeichnen wir als einfache, die drei oder mehrere durchlaufen, als zusammengesetzte. Reflexe, bei denen zu- und ableitende Bahnen im gleichen Organ beginnen und enden, nennt man Eigenreflex. Ein typischer Eigenreflex ist der Kniesehnenreflex. Ein Eigenreflex ist immer zugleich ein einfacher Reflex.

Der Reflexbogen des Kniesehnenreflexes beginnt in den Muskel- und Sehnenspindeln des vierköpfigen Schenkelstreckmuskels, die durch eine plötzliche Dehnung des Muskels gereizt werden. Bei übereinandergeschlagenen Beinen läßt sich eine solche Dehnung hervorrufen, indem man einen kurzen, kräftigen Schlag auf die Streckersehne des übergeschlagenen Beines unmittelbar unterhalb der Kniescheibe ausführt. Die dadurch ausgelöste Erregung läuft zu sensiblen Hinterhornzellen im Lendenteil des Rückenmarks und wird direkt auf motorische Vorderhornzellen übertragen. Von diesen ziehen motorische Fasern zum vierköpfigen Schenkelstreckmuskel zurück. Die übermittelte Erregung bewirkt eine kurze, schnelle Kontraktion dieses Muskels, die man an dem ruckartigen Strecken des übergeschlagenen Beines erkennt. Läßt sich der Kniesehnenreflex nicht auslösen, kann der Funktionsablauf durch einen Krankheitsprozeß gestört sein.

Solche Reflexe sind allen Skelettmuskeln eigen. Die plötzlichen Widerstandsveränderungen, die wir beim Gehen, Laufen oder Springen ständig haben, werden durch sie eigenreflektorisch abgefangen, bevor willkürliche Regulationen eintreten können. Die Reaktion erfolgt sofort.

Viele Reflexe laufen unter Vermittlung mehrerer Schaltneurone ab. Dadurch kontrahieren sich mehrere Muskeln, die Antwort auf einen Reiz ist eine koordinierte Bewegung; Aufnahme- und Erfolgsorgane sind nicht die gleichen (Fremdreflex).

Ein typisches Beispiel dafür ist der Lidschlußreflex der Augen. Es kommt zum Lidschluß, sobald ein fremder Reiz das Auge trifft. Auch Schluck-, Husten-, Brech- und Niesreflex sind hier zu nennen. Es handelt sich meist um sehr wichtige Schutzreflexe, die wie die Eigenreflexe phylogenetisch sehr alt sind.

Auch der Muskeltonus wird zum Teil durch Reflexe bewirkt, die lediglich über das Rückenmark laufen. Diese Tonusreflexe nehmen ihren Ausgang ebenfalls in den sensiblen Endorganen der Muskeln und Sehnen, verlaufen über sensible Nervenfasern zum Rückenmark und von hier zurück zu den Muskeln. Unterbricht man bei Tieren im Experiment den Reflexbogen dieser Tonusreflexe, indem die sensiblen Nervenfasern des Reflexbogens durchschnitten werden, so verlieren die entsprechenden Muskeln ihren Tonus, sie erschlaffen. Verlieren beispielsweise mehrere Muskeln des Beines ihren Tonus, so hängt dieses schlaff herab. Da den Muskeln über die Pyramidenbahn und die Vorderhornnervenzellen des Rückenmarks aber noch nervöse Erregungen zugeleitet werden können, kann das Bein willkürlich bewegt werden.

Der Ablauf der Rückenmarksreflexe wird von Erregungen, die von höheren Abschnitten des Zentralnervensystems ausgehen, gefördert oder gehemmt. Durch die

Pyramidenbahn beispielsweise werden den motorischen Vorderhornzellen dauernd Erregungen zugeleitet, die den Ablauf der Tonusreflexe hemmen. Fallen diese Erregungen weg, weil die Leitfähigkeit der Pyramidenbahn durch einen krankhaften Prozeß unterbrochen wird, so laufen die Tonusreflexe ungehemmt ab. Dadurch geraten die Muskeln in einen Zustand erhöhter Spannung. Die Gliedmaßen setzen einer passiven Bewegung einen erhöhten Widerstand entgegen.

Dieses Beispiel zeigt, daß die Rückenmarksreflexe nicht isoliert von den im Zentralnervensystem vor sich gehenden Vorgängen verlaufen. Das Nervensystem reagiert immer als Ganzes; jede Änderung in einem Teil führt zu Veränderungen in anderen Teilen.

Die Rückenmarksreflexe spielen bei niederen Wirbeltieren eine wesentlich größere Rolle als beim Menschen. Mit der Entwicklung des Endhirns, vor allem der Großhirnrinde, nimmt die Selbständigkeit der Rückenmarksreflexe ab.

Das Gehirn

Das Gehirn erreicht beim Menschen die höchste Stufe seiner Entwicklung. Es besitzt ein Durchschnittsgewicht von etwa 1350 g (Pferd 400 bis 650 g, Hausschwein 125 bis 175 g, Wal 2000 bis 3000 g, Elefant 4000 bis 6000 g). Oft gibt das Verhältnis des Hirngewichts zum Gesamtgewicht eines Lebewesens einen ungefähren Anhalt für die Abschätzung von dessen psychischen Fähigkeiten. Beim Elefanten ergibt sich ein Verhältnis von 1 : 800, beim Pferd 1 : 800 bis 1 : 1000, beim Schwein 1 : 700 bis 1 : 1000, beim Hund 1 : 100 bis 1 : 400, beim Menschen etwa 1 : 50. Aufschlußreich für die Bedeutung des Hirns beim Menschen ist auch das Verhältnis des Hirngewichts zum Gewicht des Rückenmarks: Mensch 26 : 1, Elefant 11 : 1, Pferd 3 : 1, Rind 2 : 1.

Man unterscheidet beim Gehirn fünf Abschnitte (Abb. 49 u. 50): Verlängertes Mark (Nachhirn), Hinterhirn (Kleinhirn), Mittelhirn, Zwischenhirn und Vorderhirn (Großhirn).

Verlängertes Mark. An das Rückenmark schließt sich nach oben unmittelbar das verlängerte Mark an (Abb. 49 u. 50). Es ist keulenförmig und etwas dicker als das Rückenmark. Durch das verlängerte Mark ziehen die Pyramidenbahnen und die extrapyramidalen Bahnen. Die sensiblen, vom Rückenmark aufsteigenden Bahnen werden auf neue Neuronen umgeschaltet, deren Ganglienzellen im verlängerten Mark liegen. Außerdem befinden sich im verlängerten Mark Gruppen von Nervenzellen, sogenannte Kerne, die den Ursprung der motorischen beziehungsweise den Endpunkt der sensiblen Nervenfasern verschiedener Gehirnnerven bilden (s. S. 93). Die Kerne entsprechen den Ganglien des peripheren Nervensystems.

Ausgedehnte Kerngruppen im verlängerten Mark bilden die Zentren für die Regulation von Atmung und Kreislauf. Vom Atemzentrum gehen dauernd rhythmische Erregungen aus, die über verschiedene Nerven zu den Zwischenrippenmuskeln und zum Zwerchfell geleitet werden. Die Zerstörung dieses Atemzentrums führt zum Aufhören der Atmung und damit zum Tode.

Der adäquate Reiz für die Erregungsbildung im Atemzentrum ist der chemische Zustand des Blutes. Je höher dessen Kohlendioxiddruck steigt, desto stärker wird das Atemzentrum gereizt. Die Reizung führt zu vertiefter Atmung und damit zu verstärkter Ausatmung von Kohlendioxid. Dadurch wiederum läßt der Reiz auf das Atemzentrum nach.

Das Kreislaufzentrum reguliert die Weite der Gefäße. Ebenso wie für das Atemzentrum stellt auch für das Kreislaufzentrum der Kohlendioxiddruck des Blutes den

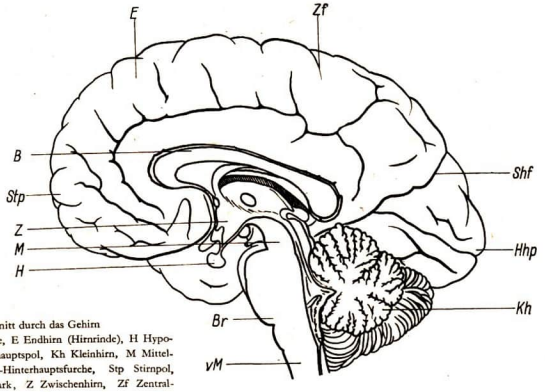


Abb. 49 Medianschnitt durch das Gehirn
B Balken, Br Brücke, E Endhirn (Hirnrinde), H Hypophyse, Hhp Hinterhauptspol, Kh Kleinhirn, M Mittelhirn, Shf Scheitel-Hinterhauptsfurche, Stp Stirnpol, vM verlängertes Mark, Z Zwischenhirn, Zf Zentralfurche

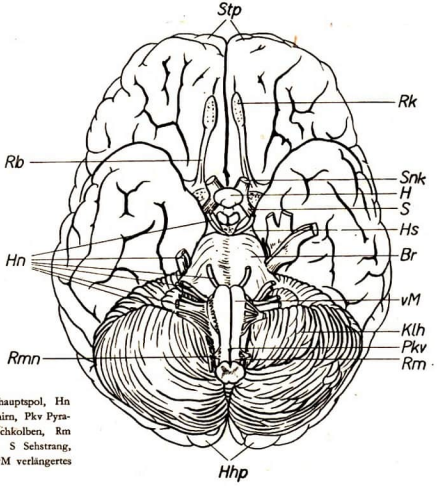


Abb. 50 Hirnbasis
Br Brücke, H Hypophyse, Hhp Hinterhauptspol, Hn Hirnnerven, Hs Hirnschenkel, Klh Kleinhirn, Pkv Pyramidenkreuzung, Rb Riechbahn, Rk Riechkolben, Rm Rückenmark, Rmn Rückenmarksnerven, S Sehstrang, Snk Sehnervenkreuzung, Stp Stirnpol, vM verlängertes Mark

adäquaten Reiz dar. Eine Reizung des Atemzentrums ist meist mit einer Reizung des Kreislaufzentrums verbunden. Durch Erhöhung des Kohlendioxiddruckes im Blut werden die Gefäße verengt, bei Abnahme des Kohlendioxidgehaltes kommt es zu allgemeiner Gefäßerweiterung. Außer dem Kohlendioxiddruck des Blutes wirken jedoch auf beide Zentren noch weitere Reize ein, die ihre Tätigkeit beeinflussen.

In engster anatomischer und funktioneller Verbindung mit dem Kreislaufzentrum stehen die Zentren, die die Herztätigkeit beeinflussen. Von diesen verlaufen Erregungen über den Vagusnerv und über sympathische Eingeweidenerven (s. S. 101) zum Herzen. Sie regulieren Schnelligkeit und Stärke des Herzschlages.

Hinterhirn. An das verlängerte Mark schließt sich die Brücke (Abb. 49 u. 50) an, durch die die motorischen und sensiblen Bahnen ziehen. In dem Winkel zwischen Brücke, verlängertem Mark und den hinteren Bezirken der beiden Großhirnhemisphären liegt das Kleinhirn. Brücke und Kleinhirn bilden zusammen das Hinterhirn. Sie liegen in der hinteren Schädelgrube.

Das Kleinhirn besteht aus den beiden Kleinhirnhälften (Abb.49 u. 50), die durch einen Mittelteil, den Kleinhirnwurm, miteinander verbunden sind. An einem Längsschnitt können wir erkennen, daß es aus einer grauen Rinde besteht, welche die weiße Substanz, das Mark, vollständig umschließt. Drei Paar Kleinhirnstiele verbinden das Kleinhirn mit den benachbarten Hirnteilen (dem verlängerten Mark, der Brücke und dem Mittelhirn).

Das Kleinhirn ist ein großes Reflexzentrum, über das ein Teil der Reflexe verläuft, die den Muskeltonus bedingen. Bei schweren Schädigungen des Kleinhirns treten allgemeine Muskelschlaffheit und Kraftlosigkeit ein. Außerdem machen sich Schädigungen des Kleinhirns dadurch bemerkbar, daß rasch aufeinanderfolgende Bewegungen nicht mehr ausgeführt werden können, beispielsweise werden das Maschinenschreiben und das Klavierspielen unmöglich. Haltung und Steuerung des Gleichgewichts werden gestört.

Mittelhirn. Das Mittelhirn (Abb. 49 u. 50) liegt zwischen Brücke und Zwischenhirn und besteht im wesentlichen aus zwei Teilen, dem oben gelegenen Mittelhirndach und den beiden unter diesem gelegenen Hirnschenkeln. Im Mittelhirndach liegen wieder zahlreiche Gruppen von Ganglienzellen (Kerne).

Vom sogenannten roten Kern unter dem Mittelhirndach zieht eine Bahn des extrapyramidalen Systems zu den Vorderhornzellen des Rückenmarks. Von anderen Kernen des Mittelhirns gehen der III. und IV. Gehirnnerv aus. Sie werden hier auf neue Neurone umgeschaltet und teils zum Großhirn, teils zu anderen Zentren weitergeleitet. An der Unterseite des Mittelhirndaches ziehen die sensiblen und motorischen Bahnen durch die beiden Hirnschenkel in die Großhirnhemisphäre weiter.

Zwischenhirn. Das Zwischenhirn wird oben ganz von den beiden Großhirnhemisphären bedeckt. Sein unterer Teil mit der Hypophyse liegt an der Gehirnbasis. In einem wichtigen paarigen Kern des Zwischenhirns (Thalamus) werden alle sensiblen Bahnen auf ihr letztes, zum Großhirn ziehendes Neuron umgeschaltet. Dort endet auch ein Teil der Fasern der Sehnerven. Andere Kerngruppen des Zwischenhirns sind Koordinationszentren für vegetative Funktionen. Sie sind den vegetativen Zentren des verlängerten Marks (Atemzentrum, Kreislaufzentrum) und dem vegetativen Nervensystem übergeordnet und stimmen deren Tätigkeit aufeinander ab. Die Wärmeregulation, der Kohlenhydratstoffwechsel, der Fettstoffwechsel, der Wasserhaushalt und der Mineralstoffwechsel, damit der osmotische Druck von Blut und Lymphe sowie die Kreislaufregulation werden durch das Zwischenhirn beeinflußt. Außerdem liegt hier ein Zentrum, das die Abwehrvorgänge im Organismus, insbesondere die Bildung von Anti-

körpern, steuert. Durch den Hypophysenstiel gehen der Hypophyse vom Zwischenhirn nervöse Erregungen zu, die deren Tätigkeit steuern. In neuerer Zeit hat man festgestellt, daß im Zwischenhirn auch Hormone gebildet werden, die in der Neurohypophyse gespeichert werden.

Das Zwischenhirn wird seinerseits durch die Hormone der verschiedenen Drüsen mit innerer Sekretion beeinflußt. Dadurch entsteht ein Funktionskreis, der Zwischenhirn, Hypophyse und Drüsen mit innerer Sekretion umfaßt.

Am rückwärtigen Teil des Zwischenhirns liegt ein kleines unpaariges Organ, die Zirbeldrüse (Epiphyse, s. S. 53).

Hirnnerven. Vom Gehirn nehmen 12 Paar Gehirnnerven ihren Ursprung (Abb. 50). Es sind teils rein motorische, teils rein sensible und teils gemischte Nerven. Durch Öffnungen der knöchernen Schädelkapsel verlassen sie die Schädelhöhle.

Man bezeichnet die Gehirnnerven mit römischen Zahlen in der Reihenfolge, in der sie aus dem Gehirn austreten.

Der **I. Gehirnnerv** ist der Riechnerv. Er verläuft von den Riechzellen in der Nasenschleimhaut zum Riechhirn, dem phylogenetisch ältesten Teil des Vorderhirns.

Der **II. Gehirnnerv**, der Sehnerv, nimmt seinen Ursprung von der inneren Ganglienzellschicht der Netzhaut. Kurz vor dem Eintritt in das Gehirn kreuzen sich die Fasern des linken und des rechten Sehnerven teilweise. Die Fasern der Sehnerven enden zum Teil am Thalamus, zum Teil an einem paarigen Kern des Mittelhirns. Vom Thalamus werden die Erregungen aus der Netzhaut über die zentrale Sehbahn zum Sehfeld in die Großhirnrinde weitergeleitet. Der paarige Kern im Mittelhirn ist das Reflexzentrum für den Pupillenreflex.

Der **III., IV.** und **VI. Gehirnnerv** versorgen die Augenmuskulatur. Der III. Gehirnnerv enthält außerdem Fasern für den glatten Pupillenverengungsmuskel und den Akkomodationsmuskel. Die Kerne des III. und IV. Gehirnnervs liegen im Mittelhirn, die des VI. Gehirnnervs im verlängerten Mark.

Der **V. Gehirnnerv**, der Trigeminusnerv, besteht zum größten Teil aus sensiblen Fasern. Sie verlaufen in der Haut des Gesichts, der Schleimhaut der Mund- und Nasenhöhle und in den Zähnen. Motorische Fasern des Trigeminus ziehen zu den Kaumuskeln. Die Kerne für die motorischen und sensiblen Fasern des Trigeminus erstrecken sich vom verlängerten Mark bis zur Brücke.

Der **VII. Gehirnnerv** ist vorwiegend motorisch, er versorgt die mimische Gesichtsmuskulatur.

Der **VIII. Gehirnnerv**, ein rein sensibler Nerv, leitet Erregungen von den Sinnesorganen des Innenohres zu Kernen im verlängerten Mark (Hörnerv). Von hier verläuft die zentrale Hörbahn zur Großhirnrinde; die von den Organen des Lage- und Bewegungssinnes kommenden Erregungen werden zum Kleinhirn umgeschaltet.

Der **IX. Gehirnnerv** ist ein gemischter Nerv. Seine sensiblen Fasern vermitteln Berührungsempfindungen von der Zunge und der Rachenschleimhaut sowie Geschmacksempfindungen. Außerdem führen Fasern des IX. Gehirnnervs zur Ohrspeicheldrüse.

Der **X. Gehirnnerv** ist der Vagusnerv, der wichtigste Eingeweidenerv des Parasympathikus (s. S. 102). Er zieht zu den inneren Organen (Herz, Lunge, Magen, Darm, Leber, Niere usw.). Seine motorischen Fasern versorgen die Kehlkopfmuskulatur. Die sensiblen Fasern leiten Erregungen von der Schleimhaut des Kehldeckels und des Kehlkopfs zum Gehirn.

Der **XI.** und **XII. Gehirnnerv** sind rein motorische Nerven. Der XI. Gehirnnerv versorgt den großen Trapezmuskel und den Kopfwendemuskel, der XII. die gesamte Zungenmuskulatur.

Die Kerne der Gehirnnerven VII bis XII liegen im verlängerten Mark.

Vorderhirn. Das Vorderhirn entwickelte sich stammesgeschichtlich aus dem basalen Teil des Riechhirns der niederen Wirbeltiere. Das Riechhirn, in dem die Riechnerven enden, bleibt beim Menschen relativ klein. Dagegen hat das Großhirn eine gewaltige Entwicklung erreicht.

Dieser Differenzierungsprozeß beginnt bereits bei den Amphibien. Bei den Reptilien ist eine schmale Hirnrinde mit zentralen Funktionen deutlich ausgebildet. Das Großhirn

der Säuger bekommt noch umfassendere Funktionen, erweitert sich und wächst mantelförmig über die anderen Hirnteile. Bei den niederen Säugern (z. B. Insektenfressern), ist es noch ungefurcht. Man kann die Entwicklungsgeschichte der Säuger als die Geschichte der Ausbreitung und Funktionserweiterung des Großhirns bezeichnen. Die Großhirnrinde wird beim Menschen mit ihren vielfältigen Funktionen zum Zentralorgan der bewußten Tätigkeit, zum Sitz aller geistigen Fähigkeiten.

Die Entwicklung des Großhirns erfolgte in enger Wechselwirkung mit der Entwicklung der Arbeit und der Sprache. Obwohl Anfänge psychischer Vorgänge bereits bei Tieren vorhanden sind, unterscheidet sich der Mensch durch sein Denken, Fühlen und Handeln qualitativ vom Tier. Nur der Mensch setzt sich ein Ziel, sieht und findet Mittel und Wege zu dessen Erreichung. Diese Tatsache formulierte bereits KARL MARX: „Eine Spinne verrichtet Operationen, die denen des Webers ähnlich, und eine Biene beschämt durch den Bau ihrer Wachszellen manchen menschlichen Baumeister. Was aber von vornherein den schlechtesten Baumeister vor der besten Biene auszeichnet, ist, daß er die Zelle in seinem Kopf gebaut hat, bevor er sie in Wachs baut. Am Ende des Arbeitsprozesses kommt ein Resultat heraus, das beim Beginn desselben schon in der Vorstellung des Arbeiters, also schon ideell vorhanden war."

Sowohl der Mensch wie auch die Tiere spiegeln in ihrer Psyche die Dinge und Vorgänge der Umwelt wider. Nur der Mensch aber kann das von ihm Wahrgenommene auswerten, indem er die Gesetzmäßigkeit im Zusammenhang der Dinge und im Ablauf der Vorgänge erkennt und bewußt begreift. Dies gibt ihm die Möglichkeit, den Gang der Ereignisse vorauszusehen, in den Ablauf des Geschehens zielstrebig einzugreifen und dadurch die Welt nach seinem Willen zu verändern. ENGELS sagte dazu: „Kurz, das Tier benutzt die äußere Natur bloß und bringt Änderungen in ihr einfach durch seine Anwesenheit zustande; der Mensch macht sie durch seine Änderungen seinen Zwecken dienstbar, beherrscht sie."

Allen Bewußtseinsvorgängen liegen Prozesse in der Großhirnrinde zugrunde. Bei weitem noch nicht alle Vorgänge sind bis ins letzte geklärt. Durch neue und bessere Forschungsmethoden vermehren Forscher ständig unser Wissen über die Funktionen des Hirns und gewinnen neue Erkenntnisse, die nicht nur von großem wissenschaftlichen Wert sind, sondern auch der medizinischen Praxis zu neuen Heilerfolgen verhelfen.

Das Großhirn ist der Masse nach der größte Abschnitt des menschlichen Gehirns, der alle anderen Teile wie ein Dach überlagert. Es besteht aus zwei Hälften (Hemisphären), die durch eine tiefe, längsverlaufende Furche voneinander getrennt sind. Die Verbindung stellt der sogenannte Balken her. Die Oberfläche jeder Hälfte wiederum wird durch weniger tiefe, stets in ähnlicher Anordnung auftretende Furchen in Lappen und Windungen geteilt (Abb. 51 u. 52). An jeder Hemisphäre können wir Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptslappen unterscheiden (Abb. 52).

Der Windungsreichtum allein ist kein Maßstab für die Leistungsfähigkeit des Großhirns. Esel und Schaf beispielsweise besitzen windungsreichere Hirne als der Mensch. Auch das absolute Hirngewicht ist kein Maß der Intelligenz seines Trägers. Um den Mittelwert – 1350 g beim Mann, 1255 g bei der Frau – gibt es relativ große Schwankungen (TURGENJEW 2012 g, CUVIER 1851 g, KANT 1690 g, LIEBIG 1352 g, BUNSEN 1295 g, ANATOLE FRANCE 1017 g). Entscheidend sind der Feinbau des Gehirns und die Vielfalt der darin ablaufenden Vorgänge.

Jede Großhirnhemisphäre besteht wie das Rückenmark aus grauer und weißer Substanz. Im Gegensatz zum Rückenmark liegt die graue Substanz außen und bildet die Rinde, während die weiße Substanz innen liegt und das Marklager bildet. Die Rinde ist

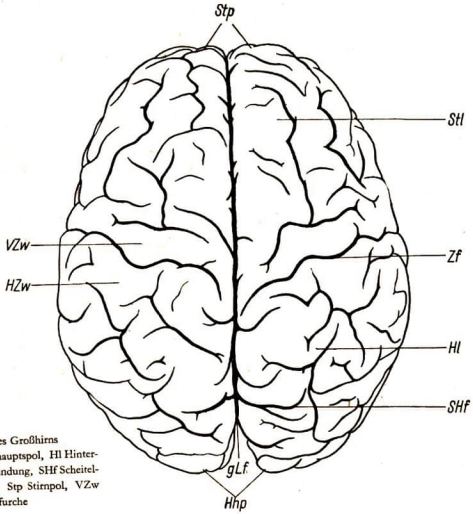


Abb. 51 Furchen und Windungen des Großhirns
gLf Große Längsfurche, Hhp Hinterhauptspol, Hl Hinterhauptslappen, HZw hintere Zentralwindung, SHf Scheitelhauptslappenfurche, Stl Stirnlappen, Stp Stirnpol, VZw vordere Zentralwindung, Zf Zentralfurche

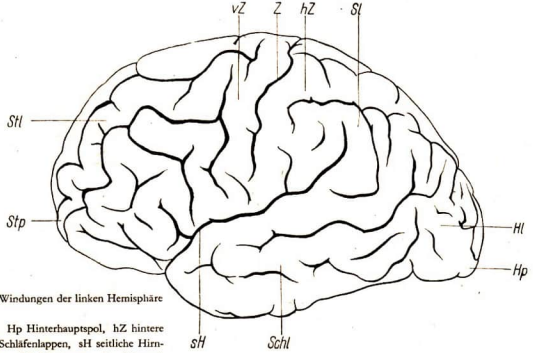


Abb. 52 Furchen und Windungen der linken Hemisphäre des Endhirns
Hl Hinterhauptslappen, Hp Hinterhauptspol, hZ hintere Zentralwindung, Schl Schläfenlappen, sH seitliche Hirnfurche, Sl Scheitellappen, Stl Stirnlappen, Stp Stirnpol, vZ vordere Zentralwindung, Z Zentralfurche

etwa 1,5 bis 5 mm dick und besteht vor allem aus Nervenzellen, deren Anzahl man auf 10 Milliarden schätzt. Das Marklager wird durch Nervenbahnen gebildet. Nach ihrer Funktion können wir innerhalb des Gehirns drei Gruppen von Nervenbahnen unterscheiden:

Die **Assoziationsfasern** verbinden einzelne Teile der Rinde einer Hemisphäre untereinander.
Die **Kommissurfasern** verbinden die Rinde der rechten und linken Großhirnhemisphäre und verlaufen durch den Balken.
Die **Projektionsfasern** leiten von der Rinde der Großhirnhemisphäre in tiefere Abschnitte des Zentralnervensystems (Kleinhirn, verlängertes Mark, Rückenmark).

Nicht nur die einzelnen Lappen der Großhirnrinde, sondern auch deren Teile unterscheiden sich in Bau und Funktionen voneinander. Durch Funktionsteilung innerhalb der Nervenzellen der Großhirnrinde haben sich in ihr besondere Felder oder Zentren ausgebildet, die jeweils die zelluläre Grundlage bestimmter psychischer Vorgänge sind. Die Lage dieser Rindenfelder ist einmal durch elektrische Reizungen, zum anderen durch die Beobachtung von Ausfallserscheinungen bei Zerstörung bestimmter Rindengebiete infolge Verletzung oder krankhafter Prozesse ermittelt worden (Farbtafel 4).

Die elektrische Reizung der Großhirnrinde ist bei Mensch und Tier durchgeführt worden. Beim Menschen nahm man sie bei Schädeloperationen vor. Da das Gehirn des Menschen selbst empfindungslos ist, können solche Operationen mit örtlicher Betäubung ausgeführt werden. Dadurch ist es dem Chirurgen möglich, sich während der Operation mit dem Patienten zu unterhalten und dabei zu überprüfen, ob er bei dem Eingriff in die Nähe eines wichtigen Gehirnzentrums gekommen ist. Wird nun am freigelegten Gehirn die Großhirnrinde durch elektrischen Strom gereizt, so treten je nach dem Ort der Reizung verschiedene Reaktionen ein. Bei Reizungen motorischer Rindenfelder kommt es zu Körperbewegungen, bei Reizungen sensibler Rindenfelder zu verschiedenartigen Empfindungen. Dabei konnte beobachtet werden, daß von bestimmten Bezirken der Großhirnrinde stets die gleichen Bewegungen oder Empfindungen auszulösen waren. Bei Zerstörung von Rindenfeldern treten dagegen entweder Lähmungen oder Empfindungslosigkeit der betreffenden Sinne (Blindheit oder Taubheit) ein.

Moderne Meßmethoden lassen in den erregten Zentren Aktionsströme direkt ableiten und messen (s. S. 211). Sie werden durch feinste Elektroden sowohl am Hirn selbst wie auch von der Schädeldecke einer bestimmten Rindenstelle abgenommen. Bei willkürlichen Bewegungen bestimmter Muskeln ändern sich die Eigenströme ganz umgrenzter Rindengebiete (Elektroencephalogramme). Selbst im Schlaf, bei Narkose, Sinneseindrücken, Gedankenarbeit und beim Sprechen ändern sie sich. Daß sie auch im Ruhezustand ableitbar sind, zeigt, daß das lebende Hirn nie ruht. Aus Veränderungen dieser Ströme sind wichtige Schlüsse für die Diagnose bestimmter Hirnerkrankungen möglich.

Genauere Untersuchungen haben innerhalb der motorischen und der sensiblen Felder noch besondere sekundäre, übergeordnete Zentren, sogenannte Erinnerungsfelder, abgrenzen lassen. Die Rindenfelder nehmen die ankommenden Erregungen auf und übertragen sie auf die Erinnerungsfelder; dort prägt sich diese Einwirkung bleibend ein.

Daß Erinnerungsfelder vorhanden sind, konnte aus dem Studium der Ausfallserscheinungen bei einigen seltenen Erkrankungen geschlossen werden. So gibt es beispielsweise Kranke, die einen Gegenstand (etwa einen Apfel) zwar sehen, ihn aber nicht als

solchen erkennen. Bei ihnen ist das Erinnerungsfeld der Sehregion zerstört. Sie haben die Erinnerung an Gesehenes verloren. Läßt man derartige Kranke den Gegenstand betasten oder beriechen, erkennen sie ihn sofort, weil die Erinnerungsfelder ihrer Fühl- und Riechzentren funktionsfähig sind. Nach Zerstörung der Erinnerungsfelder motorischer Rindengebiete ist der Kranke zwar noch in der Lage, einzelne isolierte Bewegungen auszuführen, dagegen vermag er diese Einzelbewegungen nicht mehr zu fortlaufenden sinnvollen Handlungen zusammenzufügen.

Zu den Erinnerungszentren gehört auch das von dem französischen Anthropologen P. Broca entdeckte motorische Sprachzentrum in der unteren linken Stirnwindung. Ist dieses Zentrum zerstört, kann der Kranke nicht mehr sprechen, obwohl die einzelnen am Sprechen beteiligten Muskeln voll funktionsfähig sind. Es fehlt ihm die Möglichkeit, sie in geordneter Weise zu betätigen.

Erinnerungsfelder sind bereits bei den Wirbeltieren ausgebildet. Ihre Größe und die Bedeutung ihrer Funktion erreichen beim Menschen die höchste Ausbildung.

Funktionen des Großhirns

Der neugeborene Mensch reagiert ebenso wie neugeborene Tiere auf bestimmte Umweltreize in gleichbleibender, gesetzmäßiger Weise. Auf einen bestimmten Umweltreiz erfolgt in einer sonst gleichbleibenden Umweltsituation jeweils eine bestimmte Reaktion. Derartige Reaktionsweisen sind in der besonderen Organisation des Nervensystems der verschiedenen Tierarten begründet. Man bezeichnet sie als **unbedingte Reflexe.**

Auch der Mensch besitzt von Geburt an eine große Anzahl unbedingter Reflexe. Viele laufen während des ganzen Lebens stets auf die gleiche Weise ab. Wir haben einige von ihnen bei der Funktion des Rückenmarks kennengelernt. Derartige im Laufe der Stammesgeschichte erworbene unbedingte Reflexe sind beim menschlichen Säugling beispielsweise der Saugreflex, der Schluckreflex, die Sekretionsreflexe der Verdauungsdrüsen. Diese unbedingten Reflexe ermöglichen dem Säugling die Nahrungsaufnahme, die Verdauung und andere für die Erhaltung seines Lebens unbedingt notwendige Körperfunktionen. Mit den unbedingten Reflexen allein, die über die stammesgeschichtlich älteren Hirnteile ohne Beteiligung des Großhirns ablaufen, kann der Säugling nicht selbständig seine lebenserhaltenden Bedürfnisse befriedigen. Er ist auf die Hilfe seiner Umgebung relativ lange angewiesen. Erst wenn die Großhirnrinde ihre vielfältigen Funktionsmöglichkeiten wahrnehmen kann, wird die fein abgestimmte Anpassung an die Umwelt möglich.

Wirkt auf den Säugling ein Reiz, der keinen unbedingten Reflex auslöst, mehrmals in Verbindung mit einem anderen Reiz ein, der einen unbedingten Reflex zur Folge hat, so entsteht eine zeitweilige Verbindung zwischen beiden Reizen. Dadurch bilden sich **bedingte Reflexe** aus.

Die ersten bedingten Reflexe beim menschlichen Säugling entstehen im Anschluß an die unbedingten Reflexe der Nahrungsaufnahme. So löst beispielsweise der Anblick der Flasche bereits Saug- und Schluckbewegungen aus. Die Flasche wirkt gleichsam als Signal, auf das hin die Saug- und Schluckbewegungen erfolgen. I. P. Pawlow (1849 bis 1936, s. S. 188) bezeichnete die Gesamtheit aller bedingten Reflexe beim Menschen als **erstes Signalsystem.**

Die unbedingten Reflexe sind angeborene, das Leben lang bleibende Verbindungen; bedingte Reflexe sind erworbene Verbindungen. Sie können jederzeit wieder gelöst werden, wenn sie den Umweltbedingungen nicht mehr entsprechen.

PAWLOW erklärt diese Erscheinung durch einen sehr vereinfachten Vergleich: „Es wäre zweifellos sehr umständlich und unzweckmäßig, wenn in einem Fernsprechnetz jeder Teilnehmer mit jedem anderen durch eine besondere Leitung verbunden wäre (= unbedingte Reflexe). Der Betrieb wird wesentlich vereinfacht, wenn durch eine Schaltstelle (= Gehirn) nach Bedarf für jeden Teilnehmer jede gewünschte Verbindung hergestellt wird. Lezteres entspricht, auf das Nervensystem übertragen, den bedingten Reflexen, wodurch eine Unzahl von Verbindungen geschaffen wird, die unter bestimmten Bedingungen bestehen und bei Nichtbedarf wieder erlöschen."

Bei der Bildung von bedingten Reflexen spielen sich im Nervensystem folgende Vorgänge ab: Gelangt eine Erregung, die durch einen indifferenten Reiz ausgelöst wurde, zur Großhirnrinde, so entsteht in dieser eine sich über weite Teile der Großhirnrinde ausbreitende und allmählich schwächer werdende Erregung. Ist zu gleicher Zeit auch das Reflexzentrum eines unbedingten Reflexes erregt, so konzentriert sich die durch den bedingten Reiz verursachte Erregung und bahnt sich einen Weg zu dem Erregungsherd in dem Reflexzentrum des unbedingten Reflexes. Von hier aus läuft sie über den motorischen Teil des Reflexbogens zum Erfolgsorgan weiter und löst eine Reaktion aus. Die Reflexbögen der bedingten Reflexe verlaufen über die Großhirnrinde. Sie ist also die notwendige Voraussetzung für die Ausbildung bedingter Reflexe. Diese wiederum sind Grundlage der höheren Nerventätigkeit, damit auch des Denkens.

Die besondere Leistung des menschlichen Großhirns besteht darin, daß es außer dem System der unbedingten Reflexe und dem ersten Signalsystem (dem System der bedingten Reflexe) noch ein zweites Signalsystem, das System der Sprache, ausbildet. Dieses **zweite Signalsystem** stellt eine neue, höhere Art der Verbindung des Menschen mit seiner Umwelt dar. Es bildet die Grundlage der Sprachtätigkeit und des Denkens.

Im Zusammenhang mit der Entstehung und Entwicklung der Arbeit bildeten sich beim Menschen Signale in Form von gesprochenen, gehörten und später auch geschriebenen Wörtern, die bestimmte Dinge oder Vorgänge bezeichnen. Dadurch wurde der Mensch befähigt, nicht mehr nur unmittelbar auf einzelne Dinge oder Vorgänge in seiner Umgebung, sondern bereits auf gehörte oder gelesene Wörter zu reagieren. Beispielsweise kann uns schon im Gespräch über eine gute Mahlzeit das Wasser im Munde zusammenlaufen, das heißt, die Signale der Wörter haben zu einer Speichelsekretion geführt. Die Wörter, die zweiten Signale, sind an die Stelle der ersten Signale, beispielsweise des Geruchs, getreten.

Das erste Signalsystem dient der unmittelbaren Widerspiegelung der Gegenstände der Umwelt in Form von Empfindungen, Wahrnehmungen und Vorstellungen. Die Reizquellen sind Signale, die auf die Sinnesorgane einwirken (z. B. Schallwellen, Lichtwellen, chemische Reize). Die Verallgemeinerung der Wahrnehmungen und Vorstellungen und die Bildung von Begriffen dagegen geschieht mit Hilfe des ersten und des zweiten Signalsystems. Da man nicht denken kann, ohne Wörter zu benutzen, ist das zweite Signalsystem auch die Grundlage des Denkens. Der Mensch spiegelt die Umwelt in seinem Großhirn in der Form des Denkens wider, und das Denken selbst erfolgt auf der Grundlage der Sprache. Das zweite Signalsystem führt also zu einer verallgemeinerten Widerspiegelung der Wirklichkeit, die dem Menschen die Möglichkeit bietet, tief in die Gesetzmäßigkeiten der objektiven Welt einzudringen. Es gestattet dem Menschen, nicht nur zu denken, sondern auch seine eigenen Gedanken zum Ausdruck zu bringen, sie auszutauschen, auf andere Menschen einzuwirken und so eine gegenseitige Verständigung mit ihnen zu erreichen. Dadurch wird es zur Grundlage der aktiven, zielbewußten Tätigkeit des Menschen.

Erstes und zweites Signalsystem wirken bei den psychischen Prozessen des Menschen zusammen. Nimmt der Mensch irgendwelche Gegenstände seiner Umwelt wahr, ein Vorgang, der auf der Grundlage des ersten Signalsystems erfolgt, so ist er sich dieser Wahrnehmung zugleich auch bewußt: er denkt. Auch das zweite Signalsystem ist also an einer bewußten Wahrnehmung beteiligt. Andererseits ist ohne die Empfindungen und Wahrnehmungen, die durch das erste Signalsystem vermittelt werden, das Denken nicht möglich. Nur das wechselseitige Zusammenwirken zwischen erstem und zweitem Signalsystem gewährleistet die Widerspiegelung der Umwelt im Bewußtsein des Menschen.

Auf die Großhirnrinde wirken dauernd die verschiedensten Reize ein, so daß zwischen der Vielzahl der dadurch entstehenden bedingten Reflexe ständig eine Auswahl vor sich gehen muß. Diese Auswahl kommt dadurch zustande, daß der stärkere, lebenswichtigere Reiz zur Ausbildung eines bedingten Reflexes führt, während die anderen gehemmt werden. Diesen Vorgang bezeichnete Pawlow als **äußere Hemmung**.

Der Ablauf eines bedingten Reflexes kann jedoch auch durch eine **innere Hemmung** unmöglich werden. Diese tritt auf, wenn ein bedingter Reiz (z. B. Sehen der Nahrung, dem eine Speichelsekretion folgt) oftmals wiederholt wird, ohne daß ihm der entsprechende unbedingte Reiz (Berührung der Nahrung mit der Mundschleimhaut) folgt. Daß der bedingte Reflex nur gehemmt wird, erkennen wir daraus, daß er sich sofort wieder einstellt, sobald dem bedingten Reiz von neuem ein unbedingter Reiz folgt.

Andauernde eintönige Erregung eines bestimmten Gebietes der Großhirnrinde führt zum **Schlaf.**

Das Verhältnis des Schlafes zur Hemmung charakterisiert Pawlow mit den Worten: „Die Hemmung ist ein teilweiser, engbegrenzter und durch den entgegenwirkenden Prozeß der Erregung in bestimmten Grenzen gehaltener Schlaf; der Schlaf dagegen ist die auf große Gebiete der Hemisphären, auf die ganzen Hemisphären und sogar noch tiefer sich ausbreitende Hemmung."

Die Hemmung entsteht also durch die zeitweise Ausschaltung einer begrenzten Anzahl von Nervenzellen der Großhirnrinde, während im Schlaf ausgedehnte Gebiete zeitweise ganz ausgeschaltet sind.

Hemmung und Schlaf können gegenseitig ineinander übergehen, sich ablösen. Will man verhindern, daß die Hemmung im Schlaf übergeht, so muß man in den Großhirnhemisphären Erregungspunkte schaffen, die der Verbreitung des Schlafes entgegenwirken. So kann man zum Beispiel beobachten, daß ein Mensch, der gerade am Einschlafen ist, durch irgendeinen stark erregenden Reiz aufgeschreckt, wieder völlig wach wird. Die Erregung hat die Hemmung und damit den Schlaf überwunden.

Während des Schlafes können in den verschiedenen Zentren des Gehirns begrenzte Erregungsherde auftreten. Dadurch lassen sich Bewegungen oder ein Sprechen während des Schlafes erklären. Auch Träume werden durch derartige Erregungen in den Erinnerungsfeldern der Rindengebiete verursacht.

Auch unter dem Einfluß von Erregungen, die von Sinnesorganen ausgehen, sind Traumerscheinungen möglich. Versuche an schlafenden Menschen zeigten, daß sie zum Beispiel beim Rauschen der Wasserleitung von einem Fluß oder einem Wasserfall träumen. Oft hängen die Träume mit Dingen zusammen, die wir gehört oder erlebt haben. Ereignisse, die aus dem Gedächtnis anscheinend schon entschwunden sind oder die, obgleich sie sich in unserer Gegenwart abspielten, nicht deutlich zum Bewußtsein gelangten, spiegeln sich häufig in Träumen wider. Beides läßt sich durch die Tatsache erklären, daß in den Erinnerungsfeldern der Großhirnrinde Spuren der Erregungen bestehenbleiben. Der Inhalt der Traumerscheinungen des Menschen steht also in engem

Zusammenhang mit seiner Gehirntätigkeit, seinen Wünschen, Erlebnissen, Interessen und Sorgen.

Die Gefühle der Ermüdung und der Frische und damit die geringere oder größere Arbeitsfähigkeit und Arbeitsfreudigkeit hängen weitgehend vom Zustand des Nervensystems ab. Jede körperliche und geistige Tätigkeit führt zur Bildung von Erregungen in bestimmten Zentren der Großhirnrinde. Die Erregungen in den nicht mit der Ausführung der betreffenden Arbeit in Verbindung stehenden Gebieten des Gehirns werden gehemmt. Die Erregung beziehungsweise Hemmung ist um so stärker, je mehr sich ein Mensch in seine Arbeit vertieft. Konzentriert man sich auf seine Tätigkeit, empfindet man kaum, was in der Umgebung vor sich geht. Weder die Menschen, die sich im gleichen Zimmer befinden, werden bemerkt, noch werden deren Worte vernommen. Eine derartige konzentrierte Tätigkeit, die mit einer starken Erregungsbildung in dem entsprechenden Zentrum der Großhirnrinde einhergeht, kann man längere Zeit ausüben, ohne zu ermüden. Dabei spielt der Wille eine große Rolle. Die Arbeitsproduktivität ist höher, wenn eine Arbeit bewußt ausgeführt wird. Eintönige, unwillig ausgeführte Arbeit führt zur allgemeinen Hemmung der Großhirnrinde. Durch schwache und einförmige Reize wird die Erregbarkeit der Hirnrinde herabgesetzt; Ermüdungs- und Unlusterscheinungen treten auf. Derartige Erscheinungen können bisweilen schon am Beginn der Tätigkeit auftreten. Durch bewußte Konzentration auf die Arbeit werden sie überwunden. Die Erregbarkeit der mit der Arbeit in Zusammenhang stehenden Zentren der Hirnrinde wird wieder erhöht, und die Arbeit kann erfolgreich fortgesetzt werden.

Hygiene des Nervensystems. Die Lebensweise eines Menschen hat starken Einfluß auf das Nervensystem und damit auf seine Leistungsfähigkeit. Der richtige Wechsel von Arbeit und Erholung durch vernünftige Tageseinteilung ist eine Voraussetzung für das Wohlbefinden des Menschen.

Überanstrengungen können für das Nervensystem und damit für den gesamten Organismus schädlich werden. Deshalb müssen rechtzeitig Ruhepausen eingelegt werden. Nach lang anhaltender schwerer Arbeit wird das Bedürfnis, sich auszuruhen, sehr stark. Ein durch ausgedehnte und lang anhaltende Erregungsprozesse ermüdetes Zentralnervensystem kann nur durch den Schlaf erfrischt werden. Dagegen kann die Leistungsfähigkeit eines einseitig erregten Nervensystems am besten dadurch wiederhergestellt werden, daß man zu einer möglichst vollkommen andersartigen Tätigkeit übergeht, daß man also Zentren in Erregung versetzt, die bisher gehemmt waren.

Das beste Erholungsmittel nach angestrengter geistiger Arbeit ist körperliche Tätigkeit; die angestrengt tätigen Begriffszentren können nun ausruhen, während die bisher fast untätigen Bewegungszentren eine intensive Tätigkeit aufnehmen können. Die in jeder Hinsicht beste Möglichkeit der Erregung der motorischen Zentren sind Sport und Gymnastik. Sie verknüpfen mit einem besonders harmonischen Erregungsablauf in den motorischen Zentren die Möglichkeit der körperlichen Leistungssteigerung und der Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Körpers. Dadurch wird wiederum die Arbeits- und Konzentrationsfähigkeit wesentlich gesteigert. Einen Teil seiner Freizeit sollte man daher unbedingt für den Sport verwenden.

Bei der Tageseinteilung sollten nach Möglichkeit stets die gleichen Zeitpunkte für den Beginn der Arbeit, des Schlafes, des Essens, für Sport und Spaziergänge festliegen. Dadurch bilden sich für die Funktionen der verschiedenen Organe bedingte Reflexe, die zu einem gesunden Lebensrhythmus beitragen. Werden beispielsweise die Mahlzeiten immer zu den gleichen Zeiten eingenommen, so beginnen sich zu dieser Zeit Verdau-

ungssäfte abzusondern; man bekommt Appetit, und die Speisen werden besser verdaut. Geht ein Mensch täglich zur gleichen Zeit schlafen, so schläft er schneller ein.

Ein normaler Ablauf der Lebensprozesse ist nur bei einem periodischen Wechsel von Wachen und Schlafen möglich. Experimente haben gezeigt, daß bei langer Schlaflosigkeit Veränderungen im Nervensystem, besonders in der Großhirnrinde, entstehen, die schließlich zum Absterben der Zellen führen. Gelangen sehr starke Erregungen zur Hirnrinde (beispielsweise bei Zahn- oder Magenschmerzen), so können diese die allgemeine Hemmung durchbrechen und den Schlaf unterbinden. Andererseits wirkt alles, was Reize von den Sinnesorganen fernhält (Ruhe, Dunkelheit usw.), fördernd auf den Schlaf. Schon durch das Zudecken wird der Strom der Erregungen von den Sinnesorganen vermindert. Bei bequemer Körperlage entspannen sich die Muskeln, so daß die Muskel- und Sehnenspindeln weniger erregt werden. Die üblichen Verrichtungen vor dem Schlafengehen (z. B. Entkleiden, Waschen, Zähneputzen usw.) führen zur Bildung von bedingten Reflexen, die die Ausdehnung des Hemmungsprozesses in der Hirnrinde fördern.

Von großem Einfluß auf das Einschlafen ist der Gesamtzustand des Organismus, insbesondere der der Großhirnrinde. Die Ermüdung nach den täglichen geistigen und besonders nach körperlichen Arbeiten vermindert die Erregbarkeit des Gehirns und fördert ein leichtes Einschlafen. Eine entgegengesetzte Wirkung ruft Überanstrengung des Gehirns durch übermäßig angespannte Arbeit, Aufregung, Sorgen oder Angst hervor. Solche Überanstrengungen können zu Schlaflosigkeit führen.

Äußerst schädlich wirkt sich die Anwendung von Reiz- oder Genußmitteln bei starker Ermüdung aus. Keinesfalls wird durch hohen Kaffee- oder Zigarettenverbrauch die Müdigkeit überwunden, es erfolgt nur ein scheinbarer vorübergehender Leistungsanstieg; die Nerven werden jedoch dabei über das zuträgliche Maß hinaus strapaziert.

Vegetatives Nervensystem

Das vegetative Nervensystem steuert jene Lebensvorgänge, die normalerweise ohne unseren Willen und meist auch ohne Beteiligung unseres Bewußtseins ablaufen, also **Atmung, Verdauung, Blutkreislauf, Drüsensekretion.** Es steht in enger Wechselwirkung mit den anderen Teilen des Nervensystems. Psychische Vorgänge, wie beispielsweise Angst und Freude, führen über Erregungen des vegetativen Nervensystems zu Veränderungen der Atmung, der Herztätigkeit, der Verdauungsvorgänge, der Tränendrüsensekretion, der Schweißdrüsensekretion usw. Andererseits wirken Erregungen, die über das vegetative Nervensystem geleitet werden, (z. B. Hunger, Ermüdung) erregend oder hemmend auf die psychischen Vorgänge ein.

Am vegetativen Nervensystem kann man nach ihren Funktionen zwei Teile unterscheiden: das sympathische und das parasympathische System, kurz als Sympathikus und Parasympathikus bezeichnet.

Der **Sympathikus** besteht im wesentlichen aus zwei parallelen Nervensträngen mit Ganglienknoten, die zu beiden Seiten der Wirbelsäule liegen und meist paarweise durch quer verlaufende Nervenfasern verbunden sind. Jeder der sympathischen Ganglienknoten ist außerdem durch Nervenfasern mit den entsprechenden Rückenmarksabschnitten verbunden. Durch diese Verbindung können Erregungen aus dem Zentralnervensystem zum vegetativen Nervensystem und in umgekehrter Richtung verlaufen. Von den sympathischen Ganglienknoten nehmen die sympathischen Eingeweidenerven

ihren Ursprung. Sie ziehen zu den inneren Organen, zu den Gefäßen, Drüsen, zu den Muskeln der Iris und dem Ziliarkörper des Auges. Ein Teil von ihnen verläuft zusammen mit den Arterien, die anderen unabhängig von ihnen.

Die **parasympathischen Eingeweidenerven** gehen von drei verschiedenen Teilen des Zentralnervensystems aus: vom Mittelhirn und verlängerten Mark und vom unteren Teil des Rückenmarks. Der wichtigste parasympathische Eingeweidenerv ist der aus dem verlängerten Mark entspringende **Vagusnerv.** Seine Äste führen zu fast allen inneren Organen der Brust- und Bauchhöhle, zu den Gefäßen, zu den Schweißdrüsen der Haut. Zu den Mundspeicheldrüsen und zu den Muskeln der Iris und des Ziliarkörpers ziehen parasympathische Fasern von anderen Gehirnnerven. Aus dem unteren Abschnitt des Rückenmarks verlaufen parasympathische Eingeweidenerven zu den im Becken gelegenen Organen.

Sympathikus und Parasympathikus des vegetativen Nervensystems stehen in enger funktioneller Wechselwirkung zueinander. Beide Teile sind immer gleichzeitig erregt, wenn auch unterschiedlich in ihrer Stärke, und bestimmen den jeweiligen Funktionszustand der von ihnen innervierten Organe.

Im allgemeinen setzt die Erregung des Sympathikus den Organismus in Bereitschaft, erhöhte Leistungen zu vollbringen; der Vagus dagegen bremst die Stoffwechselvorgänge und fördert die Aufnahme und Speicherung von Nährstoffen. Der stärker erregte Anteil gibt den Ausschlag für die Reaktion des Erfolgsorgans.

Wechselwirkung von Sympathikus und Parasympathikus

Erfolgsorgan	Erregung des Sympathikus	Erregung des Parasympathikus
Pupille	Erweiterung	Verengung
Speicheldrüse	Sekretion zähflüssigen Speichels	Sekretion dünnflüssigen Speichels
Herz	Beschleunigung des Herzschlages	Verlangsamung des Herzschlages
Gefäße	Verengung	Erweiterung
Bronchien	Erweiterung	Verengung
Magen und Darm	Hemmung der Peristaltik und der Drüsentätigkeit	Anregung der Peristaltik und der Drüsentätigkeit
Harnblase	Kontraktion des Blasenschließmuskels (Harnverhaltung)	Erschlaffung des Blasenschließmuskels (Harnentleerung)

Kybernetische Systeme

Ein lebender Organismus bedarf zu jeder sinnvollen Leistung einer Reihe von Informationen, durch welche er Auskünfte erhält über Lage, Größe, Form, Beschaffenheit und Zustand der Dinge seiner Umgebung, mit denen er sich auseinandersetzen muß. Ferner benötigt er ständig Informationen über Lage und Zustand des eigenen Körpers und seiner Teile. Das Material für diese Information liefern zahlreiche Organe, die auf Grund ihrer Baupläne spezifische Energien aufnehmen können, die im Körper oder in der Umgebung auftreten. Diese Organe werden als Aufnahmeorgane oder **Rezeptoren** bezeichnet.

Alle Einzelinformationen, die ein Organismus über seine Rezeptoren erhält, müssen zu bestimmten Zentren weitergeleitet und von diesen verarbeitet und verwertet werden. Diese Funktionen erfüllt in höher entwickelten Organismen ein weiteres spezifisches Organsystem, das **System der Erregungsleitung**, das Nervensystem. Es funktioniert als Leitungsapparat im doppelten Sinne dieses Wortes, indem es die Informationen über ein weit verzweigtes Leitungsnetz nicht nur weiterleitet, sondern sie dabei gleichzeitig kombiniert und zu sinnvollen Impulsen an die wirkenden Teile des Körpers, an die **Effektoren**, verarbeitet.

Ein Teil der Impulse an die Effektoren (Muskeln und Drüsen) wird über Leitungsbahnen des Nervensystems weitergeleitet, ein anderer Teil über ein Botensystem chemischer Substanzen, das **Hormonsystem.**

Seitdem es eine biologische Forschung gibt, erforschte eine Vielzahl von Wissenschaftlern Bau und Leistung aller an diesen Leistungen beteiligten Organe bis in viele Einzelheiten. Sinnesphysiologen erforschten Bau und Leistung der Rezeptoren, Neurologen Bau und Leistung des Nervensystems und Hormonforscher die chemische Zusammensetzung und Wirkungsweise der Hormone. Eine heute nicht mehr zu überschauende Vielzahl von Einzeluntersuchungen ist das Ergebnis dieser Arbeiten. Sie lieferten zahlreiche und bedeutende Einsichten in den Feinbau der einzelnen Organe und brachten Klarheit über die Gesetzmäßigkeiten einzelner Funktionen. Doch alle Versuche, die Einzelerkenntnisse zu einem einheitlichen Funktionsbild des gesamten Organismus zusammenzufügen, führten bisher nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Vor allem fehlte ein einheitlicher Gesichtspunkt, unter dem die Einzelergebnisse widerspruchslos einander zugeordnet werden konnten. Unter diesen Bedingungen blieb vieles unklar und lückenhaft.

Daher war der Spekulation innerhalb der Biologie jahrhundertelang Tür und Tor geöffnet. Wo der Versuch scheiterte, die Bewegungen lebender Organismen mit den vorhandenen wissenschaftlichen Mitteln zu erklären, nahmen viele Forscher nicht selten Ausflüchte zu Hilfe. Exakt nicht nachweisbare Seelenkräfte, Lebenskräfte, „Ganzheiten" als wirksame Faktoren, ja das Eingreifen übersinnlicher Kräfte wurden bemüht, um die Leistungen lebender Organismen zu erklären. Selbst Forscher, die sich durch exakte und bahnbrechende Untersuchungen einen Namen gemacht hatten, unternahmen aussichtslose Versuche, althergebrachte abergläubische Vorstellungen, die in Physik und Chemie schon längst widerlegt waren, wenigstens noch für die Biologie zu retten und ihnen in dieser Wissenschaft – wenn auch nur zum Scheine – eine gewisse Daseinsberechtigung zu sichern.

Alle diese Bemühungen wurden in jüngster Vergangenheit von einer Seite her zunichte gemacht, von der man es anfangs gar nicht hätte erwarten können. Der Technik war es gelungen, das Rüstzeug zur Verwirklichung eines alten Menschheitstraumes bereitzustellen, zum Vorstoß des Menschen in den Weltraum. Dazu war es notwendig, unbemannten und bemannten Flugkörpern Steuerungsmechanismen mitzugeben, die es ihnen ermöglichten, während des Fluges Informationen über unvorhergesehen auftretende Hindernisse und über Bahnabweichungen aufzunehmen, weiterzuleiten, zu verarbeiten und gemäß diesen Informationen sinnvoll zu reagieren, also Ausweichbewegungen selbsttätig durchzuführen oder die Geschwindigkeit zu beschleunigen oder zu verlangsamen. Ein neuer Zweig der Wissenschaft entstand, der sich mit den Funktionsgesetzen und der Konstruktion automatischer Steuerungsmechanismen befaßt, die **Kybernetik.** Je präzisere Steuerungsmechanismen entwickelt wurden, um so mehr erkannte man, daß jene Organe in lebenden Körpern, die man bisher als **Rezeptoren,**

Nerven- und Hormonsysteme kannte und bezeichnete, in ihrem Zusammenwirken grundsätzlich entsprechenden Funktionsgesetzen folgen wie die von Menschenhirnen ersonnenen und von Menschenhand gebauten Steuerungsmechanismen.

Der exakten Forschung wurde so durch die Kybernetik ein weites Arbeitsfeld eröffnet.

Die Embryonalentwicklung des Menschen

Befruchtung. Die Entwicklung eines neuen Lebewesens beginnt beim Menschen ebenso wie bei allen sich geschlechtlich vermehrenden Tieren und Pflanzen im Anschluß an die Befruchtung, das heißt an die Vereinigung einer Samenzelle mit einer Eizelle (s. S. 192).

Die Befruchtung findet meist im Eileiter statt. Dorthin gelangt das noch von einigen Follikelzellen umgebene Ei nach dem Follikelsprung. Die Spermien wandern durch schlängelnde Bewegungen ihres Schwanzes aktiv durch die Eileiter in den Uterus. Alkalische Sekrete des Uterushalses steigern die Eigenbeweglichkeit der Spermien.

Der erste sich der Eizelle nähernde Samenfaden durchdringt deren Schutzhülle. Kopf und Mittelstück des Samenfadens gelangen in das Innere der Eizelle, der Schwanz wird meist abgestoßen. Der haploide Kern im Kopf der Samenzelle und der haploide Kern der Eizelle verschmelzen miteinander zum diploiden Kern der befruchteten Eizelle. Auch das Plasma von Ei- und Samenzelle vereinigt sich. An die Befruchtung schließt sich unmittelbar eine Zellteilung an, welche die Keimesentwicklung einleitet.

Furchung. Die ersten Teilungen, die ohne Wachstum und Vermehrung des Plasmas vor sich gehen, sind äußerlich als Furchung des Eies erkennbar. Die zu Beginn eines jeden Teilungsschrittes vorhandenen Furchungszellen (Blastomeren) verdoppeln sich durch synchrone Teilung. So entsteht die Morula; sie ist nicht größer als die befruchtete Eizelle. Etwa 6 bis 7 Tage nach der Befruchtung erreicht sie den Uterus, wo sie sich normalerweise in die Schleimhaut der Hinterwand einnistet. Die Morulazellen lösen durch Fermente die Uterusschleimhaut auf. Die Morula wird von der Schleimhaut total bedeckt.

Gastrulation und Bildung der Eihäute. Die Zellen entwickeln sich nun unterschiedlich weiter. Die meisten Zellen werden zu einer äußeren, epithelartigen Zellschicht, dem Trophoblasten. Im Inneren entsteht aus wenigen Zellen ein kleiner Zellhaufen, der Embryoblast. Im Raum zwischen beiden befinden sich locker angeordnete Zellen.

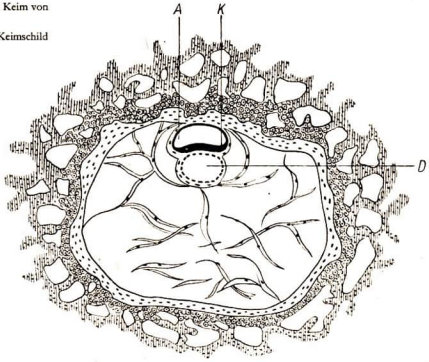
Aus dem Embryoblasten entwickelt sich der Embryo mit seinen Hilfsorganen, während der Trophoblast ernährende Funktion ausübt. Er scheidet die eiweißspaltenden Fermente ab, die die Uterusschleimhaut auflösen. Von diesen aufgelösten Zellen ernähren sich zunächst auch die Trophoblastzellen. Aus dem Trophoblasten und der oberen Schicht der Uterusschleimhaut wird die Plazenta gebildet.

Der Keimling entwickelt sich jetzt sehr rasch weiter. Die Zellen des Embryoblasten differenzieren sich. Es beginnt die eigentliche Gastrulation.

Im Innern des Embryoblasten treten zwei flüssigkeitsgefüllte Bläschen auf (Abb. 53), das Entodermbläschen (Dottersack) und das Ektodermbläschen (Amnionhöhle).

Aus dem Dach der Amnionhöhle entwickelt sich die innere Eihaut, das Amnion. Der Dottersack ist mit Dotter gefüllt, der bei der weiteren Entwicklung aufgebraucht

Abb. 53 Schnitt durch einen menschlichen Keim von etwa 18 Tagen
A Amnionhöhle, D Dottersackhöhle, K Keimschild



wird. Er ist beim Menschen, gegenüber anderen Wirbeltieren, gering entwickelt. Der Boden der Amnionhöhle und das Dach des Dottersackes bilden eine doppelte Lage von Epithelzellen, den **Keimschild**. Er ist die eigentliche Anlage des Keimlings. Alles übrige bildet Hilfsorgane. Der zwischen Embryo und Trophoblast verbleibende Gewebestrang wird zum Haftstiel, der sich später zur Nabelschnur entwickelt.

An dem leicht gebogenen Keimschild von 0,5 bis 1 mm Längsdurchmesser (Alter etwa 16 Tage) zeigt sich eine im hinteren Teil der Keimscheibe beginnende Längsrinne, die Primitivrinne. An ihrem Vorderende liegt die Primitivgrube. Vom vorderen Teil der Primitivrinne wächst eine schlauchförmige Wucherung des Keimschildes nach vorn zwischen die beiden Epithellagen. Diese Bildung heißt Kopffortsatz und liefert die Chordaanlage und das Mesoderm. Über der Chorda bilden sich bald die ektodermalen Neuralwülste (Abb. 55), die sich dann zum Neuralrohr schließen, aus dem sich das Nervensystem entwickelt.

Die Keimblattbildung oder Gastrulation weicht beim Menschen und den übrigen Säugern von den Gastrulationsvorgängen im übrigen Tierreich ab. Trotzdem ist es für die Abstammung des Menschen von größtem Wert zu wissen, daß im Bau der Keimscheibe dieselben Grundeigentümlichkeiten auftauchen wie bei tiefer stehenden Wirbeltieren (Morula, Differenzierung in zwei, später drei Keimblätter).

Aus dem Trophoblasten entwickelt sich die äußere Eihaut, das Chorion, und die Plazenta (Mutterkuchen). Die Plazenta entsteht dadurch, daß das Chorionepithel auf der der Uteruswand zugekehrten Seite zu wuchern beginnt und sich in Form von Zotten in die Uterusschleimhaut einsenkt (Abb. 54). Die Gefäße der Schleimhaut werden eröffnet, ihr Blut strömt in die zwischen den Zotten gelegenen Räume aus. Durch die Wand der Zotten hindurch werden Nährstoffe, Sauerstoff, Kohlendioxid und Schlackenstoffe ausgetauscht.

Die Amnionhöhle vergrößert sich mehr und mehr und umschließt schließlich den Embryo allseitig. Nur an der Stelle des Chorions, von dem aus sich die Plazenta ent-

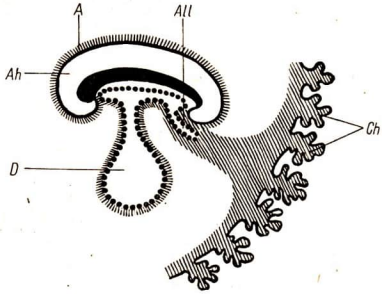


Abb. 54 Entwicklung der Eihäute
(schwarz: Trophoblast bzw. Ektoderm, gestrichelt: Mesoblast, punktiert: Entoderm)
A Amnion (Schafhaut), Ah Amnionhöhle, All Allantois, Ch Chorionzotten, D Dottersack

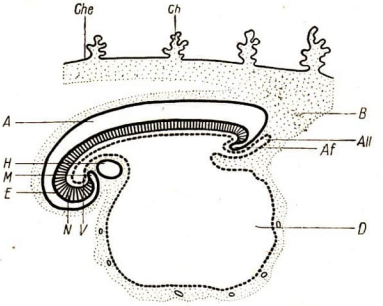


Abb. 55 Längsschnitt durch einen menschlichen Keimling (Schema)
A Amnionhöhle, Af Afterbucht, All Allantoisanlage, B Bauchstiel, Ch Chorionzotte, Che Chorionepithel, D Dottersackhöhle, E Ektoderm, H Herzanlage, M Mundbucht, N Nervenplatte, V Vorderdarm

wickelt, bleibt die Verbindung des Keimlings mit dem Chorion bestehen, eben im Haftstiel (Abb. 55). In diesen ist eine bläschenförmige Ausstülpung des Entoderms, der embryonale Harnsack (Allantois), hineingewachsen. Der Hohlraum der Amnionhöhle füllt sich mit Flüssigkeit (Fruchtwasser), die den Embryo von allen Seiten umgibt (bei der Geburt 0,5 bis 1 Liter). Durch sie wird der Embryo gegen Druck und Stoß geschützt. Auch die embryonale Entwicklung der landlebenden Wirbeltiere erfolgt also im Wasser.

Während der bisherigen Entwicklung wurde ein großer Teil des Entodermbläschens als Dottersack abgeschnürt. Er bleibt durch den Dottergang mit dem Entoderm des Keimlings, dem späteren Magen-Darm-Kanal, in Verbindung (Abb. 55). Der Inhalt des Dottersacks wird bald aufgebraucht. Seine Wände werden zu Teilen des Haftstiels, der sich nunmehr zur Nabelschnur entwickelt. Amnion und Chorion bilden zusammen die Fruchthüllen, die nach der Geburt mit der Plazenta als sogenannte Nachgeburt ausgestoßen werden.

Zwillingsbildungen. Bei Beginn der Entwicklung der befruchteten Eizelle kann eine Zellabspaltung eintreten. Dadurch entstehen zwei Zellen oder Zellkomplexe, die sich gesondert entwickeln, aber aus einer Zygote stammen. Es bilden sich eineiige Zwillinge. Sie sind gleichen Geschlechts und zeigen viele äußere Übereinstimmungen.

In seltenen Fällen können entweder aus dem einen oder aus beiden Eierstöcken zwei Follikel mit je einem Ei platzen, die beide befruchtet werden. Es können auch einmal in einem Follikel zwei Eizellen zugleich enthalten sein. Dann entwickeln sich zweieiige Zwillinge.

Nach statistischen Untersuchungen kommen auf etwa 80 Geburten eine Zwillingsgeburt, auf 80 Zwillingsgeburten einmal Drillinge. Bei drei bis vier Zwillingsgeburten kommen einmal eineiige Zwillinge vor.

Entwicklung des Keimlings nach Ausbildung der Keimblätter

Äußerlich hat der Embryo zunächst keine Ähnlichkeit mit einem Menschen. Am Kopfteil sind schon in der 3. Woche der Entwicklung blasenartige Vorwölbungen erkennbar, die Anlagen der Augen. Der Embryo ist etwa 1 cm lang. Er ist so um den Nabelstrang gekrümmt, daß sich Kopf und Schwanzende fast berühren (Abb. 56). Durch die frühzeitige, starke Entwicklung des Hirns erscheint der Kopf gegenüber dem Körper unverhältnismäßig groß. Am Hals sind, ähnlich wie bei den Embryonen aller Wirbeltiere, Kiemenbögen angelegt. Diese entwickeln sich jedoch nicht – wie bei Fischen – zu funktionierenden Atmungsorganen, deuten aber auf einen gemeinsamen stammesgeschichtlichen Ursprung aller Wirbeltiere hin. Oberhalb des Nabels ist am Bauch ein dicker Wulst sichtbar. Dort entwickeln sich Leber und Herz.

Die Chorda dorsalis bildet die Achse des sich in der 5. Woche entwickelnden Knorpelskeletts, das erst allmählich durch ein knöchernes ersetzt wird.

Im Verlauf des 2. Entwicklungsmonats bilden sich die Anlagen der Gliedmaßen (Abb. 57). Im 3. Monat ist der Kopf stark entwickelt, die Augen rücken gegen die Nasenwurzel und stellen sich parallel zueinander. Der Schwanz bildet sich zurück. Im 4. Monat breitet sich das erste Haarkleid über den gesamten Körper aus. Die Geschlechtsunterschiede sind erkennbar. Der Embryo ist zu dieser Zeit etwa 16 cm lang und wiegt etwa 100 Gramm (Abb. 58).

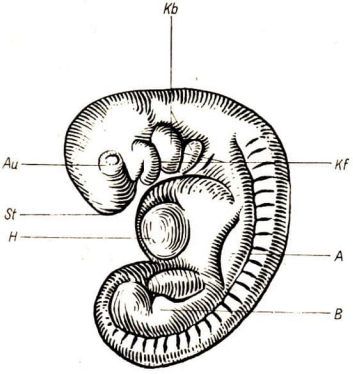


Abb. 56 Menschlicher Keimling (etwa 4 Wochen alt)
Gesamtlänge 4,9 mm (mit 35 Ursegmentpaaren)
A Armanlage, Au Augenanlage, B Beinanlage, H Herzwulst, Kb Kiemenbögen, Kf Kiemenfurchen, St Stirnhöcker

Im 5. und 6. Schwangerschaftsmonat wächst der Embryo stark. Dabei wächst der Körper stärker als der zuerst relativ große Kopf. Der Körper ist dicht behaart. Da nun die willkürliche Muskulatur gut entwickelt ist und ihre Nerven leitungsfähig geworden sind, kann die Mutter die ersten Bewegungen des Kindes spüren. Vom Ende des 5. Monats an sind auch die Herztöne des Kindes durch die mütterliche Bauchdecke zu hören.

Im 7. Monat löst sich die Verklebung der Augenlider (bei manchen Tieren erst nach der Geburt). Das Fettgewebe entwickelt sich stärker, die Lungen sind atmungsfähig. Im 8. und 9. Monat erfolgt die weitere Ausreifung der Organe. Am Ende des 9. Monats ist das Kind etwa 50 cm groß und 3000 Gramm schwer.

Die großen Übereinstimmungen in den Grundvorgängen der embryonalen Entwicklung bei allen Wirbeltieren zeigen sich vor allem in den frühesten Stadien. Schwanzanlagen, Anlagen des knorpligen Skeletts, der Kiemenbögen und Kiementaschen, die

Abb. 57 Menschlicher Keimling (Ende der 8. Entwicklungswoche) Gesamtlänge 18,5 mm; die Augenlider legen sich an, Nasenhöhlen sind epithelial verklebt, Ober- und Unterschenkel grenzen sich ab, deutliche Finger- und Zehenbildung. Erste Knochenbildung im Schlüsselbein; N Nabelschnur

Abb. 58 Menschlicher Keimling (Ende der 12. Woche) Scheitel-Steißlänge 84 mm N Nabelschnur

Ausbildung des embryonalen Wollhaarkleides und viele Ähnlichkeiten in der Entwicklung der anderen Organe weisen immer wieder auf die Abstammung des Menschen von tierischen Vorfahren hin. Ernst Haeckel formulierte diese Zusammenhänge im „biogenetischen Grundgesetz": Die Keimesgeschichte eines Lebewesens ist eine kurze, abgewandelte Wiederholung seiner Stammesgeschichte. Das soll an einigen Beispielen ausführlicher dargelegt werden.

Die Entwicklung des Blutkreislaufs. Die Bildung von Blutgefäßen setzt bereits im Alter von 12 Tagen ein, zuerst im Chorion und Haftstiel, kurz darauf auch im Keimschild. Die ersten Gefäßanlagen sind Zellstränge, die Blutinseln. In ihnen entstehen Hohlräume, die ersten Gefäße. Die Zellen der Blutinseln sondern nach innen Flüssigkeit ab. Die inneren Zellen verlieren dadurch ihren Zusammenhang und schwimmen als erste, einfache Blutzellen in der Flüssigkeit. Mehrere solcher Blutinseln verschmelzen in der weiteren Entwicklung zu einem Blutgefäß. Schließlich vereinigen sich alle Blutgefäße zu einem primitiven Kreislauf. In ähnlicher Form wird auch das Herz gebildet. Zu beiden Seiten der Darmanlage bildet sich je ein Herzschlauch. Beide verschmelzen sehr bald miteinander zu einem einheitlichen unpaaren Herzschlauch, der Anfang der 4. Embryonalwoche zu pulsieren beginnt. In ihm bilden sich die Scheidewände und Segelklappen und damit Vorhöfe und Kammern aus. Zwischen den beiden Vorhöfen bleibt aber bis zur Geburt eine Öffnung erhalten, das ovale Loch. Bei etwa einem Drittel aller Menschen wird es danach lediglich durch eine Falte verschlossen, bei den anderen wächst es zwei bis vier Wochen nach der Geburt zu.

Aus dem noch ungeteilten Herzschlauch entspringt kopfwärts eine sich bald teilende Arterie. Aus ihr entspringen außer den zum Kopf aufsteigenden Ästen 6 Paar Kiemenbogengefäße, die nach rückwärts abbiegen (wie bei Fischen und allen Wirbeltierembryonen), in die absteigenden Hauptschlagadern übergehen, welche sich weiter abwärts zur unpaaren Aorta vereinigen. Von den 6 Paar Kiemenbogengefäßen werden die 1., 2. und 5. nur vorübergehend angelegt und verschwinden bald. Ein Teil der rechten 6. Kiemenbogenarterie bleibt mit der aus ihr abgehenden Lungenarterie bestehen. Die linke 6. Kiemenbogenarterie bleibt bis zur Geburt bestehen und liefert den Botallischen Gang (dieser bringt einen großen Teil des zur noch nicht tätigen Lunge geführten Blutes direkt in die absteigende Aorta). Das 3. Kiemenbogenpaar wird zu den endgültigen Gefäßen für Arme, Kopf und Hals. Der linke 4. Bogen wird zum Aortenbogen. Der rechte 4. Bogen geht in der rechten Schlüsselbeinschlagader auf. Von hier an verödet die rechte absteigende Aorta und bildet sich zurück.

Viele Stadien dieser Entwicklung lassen sich mit den Kreisläufen niederer Wirbeltiere vergleichen. Auch das beweist ihre einheitliche Abstammung.

Der embryonale Kreislauf hat mehrere Eigentümlichkeiten. Zwischen Körper- und Lungenkreislauf bestehen direkte Verbindungen, das ovale Loch und der Botallische Gang. Im Körper fließt gemischtes Blut. Die rasch wachsende obere Körperhälfte, Gehirn und Sinnesorgane bekommen mehr arterielles Blut als die untere Hälfte.

Die Entwicklung des Nervensystems. Die Entwicklung des Nervensystems beginnt bereits im ersten Monat, also sehr früh. Schon am scheibenförmigen Keimschild bilden sich die ektodermalen Neuralwülste, die sich zum Neuralrohr schließen (Abb. 55). Am Vorderende des geschlossenen Neuralrohres entwickeln sich drei hintereinanderliegende blasige Erweiterungen, die drei primären Hirnbläschen: Vorderhirn, Mittelhirn und Rautenhirn. Sie liegen hintereinander, wie etwa bei der Larve eines Neunauges. Aus dem Vorderhirnbläschen wachsen nach beiden Seiten die mächtigen Augenanlagen als bläschenförmige Ausstülpungen aus. Danach entwickeln sich vor den Augenanlagen die Endhirnbläschen. Dadurch teilt sich das Vorderhirnbläschen in das paarige Endhirn, das zum Großhirn wird, und in das Zwischenhirn. Aus dem Vorderhirn geht noch das Riechhirn hervor. Am Zwischenhirn entwickeln sich die innersekretorischen Drüsen (Epiphyse und Hypophyse). Vom 6. bis 7. Monat ab faltet sich das Großhirn. Das Mittelhirn bleibt relativ einheitlich. Am Rautenhirn, an dem die meisten Hirnnerven enden (5. bis 12.), können sehr bald zwei Abschnitte unterschieden werden.

Dem Mittelhirn schließt sich das Nachhirn an, an dessen rückseitigen Teilen sich das Kleinhirn entwickelt. Der letzte Abschnitt des Hirns ist das verlängerte Mark. So entwickelt sich das Hirn aus einem 3-Bläschenstadium über ein 5-Bläschenstadium zu seiner endgültigen Form. Der Hohlraum der Hirnbläschen wird im Rauten- und Zwischenhirn und in den beiden Endhirnhälften zu den Hirnkammern oder Ventrikeln, die miteinander verbunden sind. In ihnen befindet sich Liquor.

Das Rückenmark bleibt relativ einfach. Der vom Mark umschlossene Kanal, der vom Neuralrohr stammt, bleibt sehr eng und steht mit den Hohlräumen des Hirns in Verbindung.

Infolge des raschen Wachstums biegt sich das embryonale Neuralrohr um die langsamer wachsenden ventralen Eingeweide. Es kommt dadurch zu der charakteristischen Krümmung des Embryos in dieser Zeit (Abb. 56).

Verdauungs- und Atmungsorgane. Das Epithel des Magen-Darm-Kanals und der Atemwege ist entodermalen Ursprungs. Lediglich das vordere und hintere Ende des Verdauungskanals, also des Epithels der Mundhöhle und des letzten Darmabschnittes, werden von Ektodermzellen gebildet. Die glatte Muskulatur des Magens und des Darmes sind mesodermaler Herkunft.

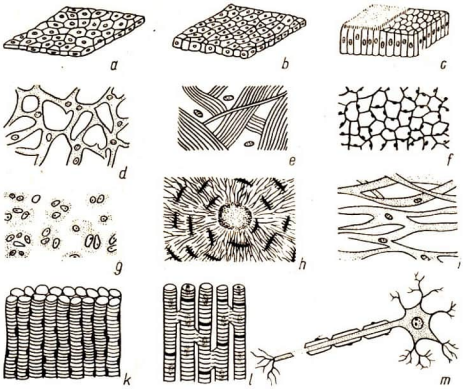


Abb. 59 Die wichtigsten Gewebearten des menschlichen Körpers (Schema)
a einfaches Plattenepithel, b kubisches Epithel, c Zylinderepithel mit und ohne Flimmerhaaren, d faseriges Bindegewebe, e netzförmiges Bindegewebe, f Fettgewebe, g Knorpelgewebe, h Knochengewebe, i glatte Muskelfasern, k quergestreifte Skelettmuskelfasern, l Herzmuskelfasern, m Ganglienzelle mit kurzen Dendriten und langen Neuriten mit Markscheide

Die Atemwege und Lungen spalten sich vom vorderen Teil des Darmrohres ab. Das Epithel des Schlunddarmes bildet auf der Vorderseite eine Rinne, die sich röhrenförmig abschnürt. Die Röhre vergrößert sich, gabelt sich und bildet zwei seitliche Aussackungen. Diese Röhre wird zur Luftröhre, aus den beiden Aussackungen entwickeln sich die Hauptbronchien und die Lungen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

Aus dem **Ektoderm** entwickeln sich im wesentlichen die Organe, die unseren Körper mit der Umwelt verbinden: die Epidermis mit ihren Anhangsorganen, das Nervensystem und die Sinnesorgane. Das **Mesoderm**, aus dem das Bindegewebe und die Blutgefäße hervorgehen, ist am Aufbau nahezu aller Organe beteiligt. Rein mesodermalen Ursprungs sind Knochen, Knorpel, glatte und quergestreifte Muskulatur, Blutzellen, Milz und das Urogenitalsystem. Aus dem **Entoderm** entwickeln sich das Epithel des Verdauungskanals mit seinen Drüsen und das Epithel der Atmungsorgane (Abb. 59).

Die Geburt

Während der Schwangerschaft erzeugt die Plazenta Follikelhormon und Gelbkörperhormon in beträchtlicher Menge. Beide veranlassen die weitere Ausbildung der Milchdrüsen bis zur Funktionsfähigkeit. Gegen Ende der Schwangerschaft sinkt der Gelbkörperhormonspiegel ab, während der Follikelhormonspiegel des Blutes steigt. Dadurch wird die Empfindlichkeit der Uterusmuskulatur gegen Kontraktionsreize erhöht. Durch geringe Erregungen, wahrscheinlich durch ein wehenerregendes Hormon des Hypophysenhinterlappens, kommt es zu Zusammenziehungen der Uterusmuskulatur, die von der Mutter als Wehen empfunden werden. Bei jeder Kontraktion läuft eine Kontraktionswelle von oben nach unten zum anfangs geschlossenen Uterushals. Durch

den Druck der Wehen zerreißen die Eihäute, das Fruchtwasser läuft aus dem jetzt in den Uterushals ragenden Teil der Amnionhöhle aus. Durch weitere Wehen wird das Kind durch die sich langsam weitenden Geburtswege (Uterushals und Vagina) ausgestoßen (Abb. 60). Dabei unterstützen die Bauchmuskeln durch Pressen die weitere rasche Austreibung der Frucht. Durch eine wissenschaftlich geleitete, planmäßige psychische und physische Vorbereitung während der Schwangerschaft kann eine nahezu schmerzlose Geburt erreicht werden.

Während der Geburt bleibt das Kind durch Nabelschnur und Plazenta mit dem mütterlichen Kreislauf in Verbindung. Sofort nach der Geburt wird die Nabelschnur unterbunden und durchtrennt. Der Nabelschnurrest des Kindes trocknet innerhalb der ersten Lebenswochen ein und wird abgestoßen.

Die noch nach der Geburt des Kindes auftretenden Wehen lösen etwa nach einer halben Stunde in kurzer Zeit die Plazenta und die Eihäute von der Uteruswand und treiben sie als Nachgeburt durch die Geburtswege aus. Hierbei entsteht eine offene Wundfläche, so daß eine mehr oder weniger starke Blutung erfolgt. Sechs bis acht Wochen nach der Geburt hat der Uterus wieder nahezu seine Ausgangsgröße erreicht.

Sofort nach der Geburt erfolgt der Gasaustausch in der Plazenta nur noch ungenügend. Im Blute des Kindes reichert sich CO_2 an. Dadurch und durch die Umweltsänderung (Temperaturunterschied, Luftleben u. a.) werden reflektorisch über das Atemzentrum die ersten Atembewegungen des Kindes ausgelöst. Das Neugeborene läßt den

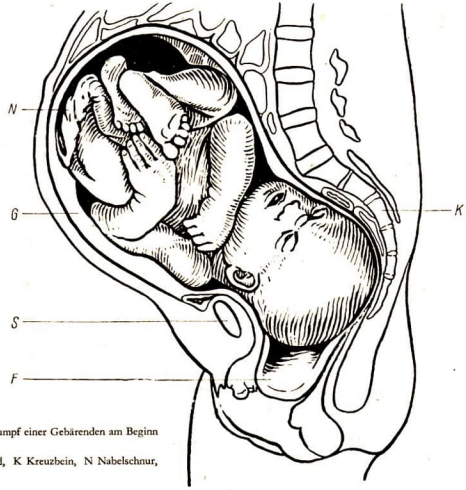


Abb. 60 Längsschnitt durch den Rumpf einer Gebärenden am Beginn der Austreibungsperiode
F Fruchtblase, G Gebärmutterwand, K Kreuzbein, N Nabelschnur, S Schambeinfuge

ersten Schrei vernehmen. Gleichzeitig stellt sich der Kreislauf um. Die Lungen saugen bei ihrer Dehnung eine große Blutmenge durch die Lungenarterien an. Dieses Blut gelangt über die Lungenvene in den linken Vorhof und erhöht den Blutdruck in ihm. Dadurch werden die Falten der Herzinnenhaut auf das ovale Loch gepreßt, die Öffnung wird verschlossen. Von nun an sind Körper- und Lungenkreislauf vollständig getrennt. Der Botallische Gang wird nicht mehr durchflossen, er verödet.

Nabelarterie und Nabelvene bilden sich in den ersten vier Wochen zurück.

Das Prolaktin, das Milchabsonderungshormon des Hypophysenvorderlappens, veranlaßt die Milchdrüsen zur Sekretion. Die Wirkung dieses Hormons wurde durch das von der Plazenta gebildete Follikel- und Gelbkörperhormon während der Schwangerschaft gehemmt. Nach der Geburt fällt diese Hemmung weg, das Prolaktin wird wirksam.

Die Entwicklung und Ernährung eines gesunden Säuglings

Das Neugeborene. Das reife Neugeborene wiegt in der Regel 3 200 bis 3 400 Gramm. Knaben sind meist etwas schwerer als Mädchen. Die Länge des ausgetragenen Neugeborenen beträgt etwa 50 cm. In den letzten Jahren wird jedoch eine Zunahme der Länge der Neugeborenen um einige Zentimeter beobachtet.

Der Kopfumfang des neugeborenen Kindes beträgt 34 bis 35 cm. Eigentümlich hierbei ist, daß bis zum Ende des ersten Lebensjahres der Kopfumfang größer als der Brustumfang beziehungsweise ihm gleich ist. Erst im zwölften Lebensmonat beträgt der Brustumfang etwa 47 cm, während für den Kopfumfang 46 cm gemessen werden.

Die Schädelknochen sind noch nicht durch feste Knochennähte miteinander verbunden. Zwischen den Scheitelbeinen und dem Hinterhauptbein ist eine dreieckige, kleine Lücke tastbar: die kleine Fontanelle. Eine etwa viereckige, größere Lücke wird von den beiden Scheitelbeinen und den paarig angelegten Stirnbeinen gebildet: die große Fontanelle.

Als reif gilt ein Neugeborenes, wenn es nach einer Schwangerschaftsdauer von 273 Tagen geboren wurde und die sogenannten Reifezeichen aufweist. Als solche werden angesehen: Knorpel der Nase und der Ohren fühlen sich knorpelig und nicht mehr häutig an, die Länge des Kopfhaares beträgt einige Zentimeter, die Fingernägel sind hornig und erreichen die Fingerkuppe, die Hoden befinden sich im Hodensack, bei Mädchen bedecken die großen Schamlippen die kleinen, die Wollbehaarung (Lanugo) ist bis auf Reste an den Schultern und am Rücken verschwunden.

Im Zusammenhang mit den Bestimmungen des Gesetzes über den Mutter- und Kinderschutz vom Jahre 1950 hat der Gesetzgeber eine weitere Festsetzung für die Reife getroffen. Danach wird für reife Neugeborene ein Mindestgewicht von 2 500 Gramm verlangt. Neugeborene, deren Geburtsgewicht diese Zahl nicht erreicht (Ausnahme: reife Zwillinge) und die weitere Zeichen von Unreife aufweisen, gelten als Frühgeborene.

Die teilweise beachtlichen Erfolge beim Aufziehen von Frühgeborenen macht es zeitweise schwierig, die Grenze nach unten, also zur nichtlebensfähigen Fehlgeburt hin festzusetzen. Nach der Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gilt ein Kind als nicht lebensfähig, wenn es mit einem Gewicht von 600 g und weniger zur Welt kommt.

Die ersten Tage nach der Geburt. Von der Geburt an tritt das Kind in unmittelbare Beziehung zur Außenwelt. Es atmet, nimmt Nahrung auf, scheidet Abfallstoffe aus.

Große Beachtung ist der Nabelwunde des Neugeborenen zu schenken. Die Nabelschnur versorgte bis zu ihrer Durchtrennung nach der Geburt den Organismus mit Blut. Ihre Blutgefäße haben nach Ingangkommen des Lungenkreislaufes des Neugeborenen ihre Aufgabe erfüllt und veröden nach Durchtrennung der Nabelschnur. Der etwa handbreite Nabelschnurrest, der nun nicht mehr von Blut versorgt wird, stirbt ab, trocknet ein und fällt etwa zwischen dem 6. und 10. Tag nach der Geburt ab. Die Art des Ab- und Unterbindens des Nabels ist nicht entscheidend für das Entstehen der Stelle, an der sich die gesunde und bleibende Nabelhaut gegen die abgestorbene Nabelschnur absetzt. Die danach entstehende Nabelwunde zeigt in der Regel noch eine geringe Absonderung. Zwei Wochen nach der Geburt hört diese Absonderung auf. Die Nabelwunde ist als geheilt zu betrachten.

Die Haut des Neugeborenen zeigt einige Tage nach der Geburt eine Abschilferung der obersten Hautschichten. In dieser Zeit verschwindet zumeist auch der Rest der Wollbehaarung.

Etwa 3 Tage nach der Geburt sieht man bei vielen Neugeborenen eine gelbe Verfärbung (Icterus) der Haut. Sie ist nach weiteren 4 bis 6 Tagen nicht mehr feststellbar. Bei Frühgeborenen verschwindet die Gelbfärbung der Haut später. Diese nicht krankhafte Verfärbung beruht auf einem erhöhten Blutzerfall und einem dadurch bedingten Freiwerden von Blutfarbstoffen.

Schwere, krankhafte Gelbsucht tritt beim Neugeborenen auf Grund von Blutgruppen- oder Blutfaktorenunverträglichkeit zwischen Kind und Mutter und bei angeborenen Gallengangsverschluß auf.

Bald nach oder sogar schon während der Geburt entleert das Neugeborene seinen ersten Stuhl, der seiner Farbe wegen als „Kindspech" bezeichnet wird. Er besteht aus Schleim, Galle, Wollhaaren, verschlucktem Fruchtwasser und Darmschleimhautzellen. Vom dritten Lebenstag an vermischt sich das „Kindspech" mit den ersten, nun heller gefärbten Nahrungsstühlen.

Bemerkenswert ist das Verhalten des Körpergewichtes nach der Geburt. Durch normalen Wasserverlust, der durch die sich erst allmählich steigernde Nahrungsmenge in den ersten Tagen nach der Geburt nicht sofort ausgeglichen werden kann, kommt es normalerweise zu einem mehr oder minder großen Gewichtsverlust. Dieser Gewichtssturz dauert etwa 3 bis 5 Tage und ist in hohem Maße vom Geburtsgewicht abhängig. Im allgemeinen gilt die Regel: je höher das Geburtsgewicht, desto größer die Gewichtsabnahme nach der Geburt.

Nach diesem Gewichtsverlust beginnt der Wiederanstieg der Gewichtskurve. Die Zeit, in der das Neugeborene sein Geburtsgewicht wiedererreicht, ist im wesentlichen von der Trinkmenge an der Brust abhängig. Eine große Rolle spielt die recht unterschiedliche Fähigkeit des Organismus des Neugeborenen, die angebotenen Nährstoffe, Salze und die Flüssigkeit im Körper zu binden. Es gilt als Regel, daß das Geburtsgewicht etwa am 10. Lebenstag wieder erreicht ist. Man kann jedoch bei einer sehr großen Zahl von Kindern beobachten, daß dieser Zeitpunkt erst später eintritt, in einigen Fällen erst am 30. Tage nach der Geburt.

Die Anzahl der Herzschläge beträgt beim Embryo und beim Neugeborenen etwa 140 in der Minute und sinkt bis zum 10. Lebensjahr auf etwa 90.

Vom „Neugeborenen" spricht man etwa bis zum 11. Lebenstag, das heißt, solange noch Zeichen seines bisherigen körperlichen Zusammenhanges mit der Mutter vorhanden sind (z. B. die Nabelwunde). Danach bezeichnet man das Kind allgemein als „Säugling", und zwar bis zur Vollendung des 1. Lebensjahres.

Die natürliche Ernährung des Säuglings. Nahezu 95 % aller Mütter sind in der Lage, ihr Kind auf natürliche Weise, also an der eigenen Brust zu ernähren.

Quelle der natürlichen Ernährung ist die weibliche Brust. Die im Fettgewebe der Brüste angelegten Milchgänge entwickeln sich erst während der Schwangerschaft zu reifen Milchdrüsen. Hierbei werden Fett und Bindegewebe in der Regel verdrängt. Die Milchdrüsen, deren Aussehen dem der Lungenbläschen ähnelt, geben die Milch durch Ausführungsgänge zur Brustwarze hin ab. Hier befinden sich etwa 15 bis 20 winzige Öffnungen, aus denen die Milch fließt.

Die eigentliche Tätigkeit der Milchdrüsen beginnt nach dem Ausstoßen der Nachgeburt. Zuerst produziert die Milchdrüse die sogenannte Vormilch, das Kolostrum. Dies ist eine etwas klebrige, gelblich gefärbte Flüssigkeit, die eiweißreicher als die später einschießende reife Milch ist. Das Kolostrum enthält relativ wenig Fett, ist aber reich an Vitamin A und C. Es wird nur tropfenweise abgesondert und läßt sich in geringen Mengen schon im zweiten Schwangerschaftsmonat nachweisen. Am 2. und 3. Tag nach der Entbindung kommt es zum „Einschießen" der Milch und damit zur eigentlichen Tätigkeit der Brustdrüse. Dieses Einschießen der Milch wird durch ein Hormon des Vorderlappens der Hirnanhangsdrüse ausgelöst. Für die weitere Tätigkeit der Brustdrüse ist jedoch das Saugen des Neugeborenen als Sekretionsreiz von ausschlaggebender Bedeutung.

Im allgemeinen wird das Neugeborene erst 24 Stunden nach der Geburt angelegt. Entsprechend der Beanspruchung steigert sich die Tätigkeit der Milchdrüsen etwa bis zur 10. Woche nach der Geburt. Erst nach dieser Zeit haben die Brustdrüsen den Höhepunkt ihrer Tätigkeit erreicht. Für eine gute Funktion ist die äußere, anatomische Form der Brust nicht entscheidend.

In Gang gehalten wird die ausreichende Sekretion nur durch eine regelmäßige Entleerung der Brustdrüsen. Hierbei ist das Saugen des Kindes jeder mechanischen Entleerung weit überlegen.

Die chemische Zusammensetzung der Frauenmilch und ihre sonstigen Eigenschaften sind der Entwicklung des menschlichen Säuglings in äußerst glücklicher Weise angepaßt.

Eine Gegenüberstellung der Frauenmilch mit der Kuhmilch zeigt:

Frauenmilch	**Kuhmilch** (Ziegenmilch)
hat die für den Säugling passende Körpertemperatur;	muß erhitzt werden; enthält Hunderttausende von Keimen, darunter gefährliche Krankheitserreger; (nicht alle Keime werden durch Erhitzen getötet)
ist frei von Keimen (steril)	
enthält leicht verdauliches Eiweiß und bekömmliches Fett in den dem Säugling angepaßten Mengen;	Eiweiß muß künstlich verändert werden. Anpassung an Frauenmilch ist nicht voll zu erreichen. Bekömmliche Fette müssen künstlich zugesetzt werden;
hat reichlich Zucker;	hat zuwenig Zucker;
hat alle notwendigen Vitaminwirkungen;	Vitamine werden durch Kochen zerstört („Vitaminruine");
hat Abwehrstoffe gegen Krankheiten;	hat keinerlei Abwehrstoffe;
hat reichlich Eisen.	hat nur ein Fünftel des Eisengehaltes von Frauenmilch.

Auch die chemische Analyse der Milch zeigt, daß die Kuhmilch für das schnellwachsende Kälbchen bestimmt und für den menschlichen Säugling nur bedingt geeignet ist.

Die Frauenmilch hat darüber hinaus wertvolle, der Kuhmilch völlig fehlende biologische Eigenschaften wie ihren Gehalt an Fermenten und Abwehrstoffen. Überraschend ist die erst in letzter Zeit entdeckte Eigenschaft der Frauenmilch, radioaktive Salze, wie sie unter anderem durch die Kuhmilch in den Körper des Kindes gelangen können, aus dem Skelettsystem des Säuglings wieder zu entfernen.

	Eiweiß	Fett	Zucker	Salze (jeweils in %)
Frauenmilch	1,0	4,0	7,0	0,2
Kuhmilch	3,0	3,5	4,0	0,7

Frauenmilch ist daher in vieler Hinsicht als eine Art Schutznahrung zu betrachten.

Die Frauenmilch ist ein Filtrat des Blutes der Stillenden. Die Zusammensetzung der Milch ist sehr konstant. Auch bei Mangelernährung der Mutter vermag die Brustdrüse die Zusammensetzung für einige Wochen zu gewährleisten, vorausgesetzt, daß die Flüssigkeitszufuhr für die Mutter ausreichend ist.

Entwicklung körperlicher und geistiger Fähigkeiten im Säuglingsalter

Das Neugeborene ist keineswegs ein kleiner Erwachsener. Die Größenverhältnisse zahlreicher Organe sind bei ihm anders, auch deren Funktionsfähigkeit ist zum Teil verschieden (Geschlechtsdrüsen, relativ größere Leber, keine Schrägstellung der Rippen u. a.). Das Nervensystem ist noch nicht endgültig ausgebildet. Auch die Körperproportionen sind ganz anders als beim Erwachsenen (Abb. 61). Die Gesamthöhe entspricht viermal der Kopfhöhe, der Körpermittelpunkt liegt über dem Nabel. Der Erwachsene besitzt etwa achtmal die Kopfhöhe, der Körpermittelpunkt liegt an der Schambeinfuge. Vergleichen Sie auch die Verhältnisse der Schädelgröße zur Schulterbreite!

Über verschiedene Wachstumsphasen erreicht das Kind erst mit Ende der Pubertät seine volle körperliche Ausbildung.

Gewicht und Länge. Die Gewichts- und Längenzunahme unterliegt im allgemeinen streng festgelegten Steigerungen. Hierbei ist das Längenwachstum von äußeren Einflüssen weit weniger abhängig als die Gewichtszunahme, die je nach Ernährung und Konstitution des Kindes große individuelle Schwankungen aufweist.

Gegen Ende des ersten Lebenshalbjahres hat sich das Körpergewicht des Säuglings verdoppelt, nach einem Jahre verdreifacht.

Wie bei der Gewichtszunahme, so ist das Tempo des Längenwachstums im ersten Lebensvierteljahr schneller als gegen Ende des ersten Lebensjahres.

Nach 4 Monaten ist der Säugling um etwa 10 Zentimeter gewachsen, nach einem Jahr um etwa 25 cm. Mit 4 Jahren ist die Geburtslänge verdoppelt.

Das Körpergewicht des Säuglings wird anfangs täglich, nach 3 bis 4 Wochen jedoch nur noch einmal in der Woche, möglichst immer am selben Tag, kontrolliert. Wiegen nach jedem Trinken führt zu falschen Schlüssen.

Ein gesunder Säugling soll zunehmen:

im 1. Vierteljahr täglich etwa 25 g
im 2. Vierteljahr täglich etwa 18 bis 20 g
im 3. Vierteljahr täglich etwa 15 g
im 4. Vierteljahr täglich etwa 12 bis 15 g

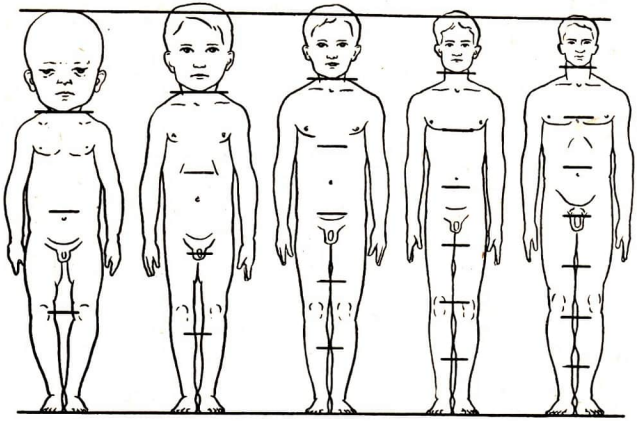


Abb. 61 Veränderung der Körperproportionen während des Lebens; von links nach rechts: Neugeborener, 21 Monate altes Kind, 4 Jahre 6 Monate altes Kind, 12 Jahre alter Knabe, Erwachsener

Dies sind Durchschnittszahlen, die individuell bedingten Schwankungen innerhalb weiter Grenzen unterliegen.

Dies trifft auch für die absoluten Körpergewichtswerte zu, die nachstehend angeführt sind.

Es wiegt ein Kind mit normalem Geburtsgewicht

mit 4 Wochen	etwa 4 100 g	mit 7 Monaten	etwa 8 200 g
mit 8 Wochen	etwa 5 000 g	mit 8 Monaten	etwa 8 700 g
mit 12 Wochen	etwa 5 800 g	mit 9 Monaten	etwa 9 100 g
mit 4 Monaten	etwa 6 500 g	mit 10 Monaten	etwa 9 500 g
mit 5 Monaten	etwa 7 100 g	mit 11 Monaten	etwa 9 800 g
mit 6 Monaten	etwa 7 700 g	mit 12 Monaten	etwa 10 100 g

Die Zahnung. Für das Hervorbrechen der Zähne gilt folgende Regel: Durchbruch der ersten Zähne des Milchgebisses erfolgt vom 4. bis 9. Monat.

In der Reihenfolge des Durchbruches kommen zuerst
die unteren, mittleren Schneidezähne, dann
die oberen, mittleren Schneidezähne,
die oberen, äußeren Schneidezähne,
die unteren, äußeren Schneidezähne.

Es folgen die vorderen unteren Backenzähne und die vorderen oberen Backenzähne.

Mit 24 Monaten hat das Kind das vollständige Milchgebiß, welches aus 20 Zähnen besteht.

Der Durchbruch der Zähne vollzieht sich im allgemeinen ohne besondere Störungen. Fieber, Durchfälle oder gar Krämpfe sind zumeist durch zufällig gleichzeitig bestehende Erkrankungen hervorgerufen. Fieber beschleunigt den Zahndurchbruch.

Das Knochensystem. Am Schädel schließt sich die kleine Fontanelle bald nach der Geburt, die große nach etwa 15 Monaten. Stirnhöhle und Oberkieferhöhlen entwickeln sich in der Regel erst vom Kleinkindalter ab.

Ein kräftiges, belastungsfähiges Fußgewölbe besitzt der Säugling noch nicht. Die Fußsohle zeigt ein kräftiges Fettpolster.

In fast allen Knochen sind Verknöcherungs- und Wachstumsvorgänge durch Anlagerung reifer Knochenzellen und Einlagerung von Kalksalzen im Gange.

Der Schlaf. Im Gegensatz zu früheren Anschauungen wissen wir heute, daß der junge Säugling innerhalb 24 Stunden einen ständigen Wechsel von Schlafen und Wachsein aufweist. Erst einige Wochen nach der Geburt kommt es dazu, daß die Hauptzeit des Schlafens in die Nacht fällt. Die tägliche Schlafzeit beträgt etwa 12 bis 14 Stunden.

Die Motorik. Die meisten Körperbewegungen des Neugeborenen vollziehen sich infolge der unvollkommenen Funktionsfähigkeit des Gehirns unkoordiniert oder rein reflektorisch (z. B. Saugreflex, Umklammerungsreflex).

Auch die Bewegungen der Augäpfel vollziehen sich anfänglich nicht gleichzeitig: der Säugling scheint zu schielen.

Das Aufrichten des Kopfes gelingt erst vom 2. Lebensmonat ab, das Halten des Kopfes vom 3. bis 4. Monat. Mit etwa 8 bis 9 Monaten sitzt der Säugling frei. Mit 10 Monaten steht er mit Unterstützung. Kurz nach Vollendung des 1. Lebensjahres macht er seine ersten Gehversuche.

Die Sinnesorgane. Schon das Neugeborene reagiert auf Lichteindrücke. Der ältere Säugling wendet mit Vorliebe den Kopf nach einer Lichtquelle. Geschmacksunterschiede (süß, sauer, bitter) kann auch der kleine Säugling sehr bald auseinanderhalten. Im Mittelohr befindet sich kurz nach der Geburt Flüssigkeit, die erst allmählich resorbiert wird. Jedoch ist auch das Gehör sehr bald nach der Geburt funktionstüchtig. Früh entwickeln sich ferner Tast- und Schmerzsinn.

Die geistigen Fähigkeiten. Die geistigen Fähigkeiten des Säuglings werden ebenso wie die motorischen in weitem Umfange von der fortschreitenden Reife des Gehirns bestimmt. Hinzu kommen mehr oder minder intensive Umweltfaktoren. Sehr bald sucht der Säugling aktiven Kontakt mit seiner Umwelt. Vorgehaltene Gegenstände werden mit den Augen fixiert und verfolgt. Im 4. Monat beginnt der Säugling nach Gegenständen zu greifen. Zu gleicher Zeit zeigen sich erste Anzeichen eines Erinnerungsvermögens. Die Mutter, die Pflegeperson, werden wiedererkannt und freudig begrüßt. Auf das Auftauchen fremder Gesichter reagiert das Kind mit gespannter Aufmerksamkeit oder mit ängstlichem Weinen. Auf freundliches, andauerndes Zunicken und Lachen reagiert das Kind – nun auch bei Fremden – mit einem Lächeln.

Mit etwa 6 Monaten beginnt der Säugling zu lallen. Der Ausdruck seines Gesichtes spiegelt mehr und mehr seine Stimmung wider. Mit einem Jahr werden die ersten einfachen Worte gesprochen.

Der besseren Übersicht wegen werden in der folgenden Tabelle die einzelnen Fähigkeiten nach dem Zeitpunkt ihres Auftauchens noch einmal zusammengestellt und ergänzt.

4 Wochen alt: Das Kind hat große Freude am Baden; schaut nach Lichtquellen und Fenster. Mit Vorliebe wendet es den Kopf nach einer bestimmten Seite. Gesichter, die sich seinem Bettchen nähern, schaut es unverwandt an.

4 Monate alt: Das Kind faßt nach Spielzeugen. Es strampelt und lacht, insbesondere beim Baden. Gern rollt es sich auf die Seite. Daumen oder Finger werden nach den Mahlzeiten in den Mund gesteckt. Es hat ein sehr starkes Geselligkeitsbedürfnis. Es hat gern andere Menschen um sich, besonders wenn sie mit ihm sprechen oder singen. Es beginnt zu plappern.

7 Monate alt: Das Kind hat gelernt, den Kopf zu tragen. Es packt sehr sicher zu. Gegenstände werden grundsätzlich in den Mund gesteckt. Beim Essen wird geschmatzt. Das Kind hat gelernt, mit festen Speisen umzugehen. Es hat viel Freude an der Rückenlage. Es zieht Schuhe und Söckchen aus und beobachtet gern die Bewegungen seiner Hände. Mit raschelndem Papier, Gummipuppen und Klappern wird gern gespielt. Seine Sympathiekundgebungen machen Unterschiede zwischen einzelnen Personen. Die allgemeine Gemütsverfassung ist, da plötzlicher Umschlag vom Weinen zum Lachen erfolgen kann, unausgeglichen.

10 Monate alt: Die Rückenlage vermittelt dem Kind zuwenig von seiner Umgebung. So rollt es sich auf die Seite, zieht sich am Bettgitter hoch oder setzt sich auf. Die allgemeine Fortbewegung erfolgt durch Kriechen auf Händen und Füßen. Die nähere Umgebung wird unter Zuhilfenahme der Fingerchen erschlossen. Interessant sind Spalten, Löcher, Töpfchen. Die Lautbildung wird abwechslungsreicher. Auch kleine Kunststückchen werden erlernt (z. B. Handküßchen und „winke, winke").

1 Jahr alt: Das Kind kann sich ohne Hilfe zum Stehen erheben. Es kriecht nur noch wenig und beginnt allein zu laufen. Gespielt wird jetzt mit mehreren Gegenständen. Fleißig wird das Aufheben und Fallenlassen geübt. Auch beim Essen besteht große Neigung, sich mit irgend etwas zu beschäftigen. Alle Handlungen sind im allgemeinen zweckentsprechender. Das Kind entwickelt eine Vorliebe für bestimmte Speisen. Das Baden ist immer noch die beliebteste Tätigkeit. Im Laufgitter wird fleißig herumgeturnt. Hierbei werden allerlei Spielzeug und Gegenstände herausgeworfen.

AUSGEWÄHLTE GEBIETE DER PHYSIOLOGIE

Einleitung

Die Biologie ist die Wissenschaft vom Leben. Sie umfaßt die Erforschung der besonderen Gesetzmäßigkeiten der lebenden Materie, des Ursprungs, der Entwicklung, der Vielfalt, des Baues, der Funktionen und der Grundlagen für die Nutzung von Lebewesen. Mit den Funktionen beschäftigt sich ein besonderes Teilgebiet der Biologie – die Physiologie.

Die Vielfalt der Lebensformen auf der Erde hat den Menschen seit jeher dazu veranlaßt, die Organismen zu studieren, sie zu sammeln und zu systematisieren. Er lernte bald, die für seine Zwecke geeigneten Formen zu nutzen. Immer wieder traf der Mensch bei seinen Begegnungen mit den Organismen auf die Frage nach den Lebensfunktionen, welche trotz verschiedenartiger Abwandlungen bei allen Lebewesen stets den gleichen Grundtyp erkennen ließen. Der menschliche Drang nach Erkenntnis und Nutzung der ihn umgebenden Natur wandte sich in den letzten hundert Jahren immer mehr diesen Fragen zu. Die Lehre von den Lebensvorgängen, die Physiologie, nahm einen erstaunlichen Aufschwung.

Heute ist die Physiologie zu einer der wichtigsten Teilwissenschaften der Biologie geworden. In enger Verbindung zu Chemie und Physik und unter Anwendung chemischer und physikalischer Untersuchungsmethoden wurden grundlegende Einsichten in die Vorgänge der Atmung, Gärung, Photosynthese und Bildung der Eiweiße gewonnen. An die Fortschritte in der Physiologie der Pflanzen, Tiere und des Menschen knüpft die Menschheit heute große Erwartungen, denn sie steht vor der Aufgabe, eines der schwierigsten Probleme zu lösen: Die Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern. Die genaue Kenntnis der Lebensvorgänge aber ist sicher eine der bedeutendsten Voraussetzungen für eine planmäßige Lenkung der Leistungen unserer Nutzpflanzen und Nutztiere.

Die Physiologie ist damit auch zu einem der wichtigsten Gebiete für den Biologieunterricht in der Schule geworden. Wir beginnen nun mit dem Studium dieses interessanten und für die Zukunft wichtigen Gebietes der Biologie. Immer sollten wir dabei das Lehrbuch der Chemie Teil 2 für die erweiterte Oberschule zur Hand nehmen, um in den Abschnitten über die Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße zu lesen. Dadurch werden wir zu einem besseren Verständnis der chemischen Vorgänge in den Organismen gelangen, welche in der Physiologie des Stoffwechsels einen großen Raum einnehmen.

In einem Anhang enthält das Buch Versuche, welche zur praktischen Untersuchung physiologischer Vorgänge gedacht sind. Sie konnten nicht – wie in den Lehrbüchern der Chemie – in den fortlaufenden Text eingefügt werden, da biologische Experimente in den seltensten Fällen sofort zum Ergebnis führen, sondern über längere Zeit beobachtet werden müssen. So ist das Resultat oft erst zu erkennen, wenn bereits andere theoretische Probleme behandelt werden müssen, oder die Versuche müssen zu einem Zeitpunkt angesetzt werden, zu dem die zugehörigen theoretischen Voraussetzungen noch

fehlen, wenn das Resultat zur rechten Zeit sichtbar sein soll. Sollte nicht auf experimentelle Arbeit verzichtet werden, so mußten die Versuchsanweisungen in einem Anhang zusammen dem Buch beigegeben werden. Durch geschickte, den schulischen Bedingungen entsprechende Organisation können dann ausgewählte Experimente in die Behandlung des theoretischen Stoffes eingefügt werden.

Die Gliederung eines Buches läßt sein gedankliches Gerüst erkennen. Um den vielfältigen Stoff der Physiologie übersehen zu können, ist es besonders wichtig, die Gliederung der einzelnen Abschnitte und des gesamten Buches zu kennen. Die Hierarchie der Überschriften läßt bereits Zusammenhänge im Stoff sichtbar werden. Daher sollte auch bei der weiteren Benutzung des Buches immer wieder die ausführliche Gliederung zur Hand genommen werden.

Einleitung

- Die Bedeutung chemischer und physikalischer Gesetze für die Biologie
- Die Besonderheiten des Lebens gegenüber der anorganischen Natur
- Die Bedeutung der wichtigsten Lebensfunktionen für den Fortbestand des Lebens

Bau und Funktion der Zelle

- Die Zelle als Grundeinheit aller Lebewesen
- Bau der Zelle
  - Bestandteile der Tier- und Pflanzenzelle
  - Chemische Grundlagen
    - Chemische Zusammensetzung des Protoplasmas
    - Chemie der wichtigsten Verbindungen im Protoplasma
    - Aminosäuren und Eiweiße
      - Bau der Aminosäuren
      - Bau der Eiweiße
    - Fermente und Biokatalyse
    - Kohlenhydrate
      - Monosacharide
      - Disacharide
      - Polysacharide
    - Fette und Lipoide
  - Bau und Eigenschaften des Protoplasmas
    - Das Zellplasma
    - Der Zellkern
    - Die Plastiden
  - Vakuolen und Zellsaft
  - Zellwand und Zellmenbrauen
- Die Zelle als osmotisches System
- Zellvermehrung
  - Vermehrung der Zellsubstanz
  - Zellteilung
  - Kernteilung
- Differenzierung zwischen den Zellen — Gewebe

Physiologie des Stoffwechsels

- Die Bedeutung des Wassers für das Leben
- Der Baustoffwechsel
  - Aufnahme und Transport der Nährstoffe
  - Autotrophe Ernährung

- Die Mineralsalze und ihre Funktionen im Pflanzenkörper
- Die Grundvorgänge der Kohlenstoffassimilation
- Kohlenstoffassimilation durch Photosynthese
  - Die wichtigsten Bedingungen der Photosynthese
  - Ablauf der Reaktionen in der Photosynthese
  - Lichtreaktion
  - Dunkelreaktion
  - Einsatz von Isotopen zur Erforschung der Photosynthese
- Kohlenstoffassimilation durch Chemosynthese
- Die wichtigsten Assimilationsprodukte
- Die Bedeutung der Kohlenstoffassimilation für das Leben auf der Erde

Heterotrophe Ernährung
- Verdauungsvorgänge bei Säugetieren und Menschen
- Aufnahme der Nährstoffe in den Körper
- Steuerung der Verdauungstätigkeit
- Zwischenstoffwechsel
- Heterotrophe Ernährung bei Pflanzen

Der Betriebsstoffwechsel
- Die besondere Funktion des Betriebsstoffwechsels
- Die Atmung
  - Der Austausch der Atemgase bei Tieren und Pflanzen
  - Moderne Methoden zur Messung des Gaswechsels bei der Atmung
  - Chemische Vorgänge bei der Atmung
  - Bedeutung der Atmung
- Die Gärungen
  - Die alkoholische Gärung
  - Herstellung von Essigsäure
  - Milchsäuregärung

Zusammenwirken der Stoffwechselvorgänge im Organismus

Aufbau der Eiweiße

Elektrophorese und Chromatographie bei der Eiweißforschung

Fettstoffwechsel

Grund- und Nebenstoffwechsel bei Pflanzen

Kreislauf der Stoffe in der Natur

Physiologie der Fortpflanzung der Entwicklung

Wesen und Formen der Fortpflanzung

Übersicht über geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung

Geschlechtliche Fortpflanzung
- Die Keimzellen
- Die Reduktionsteilung (Meiose)
- Die Befruchtung
- Besonderheiten der Befruchtung der Landorganismen
  - Besamung und Befruchtung bei Landtieren
  - Bestäubung und Befruchtung bei Samenpflanzen

Entwicklung der befruchteten Eizelle
- Besonderheiten der Entwicklung bei Pflanzen
  - Samenbildung
  - Keimung
  - Das Wachstum
  - Äußere Faktoren des Wachstums
  - Innere Faktoren des Wachstums
- Besonderheiten der Entwicklung bei den Tieren

Furchung der Eizelle
Ausbildung der Keimblätter
Organbildung
Direkte und indirekte Entwicklung
Regulationsvorgänge bei der Ontogenese
Generationswechsel
Generationswechsel bei den Landpflanzen
Generationswechsel bei den Tieren

Reizphysiologie der Pflanzen und Tiere
Reizbarkeit als Grundeigenschaft der lebenden Materie
Der Reiz
Die Erregung
Mechanismus der Erregungsleitung
Geschwindigkeit der Erregungsleitung
Die Reaktion
Formänderung als Reizreaktion
Bewegung als Reizreaktion
Reizbeantwortung bei Tieren
Flimmerbewegung
Muskelbewegung
Muskelkontraktion
Der Muskeltonus
Chemische Vorgänge bei der Muskelkontraktion
Ermüdung des Muskels
Reizbeantwortung bei Pflanzen
Wachstumsbewegungen
Phototropismus
Geotropismus
Turgorbewegungen
Langsame Turgorbewegungen
Schleuderbewegungen
Hygroskopische Bewegungen
Vergleichende Betrachtung der Reizvorgänge bei Tieren und Pflanzen

Die Bedeutung chemischer und physikalischer Gesetze für die Biologie

Die Ursache für die großen Fortschritte in der Physiologie, welche in den letzten Jahrzehnten erzielt worden sind, liegt darin, daß sich die Methoden und theoretischen Erkenntnisse der Chemie und Physik in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts schnell entwickelt haben. Die Physiologie bedient sich vieler chemischer und physikalischer Untersuchungsmethoden zur experimentellen Erforschung der Lebensvorgänge, denn in den Lebewesen laufen ständig chemische und physikalische Prozesse in außerordentlicher Vielfalt ab. So gelten auch für diese Vorgänge in den Lebewesen die Gesetze der Chemie und der Physik, zum Beispiel das Massenwirkungsgesetz, die stöchiometrischen Gesetze der Chemie und der 1. und 2. Hauptsatz der Wärmelehre aus der Physik. Dennoch kann man das Leben und seine Gesetze nicht einfach und allein durch chemische und physikalische Prozesse und Gesetze erklären. Das Leben ist durch besondere Gesetzmäßigkeiten und Eigenarten ausgezeichnet, an denen wir es auch sofort erkennen können.

Die Besonderheiten des Lebens gegenüber der anorganischen Natur

Das Leben ist gegenüber der anorganischen Natur durch die allgemeine Ordnung gekennzeichnet, welche im Aufbau der Organismen und im Ablauf ihrer Lebensvorgänge bis hinab in die kleinsten Bausteine und Teilvorgänge herrscht. Sie ist in den letzten 2 Milliarden Jahren der Erdgeschichte durch Entwicklung aus einfachen Anfangsformen in ihrer heutigen Kompliziertheit entstanden. Das Protoplasma ist in bestimmter Ordnung aus Eiweißmolekülen aufgebaut. Nur in der besonderen Ordnung der Teile einer Zelle, wie Zellkern, Vakuole, Chloroplasten oder Zellplasma mit Mitochondrien funktioniert die Zelle. In besonderer Ordnung bilden viele Zellen die verschiedenen Gewebe, die Gewebe wiederum die Organe usw. Ebenso funktioniert die Atmung nur, wenn die daran beteiligten Einzelreaktionen in bestimmter Reihenfolge ablaufen.

Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen Ordnung im Aufbau und Ordnung in den Lebensvorgängen. Der Bau der Nervenzellen ist zum Beispiel die Grundlage für schnelle Reizleitungsvorgänge, und in den Pflanzen ist die Assimilation des Kohlenstoffes eng an die Struktur der Chloroplasten gebunden. Umgekehrt bilden Stoffwechselprodukte die Bausteine für die strukturelle Ordnung in den Lebewesen, zum Beispiel die Zellulosemoleküle für den Aufbau der pflanzlichen Zellwände.

Dieses komplizierte geordnete System kann nur dann bestehen, wenn seine Bausteine ständig erneuert werden. Dazu und zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge wird stets Energie benötigt. So ist der Organismus in mancher Beziehung einer komplizierten Maschine vergleichbar, welche nur bei Energiezufuhr, ständiger Pflege, laufendem Auswechseln abgenutzter Teile und dauerndem Schutz vor zerstörenden Prozessen reibungslos funktioniert und ihre volle Leistungsfähigkeit erreicht.

Wird diese Ordnung des Aufbaues und der Lebensvorgänge gestört, dann führt das zu Krankheiten oder im Extremfall zum Tod.

Die Bedeutung der wichtigsten Lebensfunktionen für den Fortbestand des Lebens

Der ungestörte Ablauf der Lebensprozesse und der geordnete Aufbau des Körpers werden während der ganzen Zeit des Lebens eines einzelnen Organismus (Individuums) erhalten. Beide werden darüber hinaus aber auch seit der Entstehung des Lebens auf der Erde durch hunderte Jahrmillionen von Generation zu Generation weitergegeben. Stoffwechsel, Fortpflanzung, Wachstum und Entwicklung sowie die Reizbarkeit sind typische Prozesse für die Lebewesen. Sie dienen der Erhaltung des Lebenszustandes im Individuum und dem Fortbestand des gesamten Lebens auf der Erde. An diesen typischen Lebensvorgängen kann man auch die Organismen erkennen und von der nichtlebenden Materie unterscheiden.

Unter Stoffwechsel versteht man die Vorgänge der Stoffaufnahme, der Nährstoffverarbeitung und der Ausscheidung von Stoffen. Mit diesen Lebensvorgängen beschäftigt sich die **Stoffwechselphysiologie.**

Mit den Nährstoffen nimmt der Organismus die chemischen Bausteine für den eigenen Körper und die Energie für seinen „Betrieb" auf, welche in den chemischen Bindungen enthalten ist. Nimmt er darüber hinaus mehr Stoffe auf, dann kann er sie zur Vermehrung seiner Körpersubstanz, zur Vergrößerung verwenden. Dieser Vorgang ist uns als Wachstum bekannt. In jeder neu gebildeten Zelle wird normalerweise der geeignete

Ordnungszustand in Aufbau und Lebensvorgängen wieder erzeugt, wie er in den anderen Zellen herrscht. Dazu dient ein besonderer Mechanismus, die Zellteilung. Sie ist nicht nur die Garantie für die „identische Reproduktion" aller Zellen in einem Lebewesen, sondern bei der geschlechtlichen Fortpflanzung bildet die Zellteilung auch die Grundlage für die Weitergabe der Eigenarten des Lebens von einer Generation zur anderen. Mit diesen Lebensfunktionen beschäftigt sich die **Physiologie der Fortpflanzung, des Wachstums und der Entwicklung.**

Die Eigenschaft der Reizbarkeit ermöglicht es den Lebewesen, auf empfangene Umwelteinflüsse zu reagieren. Dabei erfolgt die Reaktion meist so, daß Störungen im Normalzustand des Organismus ausgeglichen oder sogar ganz vermieden werden. Die Reizbarkeit ist also eine Eigenschaft der Organismen, die ebenfalls der Erhaltung des Lebens dient. Der Erforschung dieser Lebensfunktion widmet sich die **Reiz- und Bewegungsphysiologie.**

Alle genannten Lebensfunktionen haben sich im Laufe einer seit der Entstehung des Lebens auf der Erde über hunderte Jahrmillionen verlaufenden Entwicklung in ihrem heutigen Zustand herausgebildet. Bei den niederen Lebewesen ist oft eine einzige Zelle in der Lage, alle diese Lebensvorgänge allein auszuüben. Auch bei der Untersuchung der kompliziert gebauten höheren Lebewesen hat sich gezeigt, daß die grundlegenden Lebensfunktionen an die Zelle gebunden sind. Daher beginnen wir das Studium der Lebensvorgänge mit der Behandlung der physiologischen Funktionen der Zelle. Hierbei und in allen folgenden Kapiteln darf nie vergessen werden, daß die Leistungen der Zelle oder des ganzen Lebewesens nur bei Kenntnis des besonderen Aufbaues zu verstehen sind.

Frage

In welchen Funktionen äußern sich die besonderen Eigenschaften der Lebewesen?

Bau und Funktion der Zelle

Die Zelle als Grundeinheit aller Lebewesen

Im Jahre 1667 erschien die erste Abbildung der Zellen des Flaschenkorkes, welche Robert Hooke entdeckt hatte. Danach dauerte es noch fast zwei Jahrhunderte, bis in den Jahren 1838 und 1839 der deutsche Botaniker Schleiden und der deutsche Anatom Schwann (Abb. 62 u. 63) feststellen konnten, daß alle Pflanzen und Tiere aus Zellen aufgebaut sind. „Eine wirklich einwertige Zelle läßt sich nicht mehr zerlegen, ohne das zugleich das Leben vernichtet wird" (M. Hartmann). Durch genauere Untersuchung der Zellen und ihrer Bestandteile mit immer besseren Instrumenten erkannte man, daß alle Zellen im Prinzip die gleichen Bausteine und den gleichen Aufbau besitzen. Das Studium der einzelligen Lebewesen führte dann zu der Erkenntnis, daß eine einzelne Zelle in der Lage sein kann, alle Lebensfunktionen auszuüben. Die Zelle ist also der Grundbaustein aller Organismen.

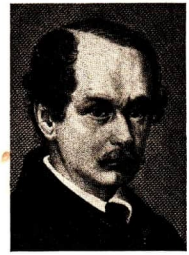


Abb. 62 Mathias Jakob Schleiden, deutscher Botaniker (1804 bis 1881) links.

Abb. 63 Theodor Schwann, deutscher Anatom (1810 bis 1882) rechts.

Bau der Zelle

Bestandteile der Tier- und Pflanzenzelle

Der wichtigste Teil jeder Zelle ist ihr lebender Inhalt, das **Protoplasma.** Die Betrachtung eines Gewebes im mehrzelligen Lebewesen zeigt, daß die Zellen deutlich gegeneinander abgegrenzt sind. Diese Abgrenzung der Zellen wird bei den Tieren durch eine häutige äußere Schicht des Protoplasmas gebildet. Bei den Pflanzen finden wir dagegen eine wesentlich dickere Begrenzung der Zelle, die **Zellwand.** Sie gehört nicht zum Protoplasma und besteht auch aus anderen chemischen Verbindungen als das Protoplasma. In den meisten pflanzlichen Zellen findet man außer Zellwand und Protoplasma kleinere oder größere Hohlräume, welche mit einer Flüssigkeit, dem Zellsaft, gefüllt sind, die **Vakuolen.**

Unter dem Mikroskop erkennt man weitere Differenzierungen des Protoplasmas. Der Zellkern und in pflanzlichen Zellen die Plastiden heben sich besonders aus dem übrigen Teil des Protoplasmas, dem Zellplasma, hervor.

Die Zellen von Pflanzen und Tieren weisen also bei grundsätzlich gleichem Bau doch deutliche Unterschiede dadurch auf, daß die tierische Zelle keine Zellwand und keine Plastiden besitzt. Die Tierzellen sind daher elastischer als die Pflanzenzellen, was die weitgehenden Unterschiede im Bau pflanzlicher und tierischer Lebewesen bedingt. Das Fehlen der Plastiden hängt mit der verschiedenartigen Ernährungsweise der Pflanzen und Tiere zusammen. Die tierischen Zellen nehmen bereits organische Nahrung auf, während die grünen Pflanzenzellen in der Lage sind, aus anorganischen Verbindungen organische aufzubauen. Bei diesen Prozessen spielen gerade die Plastiden eine hervorragende Rolle.

Chemische Grundlagen

Zum richtigen Verständnis des Aufbaus und der Funktionen der Zelle benötigen wir eine Reihe chemischer Kenntnisse, als wichtigste jene über die Zusammensetzung des Protoplasmas und seiner chemischen Bestandteile.

Chemische Zusammensetzung des Protoplasmas

Durch Elementaranalyse läßt sich einfach und genau bestimmen, aus welchen Elementen die lebende Materie besteht. In erster Linie sind es: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, dann folgen Phosphor, Schwefel, Kalium, Kalzium, Magnesium, Natrium, Eisen und Chlor. In sehr geringen Mengen findet man noch Mangan, Kupfer, Bor, Jod, Zink u. a., die auch als **Spurenelemente** bezeichnet werden. Etwa 35 chemische Elemente werden regelmäßig in der lebenden Substanz gefunden, wobei die ersten zehn der obengenannten Stoffe bei weitem überwiegen (Abb. 64).

Eine Analyse der chemischen Verbindungen im Protoplasma ergibt zunächst einen hohen Anteil an Wasser (meist mehr als 70%). Eiweiße, Fette und fettähnliche Substanzen (Lipoide – Bezeichnung für Naturstoffe mit fettartigem Verhalten in der Löslichkeit; chemische Verbindungen unterschiedlicher Art) sowie Kohlenhydrate bilden die Hauptmasse der festen Bestandteile. Ein kleiner Rest anorganischer Salze bleibt bei der Verbrennung als Asche zurück.

Eiweiße und Kohlenhydrate sind meist hochmolekulare Stoffe – die Molekulargewichte erreichen bei den Eiweißen nicht selten mehrere Millionen –, aber diese riesigen Moleküle sind aus einer geringen Anzahl organischer Grundbausteine zusammengesetzt, die für den gesamten Bereich des Lebens einheitlich sind.

VIII	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
							H								He		
He	Li		Be		B		C		N		O		F		Ne		
Ne	Na		Mg		Al		Si		P		S		Cl		Ar		
Ar	K		Ca			Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe	Co	Ni
		Cu		Zn	Ga		Ge		As		Se		Br		Kr		
Kr	Rb		Sr			Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru	Rh	Pd
		Ag		Cd	In		Sn		Sb		Te		J		Xe		
Xe	Cs		Ba			La		Hf		Ta		W		Re		Os	Ir	Pt
		Au		Hg	Tl		Pb		Bi		Po		At		Rn		
Rn	Fr		Ra			Ac											

Abb. 64 Die Einordnung der wichtigsten Pflanzennährstoffe in das periodische System der Elemente (schwarze Felder = Grundnährstoffe, umrandete Felder = Spurenelemente). Die in den Pflanzen vorkommenden Hauptelemente gehören den ersten vier Perioden an, d. h. sie haben relativ niedrige Atomgewichte. Verbindet man das Element Kohlenstoff beiderseits mit dem Argon, so erhält man die sogenannte Nährstofflinie, welche alle Hauptelemente außer dem Wasserstoff berührt.

Das Protoplasma eines Seeigel-Eies enthält:

Wasser	78,3%
Eiweiße	15,2%
Fette und Lipoide	4,8%
Kohlenhydrate	1,4%
Asche	0,3%
	100,0%

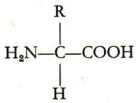
Chemie der wichtigsten Verbindungen im Protoplasma

Aminosäuren und Eiweiße. Die Eiweiße sind die wichtigsten Verbindungen im Protoplasma. Sie bilden die Bausteine des Protoplasmas, spielen eine große Rolle als Hauptbestandteil der Katalysatoren des Stoffwechsels, der Fermente, und als Reservestoffe in allen Speicherorganen. Die Eiweiße sind außerordentlich komplizierte Verbindungen, ihre Moleküle setzen sich oft aus vielen tausend bis mehreren hunderttausend Atomen zusammen. Aminosäuren bilden die Grundbausteine der Eiweiße. Am Aufbau der Eiweiße sind etwa zwanzig allgemein verbreitete 2-Aminosäuren beteiligt.

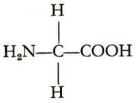
Bau der Aminosäuren

Bei den im lebenden Protoplasma vorkommenden Aminosäuren sind die vier Wertigkeiten des zweiten Kohlenstoffatoms meist unterschiedlich besetzt:
(1) mit einer Karboxylgruppe (—COOH),
(2) mit einer Aminogruppe (—NH_2),
(3) mit einem Wasserstoffatom (H) und
(4) mit einem organischen Radikal (R) als Seitenkette, die verschiedene Struktur haben kann.

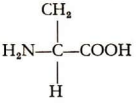
Beispiele:



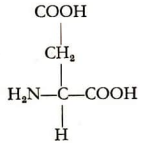
Allgemeine Formel



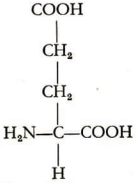
Glyzin = Glykokoll (Aminoäthansäure)



Alanin (2-Aminopropansäure)



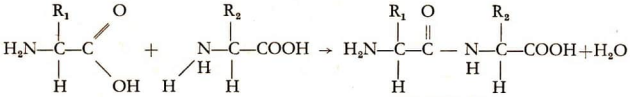
Asparaginsäure (2-Aminobutandisäure)



Glutaminsäure (2-Aminopentandisäure)

Peptidbindung

Zwei und mehr Aminosäuren können sich unter Abspaltung von Wassermolekülen in folgender Weise miteinander verbinden:



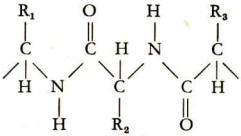
Peptidbindung

Durch die Peptidbindungen zwischen je zwei Aminosäuren entstehen langgestreckte, kettenförmige Moleküle, bei denen die Radikale (R) als Seitenketten in verschiedenen Richtungen herausragen.

Bau der Eiweiße

Zwei Aminosäuren ergeben Dipeptide, drei Aminosäuren Tripeptide, zahlreiche Aminosäuren Polypeptide; mehrere Polypeptide verbinden sich zu Proteinen, den einfachen Eiweißen.

In den Proteinen liegen meist zahlreiche Peptidketten nebeneinander, so daß auch deren Seitenketten miteinander in Verbindung treten können.



Teil einer Polyeptidkette

Die Zahl der Aminosäuren in einem Proteinmolekül ist sehr unterschiedlich, sie kann mehrere hunderttausend betragen; dann steigen die Molekulargewichte bis über 10 Millionen an. Selbst die größten Eiweißmoleküle sind noch nicht mit dem Lichtmikroskop zu erkennen; sie lassen sich jedoch mit dem Elektronenmikroskop sichtbar machen.

Die Moleküle des roten Blutfarbstoffes Hämoglobin, welche zum größten Teil aus Protein bestehen, sind beispielsweise etwa 0,000 003 mm = 3 nm lang, die des blauen Blutfarbstoffes mancher Weichtiere (Hämozyanin) etwa 0,000 060 mm = 60 nm. Zum Vergleich: Die winzigen roten Blutkörperchen haben einen Durchmesser von 7 500 nm, die kleinsten Bakterien sind etwa 750 nm lang.

Die Vielfalt der Eiweiße ergibt sich daraus, daß sich die einzelnen Aminosäuren in wechselnder Anzahl und Reihenfolge miteinander verbinden können, wobei je nach Anzahl, Typ und Anordnung dieser Grundbausteine ganz unterschiedliche Eigenschaften der Eiweißkörper entstehen.

Nehmen wir an, es gäbe 10 verschiedene Aminosäuren und aus jeweils 5 dieser Bausteine sollten Proteine zusammengesetzt werden. Das ergibt 10^5 = 100 000 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten; bei Proteinen mit nur 20 Aminosäurebausteinen wären es schon 10^{20} = 100 Trillionen. Die natürlichen Eiweiße bestehen aber in der Regel aus mehreren hundert bis tausend Aminosäuremolekülen. Unter diesen Umständen ist die Zahl der möglichen Kombinationen der 20 häufigsten 2-Aminosäuren allein vielmillionenfach größer als die Gesamtheit der Arten von Lebewesen überhaupt.

Auf diese Weise ist es möglich, daß nicht nur die einzelnen Arten von Organismen, sondern auch die einzelnen Lebewesen einer Art und die Zelltypen in den verschiedenen Geweben eines Lebewesens sich voneinander in der Zusammensetzung ihrer Eiweiße unterscheiden. Das Eiweiß der Muskeln ist zum Beispiel verschieden von dem der Haut, der Nervenzellen, der Drüsen u. a.

Die reinen Proteine können sich mit anderen organischen Stoffen verbinden, die meist ähnlich verwickelt gebaut sind. Damit entstehen zwei Gruppen von Eiweißen:

Proteine – einfache Eiweiße, bestehen nur aus Aminosäuren,
Proteide – zusammengesetzte Eiweiße, bestehen aus Proteinen und anderen Verbindungen.

Wichtige Gruppen von Proteiden sind zum Beispiel:

Lipoproteide – Proteine in Verbindung mit Fetten oder Lipoiden,
Chromoproteide – Proteine in Verbindung mit biochemisch wirksamen Farbstoffen (z. B. Chlorophyll),
Nukleoproteide – Proteine in Verbindung mit Nukleinsäuren. Sie sind vor allem für die Vermehrung der Zellsubstanz und die Vererbung von entscheidender Bedeutung (s. S. 144),
Glykoproteide – Proteine in Verbindung mit einem Kohlenhydrat,
Phosphorproteide – Proteine in Verbindung mit einem Phosphorsäurerest.

Der außerordentlich komplizierte Bau der Eiweißkörper bedingt, daß trotz modernster chemischer Methoden bisher nur einfachste Proteine synthetisch hergestellt werden konnten. Bei den Proteiden steht die Wissenschaft immer noch am Anfang ihrer Forschung. Dennoch konnte die Zusammensetzung verschiedener Eiweiße aus ihren Aminosäurebausteinen und deren Reihenfolge im Eiweißmolekül erforscht werden. Gut bekannt ist der Bau des Insulins und des Hämoglobins.

Besondere Verdienste um die Erforschung des Aufbaus der Eiweiße hat sich Nobelpreisträger LINUS PAULING (USA) erworben. Dieser hervorragende Forscher steht heute an der Spitze der amerikanischen Wissenschaftler, die für das Verbot der Atomwaffen kämpfen.

Fermente und Biokatalyse

Der Aufbau eines Eiweißes aus seinen Aminosäurebausteinen ist keine einfache Reaktion, sondern geschieht durch eine Reihe geordnet aufeinander folgender chemischer Teilschritte. Dasselbe gilt für alle anderen Stoffwechselvorgänge in den Organismen, zum Beispiel für die Atmung oder den Aufbau der Fette. Die meisten chemischen Umsetzungen in den Lebewesen würden unter den in den Zellen herrschenden Temperatur- und Druckverhältnissen sehr langsam ablaufen. Tatsächlich gehen diese chemischen Reaktionen aber außerordentlich schnell vor sich. Für die Reaktionsbeschleunigung und weitgehend auch für die Ordnung in der Reihenfolge der Reaktionen sind die Fermente verantwortlich.

Fermente wirken in der lebenden Zelle ähnlich wie die Katalysatoren bei chemischen Prozessen in der unbelebten Natur. Es sind Stoffe, die eine bestimmte chemische Reaktion stark beschleunigen, selbst aber bei diesem Vorgang nicht verbraucht werden. Sie werden häufig als Biokatalysatoren bezeichnet.

Die einfachsten Fermente sind reine Eiweißstoffe (Proteine), zum Beispiel Pepsin, Trypsin. Die meisten Fermente bestehen dagegen aus zwei Bestandteilen, einem Eiweißkörper als „Träger" und einer anderen organischen Verbindung, der „Wirkgruppe". Jeder Teil für sich ist wirkungslos, erst wenn beide Teile vereinigt sind, entfaltet das Ferment seine Aktivität. Die Wirkgruppe bestimmt dabei den Charakter der Fermentwirkung (z. B. Spaltung von Kohlenhydraten), das Trägereiweiß dagegen

die Stoffe oder Stoffgruppen, die von dem Ferment beeinflußt werden (Stärke, Zellulose o. ä.). Die Fermente haben daher in der Regel eine streng auf bestimmte Lebensvorgänge und bestimmte Stoffgruppen spezialisierte Wirkung. Trotzdem besitzen alle Fermente gemeinsame Eigenschaften.

Fermente können in der Regel eine chemische Umsetzung nach zwei Richtungen katalysieren: Ein und dasselbe Ferment kann unter bestimmten Bedingungen einen Stoff in seine Bestandteile spalten und ihn unter anderen Bedingungen aus diesen Bestandteilen aufbauen.

Fermente werden zwar in den lebenden Zellen gebildet, sind aber in ihrer Wirksamkeit nicht immer an lebende Zellen gebunden.

Zur Steuerung von aufbauenden (energieverbrauchenden) Prozessen müssen die Fermente meist innerhalb lebender Zellen wirken. Abbauende (energieliefernde) Vorgänge, bei denen Stoffe in ihre Bestandteile zerlegt werden, können die Fermente auch außerhalb der lebenden Zellen katalysieren. Sie werden dann entweder von den Zellen in die Umgebung ausgeschieden oder kommen nach dem Absterben außerhalb der Zellen zur Wirkung. Dadurch ist es möglich, Nahrungsstoffe in der Umgebung der Körperzellen chemisch zu spalten und aufzulösen. Die zersetzenden Fermente wirken auch nach dem Tod der Zellen weiter und führen zur Selbstauflösung (Autolyse) toter Organismen.

Fermente sind nur in flüssiger Umgebung wirksam. Für alle Lebensvorgänge ist daher Wasser nötig (s. S. 150).

Die Pflanze stellt ihre Fermente selbständig aus anorganischen Stoffen her. Die Tiere sind auf organische Verbindungen als Bausteine angewiesen, die sie von der Pflanze beziehen. Solche Vorstufen sind manche Vitamine. Sie werden von Mensch und Tier mit der pflanzlichen Kost aufgenommen und zu Wirkgruppen von Fermenten umgebaut.

Kohlenhydrate

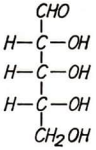
Unter Kohlenhydraten versteht man Verbindungen des Kohlenstoffs, welche in den chemischen Eigenschaften und der Struktur den Zuckern ähnlich sind. Der Name dieser Verbindungen kommt daher, daß die meisten Kohlenhydrate aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, wobei sich die Atomzahlen des Wasserstoffs zu denen des Sauerstoffs wie 2 : 1, also wie beim Wasser verhalten.

Das bekannteste Kohlenhydrat ist der Traubenzucker (Glukose). Er besitzt sechs Sauerstoffatome und wird deshalb als Hexose bezeichnet. Entsprechend nennt man Kohlenhydrate mit anderen Atomzahlen Triosen (3), Tetrosen (4), Pentosen (5) oder Heptosen (7 C-Atome). In allen diesen Fällen spricht man von Monosachariden, da das Kohlenhydrat nur aus einem Molekül besteht. Sind zwei, drei oder mehr Kohlenhydratbausteine zu einer Verbindung vereinigt, dann bezeichnet man diese als Disacharide, Tri- oder Polysacharide. Viele derartige Kohlenhydratverbindungen spielen im Stoffwechsel der Tiere und Pflanzen eine bedeutende Rolle.

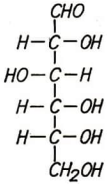
Monosacharide:

Triosen – ($C_3H_6O_3$)	2,3-Dioxypropanal (Glyzerinaldehyd) und seine isomere Form 1,3-Dioxypropanon (Dioxyazeton). Sie sind besonders für den Stoffwechsel bei der Assimilation des Kohlenstoffes und bei der Atmung von großer Bedeutung.
Pentosen – ($C_5H_{10}O_5$)	z. B. Ribose und Desoxyribose. Beide sind Bausteine der für die Vererbung wichtigen Nukleinsäuren; daneben ist Ribose am Aufbau von Polysachariden und am Stoffwechsel der Photosynthese und der Atmung beteiligt.

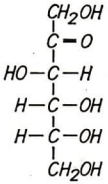
2,3-Dioxypropanal
(Glyzerinaldehyd)
(Triose)



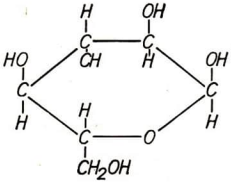
D-Ribose (Pentose)



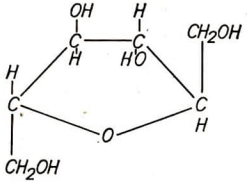
D-Glukose
(Hexose)



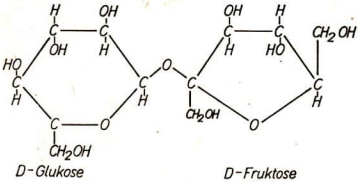
D-Fruktose
(Hexose)



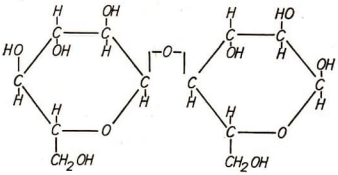
D-Glukose
(Ringform einer Hexose)



D-Fruktose
(Ringform einer Hexose)



Rohrzucker



Maltose

Verbindungen der Glukosemoleküle in der Amylose der Stärke

Hexosen – ($C_6H_{12}O_6$) z. B. Glukose (Traubenzucker), Fruktose (Fruchtzucker), Galaktose. Alle sind als Bausteine für Polysacharide wichtig.

Disacharide: Enthalten 12 C-Atome, Summenformel $C_{12}H_{22}O_{11}$.
Sie bestehen aus 2 Hexosemolekülen.

Glukose + Fruktose = Sacharose (Rohrzucker)
Glukose + Galaktose = Laktose (Milchzucker)
Glukose + Glukose = Maltose (Malzzucker)

Polysacharide – $(C_6H_{10}O_5)_n$ (n = oft mehrere hundert).

Polysacharide entstehen hauptsächlich durch Verbindung von Hexosen über Sauerstoffatome.

Stärke – mehrere hundert α-Glukosemoleküle; Stärkemolekül verzweigt oder unverzweigt; spiralig gewunden.
Zellulose – bis 2 000 β-Glukosemoleküle, Zellulosemolekül kettenförmig, langgestreckt.
Pektin – Grundbaustein ein Oxydationsprodukt der Galaktose; wichtiger Bestandteil der Mittellamellen pflanzlicher Zellwände.
Glykogen – mehrere hundert Glukosemoleküle, ähnlich wie Stärke gebaut.
Chitin – der Baustoff der Pilzzellwände und des Insektenaußenskeletts ist ein stickstoffhaltiges Polysacharid, bei dem an jeden Glukoserest eine Aminogruppe (—NH_2) angelagert ist.

Monosacharide (Triosen, Pentosen, Hexosen) und Disacharide sind leicht wasserlöslich, die Polysacharide dagegen sind praktisch unlöslich in Wasser.

Fette und Lipoide

Fette entstehen durch Veresterung aller drei OH-Gruppen des Propantriols mit gleichen oder verschiedenen gesättigten oder ungesättigten Monokarbonsäuren (Fettsäuren).

$$H_2—C—OH + C_{15}H_{31}COOH \rightarrow H_2—C—O—CO—C_{15}H_{31} + H_2O$$
$$H—C—OH + C_{15}H_{31}COOH \rightarrow H—C—C—CO—C_{15}H_{31} + H_2O$$
$$H_2—C—OH + C_{17}H_{35}COOH \rightarrow H_2—C—O—CO—C_{17}H_{35} + H_2O$$

Propantriol	3 Fettsäuren 2 Moleküle Hexadekansäure (Palmitinsäure) 1 Molekül Oktadekansäure (Stearinsäure)	gemischter Ester als Bestandteil eines Fettes	3 Moleküle Wasser

Hexadekansäure (Palmitinsäure) ist sehr häufig an der Bildung natürlicher Fette beteiligt, an ihrer Stelle kommen aber oft andere Monokarbonsäuren (Stearinsäure, Ölsäure, Linolsäure u. a.) vor. Überwiegen gesättigte Monokarbonsäuren, so sind die entstehenden Fette meist fest; je höher der Anteil an ungesättigten Monokarbonsäuren ist, desto niedriger liegt der Schmelzpunkt der Fette und umgekehrt.

Wenn eine der drei Fettsäuren durch Phosphorsäure ersetzt wird, entstehen Phosphatide. Sie gehören zu den Lipoiden, die bei den Lebensvorgängen im Protoplasma eine wichtige Rolle spielen.

Frage

Wodurch ist es möglich, daß die Lebewesen aus wenigen Grundbausteinen viele verschiedene Verbindungen aufbauen können?

Bau und Eigenschaften des Protoplasmas

Physikalisch gesehen ist das Protoplasma ein kolloidales System. Es kann flüssig (Sol-Zustand) beziehungsweise mehr oder weniger verfestigt (Gel-Zustand) auftreten.

Die Größe der Teilchen eines kolloidalen Systems liegt zwischen 1 und 100 nm. Sie sind größer als die Teilchen einer echten Lösung (z. B. Salz- oder Zuckerlösungen), aber kleiner als die Teilchen einer Aufschwemmung, so daß sie sich nicht von selbst von der sie umgebenden Flüssigkeit trennen (als Bodensatz oder Rahm).

Sehr leicht läßt sich eine kolloidale Lösung herstellen, wenn man Tischlerleim Wasser zusetzt. An diesem Beispiel wird auch die allgemeine Eigenschaft der Kolloide deutlich: Je nach Wasserangebot sind sie entweder dünnflüssig (Sole) oder aber mehr oder weniger fest (Gele). Die Ursache dafür besteht darin, daß die gelösten Teilchen das Lösungsmittel, also das Wasser, an sich ziehen können. So entstehen Wasserhüllen um die Kolloidteilchen. Die Anziehung geht meist auf elektrostatische Kräfte zurück, denn die polare Verteilung der Wasserstoffatome einerseits und des Sauerstoffatoms andererseits bewirkt, daß sich die Wassermoleküle im elektrischen Feld wie Dipole verhalten (vgl. S. 150).

Eiweißmoleküle bilden auf Grund ihrer Größe im Lösungsmittel ein Kolloid. Sie tragen (in den Seitenketten) elektrische Ladungen. Diese entstehen durch die Dissoziation der Karboxylgruppe der Aminosäuren (negativ) und durch Übergang der Aminogruppen in den Aminosäuren in die Ammoniumform (positiv). Dadurch erhöht sich ihr Vermögen, Wassermoleküle um sich zu sammeln.

Die Größe der Wasserhülle ist von der Ladungsgröße der Eiweißmoleküle abhängig. Sie hängt aber auch von dem Vorhandensein anderer elektrisch geladener Teilchen im Protoplasma ab.

Die Grenzflächen des Protoplasmas gegen seine Umgebung sind zäher als das Plasmainnere; es ist, als ob das Maschennetz der Proteinmoleküle dort wesentlich straffer gespannt und die Lücken dadurch viel kleiner wären. Diese Schichten sind halbdurchlässig, daher können nicht alle Stoffe ungehindert von außen in das Protoplasma eindringen, sondern nur Moleküle und Ionen von bestimmter Größe und Eigenschaft.

Die Plasmagrenzschichten sind nach unseren heutigen Vorstellungen aus Lipoproteiden aufgebaut. Das Maschenwerk der Proteine wirkt wie ein sehr feines Sieb,

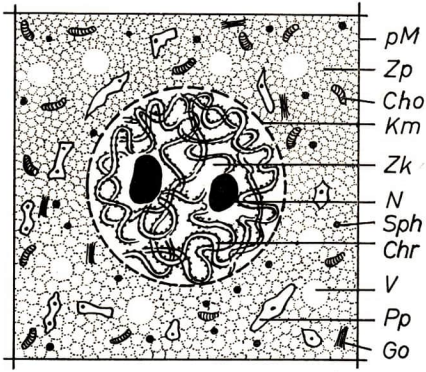


Abb. 65
Embryonale Pflanzenzelle (schematisch).

Cho Mitochondrien
Chr Chromatingerüst
Go Golgi-Apparat
Km Kernmembran
N Nucleolus
pM Primärmembran
Pp junge Plastiden
Sph Sphärosomen
V Vakuole
Zk Zellkern
Zp Zytoplasma

durch dessen Lücken Wasser und ähnliche kleine Moleküle oder Atome in das Plasma eindringen können. Über die Lipoide dagegen gelangen auch größere Moleküle fettlöslicher Stoffe in das Innere der Zelle.

Die zähen, dichten Plasmagrenzschichten, oft auch Plasmamembranen genannt, sind nicht starr und unveränderlich. Ihre Zusammensetzung und Festigkeit kann wechseln, ihre Bestandteile werden ständig mit Stoffen des dünnflüssigen Innenplasmas ausgetauscht.

Dieser Vorgang läßt sich besonders gut bei der Bewegung der Wechseltierchen (Amöben) verfolgen. Am Protoplasma erkennt man eine helle, durchsichtige, zähe Außenzone, das Außenplasma, das sich deutlich von dem dünnflüssigeren, körnigen Innenplasma unterscheidet. Wenn das Scheinfüßchen einer Amöbe wächst, wird Innenplasma durch Wasserabgabe in Außenplasma umgewandelt. Wird umgekehrt an einer anderen Stelle ein Scheinfüßchen eingezogen, so werden Teile des Außenplasmas durch Wasseraufnahme und Quellung in Innenplasma umgewandelt (Plasmabewegung, Abb. 70).

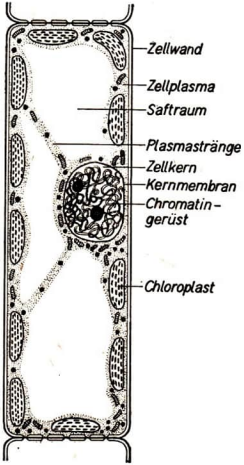


Abb. 66 Ältere Pflanzenzelle (schematisch). Ein Vergleich der Abb. 65 und 66 läßt die zunehmende Vakuolisierung, die Entwicklung der Chloroplasten und der Zellwand erkennen.

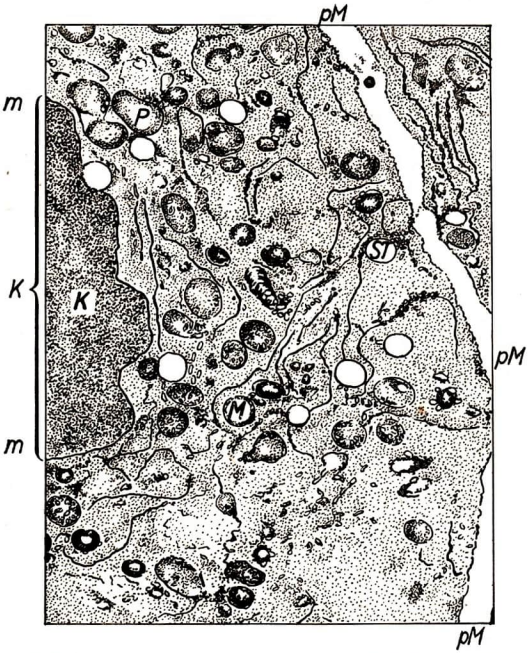


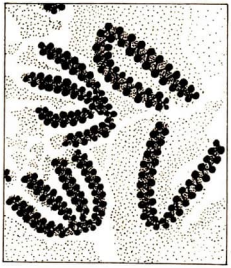
Abb. 67 Zeichnung nach einer elektronenmikroskopischen Aufnahme eines Ausschnittes aus einer embryonalen Wurzelzelle der Küchenzwiebel. Die Abbildung zeigt, daß auch die Grundmasse des Zytoplasmas strukturiert ist (fädige Strukturen in der Abbildung). K Zellkern, m Kernmembran, pM primäre Zellwandanlage, M Mitochondrien, St Stärke, P junge Plastiden.

Das Zellplasma. Als Zellplasma bezeichnet man das gesamte Protoplasma der Zelle mit Ausnahme des Zellkerns und der Plastiden. Das Zellplasma enthält als lebende Einschlüsse zum Beispiel Mitochondrien und Zentralkörperchen. Die Grundmasse des Zellplasmas ist im Lichtmikroskop durchscheinend, ohne besondere Merkmale.

Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen konnte jedoch festgestellt werden, daß auch das Zellplasma viele weitere strukturelle Differenzierungen besitzt (Abb. 67). Sie können als kleinste Reaktionsräume für bestimmte Stoffwechselvorgänge angesehen werden. Dadurch wird eine räumliche Ordnung der verschiedenen Lebensprozesse in den Zellen hergestellt. Alle diese Teile des Zellplasmas sind untereinander

Abb. 68 Zellulosefasern in der Sekundärwand einer Algenzelle (nach einer elektronenmikroskopischen Aufnahme). In den verschiedenen Schichten der Zellwand wechselt die Richtung des Faserverlaufes, wodurch eine höhere Festigkeit der Zellwand erreicht wird.

Abb. 69 Chromosomen eines Liliengewächses in spiralisiertem Zustand. Deutlich sind die durchscheinende gallertartige Grundmasse und die darin eingebetteten Strukturen mit den Chromomeren zu erkennen.



und mit den anderen Teilen der Zelle verbunden. Sie können auf die Dauer nicht allein existieren. Ihre Isolierung und die Untersuchung der darin ablaufenden Vorgänge spielen jedoch in der modernen Forschung eine bedeutende Rolle (s. S. 139).

Mitochondrien. Mitochondrien sind allgemein verbreitete Differenzierungen innerhalb des Protoplasmas. Sie besitzen kugel- oder stäbchenförmige Gestalt und sind durch eine Membran vom umgebenden Protoplasma abgegrenzt. Im Inneren weisen sie Lamellen oder Röhren als Feinstrukturen auf, die nur unter dem Elektronenmikroskop zu erkennen sind.

Die Mitochondrien sind durchschnittlich 0,5 bis 1,5 μm groß. An ihrem Aufbau sind besonders Eiweiße, Lipoide und Fette beteiligt. Die Mitochondrien sind wichtige Zentren der Energieversorgung innerhalb der Zellen (Atmung).

Zentralkörperchen. Das Zentralkörperchen ist im Lichtmikroskop gerade noch als färbbares Körnchen in der Nähe des Kernes tierischer Zellen sichtbar. Es wirkt bei der Gleichheitsteilung der Zellen mit, da seine Funktion mit der Ausbildung der Kern-

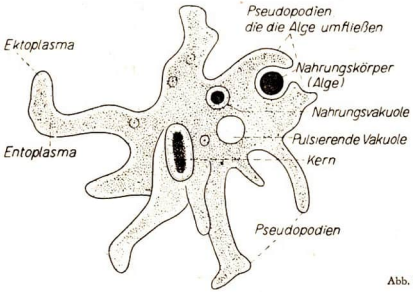


Abb. 70 Beispiel eines Einzellers: Amöbe

spindel zusammenhängt. Darüber hinaus hat es für die Bildung von Schwanzfäden und beweglichen Geißeln der Spermien Bedeutung.

Reservestoffe. Stärke, Glykogen, Fette, zum Teil auch Eiweiße und zahlreiche andere Substanzen werden als Vorratsstoffe in Form kleiner Körnchen im Zellplasma gespeichert.

Der Zellkern. Im Zellkern haben sich vor allem Nukleoproteide und Nukleinsäuren konzentriert. Sie sind mit bestimmten Farbstoffen besonders gut färbbar und heißen deshalb in ihrer Gesamtheit Chromatin.

Das Chromatin ist oft gerüstartig angeordnet, es kann aber auch in Form größerer Klumpen oder zahlreicher kleiner Körnchen auftreten. An dem Chromatingerüst sind neben den dicken, gut färbbaren Chromatinteilen zahlreiche dünne, nicht oder nur schwach färbbare Fäden erkennbar, das Achromatin. Das Ganze ist von Kernsaft umgeben. Der Zellkern wird durch eine feine von Poren durchbrochene plasmatische Grenzschicht, die Kernmembran, gegen das übrige Protoplasma abgegrenzt. Im Kernsaft liegen häufig ein bis mehrere Kernkörperchen (Nukleolen), kleine rundliche Gebilde, über deren Funktion noch nicht viel bekannt ist. Sie enthalten vor allem Ribonukleinsäure (RNS vgl. S. 144).

Abb. 71 Feinbau eines Chromosoms. In der Grundmasse (Matrix) befinden sich zwei fädige Strukturen, auf denen knotenartig die Chromomeren (wahrscheinlich Orte, wo die Erbanlagen liegen) paarig angeordnet sind.

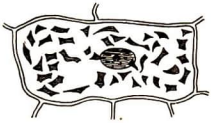
Unter besonderen Bedingungen, so bei der Zellteilung, bildet das Chromatin statt eines unregelmäßigen Netzwerkes fadenförmige Körper, die **Chromosomen** oder Kernschleifen.

Die Chromosomen (Kernschleifen) sind in ganz bestimmter Zahl und Form für jede Pflanzen- und Tierart charakteristisch. In der Regel gleichen jeweils zwei Chromosomen einander, sie treten also paarweise in den Zellen auf.

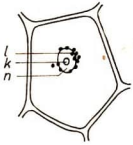
Die Chromosomen bestehen aus mindestens vier nebeneinander liegenden Eiweißfäden (Chromatiden und Chromonemen), auf denen, wie die Perlen einer Kette, die scheibenförmigen Chromatinteilchen aufgereiht sind, die man auch Chromomeren nennt. Die Chromomeren auf einem Faden sind einander nicht gleich. Das ganze Fadenwerk ist in eine gallertartige Masse, die Matrix, eingebettet (Abb. 71).

Abb. 72 Beispiele für die Plastiden in Pflanzenzellen

Moosblattzellen mit Chloroplasten,



Chromoplasten in Zellen der Blüte von Kapuzinerkresse,



Leukoplasten in der Nähe des Zellkerns einer Epidermiszelle von *Rhoeo discolor*.
n = Kern
k = Nukleolus
l = Leukoplasten

Kernlose Zellen oder Zellteile können durchaus eine begrenzte Zeit leben und mitunter sehr wichtige Lebensfunktionen ausüben. Die zellkernlosen roten Blutkörperchen der Säugetiere und des Menschen zum Beispiel transportieren den Sauerstoff im Körper. Da der Zellkern aber die Nukleoproteide enthält, welche für die Zellvermehrung wichtig sind, können sich Zellen ohne Kernsubstanz nicht mehr vermehren.

Der Zellkern hat für die Vererbungsvorgänge und die Steuerung der Eiweißsynthese im Zellplasma große Bedeutung.

Plastiden. Plastiden kommen nur in Pflanzenzellen vor. An ihrem Aufbau sind besonders Eiweiße und Lipoide beteiligt. Die Färbung von Plastiden wird durch Chlorophylle und Karotinoide hervorgerufen. Wir unterscheiden im wesentlichen drei Gruppen: Chloroplasten, Leukoplasten und Chromoplasten (Abb. 72).

Bei der Entwicklung einer Pflanze aus dem Samen entstehen alle Plastiden aus sehr kleinen, schon in den embryonalen Zellen vorhandenen Vorstufen, den Proplastiden.

Chloroplasten. Chloroplasten können sehr verschiedenartig gestaltet sein (bei Zieralgen z. B. in Form von Platten, Bechern, Spiralbändern u. a.). Bei allen höheren Pflanzen sind die Chloroplasten in der Regel linsenförmig (Chlorophyllkörner, Abb. 73).

Ein typischer Chloroplast ist von einer Membran mit geschichtetem Feinbau umgeben. Sie grenzt den Chloroplasten vom umgebenden Protoplasma ab. Der Innenraum der Chloroplasten ist durch dünne Lamellen unterteilt, welche in eine farblose Grundmasse aus Eiweiß eingebettet sind und etwa parallelen Verlauf aufweisen (Abb. 73). Die Lamellen sind stellenweise „verdickt". Unter dem Lichtmikroskop erscheinen diese Stellen als grüne „Körnchen", die man als Grana (granum = das Korn, lat.) bezeichnet. Ebenso wie die Feinstruktur der übrigen Teile des Chloroplasten ist der genaue Aufbau der Grana auch nur unter dem Elektronenmikroskop zu erkennen.

Die Grana sind aus abwechselnden Schichten von Eiweißen und Lipoiden aufgebaut, in welche die Chloroplastenfarbstoffe, Chlorophylle und Karotinoide, eingelagert sind (Abb. 72). Unter Karotinoiden versteht man orange- und gelbfarbige Stoffe, die mit den gleichen Mitteln gelöst werden können wie die Fette. Chemisch gehören sie zu den langkettigen, ungesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen (40 C-Atome).

Das Chlorophyllmolekül besteht im wesentlichen aus vier konzentrisch angeordneten ringförmigen Kohlenstoffverbindungen, welche je ein Stickstoffatom im Ring enthalten. An diesem sogenannten Porphinkopf hängt als langer Schweif ein hochmolekularer Alkohol. Chlorophyll wird biochemisch nur wirksam, wenn es mit Eiweißkörpern in Verbindung tritt. Den Porphinkopf hat das Chlorophyll mit dem roten Blutfarbstoff gemeinsam! Beim Chlorophyll befindet sich allerdings im Zentrum des Porphinkopfes ein Magnesiumatom, während das Häminmolekül ein Eisenatom im Porphinkopf besitzt (Abb. 74).

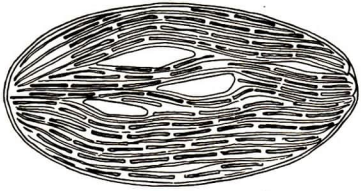


Abb. 73 Ausgewachsener Chloroplast. Der innere lamellare Aufbau vergrößert die innere Oberfläche außerordentlich, so daß die in den Grana enthaltenen Chlorophyllmoleküle in dünner Schicht auf einer großen Fläche angeordnet werden können. Zwischen den Lamellen sind drei linsenförmige Stärkekörner zu erkennen.

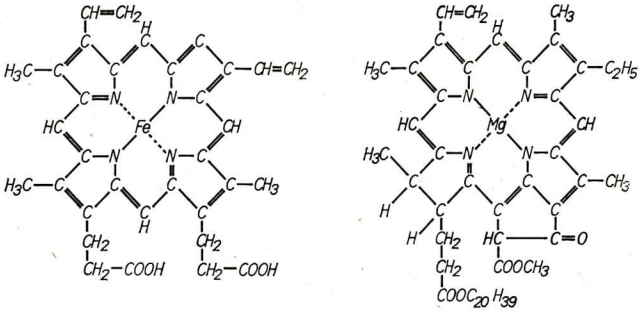


Abb. 74 Vergleich der Formelbilder von Chlorophyll und rotem Blutfarbstoff (Häm). a Eisenhaltiges Molekül des roten Blutfarbstoffes, b magnesiumhaltiges Chlorophyllmolekül.

Innerhalb der Chloroplasten sind die chlorophyllhaltigen Grana Orte der Photosynthese. In ihnen wird Zucker aus Kohlendioxid und Wasser aufgebaut. In den benachbarten farblosen Eiweißschichten wird der Zucker in Assimilationsstärke umgewandelt.

Leukoplasten. Leukoplasten sind farblose Eiweißkörper, die sich vor allem in den Teilen der Pflanze befinden, die nicht vom Licht getroffen werden. Sie bilden Speicherstärke und andere Reservestoffe. Manche Gruppen von Leukoplasten können sich bei Belichtung in Chloroplasten umwandeln.

Chromoplasten. Chromoplasten sind Eiweißkörper mit gelbroten lipoid- oder fettlöslichen Farbstoffen, den Karotinoiden. Sie färben zahlreiche Pflanzenteile gelb bis orangerot (Früchte der Tomaten, Blüten der Kapuzinerkresse, Möhrenwurzeln u. a.).

Fraktionierte Zentrifugation zur Trennung plasmatischer Bestandteile

Zur Gewinnung einzelner Bestandteile von Zellen verwendet man in der modernen Forschung häufig die fraktionierte Zentrifugation. Dazu werden die betreffenden Zellen oder Gewebe mechanisch oder durch Ultraschall so stark zerstört, daß die einzelnen Zellbestandteile dadurch voneinander zu trennen sind, daß man das Homogenisat (die zerkleinerte Masse) bei verschiedenen Umdrehungszahlen zentrifugiert. Unzerstörte Zellen oder Zellteile werden schon bei geringen Geschwindigkeiten unter 1000 U/min zusammen mit den Zellwandbruchstücken vom übrigen Teil der zerstörten Zellen getrennt. Bei etwas höheren Umdrehungszahlen können die Zellkerne isoliert werden. Erhöht man die Beschleunigung noch stärker, dann ist es möglich, die Plastiden zu gewinnen. Auf die gleiche Weise lassen sich Mitochondrien und andere Zellbestandteile voneinander trennen. Die Schärfe der Trennung hängt von verschiedenen Bedingungen ab, unter anderem auch von der Größenvariation der betreffenden Fraktionen. In keinem Falle aber kann eine ideale Isolierung erreicht werden.

Die isolierten Zellbestandteile werden dann zu elektronenmikroskopischen oder physiologischen Untersuchungen verwendet.

Aufgabe

Erläutern Sie am Beispiel von Zellkern, Mitochondrien und Chloroplasten, weshalb man von einer Arbeitsteilung innerhalb der Zellen sprechen kann, und wie diese Arbeitsteilung zum geordneten Ablauf des Stoffwechsels beitragen kann!

Vakuolen und Zellsaft

Mit Hilfe der halbdurchlässigen Plasmaschichten werden auch größere flüssigkeitsgefüllte Hohlräume, die Vakuolen, vom Protoplasma abgegrenzt.

Feinste wäßrige oder fetthaltige Tröpfchen, die von Lipoidschichten umschlossen werden, finden sich schon in jungen Pflanzenzellen. Mit zunehmendem Alter und wachsender Größe der Zellen dehnen sich die mit wäßrigen Lösungen gefüllten Bläschen im Protoplasma zu umfangreichen Hohlräumen aus, die den Zellsaft enthalten. Zellsafträume sind vor allem bei Pflanzenzellen reichlich vorhanden und nehmen in ausgewachsenen Zellen fast den gesamten Innenraum ein, das Protoplasma bleibt nur am Rande als dünner Wandbelag erhalten (Abb. 66). Im Zellsaft sind vor allem Säuren, Salze und Zucker gelöst, aber auch verschiedene andere Stoffe, beispielsweise Farbstoffe (Anthozyan), Gerbstoffe und Alkaloide (kompliziert gebaute, stickstoffhaltige, meist ringförmige Verbindungen mit basischen Eigenschaften. Die Heil- oder Giftwirkung vieler Drogen läßt sich auf ihren Alkaloidgehalt zurückführen, zum Beispiel: Morphin aus dem Saft der Mohnkapsel.). Die im Zellsaft enthaltenen Substanzen sind vielfach Abfallprodukte, welche für das Protoplasma schädlich sind und abgesondert werden. Deshalb sind die Grenzschichten zwischen Plasma und Vakuole besonders dicht. Viele der Stoffe, die in den Zellsaft abgeschieden werden, können nicht mehr in das Protoplasma zurückkehren.

Anders verhält es sich mit den Nahrungsvakuolen vieler Protozoen. Hier wird die aufgenommene Nahrung vom Protoplasma in einen bläschenförmigen Hohlraum eingeschlossen, in den Verdauungssäfte abgegeben werden. Die aufgelöste Nahrung wird dann durch die Plasmagrenzschichten der Vakuolenwandung in das Plasmainnere aufgenommen.

Zellwand und Zellmembranen

Die pflanzliche Zellwand

Feste Zellwände besitzen nur die Algen, Pilze, Moose und Sproßpflanzen; sie fehlen im gesamten Tierreich. Die Zellwand wird vom Zellplasma gebildet, besitzt jedoch eine andere stoffliche Zusammensetzung als dieses. Ihr Aufbau vollzieht sich in drei Stufen (Abb. 75).

Mittellamelle. Junge Pflanzenzellen, die durch Zellteilung neu entstanden sind, werden zunächst durch eine äußerst dünne Wand aus Pektinstoffen (Mittellamelle) getrennt.

Primärwand. Auf die Mittellamelle werden beiderseits die Primärwände aufgelagert. Sie bestehen aus einem lockeren, weitmaschigen Netz nach allen Seiten verwobener Zellulosefasern, dessen Maschen mit Wasser, Zellplasma und anderen Stoffen gefüllt sind. Die Primärwände sind noch dehnbar und formbar; sie bilden die Wand wachstumsfähiger Zellen.

Sekundärwand. Wenn die Pflanzenzellen ausgewachsen sind, werden auf die Primärwände mehr oder weniger dicke Schichten von dichtgelagerten Zellulosefasern aufgelagert. Diese festen Sekundärwände verleihen der ganzen Zellwand ihr starres Gefüge (Abb. 68 und 76).

Unverdickt gebliebene Stellen der Zellwand, die Tüpfel, sichern die Verbindung des Protoplasmas von Zelle zu Zelle.

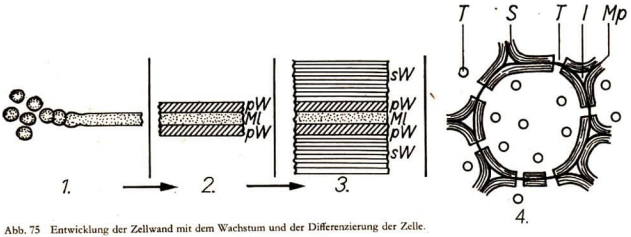


Abb. 75 Entwicklung der Zellwand mit dem Wachstum und der Differenzierung der Zelle.
1. Bildung der Mittellamelle (ML) am Ende des Zellteilungsvorganges,
2. Auflagerung der Primärwand (pW),
3. Aufbau der in sich geschichteten sekundären Zellwand (sW),
4. Zelle im Verband; Tüpfel (T) zur Verbindung der Zellen untereinander. Durch Auflösung der Mittellamelle sind Interzellularen (I) entstanden. Mp Mittellamelle und primäre Wand, S Sekundärwand.

Die Pektinmittellamellen bilden die Kittsubstanz, die die Wände benachbarter Pflanzenzellen zusammenhält.

Durch Kochen, Säurebehandlung und manche Wirkstoffe lassen sich Pektinstoffe auflösen. Außerdem werden sie von zahlreichen Pilz- oder Bakterienarten angegriffen. Als Folge davon fallen die Zellen auseinander, und die betreffenden Pflanzenteile werden weich, breiig oder mehlig (Mehligwerden gekochter Kartoffeln. Lockerung der Flachs- und Hanffasern bei der Rotte).

In die Zellulosewände können noch zusätzlich Stoffe eingelagert werden. Sind die Lücken zwischen den Zellulosefasern beispielsweise mit Korkstoff ausgefüllt, so sind die Zellwände praktisch wasserundurchlässig (Borke der Bäume). Im Holzkörper sind die Zellulosefasern dagegen in eine Masse von Holzstoff (Lignin) eingebettet; so entsteht ein dauerhafter, druck- und zugfester Holzkörper. Zellwände können auch noch mit Gerb- oder Farbstoffen imprägniert sein.

Die Zellmembranen

Auch die tierischen Zellen sind strukturell voneinander und von ihrer äußeren Umgebung deutlich abgegrenzt. Sie besitzen Plasmamembranen, welche aus Eiweißen und Lipoiden aufgebaut sind. Ihre Zusammensetzung entspricht derjenigen anderer plasmatischer Grenzschichten, wie sie zum Beispiel im Tonoplasten der pflanzlichen Zellen auftreten. Einen ähnlichen Aufbau weisen auch die Membranen auf, welche Zellkerne, Plastiden und Mitochondrien vom übrigen Protoplasma abgrenzen. Doch auch darin lassen sich mit dem Elektronenmikroskop Strukturen erkennen, die in gleicher Weise

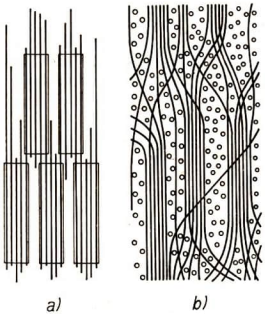


Abb. 76 Schematische Darstellung der Verbindung zwischen den Zellulosemolekülen der Zellwand in Längs- und Querrichtung (b).

und aus den gleichen Verbindungen aufgebaut sind, wie die genannten Plasmamembranen. Es handelt sich dabei offensichtlich um eine allgemeine strukturelle Erscheinung der Differenzierung innerhalb des Protoplasmas. Die tierischen Zellmembranen, welche die äußere Begrenzung der Zellen bilden, sind ein Bestandteil des Protoplasmas. Sie unterscheiden sich deshalb von den pflanzlichen Zellwänden, welche wohl vom Protoplasma erzeugt werden, stofflich jedoch wesentlich anders zusammengesetzt sind. Die plasmatischen Membranen weisen dagegen bei Tieren und Pflanzen den gleichen Aufbau und die gleiche stoffliche Zusammensetzung auf, zum Beispiel äußere Plasmahaut und Kernmembran.

Frage

Worin besteht der Unterschied zwischen pflanzlicher Zellwand und tierischer Zellmembran?

Die Zelle als osmotisches System

Da die Plasmagrenzschichten halbdurchlässig sind, verhindern sie einen freien, ungehemmten Stoffaustausch zwischen dem Protoplasma und seiner Umgebung. In der Regel diffundieren Wassermoleküle ungehindert durch die Grenzflächen des Protoplasmas nach beiden Seiten. Die Zelle wird durch die Eigenschaften der Plasmagrenzschichten zu einem osmotischen System. Die semipermeablen Plasmahäute sind allerdings auch in den lebenden Zellen weit durchlässiger für größere Moleküle, als es die in Modellversuchen verwendeten semipermeablen Membranen sind. Nur dadurch kann eine Stoffaufnahme und -abgabe durch die Zellen vor sich gehen.

Die Grenzschichten des Protoplasmas sind nur im lebenden Zustand halbdurchlässig. Das lebende Protoplasma wendet ständig eine Energie auf, um seine Grenzflächen in einem abgedichteten, halbdurchlässigen Zustand zu erhalten. Sobald die Energieerzeugung durch die Atmung im Protoplasma aufhört, bricht das straffe Gerüst der Plasmagrenzschichten zusammen. Die Grenzschichten werden volldurchlässig, und zwischen dem Protoplasma und seiner Umgebung sowie dem Zellsaft kann ein ungehinderter und ungeregelter Stoffaustausch stattfinden. Damit aber werden geordneter Ablauf der Lebensvorgänge und die normalen Strukturen des Protoplasmas vernichtet.

Tod zerstört die Halbdurchlässigkeit der Plasmagrenzschichten; umgekehrt führt der Verlust dieser Eigenschaft der Plasmagrenzflächen zum Zelltod. Die Halbdurchlässigkeit der Plasmagrenzschichten ist somit gleichzeitig Voraussetzung und Folgeerscheinung, ist Ursache und Auswirkung der Lebensvorgänge.

Aus den semipermeablen Eigenschaften der Plasmagrenzschichten ergeben sich unter anderem folgende Erscheinungen:

Wird die Zelle von einer wässrigen Lösung umgeben, deren Salzkonzentration geringer als im Zellsaft ist, so nimmt die Zelle ständig Wasser auf. Die Proteine des Protoplasmas haben die Eigenschaft, mit den meisten ihrer Seitenketten Wasser anzuziehen, sie umgeben sich mit einem Wassermantel; das ganze Plasmagerüst quillt dadurch auf. Die zahlreichen Salzionen können nicht ohne weiteres nach außen diffundieren, sie üben ständig eine osmotische Saugwirkung auf jene Wassermoleküle aus, die sich außerhalb der Zelle befinden. Eine lebende Zelle tauscht stets mit ihrer Umgebung Wasser aus.

An den Vorgängen der Wasseraufnahme und -abgabe durch die Pflanzenzellen ist besonders die Vakuole mit dem Zellsaft beteiligt. Der Zellsaft stellt eine Lösung ver-

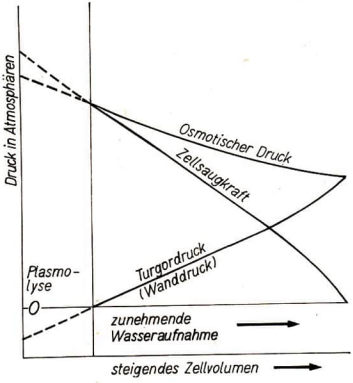


Abb. 77 Diagramm zu den Vorgängen bei der osmotischen Wasseraufnahme durch die Pflanzenzelle. Durch fortschreitende Wasseraufnahme wird der Zellsaft verdünnt (sinkender osmotischer Druck), es erfolgt eine Volumenzunahme im Zellsaft mit steigendem Turgor-(Wand-)druck als Folge des Wassereinstromes. Sind schließlich osmotischer Druck und Wanddruck gleich groß, dann ist die „Saugkraft der Zelle" gleich Null und die Wasseraufnahme wird beendet. Verliert die Zelle sehr viel Wasser, dann tritt völlige Entspannung ein (0-Punkt) und bei weiterem Wasserverlust kommt es zur Plasmolyse.

schiedener chemischer Verbindungen dar. Ist die umgebende wäßrige Lösung gegenüber dem Zellsaft weniger konzentriert, so kommt es nach den Diffusionsgesetzen zu einer Wasseraufnahme in die Zelle. Die Folge davon ist eine Volumenvergrößerung des Zellsaftes. Dieser übt also einen Druck auf den umgebenden Plasmaschlauch aus. Das Protoplasma wiederum übt den gleichen Druck auf die Umgebung aus, bei den Pflanzenzellen also auf die Zellwand (Abb. 77). So werden die Pflanzenzellen durch den osmotischen Vorgang gespannt. Die Spannung bedingt ihre Festigkeit und ist uns als Turgor bekannt. Die osmotischen Eigenschaften der Zellen sind nicht nur eine wesentliche Ursache für die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen, sondern gleichzeitig auch Grundlage für ein speziell pflanzliches Festigungssystem. Ein entsprechendes Festigungssystem fehlt im Tierreich. Wir finden daher bei den Tieren andersartige Stützeinrichtungen, die Skelettsysteme. Darüber hinaus besteht bei den tierischen Zellen die Gefahr, daß die Plasmahäute infolge fortgesetzter Wasseraufnahme gesprengt werden. Daher findet bei ihnen eine ständige Osmoregulation statt.

Versuch 2

Die Zellflüssigkeit der Meeresorganismen weist ungefähr die gleiche Konzentration auf wie die Salzlösung, in der sie leben. – Im Süßwasser strömt in die Protozoen dagegen ständig Wasser ein. Unter dauerndem Aufwand an Energie wird das überschüssige Wasser wieder aus der Zelle hinausbefördert. Hierzu dienen die pulsierenden Bläschen (Vakuolen) mit dehnbaren Wänden aus besonders zusammengesetzten Plasmagrenzschichten. In diese Hohlräume wird das überschüssige Wasser vom Plasma abgeschieden. Von Zeit zu Zeit ziehen sich die Wände der Vakuolen zusammen und pressen das Wasser aus der Zelle hinaus. Der Wasserhaushalt tierischer Zellen wird auf diese Weise ständig reguliert.

In dem ausgeschiedenen Wasser sind gelöste Abfallstoffe enthalten. Mit den Vakuolen, die einen lebensgefährlichen Wasserüberschuß aus den Zellen entfernen, entstanden die ersten Ausscheidungsorgane der Protozoen im Süßwasser.

Bei Wirbeltieren des Süßwassers, die das Wasser durch Kiemen (z. B. Fische) oder durch die Haut (z. B. Frösche) aufnehmen, wird es durch die Nieren wieder ausgeschieden. Pulsierende Bläschen bei Protozoen sind also ein Zellbestandteil mit Nierenfunktion.

Versuch 3 Pflanzenzellen haben keine pulsierenden Vakuolen. Hier ist das Protoplasma in die von ihm selbst gebaute feste Zellwand eingeschlossen und kann sich nur so weit ausbreiten, wie die Zellwände sich zu dehnen vermögen. Sobald der Gegendruck der gedehnten Zellwände (Wanddruck) ebenso groß wird wie die Saugkraft des Protoplasmas, kann kein Wasser mehr in die Zelle eindringen.

Auswahlvermögen für Nährstoffe. Die Grenzschichten des Protoplasmas lassen nicht nur Wasser, sondern auch andere Verbindungen eindringen. Welche Atome oder Moleküle eindringen können, hängt außer von der Art der Nährlösung auch von der Zusammensetzung, dem Aufbau und dem Zustand der jeweiligen Plasmagrenzschichten ab. Auf diese Weise werden Nährstoffe in unterschiedlichem Maße aufgenommen.

Das Protoplasma der Zellen hat sich im Laufe von Jahrmilliarden unter bestimmten Außenbedingungen entwickelt und ist diesen Verhältnissen angepaßt; sein Auswahlvermögen beschränkt sich in der Regel auf die Stoffe, mit denen es unter den natürlichen, seit jeher gewohnten Bedingungen zusammentrifft. Durch die Poren in den Plasmagrenzschichten und deren Lipoidbezirke können aber auch andere Stoffe eindringen, sofern diese eine entsprechende Molekülgröße oder Fettlöslichkeit besitzen. Darunter können auch solche Stoffe sein, die nach ihrem Eindringen durch die Plasmagrenzschichten in das Zellinnere dort das Protoplasma schädigen oder sogar zerstören (Gifte).

Aufgaben und Fragen

1. Wodurch kommt es zur osmotischen Wasseraufnahme in eine Zelle?
2. Wann verliert eine Zelle Wasser auf osmotischem Wege?
3. Welches ist die Folge des osmotischen Wasserverlustes einer Zelle und welche Bedeutung hat dieser Vorgang für die Pflanzen?
4. Die meisten Zellen nehmen Kugelgestalt an, wenn sie nicht mehr mit anderen Zellen in Berührung stehen. Erklären Sie die Ursache!
5. Welche Bedeutung hat die pflanzliche Zellwand für das Festigungssystem?

Zellvermehrung

Vermehrung der Zellsubstanz

Die lebenden Bestandteile einer Zelle sind niemals in Ruhe; sie werden dauernd chemisch verändert, ihre Atome und Moleküle werden ständig ausgetauscht und erneuert. Durch diese Lebensvorgänge wird, besonders in jungen Zellen, auch die Substanz der Eiweißkörper fortlaufend erneuert und vermehrt (Selbstreproduktion der lebenden Materie).

Hierbei spielen die Nukleinsäuren der Nukleoproteide die entscheidende Rolle, obwohl sie mengenmäßig keinen sehr großen Anteil am stofflichen Aufbau der Zellen besitzen. Die Funktion der Nukleoproteide wird von ihren Nichteiweißbestandteilen, den Nukleinsäuren, bestimmt. Ihr Name stammt daher, daß sie zuerst in den Zellkernen (Nukleus – der Zellkern) gefunden wurden. Heute weiß man jedoch, daß sie auch im übrigen Protoplasma zu finden sind.

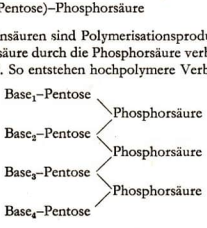
Man unterscheidet Ribonukleinsäure und Desoxyribonukleinsäure. In diesen Namen wird ausgedrückt, daß am Aufbau der Ribonukleinsäure Ribose (eine Pentose) beteiligt ist, während Desoxyribonukleinsäure an Stelle der Ribose deren Reduktionsprodukt, Desoxyribose, enthält. Beide Nuklein-

säuren stimmen jedoch darin überein, daß sie Pentosen enthalten. Auch die übrigen Bestandteile gleichen sich bei beiden Verbindungen weitgehend. So enthalten RNS und DNS (Abkürzungen für Ribo- und Desoxyribonukleinsäure) neben den Pentosen ringförmige, stickstoffhaltige, organische Basen und Phosphorsäurereste. Diese drei Verbindungen sind in beiden Nukleinsäuren auf gleiche Weise miteinander verbunden. An eine stickstoffhaltige Base ist eine Pentose geknüpft, welche mit Phosphorsäure verestert ist. Dadurch besitzen RNS und DNS Grundbausteine von gleicher Struktur, welche als Nukleotide bezeichnet werden (Name abgeleitet vom Begriff Nukleinsäure).

Nukleotidbausteine der Nukleinsäuren

Ribonukleinsäure (RNS)	Desoxyribonukleinsäure (DNS)
Base–Ribose(Pentose)–Phosphorsäure	Base–Desoxyribose(Pentose)–Phosphorsäure

Die Nukleinsäuren sind Polymerisationsprodukte der Nukleotide. Die Nukleotide werden innerhalb einer Nukleinsäure durch die Phosphorsäure verbunden, da diese mit der Pentose des Nachbarnukleotids verestert wird. So entstehen hochpolymere Verbindungen folgender Grundstruktur:



Am Aufbau der Nukleotide sind bei RNS und DNS jeweils 4 Basen beteiligt. Davon gleichen sich 3 bei beiden Nukleinsäuren, während sie sich in der vierten unterscheiden. Die Reihenfolge dieser Basen wurde in unserem Schema frei gewählt. Sie ist jedoch bei verschiedenen Formen der beiden Nukleinsäuretypen (RNS und DNS) ganz unterschiedlich. Darauf beruht die Möglichkeit, in verschiedenen Nukleinsäuremolekülen unterschiedliche „Mitteilungen" über Erbanlagen zu verschlüsseln. Die Nukleinsäuren gleichen darin in gewisser Weise den Eiweißen. Durch unterschiedliche Anordnung der Aminosäurebausteine erhalten die Eiweiße ihre arteigene Struktur (vgl. S. 127). Dieses Prinzip ist uns vom Morsealphabet her bekannt. Darin dienen 3 Zeichen zur Verschlüsselung des gesamten Wortbestandes unserer Sprache.

Die Desoxyribonukleinsäure ist hauptsächlich im Zellkern enthalten. Die Ribonukleinsäure findet man vorwiegend im Protoplasma außerhalb des Zellkernes. Nur ein kleiner Teil ist auch im Zellkern lokalisiert. Die DNS dient der Weitergabe von Erbinformationen bei der Zellvermehrung. Die unterschiedliche Reihenfolge der Basen ist dabei die Grundlage für die „Verschlüsselung" verschiedener Erbinformationen. Die RNS hat bei der Bildung der Eiweiße im Zellplasma wichtige Funktionen. Die Basenfolge in der RNS dient daher der Verschlüsselung des „Musters" für die spezielle Reihenfolge der Aminosäuren in den Eiweißen. Da die Reihenfolge der Basen in der RNS von der Basenfolge in der DNS abhängt, kann auf diese Weise eine in der DNS verschlüsselte Erbanlage für den Eiweißaufbau über die Basenfolge in der RNS auf das Plasmaeiweiß übertragen werden. Mit dieser Modellvorstellung hat man einen ersten Schritt zur Erklärung des Vererbungsphänomens getan. Damit stehen wir an der Schwelle einer der bedeutendsten Entdeckungen in der Biologie und der naturwissenschaftlichen Forschung überhaupt.

Zellteilung

Die lebenden Bestandteile der Zelle – Zellkern, Zellplasma mit seinen Sonderbildungen und Plastiden – stehen miteinander in einem ganz bestimmten, ausgewogenen Größen- und Massenverhältnis, das einen reibungslosen und raschen Ablauf der Lebensvorgänge gewährleistet. Die ständige Neuproduktion von lebender Substanz in allen

Teilen der Zelle führt zu einer Teilung der Zellen, sobald die lebende Substanz in bestimmtem Maße zugenommen hat. In wenig differenzierten Zellen verläuft die Zellteilung relativ einfach. Einzellige Organismen, bei denen die Hauptmasse der Nukleoproteide noch nicht zu einem Zellkern vereinigt, sondern annähernd gleichmäßig im Protoplasma verteilt sind, spalten sich in zwei Hälften (Bakterien, Blaualgen).

In stärker differenzierten kernhaltigen Zellen, wie wir sie bei den meisten Lebewesen finden, verläuft die Teilung weitaus komplizierter. Hier finden wir verschiedene Arten von Teilungsvorgängen.

Die Substanz des Zellplasmas wird ohne äußerlich sichtbare Vorgänge fortlaufend erneuert und vermehrt. Plastiden teilen und vermehren sich selbständig, indem sie sich in der Mitte durchschnüren.

Der Zellkern mit seinen Nukleoproteiden, die für das Vererbungsgeschehen von großer Bedeutung sind, teilt sich in einem besonders komplizierten Vorgang.

Kernteilung

Gleichheitsteilung (Mitose). Die Teilung des Zellkerns verläuft in vier Stufen (Abb. 78).

Bei der üblichen Kernteilung erhalten beide Tochterzellen die gleiche Anzahl von Chromosomen (Gleichheitsteilung – Mitose); durch die genaue Längsteilung der Chromosomen gelangen auch sämtliche Chromomeren zu gleichen Teilen in die Tochterzellen.

Diese Art der Kernteilung verläuft bei Pflanzen und Tieren mit nur geringfügigen Unterschieden. So ist das Zentralkörperchen in der tierischen Zelle an der Ausbildung von Polstrahlung und Spindelnetz beteiligt. Bei Pflanzenzellen dagegen werden diese von Plasmabestandteilen in der Nähe des Zellkerns gebildet. Die in tierischen und pflanzlichen Zellen auftretenden Spindelfäden selbst sind faserartige Plasmafäden, die vorübergehend durch Entquellung entstehen, sich später aber wieder auflösen.

Amitose. Die oben beschriebene Form der Kernteilung tritt vor allem in jungen Zellen auf. Bei älteren Zellen (auch in Drüsengeweben und unter Einfluß von Krankheiten) schnürt sich oft die ganze Zelle einschließlich des Zellkerns ungefähr in der Mitte durch, ohne daß vorher Chromosomen gebildet werden. Diese Form der Zellteilung wird Amitose genannt. Da bei der Amitose die Zellorganelle nicht verändert werden, bleibt die Zelle auch während des Teilungsvorgangs voll funktionstüchtig.

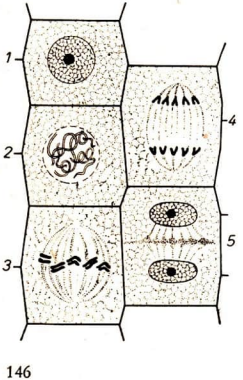


Abb. 78 Kernteilung (Mitose)
1 Ruhekern; 2 Prophase: Die Chromosomen werden als verschieden geformte sogenannte Kernschleifen, oft schon mit zwei fädigen Strukturen, erkennbar; 3 Metaphase: Die in zwei Längshälften (Chromatiden) gespaltenen Chromosomen ordnen sich in der Zellmitte in einer Äquatorialplatte, es bildet sich ein spindelartiges Fasernetz; 4 Anaphase: Die beiden Hälften jedes Chromosoms werden von den sich verkürzenden Spindelfasern zu den entgegengesetzten Polen der Zelle gezogen; 5 Telophase: Die Chromatiden haben sich durch identische Verdoppelung wieder zu vollständigen Chromosomen entwickelt, welche nun unter Wasseraufnahme verquellen und einen neuen Ruhekern bilden.

Vielkernige Plasmagebilde. In der Regel folgt auf eine Kernteilung auch eine Zellteilung. Sie kann aber unterbleiben; dann entstehen vielkernige Riesenzellen (mehrkernige Gebilde können auch durch Reduktion der Zellwände entstehen).

Aus langen, schlauchförmigen, vielkernigen Zellen bestehen die Körper der Schlauchalgen sowie einfacher Pilze (Köpfchenschimmel, Wasserschimmel, Erreger der Kartoffelfäule u. a.). Auch die Zellen der quergestreiften Muskulatur bei den Wirbeltieren enthalten zahlreiche Kerne.

Aufgaben und Fragen

1. Welcher biologische Vorgang garantiert, daß nach der Zellteilung die Tochterzellen untereinander und mit der Mutterzelle gleiche Erbanlagen besitzen?
2. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen der Chromosomenstruktur und ihrer Funktion bei der Gleichheitsteilung in den Zellen!
3. In welcher Ebene muß man bei einem Schnitt die Zelle treffen, damit die Chromosomen gezählt werden können?

Differenzierung der Zellen-Gewebe

Die Kernlosen (Bakterien, Blaualgen), zahlreiche Algen und Pilze sowie alle Urtierchen bestehen nur aus einer Zelle; wir bezeichnen sie als Einzeller. Hier führt eine einzige Zelle sämtliche Lebensfunktionen aus.

Vielfach finden wir Einzeller zu Kolonien vereinigt. Sie entstehen oft dadurch, daß sich nach einer Zellteilung die Tochterzellen nicht voneinander lösen, sondern in einem mehr oder weniger lockeren Verband vereinigt bleiben. Dieser Zellverband wird meist von einer gemeinsamen Schleim- oder Gallerthülle zusammengehalten. In diesen einfachen Kolonien sind aber die einzelnen Zellen in ihrer Lebensweise noch vollkommen selbständig.

Je mehr Einzelzellen sich zu Kolonien vereinigen, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, daß sie sich gegenseitig beeinflussen, teils behindern, teils fördern. Bei manchen Kolonien tritt das Protoplasma der einzelnen Zellen miteinander in Verbindung. Schließlich beginnt zwischen den Zellen einer Kolonie eine ähnliche Arbeitsteilung wie ursprünglich zwischen den Bestandteilen innerhalb der Zellen.

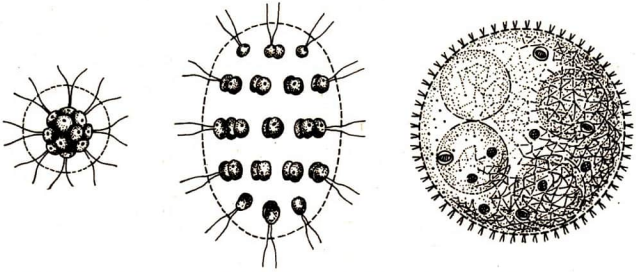


Abb. 79 Links: Zellkolonie der Grünalge *Pandorina*, Mitte: beginnende Zelldifferenzierung bei der Grünalge *Eudorina*, rechts: *Volvox*. Nur ein Teil der Zellen dient hier der Fortpflanzung, während der andere Teil rein vegetative Zellfunktionen ausübt und später als „Leiche" zugrunde geht.

Bei den grünen Geißelträgerkolonien der Gattung *Pandorina* (Abb. 79), welche aus 16 Zellen bestehen, sind noch alle Zellen gleichwertig und unabhängig voneinander. Jede Zelle kann die Kolonie verlassen und selbständig weiterleben.

Bei der aus 32 Zellen bestehenden Kolonie *Eudorina* dagegen (Abb. 79) finden wir schon kleine Zellen mit großem Augenfleck und geringer Teilungsgeschwindigkeit sowie große Zellen mit kleinem Augenfleck und hoher Teilungsgeschwindigkeit. Damit wird die Kolonie unsymmetrisch, manche Zellen dienen vorwiegend der Bewegung, andere der Fortpflanzung der Kolonie.

In der Kugelalge *Volvox* sind bis über 10 000 Zellen zu einem Verband zusammengeschlossen. Die außen liegenden Zellen, welche alle über Plasmabrücken miteinander in Verbindung stehen, übernehmen die Ernährung, Fortbewegung und Reaktion auf Umweltreize, die innen liegenden Zellgruppen dagegen die Vermehrung. Damit aber sind die Zellen dieses Verbandes nicht mehr unabhängig voneinander, sie bleiben aufeinander angewiesen und ergänzen einander bei der Ausübung der Lebensfunktionen. Aus den vielen Zellen einer Kolonie ist ein vielzelliger Organismus geworden (Abb. 79).

Die Differenzierung der Zellen bei den vielzelligen Lebewesen hatte zwei tiefgreifende Folgen für die Entwicklung des Lebens auf der Erde.

Die Spezialisierung einzelner Zellen und Zellgruppen auf bestimmte Lebensfunktionen schuf die Voraussetzung für höhere Leistungen. Die Vielseitigkeit der Lebensäußerungen, die hervorragende Anpassung der Lebewesen an die verschiedenen und schwierigsten Lebensbedingungen, die großen Leistungen der Pflanzen, Tiere und des Menschen sind ohne eine hochgradige Spezialisierung ihrer Körperzellen nicht denkbar. Jede gesteigerte Leistung im Bereich des Lebens wurde erst möglich nach gesteigerter und verfeinerter Spezialisierung der Zellen.

Sobald die Zellen sich auf bestimmte Lebensfunktionen spezialisieren, verlieren sie die Fähigkeit, auch alle anderen Lebensfunktionen auszuüben. Meist verlieren sie ihre Teilungsfähigkeit; sie können sich nicht mehr vermehren und müssen eines Tages überaltert sterben. Der natürliche Tod ist somit eine Folge der Zelldifferenzierung.

Einzelne Zellen oder Zellgruppen behalten ihre Fähigkeit, wieder einen ganzen Organismus zu bilden. Diese vermehren dann als Fortpflanzungszellen den Organismus.

Die Differenzierung der Zellen vielzelliger Organismen erfolgte in der Entwicklungsgeschichte der Lebewesen nicht plötzlich, sondern vollzog sich langsam und wurde allmählich immer vollkommener.

So ist bei den vielzelligen Protisten die Differenzierung noch unvollkommen, wir finden alle Übergänge von kleinen, wenigzelligen, echten Kolonien bis zu sehr weitgehender Spezialisierung bei den großen Meeresalgen. Eine scharfe Trennung besteht aber auch hier in der Regel zwischen jenen Zellen, die nur der Vermehrung dienen, und solchen Zellen, die alle übrigen (vegetativen) Lebensfunktionen ausüben.

Bei den Pflanzen und den Tieren sind auch die vegetativen Funktionen auf spezialisierte Zellgruppen verteilt – ihre Körper bestehen aus Geweben.

Gewebe sind Verbände spezialisierter Zellen mit meist gleichem Bau und gleicher Lebensfunktion.

Aufgaben und Fragen

1. Erläutern Sie die Unterschiede zwischen einem vielzelligen Einzelwesen und einer Kolonie einzelner Zellen!
2. Warum kann man bei mikroskopischer Betrachtung nur wenig über den Aufbau des Protoplasmas in lebenden Zellen erfahren?
3. Nennen Sie die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale zwischen lebenden Organismen und nichtlebenden Objekten!
4. Welche Bedeutung hatte die Zelldifferenzierung für die Entwicklung mehrzelliger Lebewesen?

Physiologie des Stoffwechsels

Alle Einzeller und Vielzeller nehmen ständig Substanzen als Nährstoffe aus der Umgebung auf und verarbeiten sie. Abfall- und Abbauprodukte werden nach außen abgeschieden. Innerhalb eines mehrzelligen Lebewesens stehen die Zellen durch Stoffaustausch miteinander in Verbindung.

Die Gesamtheit der chemischen und physikalischen Prozesse in einem lebenden Organismus nennt man **Stoffwechsel**.

Je nach Verwendung der Stoffe im Organismus unterscheidet man Baustoffwechsel und Betriebsstoffwechsel.

Baustoffwechsel (Ernährungsstoffwechsel). Baustoffversorgung der Organismen. – Die aufgenommenen Nährstoffe werden zu Bestandteilen des lebenden Körpers verarbeitet.

Betriebsstoffwechsel (Leistungsstoffwechsel). Energieversorgung der Organismen. – Die Energie, welche für den Aufbau des lebenden Körpers und für die Aufrechterhaltung der ständigen chemisch-physikalischen Veränderungen notwendig ist, wird durch den chemischen Abbau bestimmter Betriebsstoffe im Körper erzeugt.

Baustoffwechsel und Betriebsstoffwechsel lassen sich nicht scharf trennen, sie hängen miteinander zusammen und greifen ineinander.

Der Stoffwechsel besteht aus einer Vielzahl chemischer Einzelreaktionen, die aufeinander abgestimmt sind. Störungen in diesem komplizierten Gefüge – mögen sie die Nährstoffzufuhr, den Verarbeitungsprozeß oder die Ausscheidung der Endprodukte betreffen – führen zu abweichenden Lebenserscheinungen (Krankheiten). Schwere Eingriffe in das Stoffwechselgeschehen oder längere Unterbrechungen des Stoffwechsels zerstören das Leben.

Der Stoffwechsel ist ein wesentliches Kennzeichen des Lebens.
Das Aufhören des Stoffwechsels bedeutet den Tod.

Die Geschwindigkeit der Stoffwechselvorgänge ist innerhalb weiter Grenzen veränderlich. Bei gesteigerter Lebenstätigkeit (z. B. Jugendwachstum, Vermehrung) erfolgt in vielen Stoffwechselprozessen ein hoher Stoffumsatz. Je langsamer die Stoffwechselprozesse ablaufen, desto träger reagiert der Organismus. In vielen Fällen kommt es periodisch oder unter dem Einfluß ungünstiger Umweltbedingungen (Kälte, Dürre o. ä.) zu einem Ruhezustand von Organen oder Organteilen (Samenruhe, Kältestarre, Trockenstarre, Dauersporen, Dauerzysten u. a.). Dann verlaufen die Stoffwechselvorgänge so langsam, daß sie scheinbar aufgehört haben und nur mit sehr feinen Meßmethoden nachweisbar sind. In diesem Zustand sind die Lebewesen äußerst widerstandsfähig gegen alle ungünstigen Umwelteinflüsse.

Je tiefer die biologische Forschung in die Zusammenhänge des Stoffwechselgeschehens eindrang, um so deutlicher zeigte sich, daß die wichtigsten Lebensvorgänge (z. B. Auf- und Abbau der wesentlichen organischen Verbindungen, Atmung) in allen Organismen – bei niederen und höheren Tieren und Pflanzen – in grundsätzlich gleicher Weise verlaufen. Die Grundtypen der Stoffwechselvorgänge sind bei den einzelnen Organismengruppen nur in spezieller Weise ausgebildet. Dabei sind alle Lebensvorgänge an das Vorhandensein von Wasser gebunden. Auch die Urformen des Lebens haben sich sicherlich im Wasser der Urmeere entwickelt.

Die Bedeutung des Wassers für das Leben

Grundlage aller Lebensvorgänge sind physikalisch-chemische Prozesse, die in wäßriger Umgebung ablaufen. Wasser ist an sämtlichen Stoffwechselvorgängen direkt oder indirekt entscheidend beteiligt. Es wirkt als Lösungs- oder Quellungsmittel, Transportmittel und als Partner in chemischen Reaktionen. Die Ursache der besonderen Funktionen des Wassers liegt in dem Aufbau des Wassermoleküls. Die beiden Wasserstoffatome sind nicht beiderseits des Sauerstoffatoms und mit ihm auf einer Achse angeordnet, sondern sie bilden zwischen ihren Bindungsarmen einen Winkel, der 104° 40' beträgt (vgl. Chemie Teil I, S. 128). Dadurch befinden sich die positiven und negativen Ladungen im Wassermolekül an entgegengesetzten Polen. Das Wassermolekül stellt einen Dipol dar. Sein besonderes Verhalten im elektrischen Feld und die wirksamen zwischenmolekularen Anziehungskräfte sind die Grundlagen für besonders physikalische und chemische Eigenschaften im Vergleich zu entsprechenden Verbindungen anderer Elemente als des Sauerstoffs aus der VI. Hauptgruppe des Periodensystems. Zu den besonderen Eigenschaften des Wassers gehören relativ hoher Siedepunkt, relativ hoher Schmelzpunkt, hohe Schmelz- und Verdampfungswärme, hohe Wärmekapazität und relativ gute Wärmeleitfähigkeit und größte Dichte bei + 4 °C. Gerade diese Eigenschaften aber bedingen die besondere Eignung des Wassers als Medium für die Lebewesen.

Die Übersicht über die Zusammensetzung des Protoplasmas (s. S. 127) zeigt den hohen Anteil des Wassers. Es dient dort zum größten Teil als **Lösungs- und Quellungsmittel.** Die Stoffwechselreaktionen laufen fast ausschließlich in wäßriger Lösung ab. Voraussetzung ist jedoch, daß das Protoplasma in einem reaktionsfähigen Zustand vorliegt. Dieser ist nur in einem bestimmten Quellungszustand der Makromoleküle (Kolloide) des Plasmas vorhanden. Daher sind stark entquollene Zustände der Lebewesen, wie die Samen der Pflanzen im Ruhezustand, auch von sehr geringer Stoffwechselaktivität. Sie nimmt sofort wieder zu, wenn dem Lebewesen erneut Wasser zugeführt wird.

Die gute Löslichkeit der größeren Anzahl lebenswichtiger Verbindungen des Organismus in Wasser bestimmt seine Eignung als **Transportmittel.** In wäßriger Lösung werden die Mineralstoffe aus dem Boden von den Wurzeln aufgenommen. Die wichtigsten Vorgänge sind dabei Diffusion, Osmose und Ionenaustausch, Prozesse, die auch für den Stoffaustausch zwischen benachbarten Zellen verantwortlich sind. Diese Art des
Versuch 4 Transports geht jedoch zu langsam vor sich, um einen genügend schnellen Stofftransport über längere Strecken, wie sie in großen Bäumen und in den größeren Tieren überwunden werden müssen, zu gewährleisten. Daher werden die gelösten Stoffe über
Versuch 5 größere Entfernungen durch Flüssigkeitsströme transportiert, wie sie in den Zirkulationssystemen der Tiere (Kreisläufe) und in den Leitbündeln der Pflanzen vorliegen (Abb. 23 und 80). Als physikalische Antriebskräfte wirken in den Tieren dabei „Pumpen" (z. B. Herzen) und bei den Pflanzen die Saugkräfte der Transpiration. Für den inneren Zusammenhalt der Flüssigkeitsfäden sorgt in diesen Systemen die starke Kohäsion zwischen den Wassermolekülen. Diese ist wieder eine Folge vom Dipolcharakter des Wassermoleküls.

Solche Stoffe, die ganz oder nur für eine gewisse Zeit dem Zugriff des Stoffwechsels entzogen werden sollen, werden in eine wasserunlösliche Form überführt. Das trifft für folgende Stoffe zu:

Speicherstoffe (Stärke, Glykogen, Fett, Reserveeiweiß u. a.),

dauerhafte Zellstrukturen (Zellwand, Chitinhülle u. a.),
Ablagerungen innerhalb der Zelle – Einschlüsse – (Kristalle u. a.),
Ablagerungen außerhalb der Zelle (Kutikula der Pflanzen, Kalkschalen u. a.).

Durch den Abbau der Speicherstoffe in niedermolekulare Bausteine wird gleichzeitig die Wasserlöslichkeit wiederhergestellt.

So wird in der Leber aus Traubenzucker das unlösliche Glykogen aufgebaut und gespeichert. Zur regelmäßigen Versorgung der Körperzellen mit Kohlenhydraten wird Glykogen bei Bedarf in der Leber wieder zu Traubenzucker abgebaut und in die Blutbahn abgegeben.

Wasser als Bestandteil chemisch-physikalischer Stoffwechselprozesse. Wasser ist auch unmittelbar an den chemischen Umsetzungen im Körper beteiligt.

Beispiele:

a) Kondensation: Aufbau von Maltose (Malzzucker) aus Glukose (Traubenzucker)

$$\underset{\substack{\text{Glukose}\\ \text{(Trauben-}\\ \text{zucker)}}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\substack{\text{Glukose}\\ \text{(Trauben-}\\ \text{zucker)}}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\substack{\text{Maltose}\\ \text{(Malzzucker)}}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{(Wasser)}}{H_2O}$$

Häufig wird bei der Verkettung organischer Bauteile zu größeren Molekülen Wasser abgeschieden.

b) Hydrolyse: Spaltung von Maltose (Malzzucker) zu Glukose (Traubenzucker)

$$\underset{\substack{\text{Maltose}\\ \text{(Malzzucker)}}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{(Wasser)}}{H_2O} \rightarrow \underset{\substack{\text{Glukose}\\ \text{(Trauben-}\\ \text{zucker)}}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\substack{\text{Glukose}\\ \text{(Trauben-}\\ \text{zucker)}}}{C_6H_{12}O_6}$$

Bei der Spaltung großer Moleküle in ihre einfachen Bauteile wird Wasser verbraucht.

Die Wassermengen, welche die Organismen ohne Schaden verlieren können, sind sehr unterschiedlich; sie richten sich nach dem Grad der Anpassung an die Trockenheit. Der Mensch kann bis zu 11% seines Körperwassers verlieren (tritt nach etwa siebentägigem Dursten ein), von einem stärkeren Wasserverlust erholt er sich nicht mehr. Zarte Feuchtluftpflanzen ertragen bis zu 20% Wasserverlust (Buschwindröschen), an Trockenheit angepaßte Gewächse (Wüsten- und Steppenpflanzen) dagegen bis zu 80%. Extreme Trockenlandpflanzen (manche Moose und Farne) und Flechten sowie manche Tierarten (bestimmte Rädertierchen und Bärtierchen) können nahezu vollständig austrocknen. Trotzdem werden sie nach Befeuchten wieder lebensfähig. Hier wird der Stoffwechsel beim Eintrocknen auf das äußerste herabgesetzt.

Anpassungen der Lebewesen an das Leben auf dem Lande. Die Entstehung des Lebens vollzog sich im Wasser. Wasser ist die typische Umgebung für die lebende Zelle geblieben, sie braucht heute wie vor Jahrmillionen diese wäßrige Umgebung, auch wenn die Organismen sich das trockene Land als Lebensstätte erobert haben. Landpflanzen und Landtiere, auch der Mensch, sind so gebaut, daß die Wasserversorgung ihrer lebenden Körperzellen gesichert ist.

Probleme des Überganges vom Wasser- zum Landleben. Die ersten Lebewesen mögen auf der Erde vor fast 3 Milliarden Jahren entstanden sein; die Wasserversorgung wurde jedoch erst vor etwa 400 Millionen Jahren zum Problem, als die ersten Pflanzen (Nacktsprosser) und Tiere das Festland zu besiedeln begannen. Dieser Vorgang gehört zu den schwierigsten und folgenschwersten Schritten in der gesamten Entwicklung des Lebens auf der Erde. Der Körperbau der Organismen stellte sich dabei vollkommen um. Nur wenige Sippen von Pflanzen und Tieren besaßen die Voraussetzungen dazu.

Die Bildung eines Verdunstungsschutzes, die Entwicklung von Stützgewebe und eines Systems für den inneren Flüssigkeitstransport waren für die Besiedlung des Landes durch Lebewesen erforderlich.

Verdunstungsschutz. Bei Pflanzen: Dichtes Abschlußgewebe mit Kutikula und Spaltöffnungen zur Regulierung der Verdunstung.

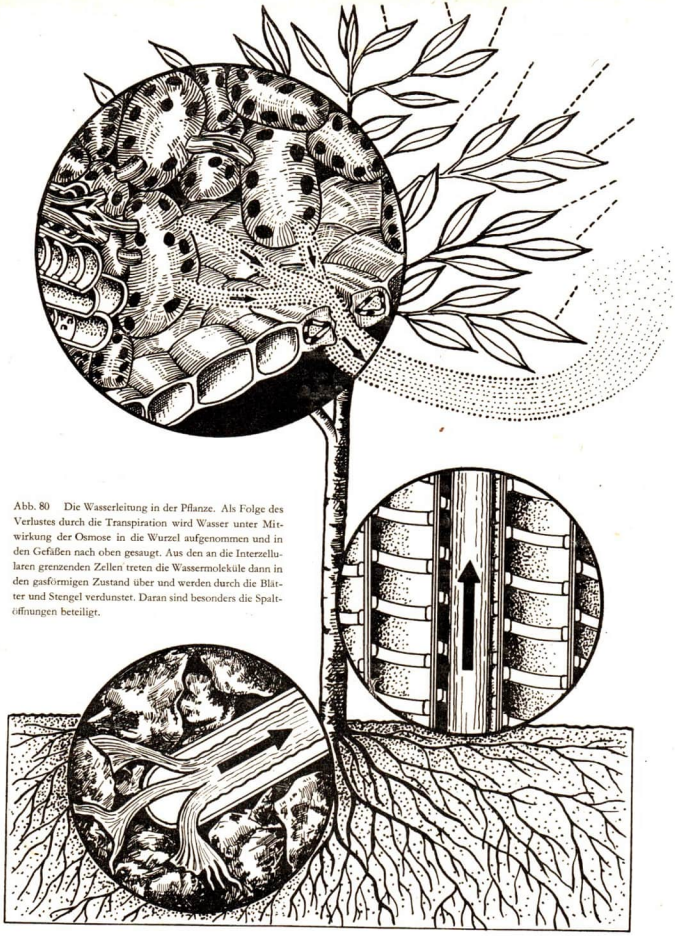


Abb. 80 Die Wasserleitung in der Pflanze. Als Folge des Verlustes durch die Transpiration wird Wasser unter Mitwirkung der Osmose in die Wurzel aufgenommen und in den Gefäßen nach oben gesaugt. Aus den an die Interzellularen grenzenden Zellen treten die Wassermoleküle dann in den gasförmigen Zustand über und werden durch die Blätter und Stengel verdunstet. Daran sind besonders die Spaltöffnungen beteiligt.

Bei Tieren: Dichte, wasserabweisende Außenhüllen, Chitinpanzer (Gliedertiere), Schalen oder Gehäuse (Weichtiere) oder eine vielschichtige, außen verhornte Oberhaut (Wirbeltiere) mit Hornschuppen, Federn oder Haaren.

Stützgewebe. Das Protoplasma besitzt annähernd die gleiche Dichte wie Wasser. Im Wasser werden daher die Körper der Lebewesen durch den Auftrieb getragen; sie können verhältnismäßig zart und weich gebaut sein. Beim Übergang auf das Land fällt die tragende Kraft des Wassers fort, die Körper würden unter ihrem eigenen Gewicht zusammenfallen, wenn nicht Stütz- oder Festigungsgewebe ihrem Körper Halt gäben (Festigungsgewebe der Pflanzen, Stützskelett der Tiere).

Systeme für den Flüssigkeitstransport. Bei Pflanzen: Leitbündel mit Gefäßen und Siebröhren. **Versuch 4**
In den Gefäßen verläuft der aus den Wurzeln aufsteigende Strom des Wassers mit den darin gelösten Nährstoffen, für den die Transpiration als bewegende Kraft dient. In den Siebröhren geht der Transport der Assimilate, welche hauptsächlich in den Blättern gebildet werden, meist in absteigender Richtung vor sich.

Bei Tieren: Kreislaufsysteme für Körperflüssigkeiten mit Pumpmuskulaturen als Antriebskraft zum **Versuch 5**
Beispiel bei den Wirbeltieren. Sie dienen hier meist auch gleichzeitig dem Transport der Atemgase (Blut). **Versuch 6**

Die erwähnten Beispiele sind nur eine sehr kleine Auswahl, sie zeigen aber die zentrale Bedeutung **Versuch 7**
des Wassers für das Leben. Wir werden diese Bedeutung auch in den folgenden Abschnitten immer **Versuch 8**
wieder erkennen.

Aufgaben und Fragen

1. Weshalb hat ein Aufhören des Stoffwechsels den Tod des Lebewesens zur Folge?
2. Erklären Sie die Unterschiede in der Art und Weise, wie bei Tieren und Pflanzen die gleichen Anpassungsprobleme an das Landleben gelöst sind!
3. Welche Beziehungen sehen Sie zwischen der unterschiedlichen Anpassung von Pflanzen und Tieren an das Landleben und ihrer Ernährung und Ortsbeweglichkeit?

Der Baustoffwechsel

Jedes Lebewesen baut seinen Körper aus Nährstoffen auf, die es der Umgebung entnimmt. Ein Aufbau körpereigener Substanz aus körperfremden Stoffen wird allgemein **Assimilation** genannt.

Je nachdem, welche Stoffe in den Aufbau der Organismen einbezogen werden, unterscheidet man Kohlenstoffassimilation, Stickstoffassimilation und verschiedene Formen der Mineralstoffassimilation.

Die Körper der Organismen bestehen aus einer Vielzahl äußerst komplizierter chemischer Verbindungen (s. S. 125 ff.). Diese lassen sich aus wenigen einfachen organischen Grundbausteinen aufbauen, vor allem aus Monosachariden, Monokarbonsäuren (Fettsäuren) und Aminosäuren. Beim Abbau dieser organischen Verbindungen entstehen in erster Linie Wasser, Kohlendioxid und Ammoniak.

Biosynthese organischer Stoffe in den Lebewesen

Anorganische Rohstoffe
Mineralsalze, Luft, Wasser
↓
Organische Grundbausteine
Monosacharide, Monokarbonsäuren (Fettsäuren), Aminosäuren u. a.
↓
Hochmolekulare Körpersubstanzen
Polysacharide, Fette, Eiweißstoffe, Wirkstoffe u. a.

Für das Verständnis aller Ernährungsprozesse ist folgendes wichtig:

Der Aufbau hochmolekularer Körpersubstanz aus organischen Grundbausteinen ist mit verhältnismäßig geringem Energieaufwand durchführbar. Die dazu notwendigen Voraussetzungen sind bei allen Lebewesen vorhanden.

Der Aufbau der organischen Grundbausteine aus anorganischen Stoffen erfordert einen hohen Energieaufwand und ist meist nur mit Hilfe besonderer Zellbestandteile zu bewältigen, die nicht bei allen Organismen ausgebildet sind.

Alle lebenden Zellen und alle Organismen (vom einfachsten Bakterium bis zum Menschen) sind befähigt, ihren Körper aus organischen Grundbausteinen aufzubauen.

Die Mehrzahl aller Organismen ist bei der Nahrungsaufnahme auf organische Stoffe angewiesen, die von anderen Lebewesen gebildet wurden. Eine solche Ernährungsweise nennt man heterotroph.

Heterotroph leben: die Mehrzahl der Bakterien, die Urtierchen, sämtliche Pilze, chlorophyllfreie Pflanzen, alle Tiere, der Mensch.

Nur wenige Gruppen von Organismen sind in der Lage, ihre organischen Grundbausteine aus anorganischen Stoffen herzustellen. Diese Ernährungsweise nennt man autotroph.

Autotroph leben: einige Gruppen von Bakterien, fast alle Blaualgen, fast sämtliche Algen, Moose, alle höheren grünen Pflanzen. Sie bauen aus anorganischen Verbindungen organische auf.

Aber auch diese Organismen sind zu heterotropher Lebensweise fähig. Bei den Vielzellern muß sich sogar ein großer Teil der Zellen von organischen Stoffen ernähren. Alle chlorophyllfreien Zellen und Pflanzenteile (z. B. Wurzeln, Leitgewebe, Stengelinneres) sind auf die Zufuhr organischer Nährstoffe angewiesen. Auch keimende Jungpflanzen, deren Chlorophyll noch nicht fertig entwickelt ist, ernähren sich von den organischen Reservestoffen (vor allem von Stärke und Eiweiß), die im Samen oder in den unterirdischen Speicherorganen (Wurzelstock, Zwiebel, Knolle, Rübenwurzel) enthalten sind.

Die Tatsache, daß alle Lebewesen heterotroph leben können, aber nur wenige Gruppen zur autotrophen Ernährung befähigt sind, deutet darauf hin, daß die heterotrophe Lebensweise erdgeschichtlich älter ist als die autotrophe und bei der Entstehung des Lebens auf der Erde die allgemeine Ernährungsweise der Urorganismen darstellte.

Da die Mehrzahl der Organismen heterotroph lebt, wäre der Vorrat an organischem Nährmaterial sehr bald aufgebraucht, wenn nicht durch die Tätigkeit der autotrophen Organismen immer wieder neue Vorräte an organischen Nährstoffen gebildet würden.

Die Leistung der autotrophen Lebewesen, insbesondere der Meeresalgen und der grünen Pflanzen, bildet somit heute die Voraussetzung für die Erhaltung des gesamten Lebens auf der Erde.

Frage

Welche Wechselbeziehungen bestehen zwischen autotroph und heterotroph lebenden Lebewesen auf der Erde?

Aufnahme und Transport der Nährstoffe

Die Organismen sind durch Hautgewebe von der Umwelt getrennt. Diese schließen die Lebewesen schützend von der Umwelt ab und stellen gleichzeitig den notwendigen Kontakt zur Umgebung her. Bei den Pflanzen erfüllen die Abschlußgewebe, wie Epidermis und Korkgewebe, diese Aufgaben. Die Zellen sind dazu ohne Lücken aneinandergefügt. Bestimmte Zellen, die Schließzellen mit den Spaltöffnungen, dienen dem

Stoffaustausch mit der umgebenden Luft. Das Korkgewebe besitzt besondere Poren (Lentizellen) für den Gasaustausch. Sie sind an Holunderzweigen gut erkennbar. An allen anderen Teilen der Oberfläche von Pflanzen und Tieren geht der Stoffaustausch direkt durch die Zellen der Abschlußgewebe vor sich.

Bei den Landpflanzen ist die aufnehmende Oberfläche an den Blättern und Wurzeln zu finden. Durch die Vielzahl der Blätter und Wurzeln mit den Wurzelhaaren ist die aufnehmende Fläche sehr groß. Sie vergrößert sich bei vielen Pflanzen parallel zum Wachstum des Pflanzenkörpers, wodurch die Nährstoffversorgung stets hinreichend möglich ist (Abb. 81 a).

Bei den landlebenden Tieren ist die aufnehmende Oberfläche ins Körperinnere verlegt (Magen- und Darmsysteme, Lungen für den Gasaustausch). Der Körpervergrößerung ist hier schon dadurch eine Grenze gesetzt, daß die aufnehmende Oberfläche, die zur Nährstoffversorgung notwendig ist, nicht beliebig vergrößert werden kann (Abb. 81 b).

Auch alle im Wasser lebenden pflanzlichen Organismen nehmen die Nährstoffe durch die äußere Oberfläche auf.

Während bei heterotropher Ernährung die Elemente C, H, O, N und S in Form von organischen Verbindungen (Zucker, Fette, Eiweiße und deren Bausteine) aufgenommen werden, erfolgt die Aufnahme einer ganzen Reihe weiterer Elemente auch in Form von anorganischen Verbindungen (Salze). Bei den autotrophen Pflanzen werden alle Nährstoffe in anorganischer Form aufgenommen. Daher ist die mineralische Ernährung bei den Pflanzen von besonderer Bedeutung. Die einzelnen chemischen Elemente haben bei allen Organismen im wesentlichen die gleichen Funktionen.

Die von den Lebewesen aufgenommenen Nährstoffe werden zum Ort ihrer Verwendung transportiert, denn in den wenigsten Fällen stimmen Aufnahme- und Verbrauchsort überein. Umgekehrt müssen die Abfallstoffe des Stoffwechsels zu den Ausscheidungsorten transportiert werden. Daher zeigen alle Lebewesen Transportvorgänge, die sich in den meisten Fällen in besonderen Transportsystemen abspielen. Die wichtigsten davon sind: Diffusion und Osmose für den Transport zwischen benachbarten Zellen bei Tieren und Pflanzen sowie Flüssigkeitsströme für den Transport über größere Ent-

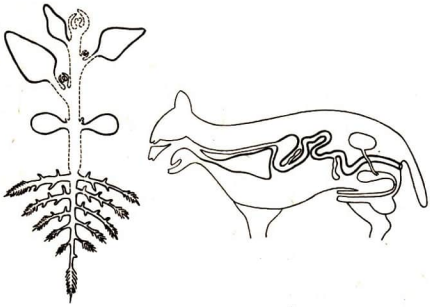


Abb. 81 Anordnung der aufnehmenden Oberflächen bei Pflanzen und Tieren. Pflanzen besitzen eine sogenannte offene Gestalt als Folge der Tätigkeit aktiver Bildungsgewebe. Die austauschenden Oberflächen befinden sich an der Außenseite der Blätter und Wurzeln, welche so gebaut sind, daß eine möglichst große Austauschoberfläche gebildet wird (a). Bei den Tieren fehlen aktive Bildungsgewebe. Die Austauschoberflächen sind in das Innere des Körpers verlegt, sogenannte geschlossene Gestalt (b).

fernungen im Organismus, bei Pflanzen durch Saft- und Assimilatstrom in Gefäßen und Siebröhren, bei Tieren durch Blut, Lymphe oder ähnliche Körperflüssigkeiten in Adern oder entsprechenden Geweben.

Aufgaben und Fragen

1. Worin besteht der Hauptunterschied in den biologischen Mechanismen des Stofftransportes über größere Entfernungen bei Pflanzen und Tieren?
2. In welcher Beziehung steht die Lage der aufnehmenden Organe bei Pflanzen und Tieren zu ihrer Lebensweise?

Autotrophe Ernährung

Die Mineralsalze und ihre Funktionen im Pflanzenkörper

Von den zehn chemischen Elementen (s. S. 126), aus denen sich der Körper der Organismen hauptsächlich aufbaut, deckt die Pflanze in der Regel nur ihren Bedarf an Kohlenstoff und Wasserstoff aus Kohlendioxid und Wasser. Sauerstoff wird teils aus der Luft, teils aus dem Wasser entnommen. Alle übrigen Elemente müssen aus dem Bodenwasser aufgenommen werden, wo sie in Form von Salzen vorliegen. Sie gelangen über die Leitgewebe in die verschiedenen Teile der Pflanze und schließlich in jede Zelle. Dort werden sie vom Zellplasma mit den Kohlenhydraten oder deren Umwandlungsprodukten chemisch verbunden, und daraus werden alle anderen organischen Stoffe aufgebaut.

Die folgende Übersicht zeigt die Verwendung der häufigsten chemischen Elemente, die als Salze in Form von Ionen aus dem Boden entnommen werden.

Stickstoff ist neben Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff Hauptbestandteil der Aminosäuren und damit aller Eiweißstoffe. Er ist für Lebewesen daher unentbehrlich. Es ist hervorzuheben, daß die Pflanzen mitten in einem riesigen Stickstoffmeer leben – unsere Atmosphäre enthält etwa 78% Stickstoff –, das ihnen nicht zugänglich ist. Die Pflanzen können den so dringend benötigten Stickstoff fast nur in Form von Nitrat- oder Ammoniumionen aufnehmen, die sehr leicht löslich und auswaschbar sind und meist nur spärlich im Bodenwasser vorkommen. Die Pflanzen leiden daher häufig unter Stickstoffmangel, weshalb in der Landwirtschaft Stickstoffdüngung besonders vorrangig ist.

Phosphor wird in Form von Hydrogenphosphationen (HPO_4^{--}, $H_2PO_4^-$) aus dem Boden aufgenommen. Er dient zum Aufbau der Nukleinsäuren im Zellkern und im Zellplasma. Ferner ist Phosphor für den Aufbau der Fermente und der Phosphatide (fettähnliche Plasmabestandteile) erforderlich. Phosphorsäurereste haben Bedeutung im gesamten Stoffwechsel, weil mit ihrer Hilfe chemische Energie übertragen werden kann und dadurch viele chemische Umwandlungen beschleunigt werden (z. B. Auf- und Abbau der Kohlenhydrate).

Schwefel wird von den Pflanzen in Form von Sulfationen (SO_4^{--}) aus dem Boden aufgenommen; er ist Bestandteil einiger Aminosäuren, also ebenfalls am Eiweißaufbau beteiligt. Außerdem ist er in zahlreichen Wirkstoffen enthalten.

Kalium und Kalzium werden als Kationen (K^+ u. Ca^{++}) aus dem Boden aufgenommen. Sie beeinflussen vor allem die Quellung des Protoplasmas in den Zellen. Kaliumionen ziehen relativ viel Wasser an und lassen dadurch das Plasma aufquellen; damit werden die Stoffwechselvorgänge beschleunigt. Kalziumionen bewirken das Gegenteil, sie entziehen dem Plasma Wasser und verlangsamen dadurch den Stoffwechsel. Für einen geregelten Ablauf aller Stoffwechselprozesse ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Kalium- und Kalziumionen im Plasma notwendig.

Magnesium wird in Kationenform (Mg^{++}) aus dem Bodenwasser aufgenommen; es wirkt in größeren Konzentrationen giftig, darf deshalb nur in geringer Menge im Boden vorhanden sein. Magnesium bildet einen wichtigen Bestandteil der Zellen, es ist beispielsweise wesentlicher Baustein des Chlorophyllmoleküls.

Eisen wird von den Pflanzen als Kation (Fe^{++}) aus dem Boden aufgenommen; es ist in lebenswichtigen Wirkstoffen enthalten, zum Beispiel in Fermenten, die für den Betriebsstoffwechsel bedeutend sind. Auch zum Aufbau von Chlorophyll ist Eisen notwendig.

Neben diesen **Hauptelementen** spielen noch die **Spurenelemente** eine große Rolle. Ihr Fehlen im Boden führt stets zu krankhaft schwachem Wuchs oder sonstigen Verkümmerungserscheinungen. Man kennt zum Beispiel Mangelkrankheiten, die durch das Fehlen von Kupfer, Bor oder Mangan verursacht werden. Häufig wirken Spurenelemente bei Fermentreaktionen mit.

Da die Pflanzen diese Stoffe dem Boden entnehmen, wird alljährlich mit der Ernte ein großer Teil der Bodennährstoffe von den Feldern abtransportiert. Sie müssen in Form von Dünger wieder in den Boden zurückgebracht werden, weil er sonst seine Fruchtbarkeit verliert.

Die Grundvorgänge der Kohlenstoffassimilation

Die Eigenschaft der Atome des Kohlenstoffs, sich untereinander zu verbinden, macht dieses Element zur Grundlage aller organischen Verbindungen. Es ist daher der Hauptbestandteil der lebenden Substanz. Durch die Assimilation des Kohlenstoffs in autotrophen Lebewesen wird es aus anorganischen in organische Verbindungen überführt.

Die Fähigkeit, diesen Prozeß durchzuführen, zeichnet die grünen Pflanzen vor anderen Lebewesen aus. Als anorganische Kohlenstoffquelle dient dabei das Kohlendioxid (CO_2) der Luft. Das erste Produkt der Kohlendioxidassimilation ist ein **Kohlenhydrat**, das mit der allgemeinen Formel $(CH_2O)_n$ gekennzeichnet werden kann. Ein Vergleich der Formeln von Kohlendioxid und Kohlenhydrat zeigt, daß die Kohlenstoffassimilation ein **Reduktionsvorgang** ist, welcher mit Hilfe von Wasserstoff vor sich gehen muß. Da die Reduktion von chemischen Verbindungen eine energieverbrauchende Reaktion ist, muß auch für die Assimilation des Kohlenstoffs eine Energiequelle zur Verfügung stehen. Die grünen Pflanzen beziehen die Energie aus dem Sonnenlicht. Daher bezeichnet man diese Form der Kohlenstoffassimilation als **Photosynthese**. Von einigen Bakterien kann die Energie zur Reduktion des Kohlendioxids auch aus Oxydationsprozessen gewonnen werden. Diese Art der Kohlenstoffassimilation wird **Chemosynthese** genannt. Der Wasserstoff zur Reduktion des Kohlendioxids wird bei der Photosynthese der Pflanzen und bei der Chemosynthese vorwiegend aus dem Wasser entnommen. Nur bei der Photosynthese der Bakterien können auch Schwefelwasserstoff (H_2S) und organische Säuren als Wasserstoffquellen dienen. Die Bildung des reduktionsfähigen Wasserstoffs aus Wasser mit Hilfe von Sonnenlicht wird durch den grünen Blattfarbstoff, das **Chlorophyll**, katalysiert. Darüber hinaus ist an den Vorgängen der Kohlenstoffassimilation eine Vielzahl von Fermenten beteiligt, welche die chemischen Reaktionen des Reduktionsvorganges katalysieren. Es treten dabei mannigfaltige Zwischenverbindungen auf, die an den einzelnen Reaktionen teilnehmen.

Autotrophe Kohlenstoffassimilation

Photosynthese grüner Pflanzen			Chemosynthese bei Bakterien
Algen, Moose, höhere Pflanzen		Bakterien	
C-Quelle	CO_2	CO_2	CO_2
H-Quelle	H_2O	H_2S, org. Säuren	meist H_2O
Energiequelle	Sonnenlicht	Sonnenlicht	Oxydations-
Katalysator	Chlorophyll	Bakteriochlorophyll	prozesse

Aufgaben und Fragen

1. Erläutern Sie, durch welchen chemischen Prozeß der „Energieimport" in den autotrophen Lebewesen vor sich geht!
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen Photo- und Chemosynthese!
3. Erläutern Sie, worin Photo- und Chemosynthese übereinstimmen!

Kohlenstoffassimilation durch Photosynthese

Die Photosynthese ist die Hauptform der Assimilation anorganischen Kohlenstoffs zu organischen Verbindungen auf der Erde. Sie benötigt als wichtigste Voraussetzungen für ihren Ablauf: Kohlendioxid, Wasser, Sonnenenergie und Chlorophyll.

Die wichtigsten Bedingungen der Photosynthese

Versuch 11

Chlorophyll. Chlorophyll ist in den grünen Pflanzen reichlich vorhanden. Ein Nachlassen der photosynthetischen Leistung ist in der Regel nicht auf einen Mangel an Chlorophyll zurückzuführen.

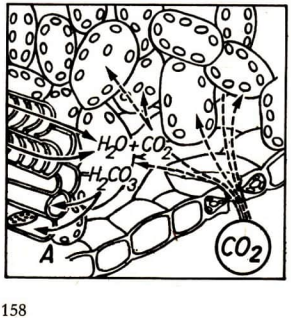
Das Chlorophyll kann nur im Verband mit lebendem Eiweiß (z. B. Plastideneiweiß) an der Stoffproduktion mitwirken. Wird das Eiweiß abgetötet (z. B. in siedendem Wasser oder Alkohol), so ist keine Photosynthese mehr möglich.

Wasser. Wasser steht den assimilierenden Zellen meist ebenfalls reichlich als Baustoff zur Verfügung. Die Grundgewebe, in deren Zellen die Photosynthese stattfindet, haben einen Wassergehalt von etwa 90%.

Kohlendioxid. CO_2 ist nur zu etwa 0,03% in der Luft enthalten. Die Blattzellen können weit mehr Kohlendioxid verarbeiten, als ihnen in der Atmosphäre zur Verfügung steht. Eine künstliche Steigerung des Kohlendioxidanteils in der Luft führt daher zu einer verstärkten Assimilation, wenn 1% CO_2 in Luft als obere Grenze nicht überschritten werden.

In Mistbeeten kommt es zu einer CO_2-Anreicherung. Die im stark gedüngten Boden der Frühbeete vorhandenen Bakterienmassen atmen sehr viel Kohlendioxid aus, das durch die niedrigen Glasdächer in Bodennähe gehalten wird. Es kann von den Jungpflanzen aufgenommen werden, die dadurch besonders gut gedeihen. Die Wärme, welche bei der Atmung der Bodenbakterien entwickelt wird, schafft gleichzeitig eine günstige Temperatur für das Wachstum.

Versuch 9



In der Nähe von Industriebetrieben werden große Gemüsebauanlagen zur Versorgung der Bevölkerung errichtet. Das in der Industrie als Verbrennungsprodukt anfallende Kohlendioxid wird durch Röhren in große Gewächshäuser geleitet; es dient als Nährstoff für die Pflanzen. Die besten Erträge wurden bisher bei einem Kohlendioxidgehalt der Luft von etwa 0,1% erreicht. Eine übermäßig starke Anreicherung von CO_2 (mehr als 1%) wirkt giftig und hemmt die Entwicklung der Pflanzen.

Abb. 82 Weg des Kohlendioxids in den Blättern. Eintritt durch die Spaltöffnungen in die Atemhöhle und die damit verbundenen Interzellularen. In den hier angrenzenden Zellwänden wird das Kohlendioxid in Wasser gelöst (H_2CO_3, Kohlensäure) und in dieser gelösten Form gelangt es zu den Chloroplasten. Dort werden durch die Photosynthese Kohlenhydrate gebildet, welche u. a. auch im Strom der Assimilate in den Siebröhren zu anderen Pflanzenteilen transportiert werden können.

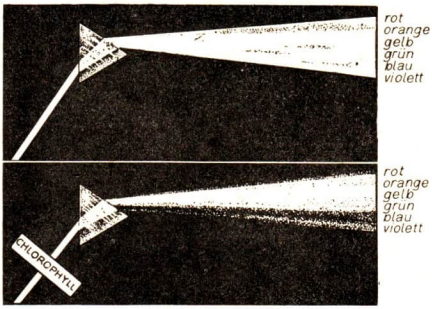


Abb. 83 Ausnutzung des Lichtes durch das Chlorophyll. Der obere Teil der Abbildung zeigt die spektrale Zerlegung eines Lichtstrahles, welcher durch ein Prisma geleitet wird. Schaltet man vor das Prisma eine Küvette mit einer Lösung von Chlorophyll, dann werden besonders rote und blaue Anteile des weißen Lichtes absorbiert, da das Chlorophyll in diesen Bereichen Absorptionsmaxima besitzt.

Untergetauchte Wasserpflanzen nehmen das im Wasser gelöste Kohlendioxid als Nährstoff für die Photosynthese auf.

Bei den Landpflanzen dringt das Kohlendioxid durch die Spaltöffnungen in das Innere der Blätter ein; auf dem gleichen Weg werden Wasser und Sauerstoff abgegeben (Abb. 82). Das kann sich unter Umständen sehr ungünstig auf die Photosynthese auswirken. Wenn sich die Spaltöffnungen der Pflanze bei Trockenheit schließen, um eine zu starke Verdunstung zu verhindern, so wird gleichzeitig auch die Zufuhr des Kohlendioxids vermindert und der Aufbau von Kohlenhydraten eingeschränkt, obwohl alle übrigen Voraussetzungen für die Photosynthese gegeben sind.

Licht. Wechselnde Lichtstärke und Lichtzusammensetzung kann gleichfalls die photosynthetische Leistung der Pflanzen merklich verändern.

Das Licht wird vom Chlorophyll aufgenommen (absorbiert) und in Form von chemischer Energie zur Spaltung des Wassers benutzt. Das Chlorophyllmolekül absorbiert jedoch nur einen geringen Teil der eingestrahlten Lichtenergie (etwa 3 bis 5%), vor allem die langwelligen gelbroten und die kurzwelligen blauvioletten Strahlen. Die gelben bis grünen Anteile des Sonnenlichtes bleiben dagegen teilweise ungenutzt (Abb. 83). **Versuch 10**

Temperatur. Die biochemischen Vorgänge der Photosynthese werden, wie alle chemischen Prozesse, auch von der Temperatur beeinflußt. Die Assimilationstätigkeit beginnt in der Regel bei einer gewissen Mindesttemperatur, dem Minimum, sie nimmt mit steigender Temperatur zu und erreicht schließlich das Optimum. Wird diese günstigste Temperatur überschritten, so fällt die Produktionsleistung wieder ab, bis bei Überschreitung des Temperaturmaximums eine vollständige Lähmung der Photosynthese einsetzt. Die Temperaturgrenzen schwanken je nach Klima und Art.

Bei der Mehrzahl unserer heimischen Pflanzen liegt das Temperaturminimum etwa bei 0 °C, in den tropischen und subtropischen Gebieten bei + 5 °C. Pflanzen der Polargebiete und des Hochgebirges assimilieren dagegen noch bei Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt. Das Temperaturoptimum der Photosynthese liegt meist zwischen + 20 °C und + 30 °C, das Maximum zwischen + 35 °C und + 50 °C. Im allgemeinen wird die Photosynthese bei Temperaturen über + 30 °C schon merklich geschwächt.

Die Photosynthese geht nur am Tage vor sich, bedingt durch ihre Abhängigkeit vom Sonnenlicht. Die lebende Pflanze atmet, wie jeder andere Organismus, jedoch ständig. Während bei der Photosynthese Sauerstoff freigesetzt und Kohlendioxid aufgenommen wird, verbraucht die Atmung Luftsauerstoff und gibt Kohlendioxid ab. Bei Beginn der Sonneneinstrahlung am Morgen eines Tages ist die einfallende Lichtmenge noch so gering, daß bei der Atmung mehr Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid abgegeben als durch die Photosynthese Sauerstoff entwickelt und Kohlendioxid assimiliert wird. Erst einige Zeit nach Sonnenaufgang wird der Atmungsverbrauch an organischem Material durch den Stoffgewinn in der Photosynthese kompensiert. Von nun an überlagert der Gasstoffwechsel bei der Photosynthese den oxydativen Gasaustausch. Die Leistung der Photosynthese im Verlauf des Tages ist so groß, daß der Bedarf der Pflanze an organischen Verbindungen für die Atmung, die ständige Substanzerneuerung, die Substanzzunahme beim Wachstum und die Reservestoffspeicherung für Perioden ungünstiger Vegetationsbedingungen gedeckt wird.

Frage

Welchen Faktor unter den äußeren Bedingungen der Photosynthese muß man variieren, um den größten Erfolg im Ertragszuwachs zu haben?

Ablauf der Reaktionen in der Photosynthese

Wir wissen bereits, daß bei der Photosynthese in den grünen Pflanzen aus Kohlendioxid und Wasser Kohlenhydrate, vor allem Monosacharide (z. B. Fruktose und Glukose) aufgebaut werden. Die notwendige Energie liefert das Sonnenlicht. Wirkstoff ist das Chlorophyll, dessen Anwesenheit unbedingt erforderlich ist, das aber bei diesem Prozeß nicht verbraucht wird. Als Nebenprodukt wird Sauerstoff freigesetzt und an die Luft abgegeben.

Schon seit langem ist bekannt, daß es sich bei diesem Vorgang nicht um eine direkte, einfache chemische Verbindung zwischen den Molekülen des Kohlendioxids und des Wassers handelt. Jahrzehntelange angestrengte Forschungen in vielen Ländern waren jedoch nötig, bis einige der sehr komplizierten Wege gefunden wurden, die zu dieser Zuckersynthese führen.

Die Untersuchungen wurden vor allem an Kulturen der einzelligen Grünalgen *Chlorella* und *Scenedesmus* vorgenommen. Bedeutende Erkenntnisse wurden durch den Einsatz radioaktiver Isotope gewonnen. Mit Hilfe von radioaktivem Sauerstoff ^{18}O im zugeführten Wasser konnte ermittelt werden, daß der Sauerstoff, der bei der Photosynthese frei wird, aus dem Wasser stammt. Die Verwendung von Kohlendioxid mit radioaktivem Kohlenstoff ^{14}C gab die Möglichkeit, den Weg des Kohlenstoffs bei den komplizierten chemischen Umsetzungen im Protoplasma zu verfolgen. Dennoch sind viele Vorgänge, die an der Photosynthese beteiligt sind, heute noch nicht aufgeklärt.

Die Photosynthese umfaßt eine Vielzahl ineinandergreifender chemischer Prozesse. Berücksichtigt man nur die Ausgangsstoffe und die Endprodukte, so läßt sich das Gesamtgeschehen mit folgender Gleichung wiedergeben:

$$\underset{\text{Kohlendioxid}}{6\,CO_2} + \underset{\text{Wasser}}{12\,H_2O} \xrightarrow[\text{Lichtenergie}]{\text{Chlorophyll a}} \underset{\substack{\text{Monosacharid}\\ \text{(z. B. Glukose)}}}{(CH_2O)_6} + \underset{\text{Wasser}}{6\,H_2O} + \underset{\text{Sauerstoff}}{6\,O_2}$$

Diese Gleichung sagt noch nichts über den Verlauf der Reaktionen aus. Es bleiben vor allem noch folgende Fragen offen:

Wie greift das Licht als Energiequelle ein? Welche Rolle spielt das Chlorophyll? Wie werden Kohlendioxid und Wasser, die in der unbelebten Natur miteinander nur Kohlensäure ergeben, hier zu Zucker zusammengefügt?

Der Vorgang der Photosynthese verläuft in zwei aufeinanderfolgenden Stufen, einer Lichtreaktion und einer Dunkelreaktion.

Lichtreaktion. Ein Teil der Energie des Sonnenlichts wird vom Chlorophyll absorbiert und in chemische Energie umgewandelt. Mit ihrer Hilfe werden die dem Chlorophyll benachbarten Wassermoleküle gespalten. Die chemische Energie ist dann in den Wasserstoffionen als Reduktionsenergie enthalten.

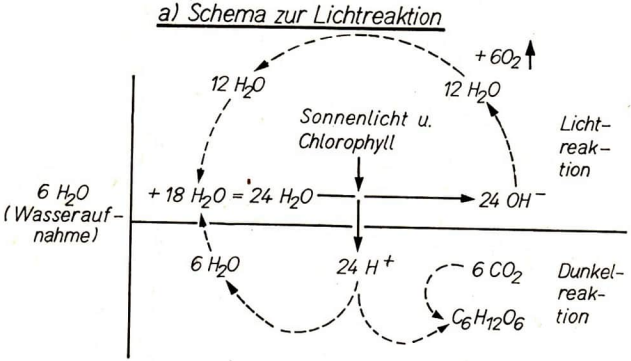
Wie die ganze oben angegebene Gleichung der Photosynthese, so stellen auch die darin enthaltenen Zahlen der Wassermoleküle nur das summarische Ergebnis aus den wirklich ablaufenden Vorgängen dar. So werden zur Reduktion von 6 CO_2 zu $(CH_2O)_6$ einmal 12 Wasserstoffionen benötigt, die nachher im Monosacharid enthalten sind. Darüber hinaus werden aber weitere 12 Wasserstoffionen verbraucht, um die 6 Sauerstoffatome zu Wasser zu reduzieren, welche bei der Umwandlung des Kohlendioxids in eine Hexose „frei" werden. Also müssen in der Lichtreaktion tatsächlich 24 Moleküle Wasser in ihre Ionen gespalten werden (Photolyse des Wassers), damit 24 H^+-Ionen für die Reduktionsvorgänge zur Verfügung stehen. Aus den bleibenden 24 Hydroxidionen (OH^-) werden 12 H_2O und 6 O_2 gebildet. Bei der eigentlichen Reduktion des CO_2 in der Dunkelreaktion entstehen nochmals 6 H_2O (Abb. 84 a). Insgesamt werden von den 24 gespaltenen Wassermolekülen 18 wieder zurückgebildet. Der tatsächliche Verbrauch beträgt also wirklich nur 6 Moleküle Wasser. Dabei steckt im Ergebnis des gesamten Vorganges die aufgenommene Sonnenenergie in den gebildeten Wasserstoffionen. Diese werden nun mit Hilfe von Fermenten bei der Reduktion des Kohlendioxids in der Dunkelreaktion verbraucht (Abb. 84a, S. 162).

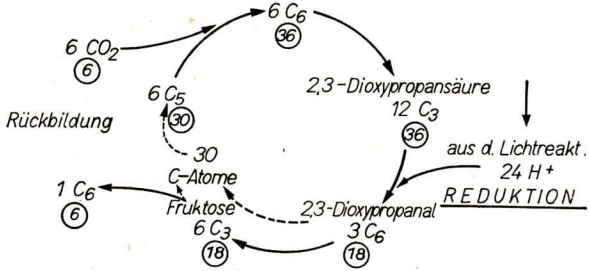
Dunkelreaktion. In diesem lichtunabhängigen Teil der Photosynthesereaktionen wird das Kohlendioxid mit Hilfe des Wasserstoffs aus der Lichtreaktion und einer Vielzahl von Fermenten über eine ganze Reihe von Zwischenstufen zum Kohlenhydrat reduziert (Abb. 84 b).

Zuerst wird – nach der Theorie von CALVIN – das CO_2-Molekül an eine Substanz gebunden, welche vom Organismus zur Verfügung gestellt wird. Sie enthält 5 Kohlenstoffatome und gehört zu den Zuckern. Als Produkt dieser Reaktion entsteht also eine Verbindung mit 6 Kohlenstoffatomen, die jedoch unbeständig sein und sofort in zwei Hälften mit je drei Kohlenstoffatomen zerfallen soll. Bis zur Bildung dieser zwei Moleküle 2,3-Dioxypropansäure (Glyzerinsäure) hat noch keine Reduktion des Kohlendioxids stattgefunden. Die 2,3-Dioxypropansäure wird durch den Wasserstoff aus der Lichtreaktion entsprechend den Gesetzen der organischen Chemie zum Alkanal (Aldehyd), dem 2,3-Dioxypropanal (Glyzerinaldehyd), reduziert. Diese Verbindung ist nun um die Reduktionsenergie des Wasserstoffs aus der Lichtreaktion reicher als die 2,3-Dioxypropansäure. Durch Vereinigung der beiden Alkanalmoleküle von je 3 C-Atomen entsteht dann die erste stabile Verbindung mit 6 C-Atomen, eine Hexose. Es ist der Fruchtzucker (Fruktose). Erst aus dem Fruchtzucker wird die Glukose gebildet, die jedoch in den seltensten Fällen frei vorkommt. Meist wird sie sofort zum Aufbau von Kohlenhydraten mit höherem Molekulargewicht verbraucht.

Bei allen chemischen Umsetzungen der Dunkelreaktion spielt der Phosphor in Form des Phosphatrestes eine große Rolle, da die Zwischenverbindungen alle durch Veresterung mit Phosphorsäure in reaktionsbereiten Zustand versetzt werden.

Da die Dunkelreaktion damit begann, daß das CO_2 an eine vom Organismus zur Verfügung gestellte Verbindung gebunden wurde, muß diese immer wieder zurückgebildet werden, damit die Dunkelreaktion nicht nach kurzer Zeit zum Erliegen kommt. Daher nimmt die sogenannte Regeneration der Anfangsverbindung einen großen Teil der Dunkelreaktion ein. Die Dunkelreaktion verläuft demnach in einem Kreisprozeß. Sie ist teilweise mit einem Förderband vergleichbar, das immer wieder in sich selbst zurückläuft, dabei aber „unten" mit CO_2 beladen wird und „oben" Kohlenhydrate ablädt. Zu seinem Antrieb ist Energie erforderlich.





Bilanz: $6\,H_2O + 6\,CO_2 \xrightarrow[\text{Chlorophyll}]{\text{Sonnenlicht}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$.

Abb. 84 Schematische Darstellung der Vorgänge bei der Photosynthese (vereinfacht)
a) Lichtreaktion, b) Dunkelreaktion.
In der Darstellung der Dunkelreaktion wurde von der Assimilation von 6 CO_2-Molekülen ausgegangen. Die Zahlen in den Kreisen bedeuten dann die gesamte Anzahl der an dieser Stelle vorhandenen Kohlenstoffatome in unserem Schema. Es ist deutlich erkennbar, daß nach Bildung einer Hexose (links unten) wieder die gleiche Zahl an C-Atomen zur Rückbildung der vom Organismus „investierten" Substanzen zur Verfügung steht, wie vom Organismus anfangs eingesetzt worden ist.

Einsatz von Isotopen bei der Erforschung der Photosynthese

Besondere Erfolge sind in den letzten 25 Jahren bei der Erforschung der Photosynthese durch Anwendung radioaktiver und stabiler Isotope erzielt worden. So konnte die Herkunft des Sauerstoffs aus dem Wasser nachgewiesen werden, da man Wasser verwendete, welches an Stelle des ^{16}O das Isotop ^{18}O enthielt. Bei einer Sauerstoffentwicklung aus dem Kohlendioxid durfte nun praktisch kein Isotopensauerstoff abgegeben werden, während ^{18}O ausgeschieden werden mußte, wenn der Sauerstoff aus dem Wasser stammte.

Auch die Aufklärung der Dunkelreaktion, in welcher die Reduktion des Kohlendioxids stattfindet, machte durch Einsatz „markierten" Kohlenoxids große Fortschritte. An Stelle des ^{12}C enthielt das benutzte CO_2 ^{14}C. Extrahierte man in verschiedenen, jedoch sehr kurzen Zeitabständen nach Photosynthesebeginn (beginnend mit 15 Sekunden) die Algen, welche in einer $^{14}CO_2$-Atmosphäre assimiliert hatten, so konnte man feststellen, welche Verbindungen den Isotopen-Kohlenstoff enthielten. Da die stärkste Markierung mit dem Zeitpunkt der Probeentnahme wechselte, konnte der Weg des Kohlenstoffs in der Photosynthese verfolgt werden, denn eine Verbindung, die zum Zeitpunkt A wenig oder gar nicht markiert war, jedoch zum Zeitpunkt B stark radioaktiv strahlte, mußte direkt oder indirekt aus einer Verbindung entstanden sein, die zum Zeitpunkt A starke Aktivität besaß.

Aufgaben und Fragen

1. Welche Reaktion im photosynthetischen Zyklus leistet die eigentliche Energiespeicherung in organischen Kohlenstoffverbindungen?
2. Warum ist die Regeneration der Akzeptorverbindung für das Kohlendioxid Voraussetzung für einen kontinuierlichen Photosyntheseablauf?

Kohlenstoffassimilation durch Chemosynthese

Verschiedene Bakteriengruppen nutzen für ihren Kohlenhydrataufbau jene Energie, die bei der Oxydation von Stoffen ihrer Umgebung frei wird. Der Wasserstoff wird dabei aus verschiedenen Quellen bezogen, meist jedoch auch aus Wasser (vgl. S. 157) Eine große Rolle spielen chemosynthetische Bakterien im Boden. So oxydieren die nitrifizierenden Bakterien Ammoniak zu Nitrit und weiter zu Nitrat. Dadurch wird das leicht flüchtige Ammoniak im Boden festgehalten. Der Vorgang ist für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit von Bedeutung.

Eisenbakterien gewinnen ihre Energie zur Kohlendioxidreduktion durch Oxydation von Eisen. Dieser Vorgang ist für die Bildung des Raseneisenerzes wichtig.

Die wichtigsten Assimilationsprodukte

Bei der Kohlenstoffassimilation durch Photosynthese oder Chemosynthese entstehen als erste organische Produkte meist Monosacharide. Diese Zucker sind Grundlage des gesamten weiteren Stoffwechselgeschehens in der Zelle. Sie sind nicht nur Ausgangsmaterial für den Aufbau der meisten anderen organischen Baustoffe, sondern stellen auch das oxydierbare Material dar, aus dem im Betriebsstoffwechsel die Energie für die Lebensvorgänge gewonnen wird. **Versuch 12**

Unter günstigen Bedingungen wird tagsüber in einer assimilierenden Zelle so viel

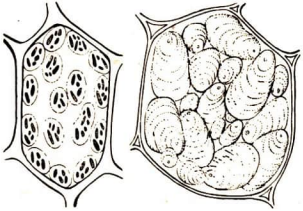


Abb. 85 Stärke. Links: Assimilationsstärke in den Chloroplasten einer Moosblattzelle (500fach vergrößert); rechts: Speicherstärke in der Zelle einer Kartoffelknolle (200fach vergrößert)

Zucker gebildet, daß er nicht vollständig weiter verarbeitet oder abtransportiert werden kann. Eine zu hohe Zuckerkonzentration aber würde den osmotischen Wert in der Zelle zu stark erhöhen und das Zellplasma schädigen. Der lösliche Zucker wird vorübergehend aus dem Stoffwechsel ausgeschieden; er wird in unlösliche Stärke umgewandelt. Diese Assimilationsstärke lagert sich in Form kleinster Körnchen in den Chloroplasten ab (Abb. 85) Nachts wird sie wieder zu Zucker abgebaut, in dieser löslichen Form abtransportiert und an die Verbrauchsorte, die chlorophyllfreien Zellen und die Speicherorgane der Pflanze, geleitet. Dort werden die Kohlenhydrate als Speicherstärke abgelagert.

Stärke und stärkeähnliche Produkte stellen für die Pflanze in der Regel eine Zuckerreserve dar, die nach Bedarf wieder in den Stoffwechsel einbezogen wird. Trauben- und Fruchtzucker ergeben zusammen den Rohr- oder Rübenzucker (Sacharose), der von manchen Pflanzen als Reservestoff gespeichert wird (Zuckerrohr, Zuckerrübe).

Aus Traubenzuckermolekülen werden auch die dauerhaften Zellulosewände der Pflanzenzellen aufgebaut (s. S. 140).

Komplizierter ist die Produktion der übrigen organischen Stoffe, zu deren Herstellung die Zuckermoleküle wieder teilweise zerlegt und chemisch umgebaut werden. Außerdem sind hierzu noch andere chemische Grundstoffe erforderlich, die aus den Mineralsalzen des Bodens gewonnen werden (s. S. 181 f.).

Die Bedeutung der Kohlenstoffassimilation für das Leben auf der Erde

Die grünen Pflanzen wandeln jährlich etwa 1300 kg Kohlenstoff je Hektar in Kohlenhydrate um, das bedeutet etwa 20 Milliarden Tonnen für die ganze Erde. Noch weit größer ist die Leistung der Meeresalgen; sie beträgt etwa 155 Milliarden Tonnen. Insgesamt werden somit 150 bis 200 Milliarden Tonnen Kohlenstoff, das sind 550 bis 750 Milliarden Tonnen Kohlendioxid, alljährlich auf der Erde in Kohlenhydrate umgesetzt. Das ist mehr als das Zwanzigfache dessen, was von Industrie und Haushalten an Kohlenstoff in Form von Kohle oder Erdöl benötigt wird. Dabei werden aber insgesamt nur etwa 3% des Kohlendioxids der Atmosphäre und nur 0,3% des im Ozean gelösten Kohlendioxids verbraucht.

Auch die Energie der Kohle, die heute Grundlage für die meisten Industriezweige ist, stammt letztlich aus der Photosyntheseleistung der Pflanzen (Karbon, Tertiär).

Die Photosynthese ist die großartigste Aufbauleistung auf der Erde. Sie bildet heute die Grundlage für das gesamte Leben.

Heterotrophe Ernährung

Heterotroph lebende Organismen bauen ihren Körper aus bereits vorgefertigten organischen Grundbausteinen (Monosacharide, Monokarbonsäuren [Fettsäuren], Aminosäuren usw.) auf; sie benötigen diese organischen Stoffe auch als Energiequelle. Diese Grundbausteine sind aber nur in seltenen Fällen fertig vorhanden, so zum Beispiel im Blut oder in der Darmflüssigkeit von Mensch und Tier, wo sie von den entsprechenden Schmarotzern (z. B. Bandwürmern) sehr leicht aufgenommen werden können, so daß derartige Parasiten oft ein sehr stark rückgebildetes Verdauungssystem besitzen.

In den meisten Fällen besteht die Nahrung der heterotrophen Organismen aus tieri-

scher oder pflanzlicher Kost, die sich aus hochmolekularen Zellbaustoffen zusammensetzt. Ihre Moleküle sind wasserunlöslich und in dieser Form nicht für den Aufbau des Körpers verwendbar. Sie müssen zuerst in ihre Grundbausteine zerlegt werden. Diesen Vorgang nennt man Verdauung.

Bei der Verdauung werden die meist wasserunlöslichen, hochmolekularen Bestandteile der Nahrung in ihre einfachen, wasserlöslichen, organischen Grundbausteine gespalten. Damit wird die Voraussetzung für die heterotrophe Assimilation geschaffen.

Die Zersetzung der Nahrung in ihre chemisch einfacheren Bauteile geschieht durch Fermente, die meist von besonderen Verdauungsdrüsen ausgeschieden werden und in einem Verdauungssaft enthalten sind, mit dem die Nahrungsteile durchtränkt werden. **Versuch 13**

Selten erfolgt die **Verdauung außerhalb des Körpers.** Viele Spinnen spritzen ihrer Beute mit dem tötenden Gift auch Verdauungsfermente ein, die deren Körper auflösen. Anschließend saugt die Spinne den gelösten Nahrungsbrei auf. Viele Stachelhäuter (Seeigel, Seesterne) stülpen ihren Magen teilweise nach außen und überschütten ihre Beute (meist Muscheln, deren Schalen gewaltsam geöffnet wurden) mit Verdauungssaft. Später saugen sie die aufgelösten Teile des erbeuteten Tieres auf.

In ähnlicher Weise verdauen auch manche insektenfangende Pflanzen (z. B. der Sonnentau) ihre Beute (Abb. 91).

In der Regel wird die Nahrung in bestimmte Hohlräume des Körpers aufgenommen und dort verdaut.

Bei den Urtieren geschieht dies **innerhalb der Zellen** (intrazelluläre Verdauung). Das Protoplasma schließt die Nahrungsteilchen in besondere flüssigkeitsgefüllte Hohlräume, die Nahrungsvakuolen, ein (Abb. 70), auch die Verdauungsfermente werden in diese Vakuolen abgeschieden. Wenn die Nahrung in wasserlösliche Verbindungen aufgespalten ist, werden diese in das Plasma aufgenommen, die unzersetzbaren Reste werden ausgeschieden. In ähnlicher Weise verfahren viele Schwämme und Hohltiere.

Bei den meisten höherentwickelten Tieren und vielen insektenfangenden Pflanzen erfolgt die Verdauung zwar in einer Körperhöhle, aber außerhalb der Körperzellen (extrazelluläre Verdauung).

Bei den Kannenpflanzen und ihren Verwandten sind die Blattspreiten zu einem krugförmigen Becher umgebildet, auf dessen Grund zahlreiche Verdauungsdrüsen, die von der Blattoberhaut gebildet wurden, ihre Fermente in die wäßrige Flüssigkeit absondern, die die Kanne bis zur Hälfte ausfüllt. Fällt ein Insekt hinein, so wird es zersetzt, und die gelösten Stoffe werden von den Zellen der Kannenwand aufgenommen (Abb. 90).

Tiere haben für ihre Verdauung meist ein besonderes Darmsystem. Es beginnt mit einer Mundöffnung, durch die die Nahrung aufgenommen wird. Kleine Teilchen werden ganz verschluckt, größere Teile in der Regel zunächst mechanisch zerkleinert. Dazu dienen sehr verschieden gestaltete Einrichtungen, zum Beispiel die Mundwerkzeuge der Gliederfüßer, das Gebiß der Wirbeltiere, Reibzahnplatten bei Weichtieren. Nur in seltenen Fällen werden auch große Beutetiere ganz verschlungen, beispielsweise von Schlangen und manchen Vögeln. Vielfach wird die Nahrung durch zahnartige Gebilde in der Magenwand oder verschluckte Steinchen im Magen weiter zerkleinert (Vögel, Gliederfüßer).

Die Zerkleinerung ist jedoch nur die mechanische Vorarbeit für den eigentlichen Verdauungsprozeß. Durch sie wird die Gesamtoberfläche der Nahrungsteile stark vergrößert und die Voraussetzung für eine gute Wirksamkeit der Verdauungsfermente ge-

schaffen. Die Fermente werden von den Verdauungsdrüsen erzeugt und in den Darmkanal abgeschieden, so daß die Nahrung bei ihrer Wanderung durch das Darmsystem allmählich in ihre organischen Grundbausteine zerlegt wird, die dann von den Zellen der Darmwand aufgenommen werden. Die unverdaulichen Reste werden wieder aus dem Körper hinausbefördert. Die Verdauungsdrüsen sind bei niederen Tieren über die ganze Darmwand verteilt, bei den höher entwickelten Tieren hat sich die Drüsentätigkeit auf bestimmte Abschnitte konzentriert (z. B. Mund, Magen, Dünndarm), so daß besondere, hochleistungsfähige Drüsenorgane entstanden (Leber, Bauchspeicheldrüse).

Die Leistungsfähigkeit der Verdauungsdrüsen wird am besten genutzt, wenn sie gleichmäßig beansprucht werden. Der chemische Verdauungsprozeß sollte daher möglichst langsam, aber ohne Unterbrechung vor sich gehen. Nur wenige Tiergruppen leben jedoch im ständigen Nahrungsüberfluß, so daß sie ihrem Darm ununterbrochen kleine Portionen zuführen können, die fortlaufend verdaut werden. Die meisten Tiere finden nur in gewissen Zeitabständen Nahrung; sie fressen dann mehr, als ihr Darm sofort verdauen kann. Zur vorläufigen Aufbewahrung der überschüssigen Nahrung haben sich besondere Erweiterungen oder seitliche Ausbuchtungen im Darmkanal gebildet (z. B. Magen), in denen die Speisen vorübergehend abgelagert werden.

Einen besonders großen Magen haben die pflanzenfressenden Säuger, vor allem die wiederkäuenden Paarhufer, weil ihre Nahrung viel Zellulose enthält, die nur äußerst langsam abgebaut werden kann. Ein Rinderpansen beispielsweise faßt mehr als 100 Liter. Blutsaugende Parasiten, die nur selten Gelegenheit haben, einen Wirt anzufallen (Blutegel, Zecken, Wanzen usw.) besitzen ausgedehnte seitliche Darmausbuchtungen, in denen das aufgenommene Blut gespeichert und durch Zusatz gerinnungshemmender Stoffe frisch gehalten wird, so daß solche Schmarotzer oft von einer einzigen Nahrungsaufnahme monatelang bis jahrelang zehren können.

Bei der Mannigfaltigkeit der Tiergruppen und ihrer Ernährungsweise sind naturgemäß auch ihre Darmsysteme sehr unterschiedlich ausgebildet. Trotzdem verlaufen die chemischen Verdauungsvorgänge in den Hauptzügen einheitlich. Die Nahrung enthält neben Wasser, Salzen und Vitaminen vor allem hochmolekulare Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße. Diese müssen durch hydrolytische Spaltung zu wasserlöslichen Verbindungen (Glukose, Propantriol [Glyzerin], Monokarbonsäuren sowie Aminosäuren) abgebaut werden. Der Abbau erfolgt durch besondere Fermentgruppen: Eiweißspaltende Fermente heißen Proteasen, Kohlenhydrate werden hauptsächlich von Amylasen, Sacharasen und Maltasen gespalten; Lipasen sind fettspaltende Fermente.

Verdauungsvorgänge bei Säugetieren und Menschen

Versuch 14
Versuch 21

Mundhöhle. Die beim Kauen zerkleinerte Nahrung wird durch den Speichel aufgeweicht, der als wirksames Ferment die Mundspeichelamylase (Ptyalin) enthält. Sie spaltet die großen, schwerlöslichen Moleküle der Stärke (Polysacharid) in kleinere, leichter lösliche Malzzuckermoleküle (Maltose – Disacharid).

Da die Speise nur kurze Zeit im Mund verbleibt, kann dort nur ein Teil der Stärke in Malzzucker umgewandelt werden.

Magen. Die in der Magenwand liegenden Drüsen sondern (beim Menschen täglich etwa 2 bis 3 Liter) Magensaft ab. Er enthält freie Salzsäure und das eiweißspaltende Ferment Pepsin.

Die Salzsäure bringt die Eiweißstoffe zum Quellen, so daß sie leichter vom Pepsin angegriffen werden, und hemmt das Bakterienwachstum, tötet somit einen großen Teil

der mit der Nahrung verschluckten Bakterien ab. Die wichtigste Funktion der Salzsäure ist jedoch die Überführung des inaktiven Pepsins in seine wirksame Form.

Pepsin spaltet Eiweiß. Da das Pepsin in einer unwirksamen Vorstufe ausgeschieden wird, können die Magendrüsen, deren Zellen ja selbst aus Eiweiß bestehen, sich nicht selbst vernichten und auflösen. Das Ferment kann erst Eiweiß zersetzen, wenn es im Magensaft mit der Salzsäure zusammentrifft, die von anderen Drüsen der Magenwand erzeugt wurde. Das durch Salzsäure wirksam gemachte Pepsin spaltet einen großen Teil der in der Nahrung enthaltenen Eiweißstoffe in lösliche Verbindungen (Polypeptide).

Versuch 15

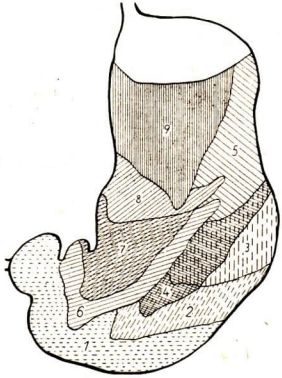


Abb. 86 Schichtenweise Einlagerung der Nahrung im Magen des Menschen.

Die Speisen werden im Magen nicht regellos durchmischt. Sie werden so geschichtet, daß die zuletzt ankommenden Teile in die Mitte des Magens kommen (Abb. 86). Dadurch kann die Salzsäure vor allem auf diejenigen Speisen einwirken, die schon länger im Magen liegen, und die Amylase des Mundspeichels, deren Wirkung von der Salzsäure zerstört wird, wirkt im Magen noch etwas länger nach.

Als Ergebnis der Verdauung im Magen entsteht ein dünnflüssiger, saurer Speisebrei, der in kleinen Portionen in den Dünndarm entlassen wird.

Dünndarm. In dem sauren Speisebrei, welcher aus dem Magen kommt, sind die Fette noch gar nicht, Kohlenhydrate und Eiweißstoffe zum Teil abgebaut. Im Zwölffingerdarm (Abb. 7 und 88) münden dicht nebeneinander die Ausführungsgänge der Bauchspeicheldrüse und der Gallenblase. Ihre Sekrete mischen sich mit dem von den Drüsen der Darmwand abgesonderten Darmsaft, der im Gegensatz zum Magensaft alkalisch ist und die Wirkung des Magensaftes allmählich aufhebt.

Der von der Bauchspeicheldrüse abgeschiedene Bauchspeichel (beim Menschen etwa 1,5 Liter je Tag) enthält in der Hauptsache vier Fermente:

Die **Bauchspeichelamylase** spaltet die noch nicht angegriffene Stärke zu Maltose (Malzzucker) auf; die **Maltase** spaltet je ein Molekül Malzzucker unter Wasseraufnahme in je zwei Moleküle Glukose (Traubenzucker); die **Bauchspeichellipase** zerlegt die Fette in Propantriol und Monokarbonsäuren (Fettsäuren); das **Trypsin**, ein Fermentgemisch, spaltet Eiweiß und wird, wie das Pepsin, in einer unwirksamen Vorstufe in der Bauchspeicheldrüse erzeugt. Im Darmsaft wird es durch ein von den Dünndarmzellen abgesondertes Ferment, die **Enterokinase**, zur Wirkung gebracht und spaltet Eiweiße (Polypeptide) in Peptide geringeren Polymerisationsgrades und Aminosäuren.

In der Leber wird Gallensaft erzeugt (beim Menschen etwa 1 Liter täglich). Bei den meisten Säugern wird er zunächst in der Gallenblase gespeichert, dort auf ein Zehntel seiner Menge eingedickt und später nach Bedarf durch den Gallengang in den Dünndarm entlassen. Die in der Galle enthaltenen Gallensäuren fördern die Fettverdauung. Sie zerteilen die wasserunlöslichen Fette in eine aus feinsten Tröpfchen bestehende **Versuch 16**

Emulsion. In diesem äußerst fein verteilten Zustand kann das Fett von den fettspaltenden Fermenten leicht angegriffen werden, zum Teil wird es sogar direkt durch die Darmwand in die Lymphe aufgenommen.

Die von der Leber und der Bauchspeicheldrüse abgeschiedenen Verdauungssäfte wirken noch über den Bereich des Zwölffingerdarmes hinaus, ihre Wirksamkeit läßt jedoch allmählich nach, und es kommen die Fermente der Dünndarmdrüsen zur Wirkung.

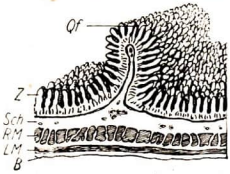
Die **Dünndarmdrüsen** sondern ebenfalls mehrere Fermente ab:

Das **Erepsin** ist eine Protease und spaltet niedermolekulare Eiweißstoffe (Tripeptide, Dipeptide) in Aminosäuren; eine **Lipase** unterstützt die Wirkung der Bauchspeichellipase und spaltet Fette in Propantriol und Monokarbonsäuren (Fettsäuren) auf; eine **Maltase** baut Maltose zu Glukose ab.

Sobald die Nahrungsstoffe im Dünndarm zu Glukose, Monokarbonsäuren und Propantriol sowie Aminosäuren aufgespalten sind, werden sie von den Zellen der Darmwand aufgesaugt, mit ihnen auch das meiste Wasser.

Dickdarm. Der in den Dickdarm gelangende Speisebrei enthält fast keine unmittelbar verdaulichen Stoffe mehr.

Der Dickdarm enthält große Mengen Bakterien. Sie zersetzen noch übrige Eiweißstoffe und Teile der Kohlenhydrate. Dabei wird auch ein Teil der Zellulose aus den pflanzlichen Zellwänden in einfachere Kohlenhydrate aufgespalten. Alle Kohlenhydratreste werden zu Wasser, Kohlendioxid und Methan abgebaut. Bei der Zersetzung der Eiweißstoffe entstehen übelriechende Gase und andere Abbauprodukte. Sie gelangen teilweise durch die Darmwand in das Blut und werden in der Leber unschädlich gemacht. Der Rest der Gärungs- und Fäulnisprodukte wird mit dem Kot aus dem Körper abgegeben. Die festen Bestandteile des Kotes enthalten noch sehr viele Bakterien, abgestorbene Darmwandzellen sowie unverdauliche Speisereste. Dazu gehören auch die sogenannten Füllstoffe, vor allem Zellulose. Sie dienen nicht unmittelbar zur Ernährung, füllen aber den Verdauungskanal und regen seine Tätigkeit an.



Die Abbildung 88 gibt eine Übersicht über die Leistung der Fermente in der Stufenfolge der Verdauungsvorgänge.

Aufnahme der Nährstoffe in den Körper

Die verdauten, also in organische Grundbausteine zerlegten und damit wasserlöslichen Nährstoffe werden durch die Wand des Dünndarms aufgenommen (resorbiert). Die innere Oberfläche des Darmkanals ist durch Bildung zahlreicher Darmzotten so ver-

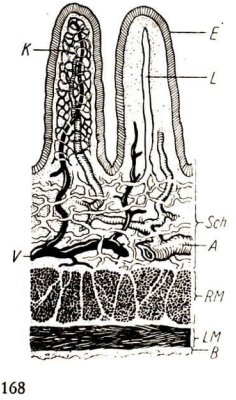
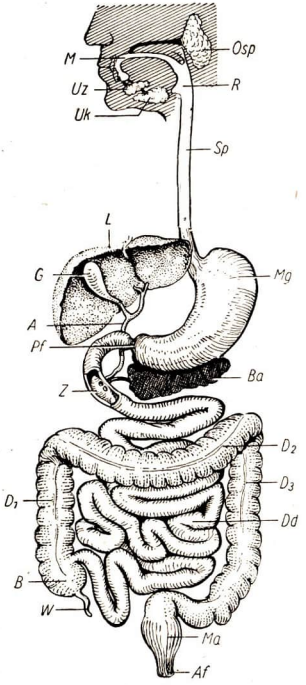


Abb. 87 Dünndarm des Menschen. Oben: Dünndarmfalte; unten: Dünndarmzotten (links: Blutgefäße; rechts. Lymphgefäße).
A Arterie, B Bauchfell, E Dünndarmepithel, K Kapillargefäße, L Lymphgefäß, LM Längsmuskulatur, RM Ringmuskulatur, Qf Querfalte, Sch Schleimhaut, V Vene, Z Zotten.



Verdauungssaft	reagiert	enthält	ändert bzw. zerlegt	in
Mundspeichel	schwach sauer bis schwach alkalisch	Ptyalin	Stärke	Malzzucker
Magensaft	stark sauer	Pepsin (beim Säugling Lab)	Eiweiß Milch	Polypeptide (Kasein)
Galle	schwach alkalisch	Gallensäuren	Fett	Fettemulsion
Bauchspeichel	alkalisch	Amylase	Stärke	Malzzucker
		Maltase	Malzzucker	Traubenzucker
		Trypsin	Eiweiß und Polypeptide	Polypeptide und Dipeptide
		Lipase	Fett	Propantriol und Fettsäuren
Darmsaft	alkalisch	Disacharasen, Erepsin	Disacharide Poly- und Dipeptide	Monosacharide Aminosäuren
		Lipase	Fett	Propantiol und Fettsäuren

Abb. 88 Verdauungsorgane des Menschen und die darin ablaufenden Verdauungsprozesse
A Gallengang, Af After, B Blinddarm, Ba Bauchspeicheldrüse, D_1 aufsteigender, D_2 quer verlaufender, D_3 absteigender Teil des Dickdarmes, Dd Dünndarm, G Gallenblase, L Leber, M Mundhöhle, Ma Mastdarm, Mg Magen, Osp Ohrspeicheldrüse, Pf Pförtner, R Rachenhöhle, Sp Speiseröhre, Uk Unterkieferspeicheldrüse, UZ Unterzungenspeicheldrüse, W Wurmfortsatz Z Zwölffingerdarm

größert, daß sie für diese Aufgabe besonders geeignet ist (Abb. 87). Die Nährstoffe diffundieren durch die Darmwand hindurch, sie werden von den Zellen der Darmzotten aufgesaugt und in die Kreislaufbahn weitergeleitet.

Glukose und Aminosäuren gelangen direkt in die Blutgefäße. Monokarbonsäuren und Propantriol werden in den Zellen der Darmwand sofort wieder zu Fetten zusammengesetzt und gelangen in dieser Form als Emulsion in die Lymphgefäße der Darmzotten. Die durch das fein verteilte Fett milchig erscheinende Lymphe heißt Chylus und wird durch die Chylusgefäße im Gekröse über den Darmlymphgefäßstamm und den Milchbrustgang in den Blutkreislauf geleitet (Abb. 24 und 87). Die im Wasser direkt löslichen Stoffe (Salze, Vitamine usw.) werden von den Darmzotten aufgenommen und in die Blutgefäße befördert.

Steuerung der Verdauungstätigkeit

Die Verdauungsorgane (Abb. 88) sind in ihrer Wirkung aufeinander abgestimmt. Diese Abstimmung erfolgt durch das Nervensystem und durch Hormone.

Die Nahrung reizt je nach ihrer Beschaffenheit Geschmacks- und Geruchssinnesorgane in der Mund- und Nasenhöhle und löst verschiedene Reaktionen der Speicheldrüsen aus. Trockene Nahrung fördert die Abscheidung eines dickflüssigen Verdauungsspeichels, der die Speisen gleitfähig macht. Salzige oder saure Speisen werden durch einen wäßrigen Spülspeichel verdünnt. Milch regt die Bildung eines fadenziehenden, schleimigen Speichels an. Die Absonderung der entsprechenden Speichelform kann auch durch bedingte Reflexe bereits beim Anblick oder durch die Erinnerung an bestimmte Speisen hervorgerufen werden (Zitrone). Reflexe des Nervensystems leiten auch die Absonderung von Magensaft ein.

Die Abgabe des Speisebreis in kleinen Portionen aus dem Magen in den Zwölffingerdarm ist die Folge von zeitweiligen Druckerhöhungen im Magen gegenüber dem Darm. Diese entstehen durch die Peristaltik und Zunahme der Wandspannung des verdauenden Magens. Dadurch wird der angesäuerte Brei in den Darm gepreßt. Mechanische und chemische Reizung der Magenwände durch die Speisen bewirken nun vorübergehend eine Senkung der Bewegungen und der Wandspannung. Der Pförtner schließt sich. Nachdem der Speisebrei im Darm weitergewandert ist, läßt die Hemmung der Magentätigkeit nach, und der Magendruck steigt wieder an. Dadurch kann ein zweiter Schub in den Darm eintreten.

Die Hemmung der Magentätigkeit geschieht teilweise nervös, hauptsächlich aber durch ein Hormon, das im Zwölffingerdarm gebildet und über den Blutweg in den Magen geleitet wird (Enterogastron). Die Menge des abgegebenen Hormons hängt von der Art des Nahrungsstoffes ab. Kohlenhydrate setzen nur wenig Enterogastron frei und verbleiben daher auch nur kurze Zeit im Magen.

Die aus dem Magen in den Darm gelangende Säure veranlaßt die Bauchspeicheldrüse zur Absonderung von Bauchspeichel. Unter der Säurewirkung wird in der Darmschleimhaut ein Hormon gebildet, das über die Blutbahn die Bauchspeicheldrüse erreicht und hier die Absonderung von Bauchspeichel anregt.

Dieses Zusammenspiel ist das Ergebnis einer viele Jahrmillionen langen Entwicklung, in der eine Anpassung an die Lebensbedingungen erfolgte.

Zwischenstoffwechsel

Als Zwischenstoffwechsel bezeichnet man den Einbau der resorbierten Nährstoffe in die Zellen des Körpers und ihren Abbau unter Energiegewinnung. Der Zwischenstoffwechsel läuft also zwischen der Resorption der Nährstoffe und der Ausscheidung ihrer Abbauprodukte ab. Die Energiegewinnung beim Zwischenstoffwechsel erfolgt durch **biologische Oxydationen.** Bei biologischen Oxydationen werden Stoffe oxydiert, die unter gewöhnlichen Bedingungen nicht angegriffen werden. Hierzu sind besondere Katalysatoren, die Zellfermente, nötig. Bei der biologischen Oxydation wird zunächst dem Substrat Wasserstoff entzogen. Der Entzug des Wasserstoffs und seine Überführung in eine aktive atomare Form erfolgen durch die **wasserstoffübertragenden**

Fermente der Zelle. **Sauerstoffübertragende Fermente** vermögen den mit dem Blute zugeführten molekularen Sauerstoff in eine aktive atomare Form zu überführen. Der aktivierte Sauerstoff reagiert also niemals unmittelbar mit dem Substrat, sondern immer mit dem aktivierten Wasserstoff des Substrates und bildet mit ihm zusammen Wasser. Dieser Vorgang ist der eigentliche energieliefernde Vorgang bei der biologischen Oxydation. Von allen Formen der biologischen Oxydation hat die Atmung (s. S. 175) die größte Bedeutung.

Kohlenhydratumsatz. Der größte Teil der aufgenommenen Glukose wird in der Leber und in der Muskulatur in unlösliches Glykogen übergeführt und dort gespeichert. Im Blute verbleiben nur etwa 100 bis 110 mg in je 100 ml Blut. Diesen Gehalt des Blutes an Glukose nennt man **Blutzuckerspiegel.** Der größte Teil der Kohlenhydrate wird im Zwischenstoffwechsel der Muskelzellen unter Freisetzung von Energie oxydiert. Die Endprodukte Kohlendioxid und Wasser werden durch das Blut abtransportiert. Bei reichlicher Nahrungszufuhr an Kohlenhydraten steigt der Blutzuckerspiegel, bei Muskelarbeit sinkt er.

Hormone regeln den Blutzuckerspiegel. Das **Insulin**, welches aus den Inselzellen der Bauchspeicheldrüse stammt, veranlaßt ein Absinken des Blutzuckerspiegels; es fördert den Aufbau von Glykogen aus Blutzucker in den Leberzellen. Insulinmangel führt zur Zuckerkrankheit (Diabetes). **Adrenalin** dagegen, das Hormon des Nebennierenmarks, fördert die Aufspaltung des Glykogens zu Glukose. Es hebt also den Blutzuckerspiegel. Die Glukose wird außer in den Muskeln auch in anderen Organen als Energiequelle verwertet. Im ganzen Körper sind etwa 300 g Glykogen als Betriebsstoffreserve gespeichert.

Fettumsatz. Das Fett mit seinem hohen Energiegehalt dient ebenso wie Glukose als Energiequelle. Bei seinem Abbau durch Oxydation werden große Mengen an Energie frei. Zunächst wird das Fett in Propantriol und Monokarbonsäuren gespalten, dann werden diese zu Wasser und Kohlendioxid oxydiert. Außer als Energiespender spielt das Fett eine Rolle bei der Aufspeicherung der Energie (Speicherfett), als Kälteschutz und als Polster.

Eiweißumsatz. Die im Blute kreisenden Aminosäuren liefern das Baumaterial für den Baustoffwechsel. Aminosäuren können nicht gespeichert werden. Ihr Abbau erfolgt hauptsächlich in der Leber. Dabei entstehen Ammoniak und stickstofffreie Verbindungen, die durch biologische Oxydation weiter abgebaut werden. Das Ammoniak, ein für die Zellen giftiger Stoff, verbindet sich in der Leber sofort mit Kohlendioxid zu dem ungiftigen **Harnstoff,** der durch die Nieren ausgeschieden wird.

Wasser und Salze. Wasser und Salze werden im Verdauungsvorgang nicht verändert. Ein Teil von ihnen wird im Darm resorbiert. Unsere Körpergewebe, mit Ausnahme von Skelett und Zähnen, enthalten durchschnittlich über 50% Wasser. Besonders viel Wasser befindet sich in Blut und Lymphe. Der Anteil des Wassers am Körpergewicht eines Menschen beträgt rund 60%. Beim Jugendlichen liegt der Prozentsatz noch etwas höher. Täglich werden durchschnittlich 2 bis 3 Liter Wasser im Harn, mit der Atemluft, durch die Haut und im Kot ausgeschieden, bei starken Anstrengungen und erhöhter Schweißabsonderung entsprechend mehr. Einen geringen Teil des dadurch entstehenden Wasserbedarfs deckt der Organismus durch das Wasser aus den biologischen Oxydationen. Etwa 2,5 Liter werden täglich in Getränken und Speisen aufgenommen.

Die Salze (Mineralstoffe) halten in den Körperflüssigkeiten und in den Geweben den **osmotischen Druck** und das Mengenverhältnis der H- und OH-Ionen zueinander konstant. Sie regulieren die Erregbarkeit und den Quellungszustand des Protoplasmas. Außerdem sind sie am Aufbau lebenswichtiger Stoffe, zum Beispiel des Hämoglobins und des Schilddrüsenhormons, sowie der Knochengewebe und der Bildung der Drüsen-

sekrete beteiligt. Die physiologisch wichtigsten Salze sind Verbindungen der Elemente Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Kupfer, Eisen, Phosphor, Schwefel, Chlor, Fluor und Jod. In gemischter Kost sind die Mineralstoffe meist in ausreichender Menge enthalten. Zusätzlich muß dem Körper nur das Kochsalz in einer Menge von 5 bis 10 g täglich zugeführt werden (Gesamtbedarf 10 bis 15 g täglich).

Aufgaben und Fragen

1. Welche Funktion hat die mechanische Zerkleinerung der Nahrung für die Verdauung bei Tieren? Welche Methoden der mechanischen Nahrungszerkleinerung sind bei Tieren ausgebildet?
2. Erklären Sie den Verdauungsvorgang der Kohlenhydrate bei Säugetieren!
3. Erklären Sie die Vorgänge der Eiweißverdauung bei Säugetieren!
4. Erklären Sie die Vorgänge der Fettverdauung bei Säugetieren!

Heterotrophe Ernährung bei Pflanzen

Unter den niederen Organismen finden wir zwei große systematische Gruppen, welche sich fast ausschließlich auf heterotrophe Weise ernähren: die Bakterien und die Pilze. Je nachdem, ob sie ihre Nährstoffe aus toten oder lebenden Organismen gewinnen, unterscheidet man zwischen **Fäulnisbewohnern** (Saprophyten) und **Schmarotzern** (Parasiten). Saprophytische und parasitische Ernährungsweisen sind jedoch nicht auf die genannten Sippen beschränkt. Wir finden sie auch bei vielen Vertretern der Algen und Sproßpflanzen. Manche einzellige Algen sind sowohl zu autotropher als auch zu heterotropher Ernährung fähig, zum Beispiel *Chlorella* und *Scenedesmus*.

Innerhalb der autotrophen Pflanzen können sich nicht alle Zellen autotroph ernähren. Alle chlorophyllfreien Zellen müssen von den grünen Zellen mit organisch gebundenem Kohlenstoff versorgt werden.

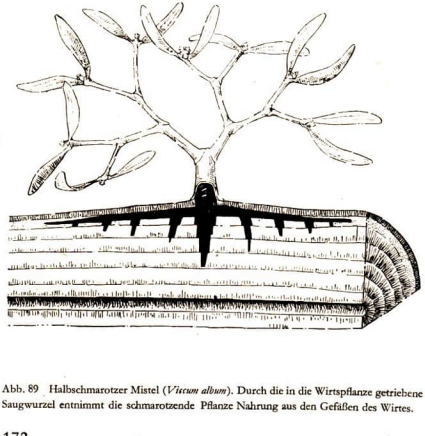


Abb. 89 Halbschmarotzer Mistel (*Viscum album*). Durch die in die Wirtspflanze getriebene Saugwurzel entnimmt die schmarotzende Pflanze Nahrung aus den Gefäßen des Wirtes.

Abb. 90 Kannenpflanze (*Nepenthes* spec.) an der Seite geöffnet gezeichnet. k Kanne, in welcher die Insekten gefangen und mit Hilfe der von Drüsen abgeschiedenen Flüssigkeit (F) verdaut werden.

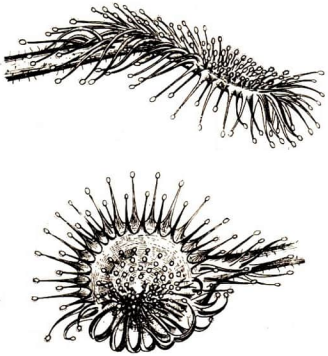


Abb. 91 Insektenfressende Pflanze: Sonnentau (*Drosera* spec.). Oben: Blatt von der Seite gesehen mit ausgebreiteten Tentakeln; unten: Blatt von oben gesehen mit gekrümmten Tentakeln.

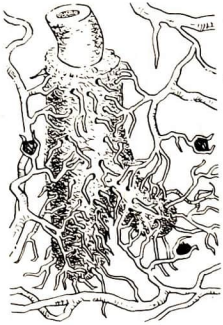


Abb. 92 Pilzfäden an der Wurzel einer Rotbuche (*Mykorrhiza*).

Der heterotrophe Stoffwechsel der Bakterien und Pilze bildet die Grundlage für den ständigen Kreislauf der Stoffe in der Natur. Sie werden durch die Mineralisierung aller toten organischen Bestandteile des Bodens wieder in anorganische Formen überführt. So stehen sie erneut zur Assimilation durch die autotrophen Lebewesen zur Verfügung.

Für den Menschen sind die heterotrophen Bakterien und Pilze als Krankheitserreger oder zur Produktion von Naturstoffen, welche häufig als Heilmittel dienen (z. B. Penicillin), von großer Bedeutung. Auf der Stoffwechseltätigkeit der heterotrophen Pilze und Bakterien bauen manche Gewerbe auf: Bäckereigewerbe, Gärungsgewerbe u. a.

Unter den heterotrophen höheren Pflanzen können wir Voll- und Halbschmarotzer unterscheiden. Vollschmarotzer besitzen kein Chlorophyll. Sie sehen daher oft gelb oder gelblich-weiß aus (z. B. Schuppenwurz, Haselwurz, Korallenwurz). – Die Halbschmarotzer besitzen Chlorophyll. Sie sind zur Assimilation des Kohlenstoffs fähig. Daher können wir sie als kohlenstoff-autotroph bezeichnen. Dagegen müssen sie ihren Stickstoff meist in organisch gebundener Form aufnehmen. Sie sind stickstoff-heterotroph. Die bekanntesten Halbschmarotzer sind die Mistel und die Sonnentaugewächse (Abb. 89 u. 91). Während die Mistel auf Bäumen wächst und der Wirtspflanze Nährstoffe und Wasser entzieht, ergänzen die Sonnentauarten, welche in Hochmooren anzutreffen sind, ihre Stickstoffernährung dadurch, daß sie auf ihren besonders gestalteten Blättern kleine Insekten fangen, die nach Außenverdauung als organische Stickstoffquelle dienen. Daher können Sonnentaugewächse auf den stickstoffarmen Böden der Hochmoore leben. Neben den Sonnentaugewächsen gibt es andere Insektivoren (insektenfangende Pflanzen), zum Beispiel Fettkraut, Venusfliegenfalle oder Kannenpflanze (Abb. 90). Auch sie wachsen stets auf Substraten, welche arm an anorganischem Stickstoff sind. Eine besondere Form des Parasitismus stellt die **Symbiose** dar. Sie hat sich wahrscheinlich aus dem gegenseitigen Parasitismus zweier Lebewesen entwickelt. Diese existieren jetzt in einem Gleichgewichtszustand des gegenseitigen Parasitismus. Bekannte Beispiele für die sym-

biontische Lebensweise sind die Flechten, die Wurzelknöllchen bei den Leguminosen und die Pilzgeflechte an den Wurzeln vieler Bäume (Mykorrhiza, Abb. 92).

Die Flechten stellen eine Organismengruppe dar, welche aus der Symbiose zwischen Algen und Pilzen entstanden ist. Die einzelligen Algen darin können sich nicht mehr selbständig fortpflanzen. Sie leisten den photosynthetischen Anteil am Stoffwechsel der Flechten.

Die Bildung der Wurzelknöllchen bei den Schmetterlingsblütengewächsen beginnt mit einer Infektion der Wurzelrinde durch die stickstoffbindenden Bakterien. Zu diesem Zeitpunkt kann man das Verhältnis zwischen den Bakterien und der höheren Pflanze ohne weiteres noch als Parasitismus von seiten der Bakterien ansprechen. Erst nachdem die Wurzeln durch die Bildung der knöllchenartigen Wucherungen in der Rinde auf die Infektion reagiert haben, beginnt ein Parasitismus der höheren Pflanze gegenüber den Bakterien. Ein Teil davon wird unter Nutzung des gebundenen Stickstoffs von den Wurzelzellen „verdaut". Der größere Teil der Bakterien, welche sich in den Zellen der Wurzelrinde rasch vermehrt hatten, gelangt jedoch nach dem Absterben der höheren Pflanzen wieder in den Boden. Darauf beruht die Stickstoffdüngung von Böden durch grüne Leguminosenpflanzen oder durch Unterpflügen der Wurzeln von Leguminosen, deren oberirdische Organe abgeerntet wurden.

Ob es sich bei den Pilzgeflechten der Wurzeln höherer Pflanzen tatsächlich um Symbiose handelt, ist nicht sicher, da bisher unklar blieb, inwiefern der Pilz stoffwechselmäßigen Nutzen aus der Gemeinschaft zieht. In vielen Fällen überzieht das Pilzgeflecht die Wurzeln äußerlich, in anderen Fällen dringt der Pilz auch in die Wurzelrinde ein, so daß Pilzhyphen und Wurzelzellen miteinander verflochten werden. Besonders häufig finden wir derartige Mykorrhizen bei unseren Nadelbäumen. Der Pilz liefert den Wurzelzellen, welche keine Wurzelhaare mehr ausbilden, Wasser und Nährstoffe. Viele Bäume besitzen obligatorisch eine Mykorrhiza.

Fragen

1. Worin besteht der Unterschied zwischen saprophytischer und parasitischer heterotropher Ernährung bei Pflanzen?
2. Welche Beziehungen bestehen zwischen Parasitismus und Symbiose?

Der Betriebsstoffwechsel

Die besondere Funktion des Betriebsstoffwechsels

Im Baustoffwechsel werden die Stoffe erzeugt, mit deren Hilfe jedes Lebewesen wächst, sich vermehrt und die bei den Lebensvorgängen abgenutzten Teile ersetzt. Das erfordert aber ständige Neuproduktion von lebender Substanz, und keine Produktionsleistung erfolgt ohne Energieaufwand. Energie wird auch für die Bewegung der Organismen verbraucht. Zudem besitzt die lebende Materie, das Protoplasma mit seinen hochmolekularen Eiweißstoffen, keinen festgefügten, starren Bau, sondern ist ein äußerst kompliziertes und labiles Gebilde, dessen Teile sich in ständiger Bewegung, in dauerndem chemischem Umbau und Abbau befinden. Nur durch ständige Energiezufuhr können diese abbauenden Prozesse ausgeglichen, kann das Gefüge des Protoplasmas aufrecht erhalten werden.

Der Energiebedarf der Lebewesen wird im großen ganzen durch die unerschöpfliche Zufuhr von Sonnenenergie gedeckt, die von den grünen Pflanzen nutzbar gemacht wird. Die Sonnenenergie findet bei der Wasserspaltung im Verlauf der Photosynthese

(s. S. 161) Eingang in die Pflanzen. Die Strahlungsenergie wird dabei in chemische Energie umgeformt. Die damit aufgebauten chemischen Verbindungen stellen die Energiequelle für alle übrigen Lebensvorgänge dar.

Nur grüne Pflanzenorgane sind zu dieser energiespeichernden Leistung fähig. Alle anderen Teile der Pflanzen werden von Blättern und Stengelteilen mit versorgt. Darüber hinaus wird Energie gespeichert, welche dazu dient, ungünstige Vegetationsperioden (Kältezeiten im Winter, Trockenperioden) zu überdauern.

Diese Energie wird in Form von Eiweißen, Fetten und Kohlenhydraten gespeichert. Es ist verständlich, daß Speicherstoffe gerade in solchen Organen angehäuft werden, welche zur Überdauerung und Ausbreitung der Pflanzen dienen: Samen und Früchte, Knollen, Rüben und Zwiebeln. Für die menschliche Ernährung werden daher gerade diese Pflanzenorgane gewonnen.

In allen heterotrophen Pflanzenteilen und Organismen muß eine dauernde und regelbare Energiezufuhr für die Erhaltungs- und Aufbauvorgänge stattfinden. Die Energie wird durch Abbau und Oxydation der Stoffe geliefert, die in der Photosynthese erzeugt wurden und direkt oder nach vorheriger zeitweiliger Speicherung für die Energieproduktion zur Verfügung stehen. Diese Vorgänge spielen sich in allen Lebewesen in grundsätzlich gleicher Weise ab, unabhängig davon, ob sie sich heterotroph oder autotroph ernähren.

Die Energiegewinnung durch Oxydation der Betriebsstoffe erfolgt durch **Atmung** oder **Gärung.**

Die Lebensvorgänge erfordern eine ständige hohe Zufuhr an Energie.
Die Gesamtheit aller chemischen Prozesse, die zur Energieversorgung der Lebewesen dienen, nennt man Betriebsstoffwechsel oder Leistungsstoffwechsel. Der chemische Abbau der Betriebsstoffe heißt Dissimilation.

Die Atmung

Die Atmung ist die wichtigste und weitaus häufigste Form der Energiegewinnung der Lebewesen.

Bei der Atmung werden Kohlenstoffverbindungen unter Zufuhr von Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Diese „biologische Oxydation" ist dadurch gekennzeichnet, daß nur eine geringe Wärmemenge entwickelt wird. Der größere Teil der freiwerdenden Energie geht nicht als Wärme verloren, sondern wird als chemische Energie für die Lebensprozesse genutzt.

Der Austausch der Atemgase bei Tieren und Pflanzen

Die meisten Lebewesen nehmen den für die Atmung benötigten Sauerstoff aus ihrer Umgebung auf und geben das entstehende Kohlendioxid ab; es erfolgt ein Gasaustausch in umgekehrter Richtung wie bei der Photosynthese der grünen Pflanzen. **Versuch 17**

Im einfachsten Fall gelangt der Sauerstoff direkt durch die Außenfläche in den Körper, auf dem gleichen Weg tritt das Kohlendioxid aus. Da Gase nur in gelöstem Zustand im Stoffwechsel wirksam werden, ist für einen solchen einfachen Gasaustausch immer eine feuchte, sehr dünne Zell- oder Körperhaut erforderlich. Protisten, Wasserpflanzen, niedere Wassertiere und Regenwürmer nehmen den Sauerstoff mit der gesamten Oberfläche ihres Körpers auf. Bei Organismen mit luftundurchlässiger Oberfläche finden wir besondere Einrichtungen für den Gasaustausch.

Bei den Landpflanzen erfolgt der Gasaustausch durch die Spaltöffnungen.

Bei den höheren Tieren haben sich komplizierte Atmungsorgane gebildet: Tracheen, Kiemen und Lungen.

Die Atmungsorgane sind bei den zahlreichen Tiergruppen sehr unterschiedlich gebaut, stellen aber grundsätzlich nichts anderes dar als Körperteile mit einer äußerst zarten, feuchten Oberhaut, durch die der Sauerstoff aufgenommen und das Kohlendioxid abgeschieden werden kann.

Diese Teile sind meist sehr stark gefaltet oder zerteilt, so daß eine große Oberfläche für den Durchtritt der Gase vorhanden ist. Bei vielen Wassertieren liegen die Atmungsorgane als Kiemen außen am Körper, bei Landtieren sind sie als Tracheen oder Lungen in Körperhöhlen untergebracht (Schutz vor Austrocknung, S. 151).

Die Atmungsorgane erzeugen nicht die Energie für den Körper, sie nehmen nur den Sauerstoff auf und geben das Kohlendioxid ab, wobei dieser Gasaustausch oft durch Pumpbewegungen der angrenzenden Muskulatur gefördert wird.

Die eigentlichen energieliefernden Atmungsvorgänge, die Oxydationen von Kohlenstoffverbindungen, erfolgen selbständig in jeder einzelnen lebenden Zelle des Körpers. Für die rasche Beförderung der Atmungsgase zwischen den Atmungsorganen und den Körperzellen sorgt bei den Tieren das Kreislaufsystem. Bei den Pflanzen dienen dazu die Interzellularen.

Moderne Methoden zur Messung des Gaswechsels bei der Atmung

Zur Messung des Sauerstoffverbrauches bei der Atmung von Geweben und Mikroorganismen bedient man sich heute vorzugsweise der von WARBURG in ihrer heutigen Form entwickelten manometrischen Methode. Sie beruht auf Überlegungen, welche von der Gaszustandsgleichung ausgehen. Werden Volumen und Temperatur in einem gashaltigen Gefäß konstant gehalten, dann kann man Änderungen des Partialdruckes eines verbrauchten oder entwickelten Gases mit einem Manometer messen, welches an das Gefäß gasdicht angeschlossen werden muß. Bei Atmungsmessungen besitzt das Gefäß einen kleinen zentralen Einsatz, der mit konzentrierter Kalilauge gefüllt werden muß, damit das entwickelte Kohlendioxid abgefangen wird. So lassen sich die Änderungen in den Manometerwerten allein auf Sauerstoffverbrauch zurückführen. Die Gefäße tauchen in ein Wasserbad und werden darin geschüttelt, damit ein ungehinderter Gasaustausch zwischen der Flüssigkeit, welche als Medium für das betreffende Untersuchungsobjekt dient, und dem darüber stehenden Gas zustande kommt. Der Sauerstoffverbrauch wird dann mit einer Formel, welche aus der Gaszustandsgleichung abgeleitet wurde, aus den Manometerdifferenzen berechnet.

Chemische Vorgänge bei der Atmung

Als Ausgangsmaterial für die Energiegewinnung dienen in der Regel Hexosen. Der Gesamtvorgang der Atmung läßt sich in folgender Gleichung ausdrücken:

$$\underset{\text{Hexose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Sauerstoff}}{6\,O_2} + \underset{\text{Wasser}}{6\,H_2O} \rightarrow \underset{\text{Kohlendioxid}}{6\,CO_2} + \underset{\text{Wasser}}{12\,H_2O} + \underset{\text{Energie}}{675\text{ kcal}}$$

Diese Gleichung enthält nur die Anfangs- und Endprodukte des Atmungsvorganges und sagt nichts über die Zwischenstufen aus. Sie kann dadurch zu der Annahme verleiten, die Atmung sei einfach eine Umkehrung der Photosynthese; das trifft jedoch nicht zu. Die biologische Oxydation von Hexosen in der lebenden Zelle besteht ebenfalls aus einer Kette zahlreicher fermentativ gesteuerter Prozesse, von denen aber nur ein Teil in umgekehrter Richtung wie bei der Photosynthese abläuft.

Das Prinzip der Oxydationsvorgänge besteht darin, das Hexosemolekül (Glukose oder Fruktose) in eine Form zu überführen, die es gestattet, die einzelnen C-Atome nacheinander in Karboxylgruppen (—COOH) zu überführen. Es ist verständlich, daß dann die Kohlendioxidabspaltung erfolgen kann. Da die Karboxylgruppe die charakteristische Gruppe der organischen Säuren ist, verstehen wir nun auch, warum am Atmungsstoffwechsel so viele Karbonsäuren beteiligt sind. Die Kohlenstoffatome werden durch Wasserstoffabspaltungen und Umlagerungen des Sauerstoffs innerhalb der Moleküle in den Oxydationszustand des CO_2 überführt. Der gebildete Wasserstoff wird dann mit dem Luftsauerstoff in der sogenannten Endoxydation (s. u.) zu Wasser oxydiert. Alle diese Vorgänge werden in einer Vielzahl geregelt aufeinander folgender chemischer Teilreaktionen der Atmung ausgeführt. Jede Teilreaktion stellt dabei einen Schritt auf dem Wege zum Ziel der vollständigen Oxydation des Zuckermoleküls dar und vollzieht eine kleine Veränderung am Substrat.

Hier soll nur auf einige wichtige Teilschritte hingewiesen werden, deren Darstellung jedoch stark vereinfacht geschieht:

In einer ersten Reihe von Reaktionen wird das Zuckermolekül zerlegt und in eine für die CO_2-Abspaltung geeignete Form überführt. Danach wird dieser erste Abschnitt der Atmung **Glykolyse** genannt [glycos = (süß) Zucker, lysein = lösen, griech.]. Die wichtigsten Vorgänge bei der Glykolyse sind: 1. Zerlegung des Zuckermoleküls mit 6 C-Atomen in zwei Hälften von je 3 C-Atomen (2,3-Dioxypropanal = Glyzerinaldehyd, s. Photosynthese S. 161/62). 2. Einziger Oxydationsschritt der Glykolyse: Oxydation der zwei Moleküle des Alkanals (Aldehyds) zur entsprechenden Karbonsäure (2,3-Dioxypropansäure = Glyzerinsäure, s. Photosynthese S. 161/62). Dieser Schritt ist eine Umkehrung der Reduktion bei der Photosynthese. 3. Umwandlung der beiden Karbonsäuremoleküle in die erste Verbindung, aus der Kohlendioxid abgespalten werden kann (2-Oxopropansäure = Brenztraubensäure). Die Reaktionen der Glykolyse sind in der oberen Hälfte des Schemas in Abbildung 93 dargestellt.

Nun wird aus den beiden im Ergebnis der Glykolyse entstandenen Molekülen 2-Oxopropansäure (3 C-Atome je Molekül) CO_2 abgespalten. Es entstehen dadurch zwei Verbindungen mit je 2 C-Atomen. Damit geht die Glykolyse in eine zweite Reaktionsfolge über, in welcher auch die beiden Substanzen mit je 2 C-Atomen noch restlos zu CO_2 oxydiert werden. Dieser Teil wird als **Säurezyklus** bezeichnet. Seine wichtigsten Vorgänge sind: 1. Verknüpfung der 2-C-Verbindung, welche aus der Glykolyse hervorging, mit einer Dikarbonsäure von 4 C-Atomen (vgl. Abb. 93). Es entsteht eine Substanz von 2C + 4C = 6-CAtomen, die 3-Oxy-3-karboxypentandisäure (Zitronensäure). 2. Aus ihr wird in einer Reihe von Teilreaktionen zweimal CO_2 abgespalten. Es entsteht also wieder ein Stoff mit 4 C-Atomen. 3. Dieser wird in jene Verbindung zurückverwandelt, welche die C_2-Verbindung aus der Glykolyse aufnimmt. Damit beginnt der Kreisprozeß von neuem (Abb. 93).

Im Verlauf der Glykolyse und des Säurekreislaufes werden mehrfach zwei Wasserstoffatome abgespalten, welche mit Luftsauerstoff oxydiert das Wasser bei der Atmung ergeben. Hierbei wird die Hauptmenge der Energie gewonnen.

Biologische Oxydation des Wasserstoffs. Der Wasserstoff verbindet sich nicht unmittelbar mit dem Sauerstoff. Das gäbe eine sehr heftige und plötzliche Verbrennung mit starker Wärmeentwicklung (Knallgasreaktion), die die Zelle vernichten würde. Auch hier läuft eine Reihe komplizierter Prozesse ab, wobei die Energie stufenweise freigesetzt und für chemische Vorgänge verfügbar wird. Diesen Prozeß nennt man **Endoxydation.**

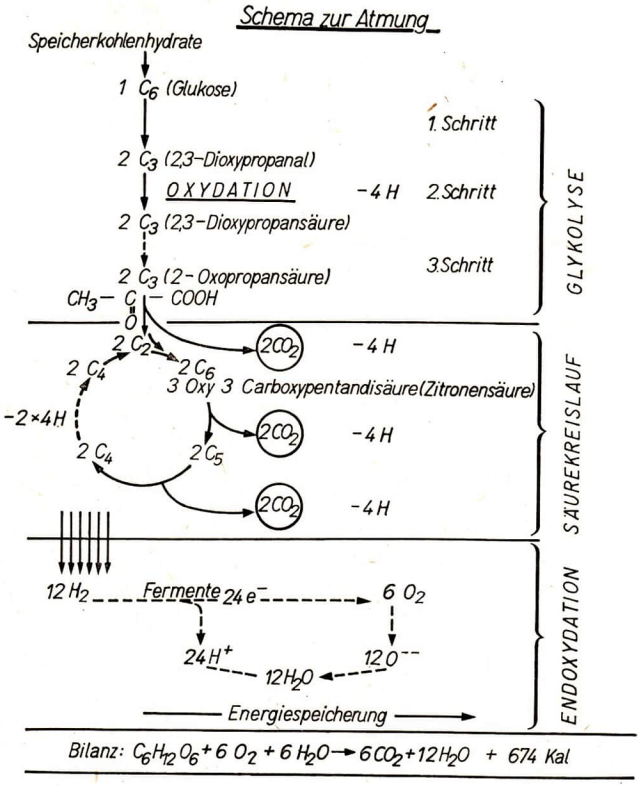


Abb. 93 Schematische Übersicht über die wichtigsten biochemischen Vorgänge bei der Atmung (stark vereinfacht)

Die Wasserstoffatome durchlaufen zunächst eine Reihe wasserstoffübertragender Fermente, dabei werden ihnen die Elektronen entzogen, so daß Wasserstoffionen entstehen. Die Elektronen werden über eine Reihe eisenhaltiger Fermente auf den Sauerstoff übertragen. Erst die Sauerstoffionen reagieren unter Mitwirkung weiterer Fermente mit den Wasserstoffionen zu Wasser (Abb. 93).

Fragen

1. Welches ist die wichtigste Teilreaktion der Glykolyse?
2. Auf welche Weise werden die organischen Verbindungen in der Atmung oxydiert?
3. In welchem Vorgang wird der Luftsauerstoff verbraucht?
4. In welchem Teilprozeß der Atmung wird der Hauptteil der Energie des Oxydationsvorganges freigesetzt?

Bedeutung der Atmung

Die Atmung stellt einen grundlegenden Lebensprozeß dar und ist auf das engste mit allen Lebensregungen im Organismus verbunden. Jede gesteigerte Lebenstätigkeit ist stets mit einer erhöhten Atmung verbunden. Beginnende Keimung, Wachstum, Muskeltätigkeit, aber auch Verwundung und nachfolgende Heilung führen meist zu einer Erhöhung der Atmungstätigkeit der beteiligten Zellen, da jede Störung im Stoffwechselgleichgewicht durch einen erhöhten Energieaufwand ausgeglichen werden muß. Bei ruhenden Zellen dagegen, etwa während der Samenruhe, ist die Atmungstätigkeit sehr stark herabgesetzt.

Die chemischen Prozesse, die beim Atmungsvorgang ablaufen, dienen nicht allein der Energiegewinnung. Die Zwischenprodukte finden an vielen Orten anderweitige Verwendung im Stoffwechsel, zum Beispiel im Auf- und Abbau der Fette und Eiweißstoffe (s. S. 181 f.). Besonders der Wasserstoff wird an verschiedenen Stellen bei Reduktionsvorgängen verbraucht (z. B. Nitratreduktion, s. S. 182).

Der Atmungsstoffwechsel zeigt folgende Merkmale:

1. Das Ausgangsmaterial (Hexosen) wird stufenweise oxydiert.
2. Die Oxydation verläuft in drei Abschnitten:
   Glykolyse,
   Säurekreislauf,
   biologische Oxydation des Wasserstoffs (Endoxydation).
3. Die Oxydation der Zwischenverbindungen geschieht durch Abspaltung von Wasserstoff.
4. Bei der Oxydation dieses Wasserstoffs durch Luftsauerstoff mit Hilfe von Fermenten wird stufenweise chemische Energie freigesetzt und in anderer Form gespeichert.
5. Einige auftretende Zwischenprodukte bilden Ausgangsstoffe für den Fett- und Eiweißaufbau.
6. Über diese Verbindungen münden Fett- und Eiweißstoffwechsel auch wieder in die Atmung. Fette und Eiweiße können ebenso wie die Kohlenhydrate oxydiert werden (s. S. 181 f.).

Frage

Worin unterscheidet sich die biologische Oxydation von Oxydationsvorgängen in der nicht lebenden Natur?

Die Gärungen

Die Atmung ist die häufigste Form der Energiegewinnung bei Lebewesen. Voraussetzung für einen reibungslosen Ablauf der Atmungsvorgänge ist das Vorhandensein ausreichender Mengen an Sauerstoff. Auch alle Fermente müssen vorhanden sein und aufeinander abgestimmt wirken können.

Zahlreiche Organismen leben jedoch ohne Sauerstoff, etwa im Faulschlamm der Gewässer oder im Darm von Tier und Mensch.

Bei vielen Bakterien und Pilzen wird der komplizierte Atmungsprozeß nicht über alle Stufen bis zu Ende geführt, da diese Organismen die dazu erforderlichen Fermente nicht besitzen. Der Zucker wird in solchen Fällen nicht vollständig zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut, es häufen sich vielmehr verschiedene Zwischenprodukte an. Dabei wird aus einer gleichen Menge Hexose wesentlich weniger Energie gewonnen als bei der normalen Atmung. Diese Vorgänge bezeichnet man als **Gärung.**

Gärungen sind unvollständige Atmungsvorgänge, die nur geringe chemische Energie liefern. In der Regel werden bei Gärungen von den Organismen körperfremde Stoffe abgebaut.

Gärungen haben für die Wirtschaft erhebliche Bedeutung erlangt. Das trifft vor allem für die alkoholische Gärung und die Milchsäuregärung zu.

Bei der Betrachtung der Gärungsvorgänge ist zu beachten: Für den Menschen ist das Gärprodukt wichtig, für die Mikroorganismen nur der Gärvorgang, das heißt der Energiegewinn.

Bakterien oder Pilze erzeugen die verschiedenen Gärprodukte (Äthanol, Milchsäure u. a.) und gewinnen dabei Energie. Die Gärprodukte sind für die sie erzeugenden Organismen Abfall, bei bestimmter Konzentration oft sogar schädlich; die Hefepilze gehen zum Beispiel in dem von ihnen selbst produzierten Äthanol zugrunde, wenn seine Konzentration 15% übersteigt. Ähnliches gilt für die Milchsäurebakterien und Essigsäurebakterien.

Gärungsvorgänge sind auch überall dort beteiligt, wo in der Natur abgestorbene Organismen abgebaut werden (z. B. Fäulnis). Die Humusbildung im Boden sowie die Selbstreinigung der Gewässer durch Bakterien und Pilze beruhen auf verschiedenen Gärprozessen. Die Gärungsorganismen haben also große Bedeutung für den gesamten Kreislauf der Stoffe in der Natur (s. S. 185).

Die alkoholische Gärung

Bestimmte Hefepilze vergären Zucker zu Äthanol und Kohlendioxid. Bei diesem Abbau werden jedoch nur etwa 4% der Energie gewonnen, die aus derselben Zuckermenge durch Atmung gewonnen werden könnte; deshalb muß zur Gewinnung ausreichender Energiemengen in kurzer Zeit viel Zucker abgebaut werden.

Kleine Mengen von Hefe können daher große Bottiche voll Bierwürze oder Most in wenigen Tagen oder Wochen vergären. Das dabei entstehende Kohlendioxid bringt die Gärflüssigkeit zum Brodeln.

Versuch 18 **Biochemischer Vorgang.** Die Zerlegung des Zuckermoleküls verläuft wie bei der Atmung über die Glykolyse. So wird auch bei der alkoholischen Gärung 2-Oxopropansäure als Zwischenprodukt gebildet. Da die alkoholische Gärung jedoch unter Ausschluß von Sauerstoff verläuft (Gärröhrchen bei der Weinbereitung), erfolgt nun keine weitere Oxydation über den Säurezyklus, sondern es wird durch Abspaltung von CO_2 Äthanal gebildet. Dieses wird durch Reduktion mit Wasserstoff in Äthanol überführt.

$$CH_3COCOOH \xrightarrow[-CO_2]{} CH_3CHO \xrightarrow{+H_2} CH_3CH_2OH$$

Wirtschaftliche Bedeutung. Bei der Bierbrauerei wird der Zucker, der in der gekeimten Gerste, dem Malz, enthalten ist, in der Weinkellerei der Zucker der Trauben vergoren.

Auch in der Bäckerei spielt die alkoholische Gärung eine Rolle. Hefepilze vergären in Hefe- und

Sauerteig einen Teil des Zuckers, dadurch entsteht Kohlendioxid; zahllose Gasbläschen treiben den Teig auf. Der Alkohol verdampft in der Hitze.

Der mit Genußmitteln vom Menschen aufgenommene Alkohol kann sofort veratmet werden. Häufiger übermäßiger Alkoholgenuß führt zu dauernden organischen und psychischen Schäden, die sogar zum Tode führen können.

Essigsäuregärung

Bei ungenügendem Luftabschluß kommt es unter Sauerstoffzufuhr zu einer Oxydation des Äthanols zur Äthansäure (Essigsäure) durch Essigsäurebakterien. Diesen Vorgang hat man sich wirtschaftlich zunutze gemacht und stellt auf diesem Weg aus Äthanol Speiseessig her.

$$CH_3 \cdot CH_2OH \xrightarrow[-H_2]{} CH_3CHO \xrightarrow{+\frac{1}{2}O_2} CH_3COOH$$

Milchsäuregärung

2-Oxypropansäure (Milchsäure) wird von verschiedenen Bakteriensippen erzeugt; sie wirkt auf die Mikroorganismen hemmend; vor allem werden Fäulniserreger abgetötet. Man kann daher Nahrungsmittel durch Milchsäure konservieren (z. B. Sauermilch, saure Gurken, Sauerkohl, Silofutter). Die Milchsäuregärung erfolgt nur in Abwesenheit von Sauerstoff, es ist deshalb stets auf guten Luftabschluß zu achten. Andernfalls entwickeln sich sauerstoffliebende Bakterien, vor allem Fäulnisbakterien, und verderben die Nahrung durch ihre übelriechenden Stoffwechselprodukte.

Biochemischer Vorgang. Wie bei der alkoholischen Gärung verläuft die Zerlegung des Zuckermoleküls über die Glykolyse bis zur Bildung der 2-Oxopropansäure. Es erfolgt jedoch keine Abspaltung von CO_2, sondern die Oxogruppe der Säure wird durch Wasserstoff reduziert, wobei sie in eine Hydroxylgruppe übergeht. Das einfache Reaktionsprodukt ist die 2-Oxypropansäure (Milchsäure).

$$CH_3 \cdot CO \cdot COOH + H_2 \rightarrow CH_3 \cdot CHOH \cdot COOH$$

Aufgaben und Fragen

1. Erklären Sie den Unterschied zwischen Atmung und Gärung!
2. Warum muß man bei der alkoholischen Gärung ein Gärröhrchen zum Verschluß des Gärballons verwenden?
3. Welchen Sinn hat das feste Zusammenpressen des Silagegutes bei der Silofutterbereitung?
4. Warum bezeichnet man Gärungen als unvollständige biologische Oxydationen?
5. Weshalb findet bei der Milchsäuregärung (stille Gärung) keine Gasentwicklung statt, während bei der „stürmisch" verlaufenden alkoholischen Gärung Gas abgegeben wird?

Zusammenwirken der Stoffwechselvorgänge im Organismus

Baustoffwechsel und Betriebsstoffwechsel verlaufen nicht unabhängig voneinander; sie sind miteinander verbunden und greifen ineinander über.

Die Endprodukte des Baustoffwechsels sind oft Ausgangsmaterial für den Betriebsstoffwechsel und umgekehrt. Die zahlreichen Zwischenstufen der Photosynthese und der Atmung bilden wichtige Ansatzpunkte für alle weiteren Aufbau- und Umbauvorgänge im Körper.

Einige wichtige Beispiele sollen uns den engen Zusammenhang zwischen den aufbauenden und abbauenden Prozessen im Körper zeigen.

Zusammenhang zwischen Photosynthese und Atmung

Die Atmung könnte nicht stattfinden, wenn die als Brennstoff benötigten Kohlenhydrate nicht vorher durch die Photosynthese von den grünen Pflanzen aufgebaut worden wären. Umgekehrt sind die Endprodukte der Atmung, vor allem das Kohlendioxid, wichtig für die Photosynthese. Es kann sofort bei seiner Entstehung wieder assimiliert werden. Damit werden auch die Abbildungen auf der hinteren inneren Umschlagseite und Abbildung 96 ganz verständlich.

Photosynthese und Atmung besitzen teilweise gleiche Zwischenprodukte. Der chemische Abbau des Zuckers bei der Atmung verläuft in der Glykolyse über 2,3-Oxypropansäure und 2,3-Oxypropanal wie der Photosynthesestoffwechsel, jedoch in umgekehrter Folge (vgl. S. 160).

Die meisten daran beteiligten Fermente können in beiden Richtungen wirken, abbauende und aufbauende Vorgänge greifen hier direkt ineinander.

Eiweiß- und Fettstoffwechsel sind ebenso eng mit der Atmung verbunden wie die Photosynthese. So stehen alle wichtigen Prozesse des Stoffwechsels in enger Verbindung miteinander (s. hintere innere Umschlagseite).

Aufgabe und Frage

1. Erklären Sie die Bedeutung des Kompensationspunktes (vgl. S. 160) für das Verhältnis zwischen Atmung und Photosynthese!
2. Inwiefern bedingen sich Atmung und Photosynthese gegenseitig?

Aufbau der Eiweiße

Versuch 20
Versuch 21

Die zentrale Stellung des Atmungs-Zwischenstoffwechsels im Chemismus der Zelle wird besonders bei jenen Vorgängen deutlich, die zum Aufbau der Eiweiße führen. Grundbausteine der Eiweißstoffe sind die Aminosäuren. Ihre Biosynthese hängt eng mit dem Säurekreislauf zusammen.

Zum Aufbau der Aminosäuren ist Stickstoff nötig; die Pflanze entnimmt ihn meist in Form von Nitrationen (NO_3^-) dem Bodenwasser. In den Zellen kann Nitrat aber nicht direkt verwertet werden, es muß zu Ammoniak (NH_3) reduziert werden. Dazu ist Wasserstoff nötig, der aus dem Zwischenstoffwechsel bezogen wird. Ammoniak bildet mit Oxokarbonsäuren des Säurekreislaufs unter Wasserstoffaufnahme Aminosäuren. Tiere sind darauf angewiesen, Aminosäuren mit der Nahrung aufzunehmen.

So wird die im Säurekreislauf vorkommende 2-Oxopentandisäure durch Reaktion mit Ammoniak und Wasserstoff aus dem Atmungsstoffwechsel in die wichtige 2-Aminopentandisäure (Glutaminsäure) umgewandelt.

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CO \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array} \quad + NH_3 + H_2 \longrightarrow \quad \begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH \cdot NH_2 \\ | \\ CH_2 + H_2O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array}$$

Durch Übertragung der Aminogruppen auf andere Oxokarbonsäuren entstehen dann die meisten anderen Aminosäuren. Auf die Bedeutung der Vielzahl verschiedener

Aminosäuren für den Aufbau der spezifischen Eiweißverbindungen der Organismen wurde schon auf S. 128 hingewiesen.

Durch Verknüpfung der Aminosäuren über die sogenannte Peptidbindung entstehen Di-, Tri-, Polypeptide und Proteine. Dabei werden die Aminosäuren nicht nacheinander unter schrittweiser Verlängerung der Molekülkette verknüpft, sondern es findet eine gleichzeitige Verbindung vieler „nebeneinander liegender" Aminosäuren zu einem Makromolekül statt.

Verbinden sich die entstandenen Proteine mit Nichteiweißverbindungen, so entstehen die Proteide (s. S. 128).

Für den Aufbau der Eiweiße in ihrer spezifischen Struktur sind die Nukleinsäuren von besonderer Bedeutung (s. S. 144).

Elektrophorese und Chromatographie bei der Eiweißforschung

Elektrophorese. In einem elektrischen Feld wandern Teilchen, welche elektrisch geladen sind, je nach ihrer Ladung zum einen oder anderen Pol. Da es sich bei Eiweißen um Verbindungen handelt, die aus Aminosäuren aufgebaut sind, wird die Ladung der Eiweiße von der Art der Aminosäurezusammensetzung bestimmt. Viele Monoaminodikarbonsäuren (Aminosäuren mit 1 Aminogruppe und 2 Karboxylgruppen, z. B. Glutamin- und Asparaginsäure) bringen dissoziierende Karboxylgruppen ein, welche die negativen Ladungen der Eiweiße wesentlich bestimmen. Umgekehrt führen Aminosäuren mit überwiegenden Aminogruppen zur Bildung positiver Ladungen. Die Gesamtladung eines Eiweißes wird unter anderem besonders durch das Verhältnis von negativen und positiven Ladungen bestimmt. Da verschiedene Eiweiße unterschiedliche Ladungen aufweisen, können sie im elektrischen Feld dadurch getrennt werden, daß sie einmal zu verschiedenen Polen wandern sich andererseits aber auch in Abhängigkeit von der Ladungsstärke mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen. Man kann als Medium für derartige elektrophoretische Trennungen feuchtes Filtrierpapier (Abb. 94 und 95), verschiedene Gelees (Agar-Agar o. ä.) oder Flüssigkeiten verwenden. Während des Versuches muß der pH-Wert konstant gehalten werden, damit bei den Eiweißen keine Ladungsveränderungen erfolgen. – Auch andere elektrisch geladene Stoffe lassen sich elektrophoretisch trennen, z. B. Aminosäuren, andere organische Säuren. Daher hat diese Methode weite Verbreitung gefunden.

Chromatographie. Diese Methode der modernen Stofftrennung hat ihren Namen daher, daß der

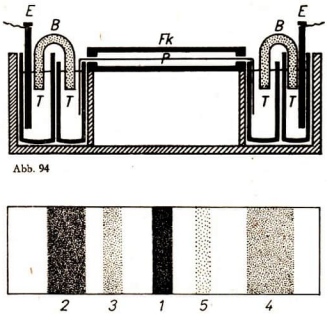


Abb. 94

Abb. 95

Elektrophorese: Abb. 94 Einfache Apparatur, wie sie leicht selbst hergestellt werden kann. Der Papierstreifen (P) läuft in der Mitte durch eine feuchte Kammer (Fk) und taucht an beiden Enden in einen mit Pufferlösung gefüllten Glastank (T). Dieser ist über eine Brücke (B), die mit gelierter gesättigter Salzlösung gefüllt ist, leitend mit dem Nachbartank verbunden. In dem Nachbartank ist ebenfalls Pufferlösung enthalten. In sie taucht die Elektrode (E) ein. Das doppelte Tanksystem ist erforderlich, da die Elektroden nicht mit dem Papierstreifen in einen Tank tauchen dürfen. — Wird an die Elektroden eine Spannungsquelle angelegt, dann fließt durch das feuchte Filtrierpapier ein Strom. In dem Spannungsfeld bewegen sich die verschiedenen Verbindungen, die getrennt werden sollen, je nachdem wie stark sie geladen sind, mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und in Abhängigkeit von der Art der Ladungen zu unterschiedlichen Elektroden.

Abb. 95 Papierstreifen, auf dem mit Hilfe der Elektrophorese Eiweiße getrennt wurden. Die Lage der unterschiedlichen Eiweißverbindungen wird durch Farbreaktionen sichtbar gemacht.

russische Forscher TSWETT damit vor etwa 60 Jahren erstmalig Blattfarbstoffe getrennt hat. Allgemeine Verbreitung hat sie jedoch erst seit 1944 gefunden, nachdem die englischen Forscher CONDSEN, MARTIN und GORDON sie weiter entwickelt hatten. Diese Methode zeichnet sich durch relativ schnelle Trennung sehr geringer Substanzmengen aus, läßt jedoch bei quantitativen Untersuchungen noch zu wünschen übrig. – Die Methode beruht darauf, daß zwischen einem gequollenen und daher wasserhaltigen Trägersystem und einer daran vorbeifließenden flüssigen Phase eine unterschiedliche Verteilung verschiedener Verbindungen stattfindet. Die Stoffe, welche getrennt werden sollen, sind in der flüssigen Phase gelöst enthalten. Sie werden an verschiedenen Stellen in den gequollenen Träger („stationäre Phase") überführt und dadurch getrennt. Der Ort, an welchem sie in der stationären Phase abgelagert werden, hängt davon ab, wie stark die Adsorption, die elektrostatische Bindung und die Löslichkeit der zu verteilenden Verbindungen ist (Abb. 134).

Als Träger benutzt man Filtrierpapier, Stärke in Säulen, Ionenaustauscher in Säulen o. ä. Die Lage der Verbindungen kann nach der Trennung durch Farbreaktionen festgestellt werden. So lassen sich Aminosäuren, Zucker, Monokarbonsäuren und viele andere Stoffe in Mengen von 10^{-5} bis 10^{-6} Gramm durch die Chromatographie trennen.

Fettstoffwechsel

Versuch 22 Fette und Kohlenhydrate können einander bei der Ernährung ersetzen und werden im Körper der Lebewesen leicht ineinander umgewandelt. Kohlenhydratreiche Nahrung fördert die Fettbildung, umgekehrt liefern Fette ein äußerst energiereiches Atmungsmaterial. Etwa 80 Prozent aller Pflanzen enthalten in ihren Samen Fette als Reservestoffe, da sie das energiereichste Speichermaterial darstellen. Das ist leicht zu verstehen, wenn man bedenkt, daß in einer Monokarbonsäure allgemein nur in der Karboxylgruppe Sauerstoff enthalten ist, während ein Kohlenhydrat pro C-Atom etwa ein Sauerstoffatom besitzt. So wird zur vollständigen Oxydation eines Moleküls Monokarbonsäure weit mehr Sauerstoff benötigt als zur Oxydation des Kohlenhydratmoleküls.

Fette sind Ester aus Propantriol und Monokarbonsäuren. Die Bildung des Propantriols geht im Stoffwechsel vom 2,3-Oxypropanal aus, das zum Propantriol reduziert wird. – Der Ausgangspunkt für die Synthese der Fettsäuren im Organismus ist jene Verbindung mit 2 C-Atomen, welche nach der Abspaltung von Kohlendioxid aus der 2-Oxopropansäure im Anschluß an die Glykolyse entsteht. Beim Abbau und der anschließenden Oxydation der Fette wird der gleiche Weg in umgekehrter Richtung begangen. Die zentrale Bedeutung des Atmungsstoffwechsels im gesamten Stoffwechselgeschehen wird auch an diesem Beispiel noch einmal sichtbar (Abb. h. i. Umschlag).

Grund- und Nebenstoffwechsel bei Pflanzen

Versuch 23 Aus den Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen werden unter Einbeziehung der Mineralstoffe alle übrigen für die Lebensvorgänge notwendigen Verbindungen aufgebaut; beispielsweise Fermente und andere Wirkstoffe, organische Säuren, strukturbildende Verbindungen (Eiweiße, Zellulose) und Reservestoffe. Die für die Erhaltung des Lebens unbedingt nötigen Prozesse bilden zusammen den Grundstoffwechsel.

Zum Grundstoffwechsel gehören: Stoffwechsel der Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße, Mineralstoffwechsel, Wasserhaushalt.

Der Grundstoffwechsel verläuft bei allen Pflanzen in grundsätzlich gleicher Form. Daneben werden jedoch noch viele Verbindungen aufgebaut, die am Grundstoffwechsel nicht beteiligt sind, wohl aber im Zusammenhang mit dem Grundstoffwechsel gebildet werden. Diese Stoffe gehören dem **Nebenstoffwechsel** an.

Niedere Organismen (Kernlose, Protisten) gehen meist nur wenig oder gar nicht über

den Grundstoffwechsel hinaus. Bei der Höherentwicklung im Pflanzenreich hat sich mit zunehmender Arbeitsteilung auch die Produktionsfähigkeit der Zellen und Gewebe erweitert. Bei den Farnpflanzen wird erstmalig Lignin (Holzstoff) als zusätzliches Erzeugnis in größerem Umfang produziert.

Wirtschaftliche Bedeutung. Zu den für den Menschen wertvollen pflanzlichen Nebenstoffen gehören zum Beispiel: ätherische Öle als Duft- und Aromaspender, Gewürze, Heilmittel (in Lavendel, Rosen, Wermut, Wacholder, Lorbeer, Zimt, Muskat, Kümmel, Dill, Fenchel, Petersilie u. a.), Harze, Kautschuk, Gerbstoffe, Alkaloide (Nikotin, Koffein, Atropin, Morphin u. a.).

Da solche Nebenstoffe des pflanzlichen Stoffwechsels im allgemeinen um so üppiger gebildet werden, je günstiger die allgemeinen Lebensbedingungen sind, liefern die Gewächse der feuchtwarmen Tropengebiete die wertvollsten Gewürze und Genußmittel.

Durch Nährstoffmangel oder schlechte Lichtversorgung hungernde Pflanzen erzeugen wenige oder gar keine Nebenstoffe, sie beschränken sich auf den Grundstoffwechsel. Tabak in Hungerkultur bildet beispielsweise kein Nikotin.

Grund- und Nebenstoffwechsel lassen sich jedoch nicht immer trennen. Es wäre falsch, den Pflanzen einen bis ins letzte rationellen und zweckmäßigen Stoffwechsel zuschreiben zu wollen.

Kreislauf der Stoffe in der Natur

Nicht nur in jedem einzelnen Lebewesen stehen die aufbauenden und abbauenden Prozesse in enger Verbindung miteinander; in der gesamten Natur befinden sich Produktion und Verbrauch im Gleichgewicht, gelten die Gesetze von der Erhaltung der Masse und der Energie.

Wir unterscheiden bei den Organismen drei große Gruppen: Erzeuger, Verbraucher und Zersetzer.

Erzeuger sind die autotrophen Lebewesen, vor allem die grünen Pflanzen. Sie bauen organisches Material aus anorganischen Bestandteilen auf. Zu den **Verbrauchern** zählt die Mehrzahl der heterotrophen Organismen, vor allem die Tiere. **Zersetzer** sind eine besondere Gruppe der heterotrophen Lebewesen, vor allem Bakterien und Pilze sowie Bodentiere, welche die Reste von abgestorbenen Organismen zerkleinern, chemisch umsetzen und bis zu anorganischen Bestandteilen abbauen (mineralisieren). Damit liefern sie wiederum die Nährstoffe für die grünen Pflanzen, die **Erzeuger.**

So findet ein ständiger Kreislauf aller Stoffe in der lebenden Natur statt (Abb. 96, 97 und 98).

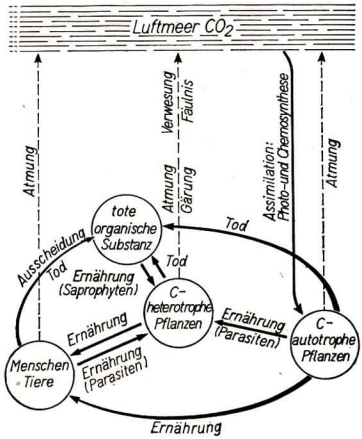


Abb. 96 Kreislauf des Kohlenstoffes in der Natur

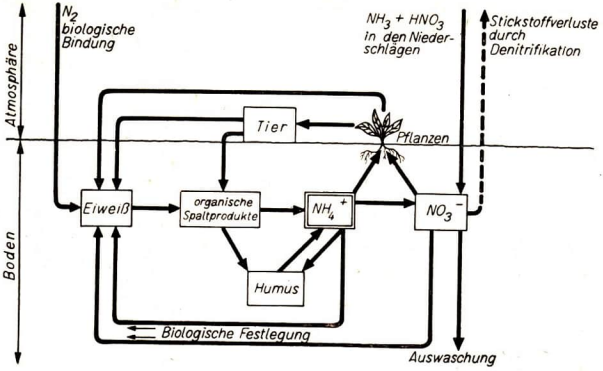
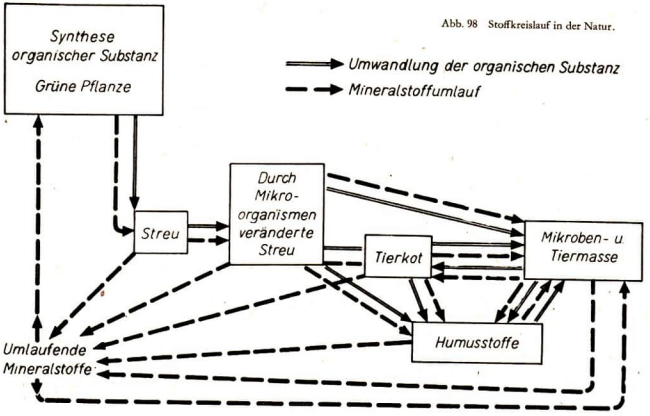


Abb. 97 Kreislauf des Stickstoffs in der Natur.

Abb. 98 Stoffkreislauf in der Natur.



Frage

Warum wird trotz des geringen Anteils an der Zusammensetzung der Luft der Kohlendioxidvorrat in der Atmosphäre durch die Photosynthese nicht aufgebraucht?

Physiologie der Fortpflanzung und Entwicklung

Wesen und Formen der Fortpflanzung

Die Fortpflanzung ist ein Hauptkennzeichen des Lebens. Alle Arten von Organismen erzeugen Nachkommen, die ihren Eltern in den wesentlichen Merkmalen und Eigenschaften gleichen. Die aufbauenden Stoffwechselvorgänge im lebenden Körper gipfeln darin, daß der Organismus sich selbst immer wieder in Form der Nachkommenschaft erneuert. Da in der Regel eine Vielzahl von Nachkommen erzeugt wird, spricht man auch von Vermehrung.

Zellen, in denen noch keine Differenzierung in Zellkern und Zellplasma eingetreten ist (Kernlose), vermehren sich durch Zellspaltung („Spaltwesen").

Bei allen Lebewesen, deren lebender Zellinhalt in Zellkern, Zellplasma und andere Bestandteile differenziert ist, geht der Zellteilung eine komplizierte Kernteilung (Mitose, s. S. 146) voraus.

Durch Zellteilung vermehren sich die einzelligen Protisten und ihre Kolonien (Abb. 99).

Bei vielzelligen Organismen, deren Zellen spezialisiert sind, wird die Fortpflanzung von bestimmten Zellen oder Zellgruppen übernommen. Solche Zellen haben die Fähigkeit erhalten, einen ganzen Organismus zu bilden.

Das Wesen der Fortpflanzung besteht in der Erhaltung des Lebens auf der Erde durch eine ununterbrochene Folge von Generationen. Dabei gehören die Nachkommen stets derselben Art an wie die Eltern. Die Weitergabe der Erbanlagen der Art muß also durch ein besonderes System geregelt sein. Die Beeinflussung der Erbanlagen durch äußere Faktoren in der Natur ist weit schwerer möglich als bei anderen Lebenserscheinungen. Daraus erklärt sich die außerordentlich lange Zeit, welche die Entwicklung der Lebewesen von der Entstehung des Lebens auf der Erde bis zu den heutigen Formen benötigte.

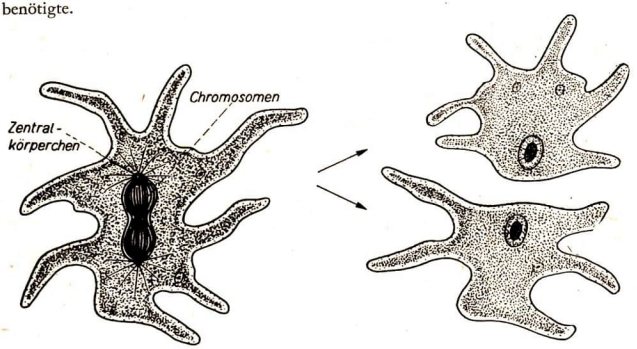


Abb. 99 Zellteilung einer Amöbe.

Die Erbanlagen sind materiell im Protoplasma fixiert. Die größte Bedeutung kommt den Anlagen zu, die im Kern lokalisiert sind. Sie sind gegenwärtig am besten erforscht. Daneben finden wir auch in den Plastiden und im Zytoplasma Erbanlagen. Der Mechanismus der Zellteilungen ist allgemein darauf gerichtet, die in der Mutterzelle vorhandenen Erbanlagen zu gleichen Teilen auf die Tochterzellen zu verteilen. Dadurch ist es bei der Gleichheitsteilung (Mitose) möglich, daß untereinander und mit der Mutterzelle erbgleiche Tochterzellen entstehen. Die materielle Grundlage für diese Vorgänge stellen im Kern die Chromosomen dar (vgl. S. 137).

Bei der sexuellen Vermehrung werden diese Vorgänge durch die Reduktionsteilung und die nachfolgende Befruchtung geregelt. Hier sind Neukombinationen der Erbanlagen möglich. Es entstehen dabei jedoch keine neuen Anlagen.

Mit den Problemen der Weitergabe der Erbanlagen von Generation zu Generation befaßt sich die Vererbungslehre (Genetik). Die Aufgabe der Physiologie ist es in diesem Zusammenhang, die stofflichen Vorgänge in der Zelle zu erforschen, die der Vererbung zugrunde liegen.

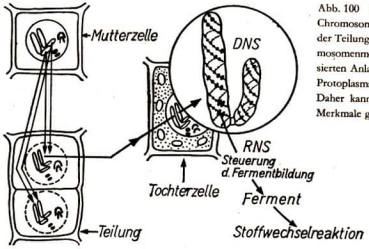


Abb. 100 Der Zusammenhang zwischen den Erbanlagen in den Chromosomen und der Merkmalsausbildung im Stoffwechsel. Bei der Teilung einer Zelle erhalten die Tochterzellen durch den Chromosomenmechanismus der Vererbung die gleichen im Kern lokalisierten Anlagen. Diese steuern nun die Ausbildung der Fermente im Protoplasma, welche wiederum die Stoffwechselvorgänge katalysieren. Daher kann über die Fermentbildung die Ausbildung bestimmter Merkmale gelenkt werden.

Im Erbgang werden nur die Anlagen weitergegeben. Sie steuern in der Zelle die Ausbildung der arteigenen Merkmale. Bei diesen Vorgängen spielen die Kernsäuren (Nukleinsäuren) eine besondere Rolle. Man unterscheidet dabei zwei Formen: Die Ribonukleinsäure (RNS) und die Desoxyribonukleinsäure (DNS, s. S. 145). Die Hauptmenge der DNS findet man im Zellkern, wo sie in den Chromosomen lokalisiert ist. Die RNS befindet sich vorwiegend im Zytoplasma. Die DNS erfüllt wichtige Aufgaben bei der Weitergabe der Erbanlagen im Fortpflanzungsprozeß von Generation zu Generation. Unter dem Einfluß dieser Erbanlagen wirkt die RNS im Zytoplasma bei der Ausbildung der Artmerkmale im Eiweißaufbau mit. So kommen den Kernsäuren wichtige Funktionen bei der Erfüllung der wesentlichen Aufgaben der Vererbung und der Fortpflanzung zu (Abb. 100).

Übersicht über geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung

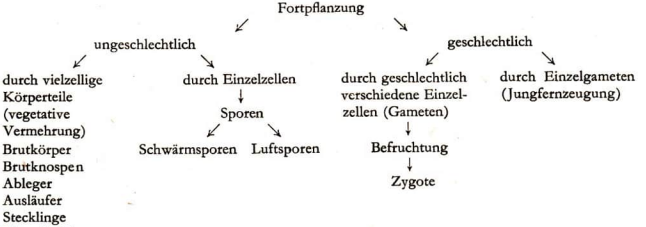
Bei Algen, Pilzen und niederen Tieren haben vielfach die Körperzellen ihre Teilungsfähigkeit erhalten. Abgerissene Stücke eines Algenfadens oder Pilzmyzels, Teile von niederen Würmern oder Hohltieren wachsen wieder zu ganzen Organismen heran. Bei den Sproßpflanzen finden wir Bildungsgewebe mit teilungsfähigen Zellen an verschiedenen Stellen (vor allem Sproß- und Wurzelspitzen, Kambium). Pflanzenteile, die Bildungsgewebe enthalten (Brutknospen, Ausläufer, Ableger, Wurzelstöcke, Stecklinge u. a.), lassen sich daher gut zur Vermehrung der Mutterpflanze verwenden.

Die ungeschlechtliche Vermehrung durch vielzellige Fortpflanzungskörper bezeichnet man als vegetative Vermehrung. Sie ist in der Natur von untergeordneter Bedeutung.

Die vielzelligen Organismen pflanzen sich in der Regel durch einzelne Zellen fort, die meist in besonderen Fortpflanzungsorganen gebildet werden. Wir unterscheiden dabei eine **ungeschlechtliche Fortpflanzung** durch **Sporen** von einer **geschlechtlichen** Fortpflanzung durch **Gameten** (Geschlechtszellen).

Sporen sind Zellen, aus denen ohne einen Befruchtungsvorgang ein neuer Organismus entstehen kann. Die Sporen von wasserlebenden Organismen (Algen, Wasserpilze) besitzen meist Geißeln und sind dadurch beweglich. Die Sporen von Landgewächsen sind meist unbeweglich und werden in der Regel vom Wind verbreitet.

Gameten (Geschlechtszellen) verschmelzen meist paarweise miteinander. Diesen Vorgang nennt man Befruchtung. Erst nach der Befruchtung kann sich aus dem Verschmelzungsprodukt (Zygote) ein neuer Organismus entwickeln. In anderen Fällen entwickelt sich aus einer Keimzelle allein ein neuer Organismus (Jungfernzeugung).



Geschlechtliche Fortpflanzung

Die Keimzellen

Bei vielen Algen und Pilzen zeigen die Sporen und Gameten äußerlich noch keinen Geschlechtsunterschied. Bei höheren Algen und Pilzen sowie den vielzelligen Tieren und Pflanzen wird jedoch die eine Geschlechtszelle durch reiche Speicherung von Nährstoffen besonders groß und unbeweglich. Damit entstehen zwei deutlich verschiedene Formen von Gameten:

Abb. 101 Sporenbildung bei einer Fadenalge.

Samenzellen (männlich), begeißelt, frei beweglich, sehr klein, arm an Plasma, fast nur Zellkernmasse, und **Eizellen** (weiblich), ohne Geißeln, unbeweglich, reich an Zellplasma und Nährstoffen, wesentlich größer als die Samenzellen.

Sporen und Gameten werden im einfachsten Fall in beliebigen Zellen eines Organismus gebildet (z. B. bei vielen Fadenalgen, Abb. 101). In der Regel entstehen sie jedoch in besonderen Körperteilen, den **Fortpflanzungsorganen.** Die Samenzellen werden in den männlichen, die Eizellen in den weiblichen Fortpflanzungsorganen gebildet. Bei getrenntgeschlechtlichen Arten gibt es männliche und weibliche Lebewesen, die sich oft auch äußerlich deutlich voneinander unterscheiden. Zwittrige Organismen bilden weibliche und männliche Fortpflanzungsorgane in einem Körper aus.

Die Reduktionsteilung (Meiose)

Gameten enthalten einen einfachen Chromosomensatz, sie sind haploid; die befruchtete Eizelle (Zygote) und die daraus entstehenden Körperzellen enthalten einen doppelten Chromosomensatz, sie sind diploid.

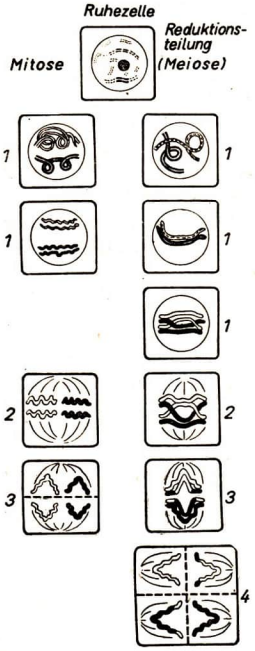
Bei der Befruchtung verschmelzen Ei- und Samenzelle miteinander. Die befruchtete Eizelle enthält die doppelte Anzahl von Chromosomen wie die beiden Gametenkerne, ebenso alle Körperzellen, die durch Gleichheitsteilung (Mitose) aus dieser befruchteten Eizelle hervorgehen. Würde diese Chromosomenzahl unverändert auf die in jeder folgenden Generation gebildeten Keimzellen übertragen, so entstände nach wenigen Generationen eine riesige Anzahl von Kernschleifen in den Zellen. Das würde zu einem Mißverhältnis zwischen Plasma- und Kernmasse führen und die Zelle zum Absterben bringen. Im Prozeß der geschlechtlichen Fortpflanzung erfolgt eine Halbierung der Chromosomenzahl.

Die Halbierung der Chromosomenzahl vollzieht sich im Normalfall bei der Bildung der Keimzellen. Samen- und Eizellen entstehen in der Regel aus diploiden Mutterzellen im Innern der entsprechenden Fortpflanzungsorgane. In jeder Mutterzelle folgen zwei Teilungen meist kurz nacheinander. Dabei wird zwischen den beiden Teilungen der Ruhezustand des Kernes (Arbeitskern) nicht wieder hergestellt. Die Meiose verläuft in folgenden Phasen (Abb. 102):

Zunächst spiralisieren sich die Chromosomen der diploiden Zelle. Sie werden dadurch sichtbar. Die beiden einander in Form und Größe entsprechenden Chromosomen eines Paares (homologe Chromosomen, A und a) legen sich aneinander. Danach spalten sich die Einzelchromosomen in der Längsrichtung. Die vier Spalthälften (Chromatiden) jedes Chromosomenpaares (A, A, a, a, – Tetrade) sind in der Äquatorialplatte der Zelle angeordnet. In zwei Teilungsschritten werden die vier Spalthälften auf vier Tochterkerne verteilt. Das kann bei jedem Chromosomenpaar in anderer Weise erfolgen.

	1. Möglichkeit	2. Möglichkeit
Tetrade	AAaa	BBbb
1. Teilung	AA aa	Bb Bb
2. Teilung	A A a a	B b B b

Abb. 102 Schematische Darstellung der beiden wichtigsten Kernteilungsvorgänge: Mitose und Meiose.
1 Prophase, 2 Metaphase, 3 Anaphase, 4 an die Meiose anschließende mitotische Teilung.



Es entstehen also in diesem Teilungsprozeß vier einander gleichwertige einfache Chromosomensätze, infolgedessen auch vier haploide Zellen aus der diploiden Mutterzelle. In vielen Fällen, zum Beispiel bei den vielzelligen Tieren, aber auch bei den höheren Pflanzen gehen beim weiblichen Geschlecht drei davon wieder zugrunde (z. B. als Polkörper der tierischen Eizellen) oder übernehmen andere Funktionen (z. B. bei den Samenpflanzen). Nur eine von ihnen wächst auf Kosten der Nährstoffe der anderen zur weiblichen Keimzelle heran.

Bei der Befruchtung vereinigen sich die haploiden Chromosomensätze der männlichen und weiblichen Keimzellen. In der befruchteten Eizelle und den daraus durch Mitose entstehenden Körperzellen besteht jedes Chromosomenpaar daher aus einem mütterlichen und einem väterlichen Anteil. Bei einer erneuten Bildung von Keimzellen werden bei der Reduktionsteilung die einander entsprechenden mütterlichen und väterlichen Chromosomen unregelmäßig verteilt. Da die Chromosomen einen großen Teil der Erbanlagen enthalten, werden so in den Keimzellen mütterliche und väterliche Anlagen ganz unterschiedlich miteinander vermischt und in der Nachkommenschaft neu kombiniert. Selbst Kinder des gleichen Elternpaares sind daher einander niemals völlig gleich (Abb. 103).

Die Befruchtung

Bei der Befruchtung schwimmen die Samenzellen, welche in sehr großer Zahl gebildet werden, zur Eizelle. Eine Samenzelle dringt in die Eizelle ein, Zellplasma und Zellkerne beider Gameten verschmelzen miteinander und bilden die befruchtete Eizelle (Abb. 104).

Die Befruchtung wird von Befruchtungshormonen gesteuert. Es sind Stoffe, die von den Ei- und Samenzellen abgeschieden werden.

Von der Eizelle ausgeschiedene Hormone regen die Geißeln der Samenzellen zur Bewegung an, sie ziehen die Samenzellen an, so daß diese zur Eizelle schwimmen. Sobald die Samenzellen die Hülle der

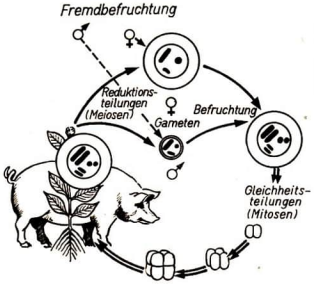


Abb. 103 Schema des Wechsels zwischen haploider (→) und diploider (⇉) Phase bei höheren Pflanzen und Tieren. Bei der Bildung der männlichen und weiblichen Geschlechtszellen (♂ und ♀) erfolgt durch Reduktionsteilung die Bildung des haploiden Chromosomensatzes in den Gameten. Durch die Befruchtung wird der diploide Satz wieder hergestellt.

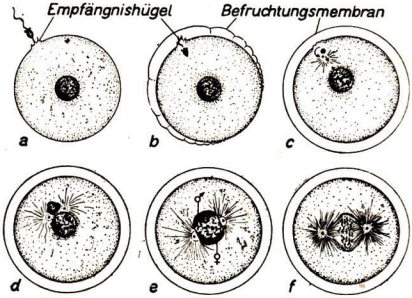


Abb. 104 Befruchtung des Seeigeleies.
a männliche Geschlechtszelle an der Eizelle, b männliche Geschlechtszelle eingedrungen, c Befruchtungsmembran abgehoben, männlicher Kern am Eikern, d männlicher und weiblicher Kern vereinigt, e der Verschmelzungskern tritt in die erste Furchungsteilung ein.

Eizelle erreicht haben, werden sie von den Hormonen der Eihülle gelähmt und verkleben miteinander. Dadurch werden sie am weiteren Vordringen gehindert.

Die Samenzellenhormone wirken den von der Eizelle ausgeschiedenen Hormonen entgegen. Die erste Samenzelle, die die Eizelle erreicht, vermag deren Hülle an einer Stelle aufzulösen.

Sobald eine Samenzelle in die Eizelle eingedrungen ist, verdichten sich die Plasmagrenzschichten der Eizelle, so daß keine weitere Samenzelle mehr eindringen kann. Es bildet sich eine Befruchtungsmembran, innerhalb derer die lebenden Teile der Ei- und Samenzelle miteinander verschmelzen (Abb. 104).

Aufgaben und Fragen

1. Welche Funktion hat die Fortpflanzung für das Leben auf der Erde?
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung!
3. Erklären Sie die Funktion der Reduktionsteilung bei der sexuellen Vermehrung!
4. Worin besteht der Unterschied zwischen Mitose und Meiose?

Die Befruchtung einer unbeweglichen Eizelle durch frei schwimmende, begeißelte Samenzellen findet bei den Algen, den wasserlebenden Pilzen, sämtlichen Moosen, Farnpflanzen und einigen Nacktsamern sowie im gesamten Tierreich bis zum Menschen in grundsätzlich gleicher Weise statt. Diese Befruchtung entspricht dem Leben im Wasser. Daß sie auch bei zahlreichen Landpflanzen und Landtieren auftritt, ist ein Zeichen dafür, daß der Ursprung alles Lebens einheitlich war und im Meer lag.

Der Übergang vom Leben im Wasser zum Leben auf dem Land führte bei Pflanzen und Tieren auch in der Fortpflanzungsweise zu Anpassungen an die neuen Lebensbedingungen.

Besamung und Befruchtung bei Landtieren

Bei den Tieren hat sich die ursprüngliche Form der Befruchtung erhalten: Die Samenzellen schwimmen zur Eizelle hin. Bei den meisten Wassertieren werden Ei- und Samenzellen frei in das sie umgebende Wasser entlassen, die Befruchtung findet dort statt. Die Jungtiere entwickeln sich in den meisten Fällen ohne Hilfe der Eltern. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Lurchen. Bei den echten Landtieren dagegen werden die in den männlichen Fortpflanzungsorganen gebildeten Samenzellen mit Hilfe besonderer Körperteile (Begattungsorgane) in das Innere des weiblichen Körpers eingeführt (Besamung).

Im weiblichen Körper können die Samenzellen entweder sofort nach der Besamung zu den Eizellen gelangen und diese befruchten (z. B. bei den Säugetieren), oder sie bleiben in besonderen Samentaschen für längere Zeit lebensfähig erhalten. Dann kann zwischen Besamung und Befruchtung ein sehr langer Zeitraum liegen.

So erfolgt beispielsweise bei einer Bienenkönigin eine einzige Besamung durch eine Drohne. Das Bienenweibchen nimmt dabei so viele Samenzellen auf, daß davon die Eizellen (etwa eine Million) befruchtet werden können, die eine Bienenkönigin im Laufe ihres vier- bis fünfjährigen Lebens erzeugt.

Viele Zwittertiere sind in der Lage, die Samenzellen für längere Zeit aufzubewahren. In ihrem Körper bilden sich die weiblichen und männlichen Fortpflanzungsorgane meist nicht gleichzeitig. Bei den Weinbergschnecken zum Beispiel reifen zunächst die männlichen Fortpflanzungsorgane, die Tiere sind dann männlichen Geschlechts, erzeugen nur Samenzellen und tauschen diese in einem sehr komplizierten Besamungsvorgang untereinander aus. Später erst reifen die weiblichen Fortpflanzungsorgane mit den Eizellen, die dann von den in Samentaschen aufbewahrten Samenzellen befruchtet werden.

Die befruchtete Eizelle ist meist mit Nährstoffen (Dotter) und einer Schale versehen; das Ganze wird als Ei abgelegt, aus dem sich der junge Keimling (Embryo) entwickelt. Bei den Säugetieren, so auch beim Menschen, bleibt die befruchtete Eizelle und der sich daraus entwickelnde Embryo bis zur Geburt im mütterlichen Körper und wird von ihm direkt ernährt.

Bestäubung und Befruchtung bei Samenpflanzen

Bei den Moosen und Farnpflanzen liegen die geschlechtlichen Fortpflanzungsorgane dicht am Boden. Sie werden bei feuchtem Wetter mit Wasser benetzt, so daß die Samenzellen genügend Flüssigkeit zur Verfügung haben, um zur Eizelle gelangen zu können.

Bei den Samenpflanzen ist die Anpassung an das Leben auf dem Lande weiter entwickelt, sie sind bei ihrer Befruchtung nicht mehr auf Wasser als Übertragungsmittel angewiesen.

Den Samenpflanzen dienen Blüten als Fortpflanzungsorgane. Die Blüten der Bedeckt-

samer sind in der Regel zwittrig, ihre männlichen Fortpflanzungsorgane sind die Staubblätter, die weiblichen Fortpflanzungsorgane die Fruchtblätter. Die Fruchtblätter sind entweder einzeln für sich oder in ihrer Gesamtheit an den Rändern verwachsen und bilden dadurch einen Fruchtknoten, in dessen Höhlung die Samenanlagen eingeschlossen sind. Der Fruchtknoten verlängert sich meist nach oben in einen Griffel, dessen Spitze zur Narbe verbreitert ist. (Biologie 1, Lehrbuch der erweiterten Oberschule, Abb. 107 bis 110).

Die Samenanlage besteht aus einer Hülle und einem Innenteil, der den Embryosack einschließt. Dieser entsteht aus einer Zelle (Embryosack-Mutterzelle) durch zweifache Teilung, wobei gleichzeitig der Chromosomensatz halbiert wird. Von den vier haploiden Zellen bleibt nur eine erhalten. Ihr Kern teilt sich dreimal. Von den acht Teilungskernen wandern je drei zu den beiden Polen, wo sich um jeden Kern eine Zelle bildet. Die beiden restlichen Zellkerne in der Mitte verschmelzen zum Embryosackkern. Eine der drei Zellen am oberen Pol bildet die Eizelle.

Die Narbe auf dem Stempel der meisten Blüten ist klebrig, so daß die Pollenkörner leicht an ihr haftenbleiben. Besondere Wirkstoffe, die von Drüsenzellen der Narbenoberfläche ausgeschieden werden, regen die Pollenkörner zum Keimen an. Ihre Hülle öffnet sich, und aus der größeren Zelle des Pollenkerns bildet sich ein dünner Pollenschlauch mit seinem „vegetativen" Kern.

Der Pollenschlauch wächst im Gewebe des Griffels abwärts, bis seine Spitze in den Fruchtknoten gelangt und die Samenanlage mit dem Embryosack erreicht. Hier vollzieht sich eine doppelte Befruchtung: Im Pollenschlauch haben sich aus dem Kern der Fortpflanzungszelle des Pollenkorns zwei Fortpflanzungskerne (generative Kerne) gebildet, die an seine Spitze wandern. Der eine generative Kern dringt in die Eizelle ein und befruchtet sie. Der zweite generative Kern des Pollenschlauches wandert tiefer in den Embryosack hinein und verschmilzt mit dem Embryosackkern, der damit einen dreifachen (triploiden) Chromosomensatz erhält. Der vegetative Kern des Pollenschlauches und die übrigen Zellen des Embryosacks gehen zugrunde oder werden als Nährmaterial für den jungen Keimling aufgebraucht.

Die Bestäubung der Landpflanzen entspricht etwa der Besamung bei den Landtieren. Zwischen der Bestäubung der Pflanzen und der Befruchtung kann, ebenso wie zwischen der Besamung und Befruchtung bei Tieren, ein sehr langer Zeitraum liegen (z. B. bei der Kiefer über ein Jahr).

Entwicklung der befruchteten Eizelle

Aus der befruchteten Eizelle bildet sich durch vielfache Zellteilung (Mitose) zunächst der Keimling (Embryo), aus dem sich in der weiteren Folge das junge Tier oder die junge Pflanze entwickelt. In der Embryonalentwicklung treten grundlegende Unterschiede zwischen Pflanzen- und Tierreich auf.

Besonderheiten der Entwicklung bei den Pflanzen

Samenbildung

Nach der Doppelbefruchtung im Embryosack der Bedecktsamer entwickelt sich die Samenanlage weiter zum Samen.

Teil der Samenanlage	daraus entsteht als Teil des Samens
Hülle	Samenschale
Innenteil mit Embryosack	Nährgewebe
befruchtete Eizelle	Keimling (Embryo)

Der Keimling entsteht durch Zellteilungen aus der befruchteten Eizelle. Er zeigt bereits die Gliederung der späteren Pflanze: Keimwurzel, Keimsproß, Keimblätter. Der Keimling liegt meist eingebettet in ein Nährgewebe, das durch vielfache Kern- und Zellteilungen aus den übrigen Teilen des Embryosacks und des Innenteils der Samenanlage hervorgeht. Die gespeicherten Nährstoffe dienen dem Keimling als erste Nahrung bei der Keimung.

Die Samenschale umgibt Embryo und Nährgewebe mit einer dauerhaften Hülle und schützt sie gegen Umwelteinflüsse (Abb. 105a).

Bei manchen Pflanzenfamilien (z. B. Rosengewächse, Schmetterlingsblütengewächse) fehlt im Samen ein gesondertes Nährgewebe; die gespeicherten Vorratsstoffe sind in den besonders dicken Keimblättern enthalten (Abb. 105b).

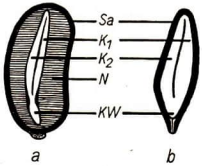


Abb. 105 Samen mit und ohne Nährgewebe:
a Rhizinus-Samen mit Nährgewebe, b Kürbis-Samen ohne Nährgewebe;
Sa Samenschale, K_1 und K_2 die beiden Keimblätter, N Nährgewebe, KW Keimwurzel

Der Embryo ist eine junge Pflanze, die sich nach einer kurzen Anfangsentwicklung in einem vorübergehenden Ruhestand befindet.

Gleichzeitig mit der Samenbildung entwickelt sich auch der gesamte Fruchtknoten weiter und wird zur Frucht. Die Samen bleiben entweder in der Frucht eingeschlossen und werden mit ihr verbreitet (Schließfrüchte; z. B. Nüsse, Beeren, Steinfrüchte) oder sie werden nach Öffnen der Fruchtwand einzeln verbreitet (Streufrüchte; z. B. Kapseln, Hülsen, Schoten).

Aufgabe

Nennen Sie Beispiele für verschiedene Fruchtformen! Erläutern Sie die verschiedenen Möglichkeiten der Samenverbreitung!

Die Keimung

Vor der weiteren Entwicklung eines Samens tritt gewöhnlich eine Ruhepause von mehreren Wochen oder Monaten ein, die Samenruhe. In diesem Zustand sind die Samen äußerst widerstandsfähig gegenüber allen äußeren Einflüssen und überdauern oft ohne Schaden winterlichen Frost oder sommerliche Dürrezeiten. In ihrem Innern vollziehen sich während dieser Zeit biochemische Vorgänge, die dazu führen, daß sie allmählich die Keimfähigkeit erlangen. Sie keimen aus, sobald günstige Bedingungen hierfür eintreten (z. B. ausreichende Feuchtigkeit, günstige Temperatur, genügend Sauerstoff, unter Umständen auch ausreichendes Licht). Abbildung 106 gibt eine Übersicht über den Ablauf der Keimung.

Versuch 24a

Versuch 24b

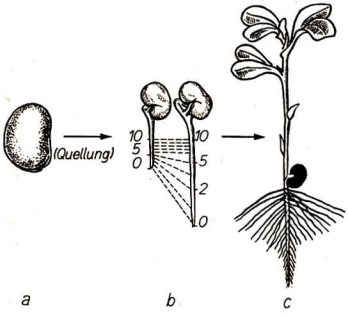


Abb. 106 Vorgang der Samenkeimung
a Wasseraufnahme durch Quellung, b Austreten der Keimwurzel und ihre Verlängerung mit langsamem Erscheinen des Keimsprosses und c der auswachsende Keimling (Beispiel: Saubohne – *Vicia faba*)

Das Wachstum

Wachstum ist eine bleibende Größenzunahme in einem lebenden Organismus. Wir unterscheiden Bildungswachstum und Streckungswachstum.

Bildungswachstum (Zellenvermehrungswachstum): In den Bildungsgeweben werden fortlaufend neue Zellen durch Teilung erzeugt (Kambium, Wachstumskegel in Sproß- und Wurzelspitze).

Streckungswachstum: Die kleinen, im Bildungsgewebe neu entstandenen Zellen strecken sich unter Aufnahme von sehr viel Wasser. Wenn die Zellen völlig gestreckt sind, ist das Wachstum des betreffenden Pflanzenteils abgeschlossen.

Bei der Keimung durchbricht die im Embryo vorgebildete Keimwurzel zuerst die Samenschale. Die Keimwurzel wächst mit dem Vegetationspunkt, einer Gruppe von jungen teilungsfähigen Zellen unmittelbar an der Wurzelspitze. Die Zellen des Wurzelvegetationspunktes zeigen rege Teilungstätigkeit. Es handelt sich um Vorgänge des Bildungswachstums.

Versuch 24c An diese Zone der Zellteilungen schließt sich ein Abschnitt an, in dem das Streckungswachstum vorherrscht. Markiert man junge Keimwurzeln mit Tuschemarken in Abständen von 1 mm, dann kann man nach 24 Stunden feststellen, daß die Tuschestriche im Bereich der Streckungszone am stärksten auseinander gewichen sind (vgl. Abb. 106b).

In etwas größerer Entfernung von der Wurzelspitze folgt anschließend an die Streckungszone der Bereich der Wurzelhaare. In dem Wurzelabschnitt zwischen Wurzelhaarzone und Wurzelhals finden wir die Wurzelverzweigung. – Diese Längsgliederung der Keimwurzel finden wir an allen lebenden Wurzelspitzen wieder (vgl. Abb. 81a und 106c).

Erst nachdem die Keimwurzel bereits aus dem Samen herausgetreten ist, erscheint auch der Keimsproß. Er wächst mit dem Sproßvegetationspunkt. Dieser ist ähnlich wie der Wurzelvegetationspunkt gebaut. Hier finden die Zellvermehrungen mit dem Bildungswachstum für den Sproß statt. Später sind auch an anderen Stellen des Sprosses noch Zonen vorhanden, welche Bildungswachstum zeigen, z. B. an jungen Blättern, an der Basis der Zwischenknotenstücke besonders bei den Gräsern und im Kambium zur Verdickung der Sproßachse bei den zweikeimblättrigen Pflanzen.

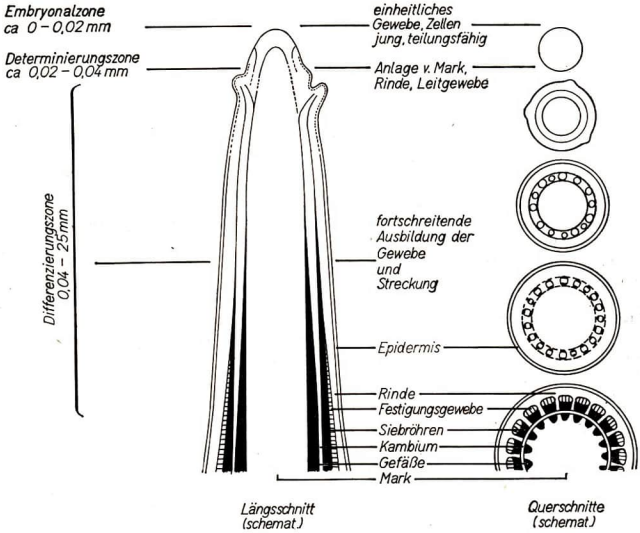


Abb. 107 Schematische Darstellung der Differenzierungsvorgänge am Vegetationspunkt

Wie an der Wurzel, so folgt auch an der Sproßspitze auf die Zone der Zellvermehrungen eine Zone der Zellstreckung. Erst an die Streckungszone schließt sich der Bereich an, in dem die Blätter und Seitenzweige abgegliedert werden.

Frage

Warum kann Wachstum nur durch Zusammenwirken von Bau- und Betriebsstoffwechsel zustande kommen?

In der Längsgliederung zeigen Sproßachse und Wurzel also weitgehende Übereinstimmungen. Während die Spitzen der Vermehrung der Zellzahl dienen, findet in den daran anschließenden Zonen die Zellstreckung statt. Hier wird die Zellzahl nicht mehr vermehrt. Dafür bilden sich nun die Gewebe heraus, z. B. Grund-, Festigungs- und Leitgewebe (Abb. 107). Es findet eine **Differenzierung** statt. Die Differenzierung ist einer der bedeutendsten Vorgänge in der ontogenetischen Entwicklung jedes Lebewesens. Aus einer Anzahl gleichwertiger Zellen werden Zellverbände (Gewebe) mit ver-

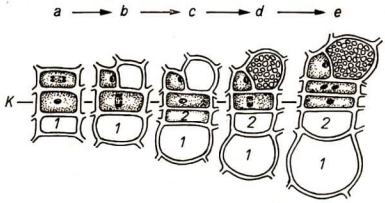


Abb. 108 Beispiel für einen Differenzierungsvorgang: Die Bildung von Siebröhren und Gefäßen am Kambium. Aus der Teilung einer Kambiumzelle entstehen zwei ungleiche Zellen, eine von beiden bleibt als Kambiumzelle (K) teilungsfähig, während die andere abwechselnd zu einer Siebzelle mit Geleitzelle oder zu einem Gefäß wird.

schiedener Funktion gebildet (Abb. 108). Das geschieht dadurch, daß von den vorhandenen Erbanlagen in den embryonalen Zellen der Bildungsgewebe bestimmte Merkmale stark entwickelt werden können, während andere Merkmale unterdrückt oder gar nicht ausgebildet werden. Die Ursachen für die unterschiedliche Ausbildung der Merkmale sind heute noch fast unbekannt. Sicher sind auch äußere Umstände für den Ablauf der Differenzierung bestimmend.

Ein Beispiel für einen inneren Differenzierungsfaktor ist die **Polarität.** Jede Pflanze besitzt einen Sproßpol und einen Wurzelpol. Eine Umkehrung der Polarität von Sproß und Wurzel ist grundsätzlich nicht möglich. Offenbar muß jede einzelne Pflanzenzelle diese Polarität besitzen. So gehen aus der Teilung einer embryonalen Zelle an der Grenze von Teilungs- und Streckungszone der Sproßspitze zwei Zellen hervor. Die Zelle, welche der Sproßspitze zugewandt liegt, bleibt teilungsfähig, während die nach hinten abgegliederte Zelle die Teilung einstellt. Sie streckt sich und unterliegt der Differenzierung. Beide Zellen haben dieselbe Mutterzelle und müssen erbgleich sein, da sie durch Gleichheitsteilung entstanden sind. Dennoch erfolgt eine verschiedenartige Entwicklung durch unterschiedlich starke Ausbildung der verschiedenen Erbanlagen der Zellen. Die Ursache für diesen Differenzierungsvorgang sieht man u. a. in der Polarität der Mutterzelle.

Durch das Zusammenspiel von Wachstums- und Entwicklungsvorgängen werden im Verlaufe der ontogenetischen Entwicklung der Pflanze typischer Aufbau und typische Funktionen der Art ausgebildet, so daß wir jede Art deutlich an ihren charakteristischen Merkmalen von anderen Arten unterscheiden können.

Das Wachstum jeder Pflanze wird sowohl von äußeren wie auch von inneren Faktoren beeinflußt. Von außen wirken vor allem Licht, Wasser, Temperatur und Bodenzusammensetzung.

Äußere Faktoren des Wachstums

Licht. Licht fördert die Bildung von Chlorophyll in den Zellen oder ist dafür unbedingt notwendig. Es beeinflußt außerdem das Streckungswachstum der Pflanzen.

Bei Lichtmangel schießen die Sprosse in die Länge, bleiben aber dünn und bleich. Die Sproßachse wächst rasch, die Blätter bleiben klein und schuppenförmig, es wird kein Chlorophyll gebildet. Diese Erscheinung bezeichnet man als Vergeilung. Hält sie an, so sterben die Pflanzen ab, da ihnen das für die Ernährung nötige Chlorophyll und Licht fehlen.

Die Vergeilung läßt sich besonders gut an Kartoffeln beobachten, die in einem dunklen Keller austreiben. Im Gartenbau benutzt man diese Erscheinung, um durch Bedecken mit Erde die jungen Triebe von Spargel und Endivie lang, schlank und zart zu erhalten (Abb. 109).

Temperatur. Wärme beschleunigt alle chemischen Vorgänge, sie beeinflußt deshalb auch das Wachstum. Die günstigste Wachstumstemperatur (Optimum) liegt für die meisten Pflanzen zwischen +10 und +30 °C, das Temperaturminimum unserer heimischen Arten liegt etwa bei 0 °C, das Temperaturmaximum bei +40 °C.

Wasser. Ausreichend Wasser ist für ein rasches Wachstum unerläßlich. Bei Trockenheit wachsen die Pflanzen nicht nur langsamer, sondern sie müssen sich auch stärker gegen Wasserverdunstung schützen. Stengel und Blätter werden derber, weil sie sehr viel Festigungsgewebe und dickere Abschlußgewebe bilden. Für den Aufbau solcher Schutzeinrichtungen wird viel Material und Energie verbraucht.

Bodennährstoffe. Bei Mangel an Bodensalzen wachsen die Pflanzen nur kümmerlich. Auf schlecht gedüngten Feldern steht die Frucht oft unregelmäßig. Das liegt, sofern die Feuchtigkeit gleichmäßig verteilt ist, an der unterschiedlichen Verteilung der Nährstoffe.

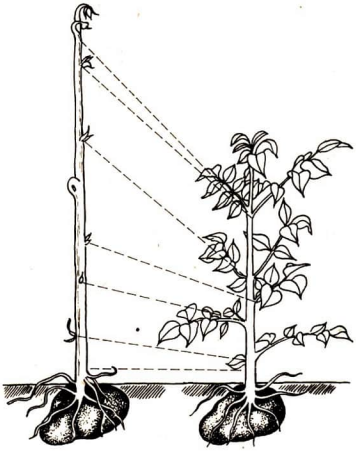


Abb. 109 Einfluß des Lichtes auf das Wachstum eines Kartoffelsprosses
Links: Dunkelheit, rechts: Licht.
Das Licht hemmt das Längenwachstum, fördert aber die Differenzierung in Sproß und Blättern und das Dickenwachstum. Die meisten unserer grünen Pflanzen erhalten ihre übliche Gestalt nur, wenn sie wenigstens zeitweise demLicht ausgesetzt werden.

Innere Faktoren des Wachstums

Wuchsstoffe. Das Wachstum einer Pflanze wird von den Umweltbedingungen zwar beeinflußt und gelenkt, aber nicht verursacht. Dies geschieht durch innere Stoffwechselvorgänge, besonders durch bestimmte Wachstumshormone, die **Wuchsstoffe.**

Wuchsstoffe werden im Pflanzenkörper vor allem in den Knospen und Blättern gebildet. Von dort wandern sie von Zelle zu Zelle oder mit dem Saftstrom in den Siebröhren in die übrigen Teile der Pflanze und regen das Streckungswachstum der Zellen an.

Die Wirkung der Wuchsstoffe wurde bisher am besten an den Keimscheiden der Gräser untersucht. Die Keimscheide ist ein stiftförmiges, hohles Organ, das es dem Gräserkeimling ermöglicht, den Erdboden zu durchbohren. Sie wird beim Hafer etwa 5 cm lang und umschließt schützend den Keimsproß mit dem ersten Blatt, der später durch einen Schlitz in der Keimscheidenspitze herauswächst.

Schneidet man einer Haferkeimscheide die Spitze ab, so hört ihr Streckungswachstum auf. Setzt man die Spitze wieder auf den Stumpf, so beginnt das Wachstum aufs neue. Setzt man die abgeschnittene Spitze für etwa zwei Stunden auf kleine Agarblöckchen und klebt diese dann auf den Stumpf, so wächst dieser weiter wie mit einer natürlichen Spitze. Heftet man das Agarblöckchen seitlich an den Stumpf, so wächst dieser nur dort und krümmt sich entsprechend nach der anderen Seite (Abb. 110).

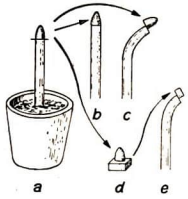


Abb. 110 Wirkung der Wuchsstoffe bei der Pflanze.
a Haferkeimscheide, b abgeschnittene Spitze auf gleichen oder anderen Stumpf aufgesetzt (gerades Wachstum), c Spitze einseitig aufgesetzt (Krümmung), d Spitze auf Agar-Blöckchen gestellt, e Agar-Blöckchen einseitig aufgesetzt (Krümmung).

Damit ist bewiesen, daß es Stoffe gibt, die das Wachstum der Pflanze anregen. Diese Wuchsstoffe sind schon in äußerst kleinen Mengen wirksam; Millionstel eines Milligramms können das Wachstum der Sprosse und Wurzeln merklich beeinflussen. Da sie in so geringen Mengen im Pflanzenkörper vorkommen, hat es Jahrzehnte mühevoller Forschung bedurft, um sie rein darzustellen und chemisch untersuchen zu können.

Die Wuchsstoffe fördern das Wachstum nur in bestimmten geringen Konzentrationen, höhere Konzentrationen können dagegen hemmend wirken. Daraus ergibt sich eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten in Landwirtschaft und Gartenbau. Mit Hilfe von Wuchsstoffsalben (Wollfett mit Wuchsstoffen) wird die Bewurzelung von Stecklingen gefördert. Daneben sind aber noch andere Wirkungen von Wuchsstoffen bekannt. Durch künstliche Zufuhr von Wuchsstoffen in die Fruchtknotenwand ist es gelungen, samenlose Früchte von Kulturpflanzen zu erzeugen (Zitrusfrüchte, Sultaninen). Unkräuter auf Getreidefeldern werden mit starken Lösungen synthetischer Wuchsstoffe besprüht und dadurch zu einem so gesteigerten Stoffwechsel angeregt, daß sie daran zugrunde gehen.

Die Wuchsstoffe wie auch die Umweltbedingungen beeinflussen nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung des Wachstums.

Besonderheiten der Entwicklung bei den Tieren

Die Entwicklung eines tierischen Organismus aus der befruchteten Eizelle kann in drei große Abschnitte unterteilt werden: Furchung der befruchteten Eizelle, Keimblattbildung und Organbildung.

Furchung der befruchteten Eizelle

Unter Furchung verstehen wir eine Folge mitotischer Zellteilungen, die äußerlich durch Einschnitte (Furchen und Vorwölbungen) an der Peripherie der Eizelle sichtbar werden. Die Masse der Eizelle vermehrt sich bei diesen Prozessen nur unwesentlich, das eigentliche Zellwachstum setzt erst danach ein.

Die Art und Weise, in der die ersten Zellteilungen der befruchteten Eizelle ablaufen, ist in starkem Maße von der Dottermenge abhängig.

Die Dottersubstanzen gehören mit zu den nichtlebenden Zellbestandteilen. Sie werden von den lebenden Plasmabestandteilen auf-, ab- und umgebaut. Bei den Zellteilungen werden sie bewegt. In der Zelle stellen sie das passive, das Protoplasma dagegen das aktive Element dar.

Es ist leicht einzusehen, daß in Eiern, die wenig oder fast keine Dottersubstanzen enthalten, die dazu noch ziemlich gleichmäßig im Zellplasma verteilt sind, die Eizelle sich ohne Schwierigkeiten teilen kann. In sehr dotterreichen Eiern aber (dazu gehört z. B. das Hühnerei) ist es der verhältnismäßig kleinen Protoplasmamenge unmöglich, die um ein Vielfaches größere Dottermasse zu bewältigen. Die Furchung kann sich hier nicht wie im obenerwähnten Falle vollziehen. Nach Dottergehalt und -verteilung gibt es bei den tierischen Eizellen verschiedene Möglichkeiten der Furchung.

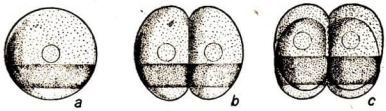
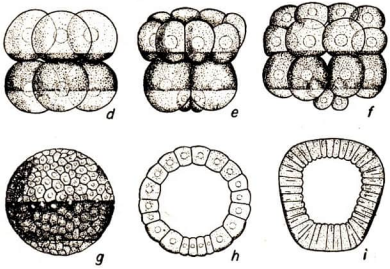


Abb. 111 Furchung eines dotterarmen Eies (Seeigel)
a ungefurchtes Ei, b 2-Zellen-Stadium, c 4-Zellen-Stadium, d 8-Zellen-Stadium, e 16-Zellen-Stadium, f 32-Zellen-Stadium, g junge Blastula, h Schnitt durch junge Blastula, i Schnitt durch ältere Blastula



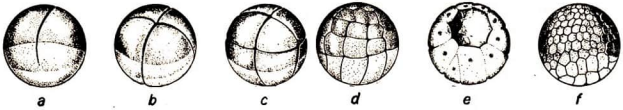


Abb. 112 Furchung eines Molcheies
a 2-Zellen-Stadium, b 4-Zellen-Stadium, c 8-Zellen-Stadium, d Morula, e Schnitt durch eine Morula, f Blastula

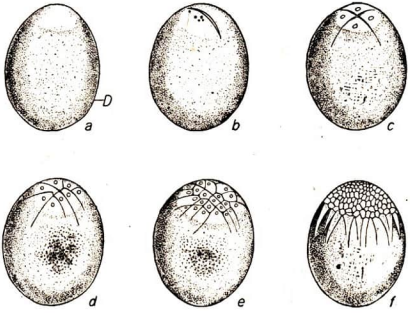


Abb. 113 Keimscheibenfurchung (Kopffüßer)
a ungefurchtes Ei, b erstes, c zweites Furchungsstadium, d bis f spätere Stadien, D Dotter

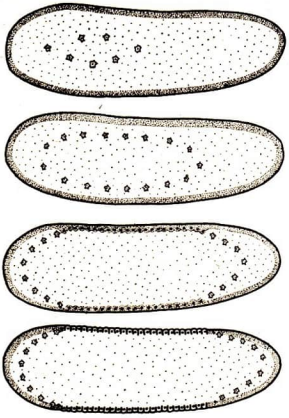


Abb. 114 Furchung eines Insekteneies.

Eizelltypen

Dotterlose bzw. dotterarme Eier, deren Dottersubstanzen gleichmäßig im Zellplasma verteilt sind (z. B. Eizellen der Säugetiere und der Stachelhäuter, Abb. 111);

die Dottersubstanz ist nicht gleichmäßig verteilt, sondern vor allem an einem Pol angereichert (z. B. Eier der Amphibien, Abb. 112);

einem großen Dotterklumpen sitzt eine kleine Menge von Protoplasma – meist in der Gestalt einer sogenannten Keimscheibe – auf (z. B. Eier der Vögel, Reptilien, Knochenfische, Kopffüßer, Abb. 113);

die Dottersubstanz ist im Innern der Eizelle konzentriert. Sie wird von einem dünnen Saum aus Zellplasma umgeben. Der Zellkern liegt – in eine kleine Plasmaportion eingebettet – im Zentrum der Dottermasse (z. B. Eier der geflügelten Insekten, Abb. 114).

Die ersten Furchungsteilungen vollziehen sich mit großer Regelmäßigkeit. In gleichzeitig (synchron) verlaufenden Teilungen entstehen 2, 4, 8 und 16 Furchungszellen (Blastomeren).

Das vorläufige Ergebnis der Furchungsteilungen ist die **Morula**, ein Zellhaufen aus fast gleichartigen Furchungszellen.

Ausbildung der Keimblätter

Die einzelnen Zellen der Morula ordnen sich zu einem Bläschen mit einer einschichtigen Wandung, zu einer **Blastula** um (Abb. 111 bis 117).

Eine solche Hohlkugel wird – in abgewandelter Form — bei den meisten Furchungstypen gebildet.

Bei den Schwämmen ist die Embryonalentwicklung mit der Bildung der Blastula beendet. Ihre Larve entspricht vollständig der oben besprochenen Blastula. Nachdem sie sich festgesetzt hat, entwickelt sich aus ihr der junge Schwamm (Biologie 2, Lehrbuch der erweiterten Oberschule S. 8, Abb. 1)

Bei den höher entwickelten Tieren geht die Entwicklung weiter. Aus der einschichtigen Blastula entsteht zunächst die zweischichtige Gastrula (Becherkeim).

Gastrulation. In ihrer einfachsten Form vollzieht sich die Bildung der **Gastrula** (die Gastrulation) so, daß sich die Zellen des vegetativen Poles in die Blastulahöhle einstülpen (Abb. 115). Dort legen sie sich der äußeren Zellschicht mehr oder weniger eng an. An der so entstandenen Gastrula unterscheiden wir

eine äußere Zellschicht (äußeres Keimblatt – **Ektoderm**),

einen Hohlraum zwischen den beiden Keimblättern (primäre Leibeshöhle),
eine innere Zellschicht (inneres Keimblatt – **Entoderm**),
den inneren Hohlraum (Urdarm).
Der Urdarm ist durch eine Öffnung (Urmund) mit der Außenwelt verbunden.
Diesen Typ der Gastrulabildung bezeichnen wir als Einstülpung.
Die Gastrula kann auch auf andere Weise entstehen (Abb. 116 und 117).

Mit der ausgebildeten Gastrula hört für die Hohltiere und die primitiven Würmer die Keimblattbildung auf. Für sie beginnen jetzt die Prozesse der Formbildung.

Bei den Zellverbandstieren mit einer sekundären Leibeshöhle wird noch ein drittes Keimblatt gebildet, das zwischen Ektoderm und Entoderm liegt und mittleres Keimblatt oder **Mesoderm** genannt wird. Die Mesodermbildung ist noch uneinheitlicher als die Gastrulation. (Biologie 2, Lehrbuch der erweiterten Oberschule, S. 36 Abb. 11).

Organbildung

Mit der Bildung des Mesoderms ist die Keimblattbildung abgeschlossen. Jetzt beginnt eine neue Phase der Entwicklung, in der sich aus den einzelnen Keimblättern die Organe bilden.

Es entwickeln sich
aus dem Ektoderm Haut- und Nervensystem, Teile des Darmrohres,
aus dem Entoderm Darmepithel, Epithel der Darmanhangsorgane,
aus dem Mesoderm Binde- und Stützgewebe, Muskulatur, Gefäßsystem u. a.

Der größte Teil der Gewebemasse eines hochentwickelten tierischen Organismus ist mesodermalen Ursprungs.

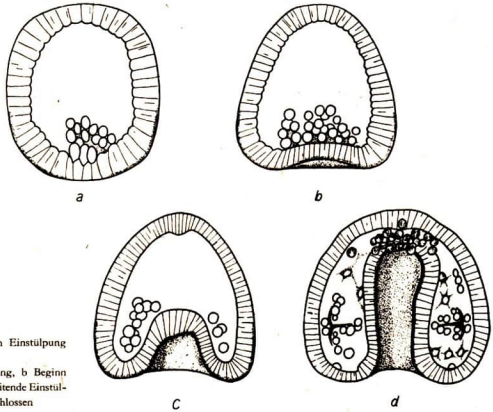


Abb. 115 Gastrulation durch Einstülpung (Seeigel)
a Beginn der Mesodermbildung, b Beginn der Einstülpung, c fortschreitende Einstülpung, d Gastrulation abgeschlossen

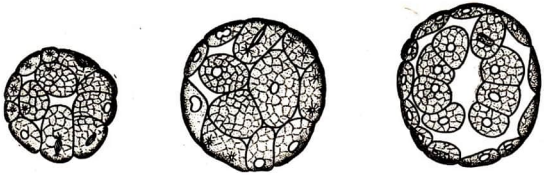


Abb. 116 Bildung des Endoderms durch multipolare Einwanderung. Bei manchen Hohltieren wandern an einem Pol Furchungszellen in den Hohlraum der Blastula hinein und ordnen sich hier zu einem zweiten Keimblatt an (polare Einwanderung). Bei anderen Hohltieren erfolgt die Einwanderung von verschiedenen Stellen der Blastulawand her (multipolare Einwanderung).

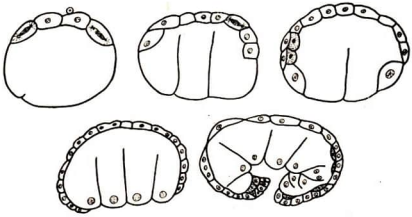


Abb. 117 Gastrulation durch Umwachsung. – Die großen Zellen des einen Pols des Keimes werden von den bedeutend kleineren des anderen Keimpols umwachsen und gelangen auf diese Weise in das Innere des Becherkeimes. Die Gastrulabildung durch Umwachsung ist bei manchen Strudelwürmern und bei Amphibien anzutreffen.

Direkte und indirekte Entwicklung

Die ontogenetische Entwicklung ist in ihrem Ablauf bei den verschiedenen Tiergruppen sehr unterschiedlich. Prinzipiell unterscheidet man zwischen **direkter** und **indirekter** Entwicklung. Die indirekte Entwicklung ist durch das Auftreten von Larvenformen gekennzeichnet, die sich vom geschlechtsreifen Tier gestaltmäßig und im Stoffwechsel wesentlich unterscheiden. Man spricht deshalb auch von Metamorphose (Verwandlung).

Das Wesen einer Metamorphose wollen wir an Hand der Entwicklung von drei Insektenarten verdeutlichen. Wir wählen hierzu das Silberfischchen (auch Zuckergast genannt), die große Grüne Heuschrecke und den Großen Kohlweißling.

Aus den Eiern, die das Silberfischchen abgelegt hat, schlüpfen kleine Larven aus, die dem geschlechtsreifen Tier sehr ähnlich sind. Die Larven wachsen im Laufe der Zeit zum geschlechtsreifen Tier heran, wobei sie sich wegen des nur begrenzt elastischen Chitinpanzers mehrfach häuten. Die Gestalt der Larven zeigt aber keine wesentlichen Änderungen gegenüber dem erwachsenen Tier. Diese Form bezeichnen wir als **direkte Entwicklung**.

Bei der Grünen Heuschrecke ähneln die aus den Eiern schlüpfenden Larven dem ausgewachsenen Tier nur zum Teil. Den Larven fehlen zum Beispiel noch die Flügel. Auch die Körperproportionen weichen noch stark von denen des geschlechtsreifen Tieres ab. Mit jeder Häutung wird die Larve aber dem geschlechtsreifen Insekt (Imago) ähnlicher. Seine Gestalt wird allmählich erreicht. Dies ist eine **unvollständige Verwandlung,** also eine Form der indirekten Entwicklung.

Eine **vollständige Verwandlung,** die typische Form der indirekten Entwicklung, kann man beim Kohlweißling beobachten. Hier erinnern die aus den Eiern schlüpfenden Larven, die Raupen, kaum an den Falter, der sich später aus ihnen entwickelt. Raupen nehmen viel Nahrung zu sich, wachsen schnell

heran, häuten sich mehrmals, verändern aber dabei kaum ihre Gestalt. Erst die letzte Larvenhäutung schafft einen plötzlichen Formwandel. Es entsteht eine Puppe, die nahezu bewegungslos zum Beispiel an Pflanzen hängt und keinerlei Nahrung zu sich nimmt. Wenn man die Raupe als „Freßstadium" oder „Wachstumsstadium" bezeichnet, so ist die Puppe ein „Verwandlungsstadium". In ihr werden die meisten Larvenorgane aufgelöst und die Organe der Imago völlig neu aufgebaut. Der Falter schlüpft dann fertig ausgebildet aus der Puppenhülle; lediglich die Flügel müssen noch gestreckt werden und erhärten. (Biologie 2, Lehrbuch der erweiterten Oberschule, S. 55, Abb. 19).

Aufgabe

Nennen Sie andere Beispiele einer indirekten Entwicklung im Tierreich!

Die gut zu beobachtenden plötzlichen äußeren Veränderungen bei der vollständigen Metamorphose der Insekten führen immer wieder zu der Frage nach den bei der Metamorphose wirkenden Faktoren. Zahlreiche Untersuchungen der letzten 25 Jahre haben eindeutig gezeigt, daß vor allem Hormone als auslösende Faktoren wirksam sind. Die Raupenhäutungen treten ein, sobald die Hirnanhangdrüse eine bestimmte Menge „Häutungshormon" abgegeben hat. Die Bildung der Puppe und der Imago wird von anderen Wirkstoffen gesteuert: Bestimmte Zellen des Gehirns produzieren ein Hormon, das eine Drüse im Brustabschnitt zur Bildung eines Hormons anregt. Dieses löst dann die Verpuppung und Imaginalentwicklung aus. Durch experimentelle Eingriffe in den verschiedenen Larvenstadien ist es durchaus möglich, die Puppenbildung verfrüht oder verspätet auszulösen; dadurch können Zwerg- beziehungsweise Riesenfalter entstehen.

Regulationsvorgänge bei der Ontogenese

Der komplizierte und offensichtlich gesetzmäßige Ablauf der Ontogenese ist oft als etwas Geheimnisvolles empfunden worden. Früher versuchte man ihn vielfach folgendermaßen zu erklären: Bereits in der Eizelle wird eine besondere übernatürliche Lebenskraft wirksam, und jedes auch noch so kleine Teilchen der Eizelle ist für seine spätere Funktion vorbestimmt. Diese metaphysischen Auffassungen sind durch die Forschungsergebnisse der auf diesem Gebiet arbeitenden Wissenschaftler (Entwicklungsphysiologen) widerlegt worden. Zwei der Experimente, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind, sollen hier erläutert werden.

Experiment 1:

Trennt man die beiden Furchungszellen eines Amphibieneies, die bei der ersten Furchungsteilung entstanden sind, voneinander, so entwickelt sich aus jeder dieser Zellen ein vollständiges Tier. Dieses ist lediglich etwas kleiner als bei normaler Entwicklung, da ja auch das Ausgangsmaterial mengenmäßig geringer war. Man kann so künstlich eineiige Zwillinge erhalten. Frühe Keimstadien sind also offensichtlich in der Lage, fehlende Teile zu ergänzen und Störungen des Entwicklungsablaufes zu regulieren. Das gilt jedoch nicht absolut.

Experiment 2:

Die Morula eines Seeigelkeimes wird in zwei Hälften zerschnitten. Die Trennungsebene verläuft dabei a) äquatorial, b) von Pol zu Pol.

Bei Versuch a führt die Entwicklung beider Hälften nur bis zu einer unvollständigen Blastula, die dann abstirbt. Das Ergebnis von Versuch b entspricht dem von Experiment 1, es entwickeln sich also zwei vollständige, aber etwas kleinere Tiere. Wie erklärt sich das unterschiedliche Ergebnis? In der Eizelle des Seeigels sind die Stoffe nicht gleichmäßig verteilt. Bestimmte Stoffe sind vorwiegend am oberen, andere vorwiegend

am unteren Pol vorhanden. Entsprechend werden diese Stoffe bei der Furchung auch in verschiedenem Maße auf die Furchungszellen verteilt. Werden nun, wie beim Experiment 2 a, obere und untere Hälfte voneinander getrennt, so ist die Stoffverteilung besonders ungünstig und eine Regulation der Vorgänge nicht mehr möglich.

Das **Regulationsvermögen** ist bei den Keimen verschiedener Tiergruppen nicht in gleicher Weise ausgeprägt. Während bei vielen Sippen in den frühen Stadien der Ontogenese auch stärkere Keimschädigungen ausgeglichen werden können, ist das bei anderen selbst bei geringeren Schäden nicht möglich.

Die in der Keimesentwicklung besonders auffällige Erscheinung, daß Schäden ausgeglichen werden, ist auch bei erwachsenen Tieren zu beobachten. Wenn zum Beispiel einem Molch ein Bein abgebissen wird, so wächst dieses im Verlaufe weniger Monate wieder nach und ist von dem ursprünglichen Glied kaum zu unterscheiden. Hier ist das **Regenerationsvermögen**, wie man diese Eigenschaft nennt, besonders stark ausgeprägt. Das trifft auch für viele niedere Tiere zu. So kann man beispielsweise Schwämme in Hunderte kleiner Stücke zerschneiden, jedes einzelne wird wieder zu einem ganzen Schwamm heranwachsen. Je weiter die Differenzierung eines Organismus fortgeschritten ist, desto mehr geht das Regenerationsvermögen zurück. Bei den Säugetieren, und damit auch beim Menschen, ist das Regenerationsvermögen nur gering. In den meisten Fällen kommt es nur zu einem Wundverschluß.

Aufgaben und Fragen

1. Welche Anpassungsformen haben Tiere und Pflanzen für die sexuelle Vermehrung auf dem Lande entwickelt? Worin bestehen Unterschiede und worin Übereinstimmung?
2. Erklären Sie die Unterschiede in Bau und Funktion zwischen Bildungsgewebe und Differenzierungszone an Sproß- und Wurzelspitze!
3. Welche Organe gehen aus den einzelnen Keimblättern der Tiere hervor?

Generationswechsel

Viele Algen, Pilze und niedere Tiere pflanzen sich während der günstigsten Jahreszeiten nur ungeschlechtlich oder eingeschlechtlich fort; sie vermehren sich dadurch sehr rasch. Die Dauerformen, die den Winter, eine Trocken- oder Hungerzeit überstehen, entstehen meist durch geschlechtliche Fortpflanzung.

Bei zahlreichen Gruppen von Lebewesen wechseln verschiedene Formen der Fortpflanzung entweder unregelmäßig oder regelmäßig miteinander ab. Einen regelmäßigen Wechsel nennt man Generationswechsel.

Generationswechsel ist im Pflanzen- und Tierreich weit verbreitet.

Generationswechsel bei den Landpflanzen

Die Entwicklung der Landpflanzen ist durch eine strenge Aufeinanderfolge von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung gekennzeichnet. Das Bild dieses Generationswechsels ändert sich jedoch mit der Höherentwicklung der Pflanzen.

Aufgabe und Frage

1. Untersuchen Sie Sporenkapseln von Moosen sowie die Sporenkapselhäufchen an Farnwedeln mit der Lupe und dem Mikroskop!
2. Wie vollzieht sich die Fortpflanzung der Moose und Farnpflanzen?

Bei Moos- und Farnpflanzen folgen geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzungsweise in einem regelmäßigen Generationswechsel aufeinander.

Eine ungeschlechtliche Generation (Sporophyt) erzeugt an ihren sporenbildenden Blättern (Sporophyllen) besondere Sporenbehälter (Sporangien) und darin die Sporen. Die reifen Sporenbehälter öffnen sich, die Sporen fallen heraus, sie werden vom Wind verbreitet und keimen auf günstigem Boden aus. Aus ihnen entwickelt sich ein Vorkeim als Geschlechtsgeneration, welcher in seinen Fortpflanzungsorganen die Gameten bildet. Nach der Befruchtung entsteht aus der Zygote wieder eine ungeschlechtliche Sporengeneration.

Sporen, Geschlechtsgeneration und Gameten haben einen haploiden, die Zygote und die Sporengeneration dagegen einen diploiden Chromosomensatz.

Vergleicht man den Generationswechsel der Moose, Land- und Wasserfarne, so läßt sich eine Entwicklungsrichtung erkennen, die sich bis zu den Samenpflanzen fortsetzt: Die geschlechtliche Differenzierung und Größenunterschiede der Sporen nehmen zu.

Bei den Moosen und Landfarnen, ebenso bei den Schachtelhalmgewächsen und den einfachen Bärlappen sehen alle Sporen äußerlich gleich aus.

Bei den (zu den Bärlappgewächsen zählenden) Moosfarnen sowie den Wasserfarnen treten dagegen geschlechtsgebundene Unterschiede auf:

Die Großsporenbehälter (Makrosporangien) entwickeln nur noch wenige (1 oder 4) Großsporen (Makrosporen), aus denen später der weibliche Vorkeim entsteht.

Die Kleinsporenbehälter (Mikrosporangien) bilden dagegen zahlreiche Kleinsporen (Mikrosporen), aus denen sich später männliche Vorkeime mit den männlichen Fortpflanzungsorganen entwickeln.

Parallel zur geschlechtlichen Differenzierung erfolgt in der phylogenetischen Entwicklung von den Moosen zu den Samenpflanzen eine Vergrößerung des Sporophyten und eine Reduktion des Gametophyten. – So stellt der Gametophyt bei den Moosen noch die eigentliche grüne Moospflanze dar. Bei den Farnen sind die Sporophyten die eigentlichen großen Pflanzen, während der Gametophyt bis auf den meist äußerst kleinen grünen Vorkeim reduziert ist. Am Ende dieser Entwicklung stehen die Samenpflanzen, bei denen der Gametophyt bis auf Reste in den Pollenkörnern und in den Samenanlagen verschwunden ist. Die Samenpflanzen stellen also Sporophyten dar. Diese Entwicklung ist im folgenden Schema (Abb. 118) dargestellt.

Generationswechsel bei den Tieren

Bei vielen Tiergruppen tritt ein Generationswechsel auf, so besonders bei Hohltieren, parasitischen Würmern, kleinen Krebsen und Insekten.

Man unterscheidet zwei Hauptformen des Generationswechsels:

1. Einen Wechsel von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Fortpflanzung.

Eine solche Form des Generationsweehsels finden wir beispielsweise bei vielen Hohltieren. Die Generation mit geschlechtlicher Fortpflanzung sind die Medusen, ungeschlechtlich pflanzt sich die Polypen-Generation fort. Die Medusen erzeugen Ei- und Samenzellen, aus denen nach der Befruchtung Polypen heranwachsen. Die Polypen haben keine Geschlechtsorgane. Durch Knospung oder Teilung bilden sie Medusen. (Biologie 2, Lehrbuch der erweiterten Oberschule, S. 16 und 17, Abb. 5 und 6).

2. Einen Wechsel von zweigeschlechtlicher Fortpflanzung und eingeschlechtlicher Fortpflanzung.

Eine solche Form des Generationswechsels finden wir bei Wasserflöhen. Es gibt männliche und weibliche Tiere, also zwei Geschlechtstiere. Im Sommer finden wir nur Weibchen. Diese legen Eier, die sich unbefruchtet entwickeln. Aus den Eiern entwickeln sich immer weibliche Tiere. Dieser Vorgang wiederholt sich während des Sommers vielmals.

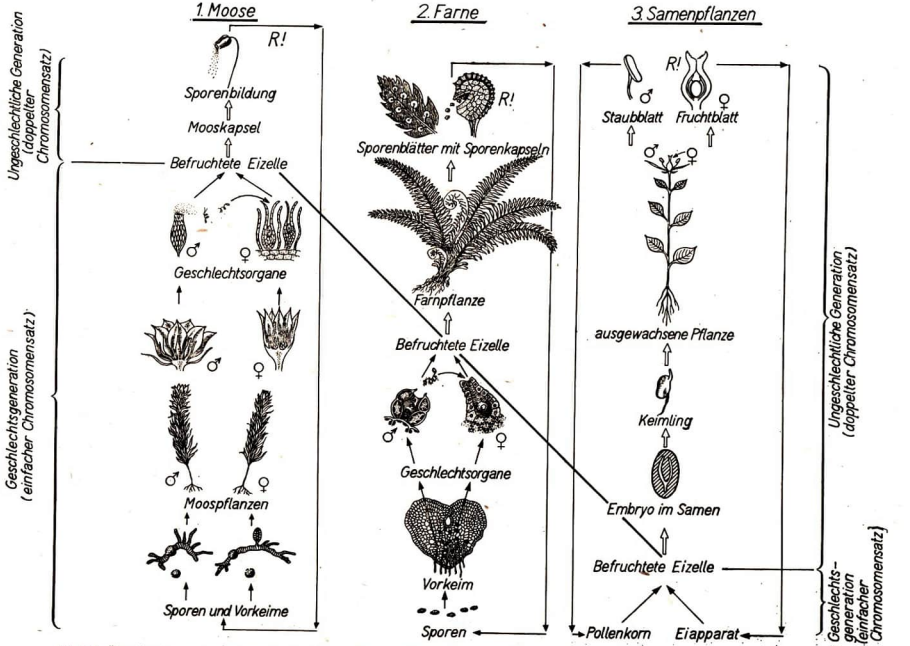


Abb. 118 Übersicht über den Generationswechsel bei Moosen, Farnen und Samenpflanzen. Mit fortschreitender Höherentwicklung der Pflanzen erfolgt eine Reduktion des Gametophyten und eine stärkere Entwicklung des Sporophyten.

Im Herbst entwickeln sich die unbefruchteten Eier zu Männchen und Weibchen. Die Eier, die die Weibchen jetzt erzeugen, werden befruchtet, die Fortpflanzung erfolgt somit durch beide Geschlechter. Diese Eier überwintern, aus ihnen schlüpfen im Frühling Weibchen, die sich wiederum eingeschlechtlich fortpflanzen.

Der Entwicklungszyklus kann wesentlich unübersichtlicher werden, wenn Larvenformen und Wirtswechsel hinzukommen (z. B. häufig bei parasitischen Würmern und Insekten).

Aufgaben und Fragen

1. Erklären Sie die Unterschiede zwischen unvollständiger und vollständiger Verwandlung (Metamorphose) bei den Insekten!
2. Was versteht man unter einem Generationswechsel?

Reizphysiologie

Reizbarkeit als Grundeigenschaft der lebenden Materie

Berührt man die Fiederblättchen einer Mimose, so klappen diese zusammen; werden Pantoffeltierchen, die in einem Aquarium leben, mit starkem Licht angestrahlt, so suchen sie dunklere Stellen im Gefäß auf. Wenn wir frieren, „klappern die Zähne". Es erfolgen rhythmische Kontraktionen mancher Muskeln. Die Beispiele zeigen, daß die Lebewesen oder einzelne Organe auf Einflüsse ihrer Umwelt reagieren. Diese Eigenschaft wird als Reizbarkeit bezeichnet.

Zur Reizbarkeit gehören mehrere eng miteinander verknüpfte Vorgänge: ein Reiz, der eine Erregung auslöst, eine Erregungsleitung und eine Antwort auf den Reiz, die Reaktion.

Die Reizbarkeit ist ein Merkmal des Lebens. Wir finden sie von den Bakterien bis zum Menschen. Diese gemeinsame Eigenschaft beweist wiederum die verwandtschaftlichen Beziehungen aller Organismen. Auch lebende Teile des Körpers, etwa die verschiedenen Organe, Gewebe und einzelne Zellen sind reizbar. Isolierte Muskeln oder isolierte Nervenzellen beispielsweise werden sehr häufig benutzt, um die Reizbarkeit zu untersuchen.

Die Reizbarkeit ist eine Eigenschaft aller lebenden Systeme.

Die Reizphysiologie ist ein kompliziertes Gebiet, das der Wissenschaft lange verschlossen blieb. Inzwischen wurden auch hier chemische und physikalische Erscheinungen als Grundlage für die Reizvorgänge erkannt. Noch jetzt sind wichtige Probleme zu lösen, an keiner Stelle aber ist Platz für die Annahme übernatürlicher Kräfte und für unwissenschaftliche Spekulationen, die besagen, daß die Probleme der Reizphysiologie der Erkennbarkeit verschlossen sind.

Der Reiz

Reize sind Vorgänge, die den lebenden Systemen Energie zuführen (z. B. dem Auge Lichtenergie) oder entziehen (z. B. der Haut Wärme). Dadurch verändert sich der physiologische Zustand der reizbaren Zelle – sie wird erregt.

Man unterscheidet äußere Reize, die aus der Umwelt auf den Organismus wirken, und innere Reize. Äußere Reize sind allgemein bekannt. So weiß jeder, daß er diese Worte nur lesen kann, weil die Sinneszellen des Auges von Lichtstrahlen gereizt werden. Weit weniger augenfällig sind die inneren Reize. Beispielsweise wirkt hoher CO_2-Gehalt im Blut auf das Atemzentrum im Nachhirn als innerer Reiz. Das Atemzentrum veranlaßt seinerseits die Atemmuskulatur zu schnelleren Bewegungen. Beide Reizgruppen können weiter unterteilt werden: Mechanische Reize, chemische Reize, osmotische Reize, thermische Reize, Strahlungsreize und elektrische Reize.

Bei Untersuchungen an Nerven und Muskeln werden meist elektrische Reize benutzt.

Reize müssen eine bestimmte Intensität besitzen und eine gewisse Zeit wirken, damit sie eine Reaktion hervorrufen. Das Produkt aus Reizintensität und Einwirkungsdauer bezeichnet man als Reizmenge. Die Reizmenge muß einen Schwellenwert überschreiten, erst dann wird sie wirksam. Ein Reiz, der gerade stark genug ist, eine Reaktion hervorzurufen, heißt Schwellenreiz. Reize, die schwächer sind, nennt man unterschwellig.

Ist ein Reiz größer als die Reizschwelle, so kann bei manchen reizbaren Gebilden (z. B. Skelettmuskelzellen) seine Stärke beliebig gesteigert werden, ohne daß sich die Reaktion erhöht. Wenn eine Reaktion einsetzt, erreicht sie in diesen Fällen sofort die Maximalstärke. Dies gilt jedoch nicht für alle reizbaren Systeme, zuweilen steigt nach Überschreiten der Reizschwelle die Erregungs- und Reaktionsgröße mit der Reizmenge (Lichtreiz bei Pflanzenorganen; sämtliche Sinnesreize bei Tieren). Bei solchen Systemen bezeichnet man Reize, die eine maximale Wirkung auslösen, als Maximalreize.

Wenn mit unterschwelligen Reizen begonnen und die Reizmenge ganz allmählich gesteigert wird, findet manchmal auch nach Überschreitung der Reizschwelle keine Reizbeantwortung statt. So kann das Mimosenblatt durch allmähliche Steigerung Druck-und Zugreizen ausgesetzt werden, die weit über dem Schwellenreiz liegen, ohne daß eine Reaktion erfolgt. Das gleiche findet man beim Muskel, der bei elektrischen Reizen nicht reagiert, wenn man die Stromstärke ganz langsam ansteigen läßt. In solchen Fällen spricht man vom „Einschleichen" des Reizes.

Die Anpassung der Sinnesorgane an unterschiedliche Reizstärken nennt man Adaptation.

Sehr starke Reize führen allgemein zu Schädigungen, sie können schließlich den Tod herbeiführen.

Wenn die Reizintensität gering ist, die Einwirkung aber sehr lange anhält, können auch unterschwellige Einzelreize, die in kurzen Abständen aufeinanderfolgen, noch eine Reaktion auslösen. Die Einzelreize können also summiert werden (Reizsummation). Bei manchen Reflexen kann man die Reizsummation gut verfolgen, beispielsweise beim Niesen. Werden die reizbaren Nervenendigungen der Nasenschleimhaut ganz schwach gereizt, etwa durch Staubteilchen, so verspürt man lediglich ein leichtes Prickeln in der Nase. Hält der gleiche Reiz längere Zeit an, so kommt es zur Reflexentladung, dem bekannten „Hatschi".

Folgen zwei überschwellige Reize kurz aufeinander, so werden sie gleichfalls summiert. Folgt der zweite Reiz aber sehr dicht auf den ersten, so ist er entweder ohne Wirkung oder er führt zu einer verminderten Reaktion. Daraus folgt, daß ein reizbares System nach einem Reiz kurze Zeit unempfindlich ist.

Nur selten treffen Einzelreize einen Organismus. Meist sind es Dauerreize, die eine Dauererregung auslösen. Bei einem einzigen Reiz reagiert eine Muskelfaser mit einer einzelnen Zuckung, bei Dauerreizen dagegen mit einer Dauerkontraktion.

Ein lebendes Organ oder eine Zelle reagiert nicht sofort auf den einwirkenden Reiz. Die Zeit, die verstreicht, ehe die Reaktion einsetzt, wird als Latenzzeit bezeichnet. Die

Zeit, die vergeht, ehe ein ganzer Organismus auf einen Reiz antwortet, wird Reaktionszeit genannt. Bei pflanzlichen Organismen ist diese erheblich länger als bei tierischen. Bei Tieren erfolgt die Reaktion häufig so schnell, daß die Latenzzeit früher für viele Gewebe nicht meßbar war.

Eine einseitig vier Sekunden mit 30 Lux beleuchtete Keimscheide vom Hafer reagiert nach einer Stunde mit einer eben sichtbaren Krümmung. Ein elektrisch gereizter Muskel vom Frosch reagiert dagegen schon nach etwa 10^{-2} Sekunden mit einer Zuckung. Bei tierischen Geweben wurden auch längere und bei pflanzlichen Geweben kürzere Latenzzeiten gemessen. Die Latenzzeit für die glatte Muskulatur des Froschmagens liegt im Bereich von einer bis mehreren Sekunden, während die Staubblätter der Berberitzenblüte eine Klappbewegung zeigen, die schon nach $4 \cdot 10^{-2}$ Sekunden einsetzen kann.

Die Reizbarkeit kann durch bestimmte künstliche Einwirkungen zeitweise herabgesetzt oder auch aufgehoben werden. Einen solchen Zustand verminderter Reizbarkeit nennt man Narkose oder Anästhesie.

Die Mittel, durch die ein solcher Zustand hervorgerufen wird, heißen Narkotika oder Anästhetika. Mit Äthoxyäthan (Diäthyläther) oder Trichlormethan (Chloroform) können beispielsweise Pflanzen und Tiere zeitweilig reizunempfindlich gemacht werden.

Die Bedeutung der Narkose für die Medizin ist außerordentlich groß. Ohne narkotische Mittel (vor allem Chemikalien und Kälte) wäre die moderne Medizin nicht denkbar, da keine größeren Operationen durchgeführt werden könnten.

Die Erregung

Reize lösen eine Erregung aus. Erregungen und ihre Leitung im Organismus können beobachtet werden, weil die erregten Gebilde elektrische Erscheinungen zeigen. Diese Erscheinungen kann man folgendermaßen nachweisen:

Man sticht in eine Nervenfaser eine dünne, stromabnehmende Elektrode und legt eine zweite gleichartige auf die Oberfläche des Nerven. Beide Elektroden werden durch ein stromanzeigendes Instrument verbunden. Das empfindliche Gerät wird eingeschaltet und zeigt einen Ausschlag, es fließt Strom. Nerveninneres und Nervenoberfläche haben also unterschiedliche elektrische Ladungen. Das Innere des Nerven ist gegenüber dem Äußeren negativ geladen. Die Spannungsdifferenz beträgt etwa —40 bis —80 Millivolt. Da der Nerv bisher nicht gereizt wurde, spricht man vom Ruhepotential. Nun wird der Nerv gereizt. Der Zeiger des Gerätes geht auf die Nullmarke zurück, überschreitet sie und zeigt einen Wert von etwa +40 Millivolt an, sinkt aber sofort wieder und erreicht erneut das Ruhepotential (—40 bis —80 Millivolt). Durch die Erregung ist, wie das Gerät zeigt, der Nerv vorübergehend umgepolt worden. Das Innere der Faser wurde positiv, die Oberfläche negativ. Diese Erscheinung heißt Aktionspotential. Mit feinen Registriergeräten kann man den Aktionsstrom aufzeichnen lassen.

Mißt man die Ladung an der Oberfläche, dann ist eine erregte Stelle des Nerven gegenüber einer nichterregten Stelle immer negativ geladen. Bei einem Reiz pflanzt sich die „Negativität" auf der Oberfläche des Nerven als Anzeichen der Erregungsleitung fort.

Aktionspotentiale sind bei der Reizung von Einzellern, Pflanzen und Tieren gefunden worden. Bei der Mimose und der Venusfliegenfalle sind die Blattbewegungen ebenso von Aktionsströmen begleitet wie die Kontraktion der Muskeln bei Tieren.

Die Erregung eines reizbaren Gebildes kann allgemein durch das Auftreten elektrischer Begleiterscheinungen festgestellt werden.

Die Erregungsleitung ist meist ein kontinuierlicher Vorgang. Bei Wurzelfüßern kann sie sogar äußerlich sichtbar werden. Wenn die Scheinfüßchen einer beschalten Amöbe (*Difflugia*) mit einer Nadel berührt werden, wird das Scheinfüßchen zunächst an dieser Stelle, danach an einer benachbarten verändert (Abb. 119). So breitet sich langsam die Erregung aus. Bei schwachen Reizen wird nur ein Teil des Scheinfüßchens beeinflußt, die Erregung erlischt vorzeitig. Nimmt die Erregung während der Leitung ab, so spricht man von einer Leitung mit Dekrement (Abschwächung). Die Erregung durchläuft, je nach der Reizmenge, verschieden große Strecken. Bei höheren Tieren leiten viele Nervenfasern meist ohne Dekrement. Die Erregung wird hier ohne Abschwächung über große Strecken geleitet.

Man kann die Erregungsausbreitung mit einer Reihe von Explosionen aneinandergereihter Pulverhäufchen vergleichen. Wird das erste Pulverhäufchen zur Explosion gebracht, so entzündet es das folgende, dieses das nächste und so fort. Der Aktionsstrom breitet sich als Begleiterscheinung der Erregung über das reizbare Gebilde aus. Er entsteht an der erregten Stelle und wandert nach beiden Seiten des Muskels oder Nerven fort. Diese Erscheinung entspricht nicht der elektrischen Leitung in Stromkabeln, vielmehr entsteht der Aktionsstrom als Folge besonderer chemisch-physikalischer Prozesse. Auch die Tatsache, daß die Erregungsleitung höchstens Werte um 100 m s^{-1} erreicht, zeigt, daß es sich nicht um einfache elektrische Leitung handeln kann.

Die Erregungsleitung ist in Nervenfasern nach beiden Richtungen möglich. An Übergangsstellen von einer Nervenzelle zu einer anderen sowie an den Übergängen zu den Muskeln und von den Sinneszellen zu Nervenfasern kann die Leitung jedoch nur in einer Richtung erfolgen.

Die Übertragung der Erregung von einer Nervenzelle auf eine andere, also von Neuron zu Neuron, oder von Nerven auf den Muskel an der motorischen Endplatte

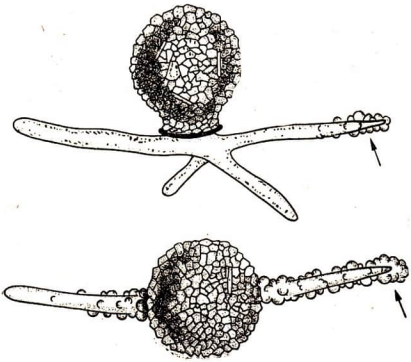


Abb. 119 Erregungsleitung bei einer beschalten Amöbe.

geschieht durch Überträgerstoffe (Azetylcholin, Noradrenalin), die vom Nerven sehr schnell freigesetzt werden.

Die Erregungsleitung bei Pflanzen hängt teilweise mit dem Transport von Wuchsstoffen zusammen (s. S. 199).

Geschwindigkeit der Erregungsleitung

Die Geschwindigkeit, mit der ein lebendes System eine Erregung leitet, ist sehr unterschiedlich. Allgemein zeigen die erregten Systeme tierischer Organismen eine schnellere Leitung als die erregbaren Systeme der Pflanzen.

Geschwindigkeit der Erregungsleitung

Art	Gewebe bzw. Organ	Mittlere Geschwindigkeit m s^{-1}
Teichmuschel	Nerv	0,05
Regenwurm	Bauchmark	0,4
Hummer	Sehnerv	9
Frosch	Skelettmuskel	3
Frosch	Ischiasnerv	25
Pferd	marklose Fasern	8
Pferd	markhaltige Fasern	30
Mensch	Skelettmuskel	10
Mensch	markhaltige Nerven	80 bis 100
Hafer	Keimscheide (Lichtreiz)	sehr klein
Hafer	Wurzeln (Schwerkraftreiz)	etwa $5 \cdot 10^{-6}$ (0,000 005 = 0,005 mm s^{-1})
Zaunrübe	Ranken	$7 \cdot 10^{-5}$ (0,00 007 = 0,07 mm s^{-1})
Sonnentau	Randtentakel	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$ (0,00 014 = 0,14 mm s^{-1})
Mimose	Blätter	10^{-2} bis 10^{-1} (0,01 bis 0,1 = 10 bis 100 mm s^{-1})

Die Leitungsgeschwindigkeit ist von einer Reihe Faktoren abhängig.

Innerhalb des Tierreiches nimmt die Leitungsgeschwindigkeit mit der Organisationshöhe der Organismen zu. Wie die Tabelle zeigt, schwankt die Leitungsgeschwindigkeit auch bei den verschiedenen Geweben einer Tierart. Die Nervenzellen, die bei den Tieren spezielle Systeme der Erregungsleitung sind, zeigen die höchste Leitungsgeschwindigkeit, wobei die markhaltigen Fasern die marklosen übertreffen. Dicke Nervenfasern leiten die Erregung schneller als dünne (der Regenwurm zum Beispiel hat im Bauchmark drei besonders dicke Fasern, die die Erregung bedeutend schneller leiten als die übrigen Fasern des Bauchmarks).

Die Leitungsgeschwindigkeit steigt auch mit der Erhöhung der Temperatur, weil Wärmezufuhr den Stoffwechsel der Zelle beschleunigt. Bei Pflanzen ist im Gegensatz zu Tieren auch die Reizintensität für die Leitungsgeschwindigkeit bedeutungsvoll. Die Mimosenblätter zum Beispiel leiten die Erregung normalerweise 4 bis 30 mm s^{-1}, bei einer schweren Verletzung bis 100 mm s^{-1}.

Die Reaktion

Am Ende der Reizkette, die sich aus Reiz – Erregung – Erregungsleitung zusammensetzt, steht die Reizbeantwortung oder Reaktion. Eine Reaktion erfolgt bei manchen reizbaren Systemen in gleicher Weise auf beliebige Reizarten. Amöben ziehen ihre Füßchen ein, unabhängig davon, ob mechanische Reize, chemische Reize, Strahlungsreize oder andere sie treffen. Sie strecken sie bei Nahrungsreizen aus. Ebenso geläufig ist uns, daß die Tentakel des insektenfangenden Sonnentaus (*Drosera*) auf alle Reizungen Fangbewegungen ausführen.

Daß ein reizbares Gebilde auf die verschiedenartigsten Reize reagiert, zeigt sich auch, wenn man einen kranken Zahn besitzt, bei dem der Nerv fast frei liegt. Man spürt dann, daß sowohl warme als auch kalte Speisen auf den Nerv wirken, daß er berührungsempfindlich ist, daß er auf Chemikalien, etwa Alkohol oder Gewürze, anspricht. Auch der osmotische Druck konzentrierter Zuckerlösungen wird registriert, und schließlich testet der Zahnarzt den Nerv häufig elektrisch.

Es gibt auch Organsysteme, die auf eine Reizart besonders empfindlich reagieren. So sind die Sinneszellen des Ohres sehr empfindlich für Schallreize. Solche auf einzelne Reizarten spezialisierten Systeme haben sich besonders im Tierreich im Laufe der Stammesgeschichte herausgebildet (Sinnesorgane).

Die Organismen können auf Reize verschieden reagieren. Die Reaktionen können Stoffwechseländerungen, Formveränderungen oder Bewegungen sein. Häufig treten alle Veränderungen gleichzeitig auf.

Stoffwechselveränderungen sind der direkten Wahrnehmung sehr häufig entzogen, vor allem dann, wenn sie auf innere Reize hin zu einer nicht sofort offensichtlichen Reaktion führen. Auch die Formveränderungen und Bewegungen beruhen letztlich auf Stoffwechselreaktionen.

Formänderungen als Reizreaktion. Man beobachtet Formveränderungen zum Beispiel bei Amöben, die ihre Scheinfüßchen einziehen oder ausstrecken (Abb. 120). Bei Pflanzen sind Abweichungen von der normalen Gestalt auf Grund besonders stark wirkender Reize bekannt. Kartoffeln, die im Keller austreiben, bilden lange blattlose Sprosse (s. Abb. 109, S. 199).

Abb. 120 Plasmabewegung bei einer nackten Amöbe (Formveränderung). Die Pfeile deuten die Bewegungsrichtung an.

Bewegung als Reizreaktion. Die verschiedenartigen Bewegungserscheinungen in der lebenden Natur unterteilt man in passive und aktive Bewegungen.

Aktive Bewegungen beruhen auf Stoffwechselvorgängen; sie werden durch Reize gesteuert. Hierzu gehören: die Protoplasmabewegung, die Flimmerbewegung, die Muskelbewegung, die Bewegungserscheinungen bei der Zellteilung, die meisten Bewegungen von Pflanzenorganen u. a.

Passive Bewegungen vollführen Organismen oder deren Teile, wenn andere Systeme Energie auf sie übertragen. Passiv bewegt werden beispielsweise die Körperflüssigkeiten der Tiere (Blut, Lymphe, Harn u. a.), auch die hygroskopischen Bewegungen von toten Pflanzenzellen gehören hierher. Die passiven Bewegungen vollziehen sich nach den gleichen Gesetzen, die für die Bewegungen nichtlebender Körper gültig sind; sie gehören nicht zu den Reizreaktionen.

Fragen

1. Welche Bedeutung hat die Fähigkeit zur Reizreaktion unter den Lebensfunktionen?
2. Was versteht man unter einer Reizkette?

Die Reizbeantwortung bei Tieren

Aktive Ortsbewegungen, beispielsweise die Fortbewegung der Tiere, kommen durch die Tätigkeit aktiver Bewegungsmechanismen zustande. Vielfach sind Bewegungsorgane ausgebildet. Diese können allein aus dem aktiven Bewegungsmechanismus bestehen, beispielsweise wirkt ein Flimmer als Ruder. Bei den meisten Bewegungsorganen sind aber die Bewegungsmechanismen mit anderen Körperelementen gekoppelt (z. B. Muskeln und Knochen in den Gliedmaßen).

Flimmerbewegung

Bewegungen, die auf Schwingungen von Zellfortsätzen (Flimmern) beruhen, sind in der lebenden Natur weit verbreitet. Sind die Zellfortsätze im Verhältnis zur Zelle lang, so nennt man sie Geißeln, sind sie kurz, dann heißen sie Wimpern (Zilien).

Viele Bakterien besitzen Geißeln. Geißelträger (z. B. Geißelalgen) bewegen sich durch Geißeln, die Wimperntierchen (z. B. Pantoffeltierchen) mit Hilfe ihrer Wimpern fort. Viele Fortpflanzungsstadien verschiedener Einzeller und die Samenfäden (Spermatozoen) der vielzelligen Tiere und mancher Pflanzen (z. B. der Moose) sind begeißelt.

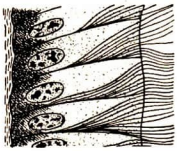
Nicht nur einzelne Zellen, sondern auch mehrzellige Organismen können mit Wimpern bedeckt sein. Bei Bachstrudelwürmern beispielsweise ist die Oberfläche mit Wimpern bedeckt. Die Wimpern unterstützen die Fortbewegung dieser Tiere. Viele Gewebezellen, die Körperhohlräume auskleiden, tragen Zilien (Kiemenkorb, Darm, Luftröhre, Ausscheidungsorgane; Abb. 121 und 122), welche der Fortbewegung von Inhaltsstoffen dienen.

Aufgabe

Beobachten Sie bewimperte oder begeißelte Einzeller mit dem Mikroskop!

Sowohl Geißeln als auch Wimpern sind fadenförmige Fortsätze der äußeren Plasmaschicht der Zelle. Am Grund der Geißel oder Wimper liegt im Zellplasma ein Basalkorn.

Geißeln liegen meist am Vorderende des Organismus. Die Geißelbewegungen sind mannigfaltig, es kommen Ruder-, Schlängel- und Rotationsbewegungen vor. Die Bewegungen bewirken, daß der Organismus nach vorn, geißelwärts, gezogen wird. Bei den Spermatozoen liegt die Geißel am Hinter-



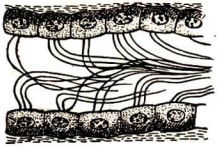


Abb. 121 Flimmerzellen aus dem Lebergang einer Schnecke.
Abb. 122 Flimmerzellen aus dem Nierenkanal eines Schwanzlurches.

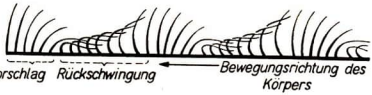


Abb. 123 Wimperschlag eines Pantoffeltierchens

ende und führt Schlängelbewegungen aus, die das Köpfchen nach vorn schieben. Wimpern vollführen Ruderbewegungen in einer Ebene (Abb. 123). Die Wimper vollzieht zunächst einen raschen Vorschlag, danach einen langsamen Rückschlag, so daß sie die Ausgangslage wieder erreicht. Beim Vorschlag bleibt die Wimper steif, dann erschlafft sie und vollzieht die Rückschwingung so, daß sie dem Wasser wenig Widerstand bietet.

Geißeln oder Wimpern tragende Einzeller bewegen sich sehr viel schneller als amöboide Zellen. Das Rotäuglein legt etwa 10 mm min^{-1} zurück; das entspricht je Sekunde der vierfachen Körperlänge. Das Pantoffeltierchen bewegt sich 60 mm min^{-1} vorwärts, das ist das Fünffache der Körperlänge je Sekunde. Für Fischspermatozoen wurden 2 bis 10 mm min^{-1} gemessen.

Versuch 25 Der Wimpernschlag von Epithelzellen bei vielzelligen Tieren wird nicht durch das Nervensystem gesteuert. So schlagen die Wimpern auch noch eine zeitlang weiter, wenn der Organismus tot ist.

Obwohl meist keine Steuerung durch das Nervensystem erfolgt, schlagen die Wimpern eines Flimmerepithels koordiniert. Die abgestimmte Schlagfolge kommt dadurch zustande, daß Reize von einer Wimper ausgehen, die auf benachbarte wirken und deren Tätigkeit regulieren.

Muskelbewegung

Muskelbewegung finden wir bei mehrzelligen Tieren fast überall. Lediglich bei den Schwämmen wurden bisher keine echten Muskelzellen gefunden, doch auch bei ihnen gibt es kontraktile Elemente.

Aufgabe

Kennzeichnen Sie den unterschiedlichen Aufbau von glatter und quergestreifter Muskulatur!

Muskelkontraktion

Die Muskeln kontrahieren sich, wenn sie erregt werden. Reize, die eine Erregung auslösen, können verschiedener Art sein.

Versuch 26 Im Experiment wendet man meist die elektrische Reizung an. Vom Reiz bis zum Reaktionsbeginn verstreicht eine gewisse Zeit, die Latenzzeit. Sie beträgt 0,001 bis 0,01 Sekunden. An die Latenzperiode schließt sich die Kontraktion an. Anschließend an eine Reizung ist der Muskel für kurze Zeit (beim Skelettmuskel 0,001 bis 0,01 Sekunde) unempfindlich für weitere Reize.

Im übrigen gelten für die Reizung und Reaktion des Muskels die allgemeinen Reizgesetze. So muß der Reiz, wenn er zur Muskelkontraktion führen soll, eine Minimalstärke (Schwellenwert) überschreiten. Jede Muskelfaser eines Muskels hat eine eigene Reizschwelle. Es ist möglich, daß ein Reiz nur einen Teil der Muskelfasern zur Kontraktion anregt; wird der Reiz verstärkt, so kontrahieren immer mehr Muskelfasern.

Der Tetanus. Folgen mehrere Reize aufeinander, so entsteht eine Serie von Einzelzuckungen (Abb. 124). Verkürzt sich der Abstand zwischen den Reizen, so wird schließlich ein Zeitpunkt erreicht, in dem der Muskel sich von neuem kontrahiert, noch bevor er vollständig erschlafft ist. Dabei überlagern sich verschiedene Kontraktionen.

Wenn die Abstände zwischen den Reizen weiter verringert werden, verschmelzen die Einzelzuckungen zur Dauerkontraktion. Eine solche lang anhaltende Kontraktion, die durch die Summierung vieler Einzelreize zustande kommt, wird Tetanus genannt (Abb. 124). Die meisten Muskelkontraktionen an der Skelettmuskulatur sind tetanische Kontraktionen. Echte Einzelzuckungen sind selten (z. B. einige Reflexzuckungen).

Die Muskeln befinden sich im Ruhezustand in einer vom Nervensystem unterhaltenen reflektorischen Dauerspannung (Tonus). Dieser Tonus wird durch Erregungen bewirkt, die von den sensiblen Endorganen in Muskeln und Sehnen zum Zentralnervensystem und von hier zu den Muskeln fließen. Das Zentralnervensystem entsendet dann seinerseits Impulse, die den Tonus verändern. Läßt man die Arme herabhängen, so sind sie in den Ellbogengelenken leicht gebeugt. Der Tonus der Beugemuskeln ist stärker als der der Streckmuskeln. Durch den Tonus der Kaumuskeln sinkt der Unterkiefer nicht herab.

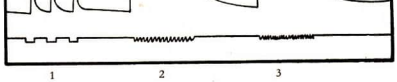


Abb. 124 Aufzeichnung der Kontraktion eines Muskels.
1 bei drei einzelnen Reizen mit großem zeitlichem Abstand, 2 bei einer Reizserie von 20 Reizen in der Sekunde, 3 bei 50 Reizen in einer Sekunde (die untere Linie zeigt die Reizmarkierung).

Der Muskeltonus ist bei starken und gesunden Menschen höher als bei schwachen. Aber auch bei jedem einzelnen Menschen ändert sich der Muskeltonus. Bei Ermüdung oder Depression sinkt er herab. Der Muskeltonus beeinflußt auch die Körperhaltung eines Menschen. Ein Mensch mit niedrigem Tonus hält sich gebückt. Die Schwächung des Tonus der Gesichtsmuskeln spiegelt sich auch im Ausdruck des Gesichts wider. Während des Schlafes sinkt der Muskeltonus stark herab.

Bei glatten Muskeln gibt es eine „tonische" Muskelverkürzung, ohne daß mit der Dauerverkürzung eine wesentliche Stoffwechselsteigerung verbunden ist. So wird der Dauertonus des Magenschließmuskels oder der Muskeln der Gefäßwände ohne nennenswerten Energieaufwand aufrechterhalten. Bei Skelettmuskeln gibt es keine Dauerkontraktionen mit so geringer Stoffwechselsteigerung, die den Dauerverkürzungen der glatten Muskulatur vergleichbar sind. Alle dauernden Muskelspannungen, die beim Stehen, Laufen oder Sitzen notwendig sind und unbewußt ausgeführt werden, sind tetanisch und erfordern einen erhöhten Energieaufwand. Die Muskelanspannungen, die einem ständigen Wechsel unterworfen sind, bilden die Basis für alle willkürlichen und reflektorischen Bewegungsvorgänge.

Wir können zwei verschiedene Arten von Muskelkontraktionen unterscheiden. Der Unterschied zwischen beiden Kontraktionen wird an folgendem einfachen Beispiel deutlich: Wenn wir Holz hacken oder Sand schaufeln, leisten wir Muskelarbeit. Wir leisten aber auch Muskelarbeit, wenn wir einen schweren Koffer tragen, obwohl unser Arm dabei scheinbar in Ruhe ist, die Muskeln sich also scheinbar nicht kontrahieren.

Ein Reiz löst im Muskel eine Reihe physikochemischer Vorgänge aus, die eine Kontraktion des Muskels bewirken. Bei diesen Vorgängen wird stets Energie frei, ein Teil der frei werdenden chemischen Energie wird in Wärme umgewandelt. Der andere Teil (etwa 30%) wird unmittelbar als mechanische Arbeit wirksam.

Die Energie für seine Tätigkeit erlangt der Muskel fast ausnahmslos durch den Abbau von Kohlenhydraten. Meist handelt es sich um Glukose, die in Form von Glykogen gespeichert wird.

Die Stoffwechseltätigkeit im Muskel ist während der Kontraktion (Arbeitsphase) anders als nach der Kontraktion (Erholungsphase).

Arbeitsphase des Muskels (Abb. 125): Glykogen (bzw. Glukose) wird zu 2-Oxypropansäure (Milchsäure) abgebaut; bei diesem Vorgang wird Energie frei. Der Prozeß verläuft ohne Sauerstoff (anaerob), er wird als Glykolyse bezeichnet (vgl. S. 177). Die freiwerdende Energie kann nicht unmittelbar in Muskelarbeit umgesetzt werden. Die unmittelbare Energiequelle für den Muskel bildet vielmehr eine energiereiche organische Phosphorverbindung (Adenosintriphosphorsäure, ATP). Diese Substanz spaltet Phosphorsäure ab, dabei wird Energie frei, die vom Muskel genutzt werden kann. Die Energiemenge, die beim Abbau von Glykogen freigesetzt wird, dient dazu, die energiereichen organischen Phosphorverbindungen (ATP) wieder aufzubauen. Andere organische Phosphorverbindungen sind als Energiespeicher in der Arbeitsphase des Muskels bedeutungsvoll.

Erholungsphase des Muskels (Abb. 125). Nach der Kontraktion werden von der im Muskel stark angereicherten 2-Oxypropansäure (Milchsäure) etwa 20% zu Kohlendioxid und Wasser oxydiert. Dies ist also ein aerober Vorgang.

Der größere Teil der 2-Oxypropansäure (Milchsäure) wird wieder zu Glykogen umgebaut. Milchsäureoxydation und Glykogenbildung erfolgen zum größten Teil in der Leber (dorthin wird die Milchsäure durch das Blut transportiert), zum geringen Teil im Muskel selbst. Die Energie zur Glykogenbildung wird durch die Oxydation der 2-Oxypropansäure (Milchsäure) gewonnen. Das Glykogen steht dem Muskel wieder zur Arbeit zur Verfügung, es kann aus der Leber, nach Aufspaltung in Glukosemoleküle, mit dem Blut zum Muskel befördert werden.

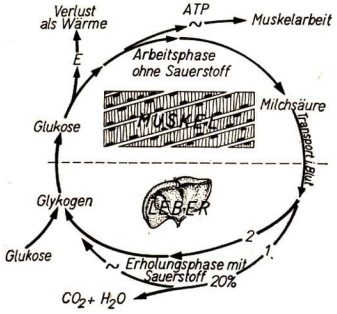


Abb. 125 Schema der Muskelarbeit
1 Energiebildung durch Milchsäureoxydation (Oxydation von 2-Oxypropansäure) ~ = Energie
2 Rückbildung von Glykogen aus Milchsäure

Ein anderer Teil der Energie, die aus der Milchsäureoxydation gewonnen wird, dient zum Wiederaufbau der energiereichen Phosphorverbindungen.

Wenn wir die chemischen Bestandteile eines Muskels vor der Arbeitsphase und nach der Erholungsphase

vergleichen, so stellen wir fest, daß nur die Glykogenmenge geringer geworden ist. Somit leistet der Muskel Arbeit auf Kosten des Glykogens. Es muß aber hervorgehoben werden, daß die Energie des Glykogens erst über die energiereichen Phosphorverbindungen genutzt werden kann, der Glykogenabbau spielt in der Muskeltätigkeit nur eine indirekte Rolle. Wenn der Glykogenabbau künstlich unterbrochen wird, vermag der Muskel dennoch Arbeit zu leisten, bis die Energie der organischen Phosphorverbindungen erschöpft ist.

Die Tatsache, daß die Energie für die Arbeitsphase ohne Sauerstoffverbrauch gewonnen wird, hat große Bedeutung für den Sport. Nur so ist es möglich, kurze, sehr anstrengende Übungen, wie zum Beispiel einen 100-m-Lauf, auszuführen. Die Sauerstoffaufnahme ist auf dieser Strecke ganz unbedeutend (kaum ein Liter). Der für die Erholungsphase zur Verbrennung der entstandenen 2-Oxypropansäure (Milchsäure) erforderliche Sauerstoff (etwa 8 l) wird erst nach dem Lauf eingeatmet, was etwa zwei Minuten dauert.

Ermüdung des Muskels

Die Ermüdung des Muskels hat verschiedenartige Ursachen, beispielsweise können die Glykogenreserven erschöpft sein. Das tritt jedoch selten ein, da dem Muskel mit dem Blut laufend neue Nahrungsstoffe zugeführt werden.

Bei längerer Tätigkeit vermehren sich aber Abbauprodukte im Muskel (Kohlendioxid, Milchsäure, Phosphorsäure u. a.) und werden nur ungenügend vom Blut abtransportiert. Noch viel wesentlicher für das Auftreten von Ermüdungserscheinungen scheint aber die Änderung im Kolloidzustand der Eiweiße zu sein.

Bei den meisten Arbeiten wechseln die beteiligten Muskeln in ihrer Tätigkeit ab und ermüden deshalb nicht so rasch. Daher strengt ein ruhiges Gehen weniger an als langes Stehen. Herz- und Atemmuskeln ermüden auch deshalb nicht, weil in den kurzen Pausen zwischen den einzelnen Herzschlägen und Atemzügen genug Zeit zur Erholung bleibt.

Ebenso wie lang andauernde Arbeit führt auch eine übermäßige Belastung der Muskeln oder Beschleunigung des Tempos der Muskelbewegungen zu schnellerer Ermüdung und zu einem plötzlichen Abfall der Leistung. Es ist deshalb wichtig, für jede körperliche Arbeit die Geschwindigkeit der Bewegung und die Belastung der Muskeln so zu regeln, daß die größte Leistung bei geringster Ermüdung erreicht wird.

Die Ermüdung eines Muskels kann durch Training stark verzögert werden. So tritt auch der „Muskelkater", ein schmerzhaftes Anzeichen starker Muskelübermüdung, bei Sportlern erst nach einer länger anhaltenden starken Beanspruchung auf.

Frage

Welche Stoffwechselursachen hat die Ermüdung eines Muskels?

Die Reizbeantwortung bei Pflanzen

Die Reizvorgänge bei Pflanzen unterscheiden sich von denen bei Tieren vor allem durch zwei Merkmale. Pflanzen besitzen keine spezialisierten Bahnen für die Erregungsleitung, die den tierischen Nerven entsprechen würden. Die Erregung wird von Zelle zu Zelle weitergegeben. Als Folge davon verlaufen die Erregungsvorgänge bei Pflanzen wesentlich langsamer als im Tierreich.

Pflanzen besitzen keine besonderen Organe für die Bewegung, wie sie die Tiere in den Muskeln besitzen. Die Bewegungen der Pflanzen verlaufen daher in ganz anderer Weise als die der Tiere.

Die Bewegungen lebender Pflanzenteile kann man in Wachstumsbewegungen und Turgorbewegungen unterteilen.

Wachstumsbewegungen

Sprosse von Zimmerpflanzen neigen sich oft dem Fenster zu; keimende Kartoffeltriebe im Keller wachsen zum Licht hin; bei den meisten Pflanzen wächst der Hauptsproß senkrecht nach oben, die Wurzel entgegengesetzt in den Boden hinein; die Blütenblätter der Tulpe und anderer Pflanzen öffnen sich morgens und schließen sich am Abend wieder; Kletterpflanzen winden sich um eine Stütze – das sind einige Beispiele pflanzlicher Wachstumsbewegungen. Sie alle beruhen darauf, daß die Teile der Pflanze unter dem Einfluß von Umweltbedingungen und bestimmter Wuchsstoffe ungleichmäßig wachsen; dadurch kommt es zu charakteristischen Krümmungen. Bestimmend ist u. a. das Verhalten der Wuchsstoffe.

Wuchsstoffe beeinflussen das Streckungswachstum der Zellen. Wachstumsbewegungen treten daher nur an jungen Pflanzenteilen auf, deren Wachstum noch nicht abgeschlossen ist.

Die Wuchsstoffe werden vor allem in den Sproßspitzen wirksam, wandern von dort gleichmäßig in den Leitungsbahnen nach unten und verteilen sich auf die Seitensprosse. Sobald man die Spitze eines Baumes kappt, hört der Hauptwuchsstoffstrom von oben auf. Dann kommen die in den Spitzen der Seitentriebe gebildeten Wuchsstoffe voll zur Auswirkung, die Seitenzweige wachsen senkrecht nach oben, so lange, bis einer von ihnen die anderen überragt und damit zur neuen Sproßspitze wird (Abb. 126).

Bei den windenden und rankenden Pflanzen werden durch Berührungsreize Wuchsstoffverlagerungen ausgelöst, so daß die von der Stütze berührten Seiten langsamer, ihre Gegenseiten dagegen rascher wachsen. Dadurch winden sich beispielsweise Stengel oder Seitentriebe spiralig um eine Stütze.

Wachstumsbewegungen verlaufen langsam, sie finden nur in jungen Pflanzenteilen statt, deren Wachstum noch nicht abgeschlossen ist. Ihr Verlauf wird von der Wirkung der Wuchsstoffe unter dem Einfluß verschiedener Umweltfaktoren bestimmt.

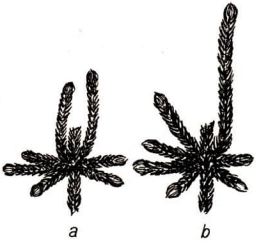


Abb. 126 Wachstumsbewegung bei der Fichte nach Entfernung der eigentlichen Sproßspitze. Anfangs wachsen zwei der Seitentriebe nach oben (a), die dem ehemaligen Spitzentrieb benachbart sind, dann aber übernimmt nur einer die Bildung des Ersatzwipfels (b).

Versuch 27

Lichtwendiges Wachstum (Phototropismus). Licht zerstört oder hemmt die Wirkung der Wuchsstoffe. Das Streckungswachstum junger Sprosse wird daher auf der lichtzugewandten Seite gehemmt, auf der lichtabgewandten Seite jedoch unvermindert fortgesetzt. Diese Seite wächst stärker, und der Sproß krümmt sich mit der Spitze dem Lichte zu (Abb. 127).

Ähnlich verhält es sich mit den Blütenbewegungen der Tulpe. Morgens wachsen die lichtabgewandten Innenseiten der Blütenblätter der Tulpe stärker, dadurch öffnen sich die Blüten. Mit abnehmendem Abendlicht können die Außenseiten wieder stärker wachsen, darum krümmen sich die Blütenblätter nach innen.

Abb. 127 Beeinflussung der Wachstumsrichtung durch das Licht. Lichtwendiges Wachstum eines Bohnenkeimlings, positiver Phototropismus

Versuch 27

Erdwendiges Wachstum (Geotropismus). Legt man eine junge, gerade Pflanze waagerecht auf die Erde, so krümmt sich der Sproß nach oben, die Wurzeln wachsen dagegen nach unten in den Boden hinein. Unter dem Einfluß der Schwerkraft reichern sich Wuchsstoffe auf der unteren Seite der Pflanze an. Diese erhöhte Wuchsstoffkonzentration bewirkt im Sproß eine einseitige Wachstumsförderung, die Unterseite wächst stärker, der Stengel krümmt sich nach oben. Die gleich hohe Wuchsstoffkonzentration wirkt aber auf die Wurzel wachstumshemmend. Hier wächst demzufolge die obere Seite ungehindert weiter, und die Wurzel krümmt sich zum Boden hin (Abb. 128).

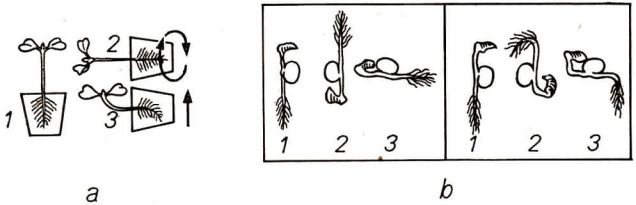


Abb. 128 Erdwendiges Wachstum (Geotropismus). Der Sproß reagiert negativ geotropisch, während die Wurzel positiv auf den Reiz der Erdanziehung reagiert (a). Bringt man einen Keimling in die horizontale Lage und versetzt ihn in rotierende Bewegung, dann findet keine geotropische Reaktion statt, da der Reiz allseitig einwirkt. Wird der Keimling dabei jedoch nicht bewegt, dann treten die zu erwartenden Krümmungen auf (1, 2 und 3). – b Heftet man drei Keimlinge in den Lagen 1, 2 und 3 auf feuchtes Filterpapier, das dann in ein verdunkeltes Gefäß gestellt wird, welches unten Wasser enthält, so zeigen die Keimlinge die in der rechten Hälfte der Abbildung b dargestellten Veränderungen in den Wachstumsrichtungen von Wurzel und Sproß bereits nach 24 Stunden.

Turgorbewegungen

Turgorbewegungen sind nicht an Wachstumsvorgänge gebunden. Sie verlaufen weitaus rascher als die Wachstumsbewegungen, mitunter sogar in Bruchteilen von Sekunden.

Turgorbewegungen beruhen auf allmählichen oder plötzlichen Veränderungen der Gewebespannung von Pflanzenteilen.

Wir unterscheiden vor allem langsame Turgorbewegungen und Schleuderbewegungen.

Langsame Turgorbewegungen. Hierher gehören die „Schlafbewegungen" vieler Pflanzen, die bei Nacht ihre Blattstiele senken (Abb. 129). In zahlreichen Blüten werden

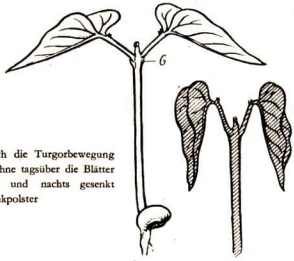


Abb. 129 Durch die Turgorbewegung werden bei der Bohne tagsüber die Blätter aufgestellt (links) und nachts gesenkt (rechts). G Gelenkpolster

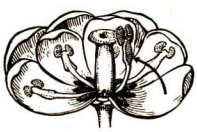


Abb. 130 Turgorbewegung bei der Berberitzenblüte. Das gereizte Staubgefäß ist gegen den Fruchtknoten geklappt.

die Staubblätter bei Berührung durch Insekten ruckartig bewegt (Abb. 130). Auch langsame Turgorbewegungen laufen also mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ab.

Am bekanntesten und am genauesten untersucht sind die Bewegungen der Sinnpflanze oder Mimose (Abb. 131). Kneift man ein Blättchen am äußersten Rand einer Seitenfieder mit einer Pinzette, so klappen die Blättchen der ganzen Fieder der Reihe nach von der Spitze zur Basis zusammen. Dann beginnen die benachbarten Seitenfedern in entgegengesetzter Richtung mit den gleichen Klappbewegungen, am Ende senkt sich der ganze Blattstiel in seinem Hauptgelenk nach unten (Abb. 131).

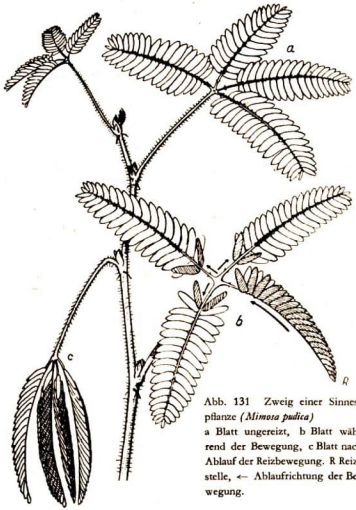


Abb. 131 Zweig einer Sinnespflanze *(Mimosa pudica)* a Blatt ungereizt, b Blatt während der Bewegung, c Blatt nach Ablauf der Reizbewegung. R Reizstelle, ← Ablaufrichtung der Bewegung.

Diese Bewegung verläuft unabhängig von der Art des Reizes. Man kann die gleiche Wirkung erzielen, wenn man ein Fiederblättchen berührt, erhitzt oder mit elektrischem Strom reizt. Wird die ganze Pflanze stark erschüttert, so klappen ruckartig alle Blättchen zusammen, und die Blattstiele senken sich. Der Reiz wird dabei mit einer Geschwindigkeit von 10 cm s^{-1} bis auf 50 cm Entfernung weitergeleitet. (Damit werden schon Geschwindigkeiten tierischer Erregungsleitung erreicht: Flußmuschel 5 cm s^{-1}.) An der Mimose gelang es auch, das Wandern einer Erregungssubstanz direkt nachzuweisen. Durchschneidet man

einen Seitenzweig, verbindet die Stücke durch ein wassergefülltes Glasröhrchen und reizt dann die Blätter an der Spitze des durchschnittenen Triebes, so klappen auch die Blättchen des Haupttriebes zusammen, sobald sich die Erregungssubstanz über das wassergefüllte Glasröhrchen in die anderen Pflanzenteile ausgebreitet hat.

An der Bewegung der Mimosenblätter sind eine ganze Reihe komplizierter Vorgänge beteiligt, im wesentlichen handelt es sich um folgende Mechanismen:

Die Blattstiele und Blättchen werden durch Gelenke in ihrer Lage gehalten. Die Gelenke bestehen aus je zwei polsterartigen Gewebekörpern, die aus großen Zellen mit dünnen, dehnbaren Wänden bestehen. Die Gelenkpolster liegen beiderseits des festen Leitstranges in der Mitte des Blattstiels. Die Zellen beider Polster besitzen eine hohe Saugkraft, sie suchen sich auszudehnen. Im gespannten Zustand drücken beide Gelenkpolster gegeneinander und halten dadurch den Blattstiel in seiner normalen Schräglage.

Bei einer Erschütterung oder einem anderen Reiz erhöht sich die Durchlässigkeit der Plasmagrenzschichten in den Zellen des unteren Gelenkpolsters. Wasser und Salze treten aus den Zellen aus, sie verlieren an Inhalt, ihr Turgor sinkt. Damit sinkt auch der Druck auf das obere Gelenkpolster, dieses kann sich ausdehnen und erhebliche Mengen an Wasser aufnehmen. Der ganze Blattstiel wird so nach unten gedrückt; umgekehrt laufen die Vorgänge bei den Fiederblättchen, die nach oben zusammenklappen.

Die Plasmagrenzschichten werden durch den Reiz vorübergehend verändert. Dies löst eine verstärkte Stoffwechseltätigkeit aus (meßbar durch erhöhte Atmung), die zu einer allmählichen Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes der Plasmagrenzschichten führt. Sobald dieser erreicht ist, können die Zellen des unteren Gelenkpolsters erneut Wasser aufnehmen, sich ausdehnen und den Blattstiel wieder hochdrücken.

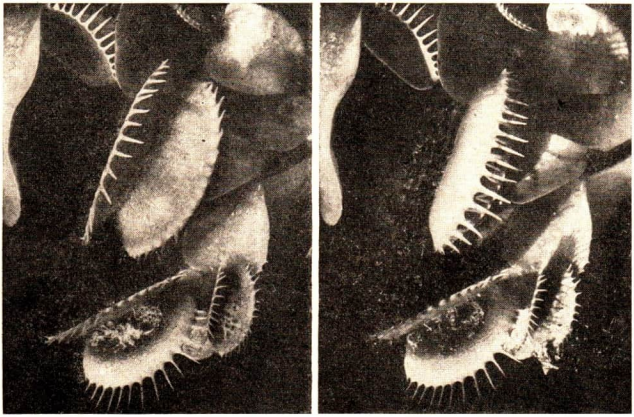


Abb. 132 Venusfliegenfalle (*Dionea muscipula*).
Links: Mittleres Blatt geöffnet; rechts: Nach Reizung geschlossen; Blatt unten mit Resten eines verdauten Insektes.

In ähnlicher Weise bewegen sich die Klappfallenblätter mancher insektenfangenden Pflanzen, beispielsweise der nordamerikanischen Venusfliegenfalle, die bei uns in Gewächshäusern gezogen wird. Durch Gelenkpolster sind die beiden Blatthälften zunächst auseinandergedrückt und werden in diesem gespannten Zustand gehalten. Wenn ein Insekt die aus der Blattspreite herausragenden Sinneshaare berührt, wird ein Reiz ausgelöst, durch den die Gelenkpolster auf der Innenseite der Blätter ihre Gewebespannung verlieren. Die Blatthälften klappen mit einem Ruck zusammen, wobei die Randzähne ineinandergreifen und das Insekt gefangenhalten, bis es von den aus den Blattzellen abgeschiedenen Drüsensekreten verdaut wird (Abb. 132).

Zu den langsamen Turgorbewegungen zählen auch die Bewegungen der Schließzellen. Sie haben unterschiedlich dicke Zellwände und sind gekrümmt. Dieser besondere Wandbau bedingt, daß bei voller Zellspannung der Spalt zwischen den beiden Schließzellen geöffnet ist, bei nachlassendem Turgor sich jedoch schließt.

Schleuderbewegungen. Eine ähnliche Mechanik finden wir bei zahlreichen Einrichtungen zum blitzartigen Ausschleudern von Samen aus reifen Früchten.

Die Schleudereinrichtungen sind äußerst vielseitig gebaut, sie funktionieren jedoch alle nach dem gleichen Prinzip: Während des Wachstums tritt in der Fruchtwand eine Spannung auf, ähnlich wie etwa eine Stahlfeder gespannt wird. Bei der Reife kommt es zu einer Formveränderung, bei der sich die Zellen entspannen.

Bekannt ist die Samenverbreitung des Springkrauts, das an schattigen Stellen unserer Laubwälder wächst.

Der Fruchtknoten besteht hier aus fünf verwachsenen Fruchtblättern. In den Fruchtblättern grenzt an einen inneren, steifen Strang aus Festigungsgewebe mit dicken Wänden ein außen gelegenes Schwellgewebe, dessen große, dünnwandige Zellen infolge ihres hohen Zuckergehaltes eine hohe Saugkraft besitzen.

Während der Fruchtreife nimmt die Saugkraft in den Zellen des Schwellgewebes durch Anreicherung organischer Säuren von 9 auf 14 at zu. Diese Zellen nehmen Wasser auf, dehnen sich sehr stark aus. Da sie sich durch ihre Verbindung mit dem Festigungsgewebe nicht in der Längsrichtung dehnen können, geschieht dies in Querrichtung. Dadurch reißen die Nähte zwischen den Fruchtblättern auf, bis diese schließlich nur noch an der Spitze locker zusammenhalten.

Reißt diese Verbindung durch Berührung oder Überdruck, dann liegen die Fruchtblätter einzeln, und ihr Festigungsstrang kann nach innen zusammengedrückt werden. Die Schwellgewebe dehnen sich sofort um 32% in der Längsrichtung aus, und jedes Fruchtblatt rollt sich blitzartig nach innen ein. Dadurch werden gleichzeitig die an der Mittelspindel sitzenden Samen ausgeschleudert.

Abb. 133 Hygroskopische Bewegung. Teilfrucht des Reiherschnabels *(Erodium)*
Links: trocken, eingerollt; rechts: feucht, gestreckt.

Hygroskopische Bewegungen

An trockenen Kiefern- oder Fichtenzapfen sind die verholzten Schuppen auseinandergespreizt, im Wasser schließen sie sich zusammen. Auf ähnliche Weise bewegen sich unter dem Einfluß wechselnder Feuchtigkeit die toten Blütenkörbchen der Strohblume, die Zähne an den Mooskapseln und Teile vieler Fruchtkapseln.

Die Grannen der Reiherschnabelfrüchte sind im trockenen Zustand korkzieherartig eingerollt, im feuchten Zustand strecken sie sich gerade, so daß man sie als einfache Feuchtigkeitsanzeiger verwenden kann (Abb. 133).

Bei diesen Bewegungen handelt es sich nicht um Reizvorgänge in lebenden Pflanzen, sondern um Bewegungen toter Pflanzenteile. Die Bewegungen kommen dadurch zustande, daß die toten Zellwände infolge besonderer Baueigentümlichkeiten in unterschiedlicher Weise Wasser aufnehmen und quellen. Dadurch kommt es zu den oft sehr kompliziert aussehenden Krümmungsbewegungen. Solche von der Feuchtigkeit abhängenden Bewegungen nennt man hygroskopische Bewegungen.

Vergleichende Betrachtung der Reizvorgänge bei Tieren und Pflanzen

Die Reizvorgänge bei Pflanzen und Tieren unterscheiden sich in mehrfacher Hinsicht voneinander.

1. Tiere (und einige Einzeller) besitzen differenzierte Zellen oder Zellteile, die durch bestimmte Reizarten besonders leicht erregt werden (Sinneszellen oder Rezeptoren). Die Reize, für welche die Rezeptoren besonders empfänglich sind, heißen adäquate Reize. Alle Rezeptoren, die auf einen adäquaten Reiz ansprechen, sind einem Sinn zugeordnet (z. B. Lichtsinn, Geruchssinn). Häufig sind die für gleiche Reize empfänglichen Sinneszellen in einem Organ, dem Sinnesorgan, vereint. **Versuch 29**

Pflanzen besitzen keine Sinnesorgane. Allerdings gibt es auch am Pflanzenkörper Abschnitte, die gegenüber bestimmten Reizen stärker erregbar sind (Keimscheide durch Licht, Wurzeln durch die Schwerkraft).

2. Tiere besitzen spezialisierte Zellen, die eine schnelle Erregungsleitung über große Strecken garantieren – die Nerven. Pflanzen haben keine spezialisierten Bahnen für die Erregungsleitung, die Erregung wird von Zelle zu Zelle weitergegeben. Sofern es sich bei der Erregungsleitung jedoch um einen Transport von Erregungssubstanz (Wuchsstoffe) handelt, kann dieser in den Leitgeweben der Pflanzen etwas rascher erfolgen. Die Reizvorgänge bei Pflanzen verlaufen insgesamt langsamer als bei Tieren.

3. Die Verknüpfung der verschiedenartigen Rezeptoren mit dem Nervensystem ist die Grundlage für die großen sinnesphysiologischen Leistungen der Tiere. Die Rezeptoren vermögen einen adäquaten Reiz in eine Erregung umzuformen, die auf eine anliegende Nervenfaser übertragen und von dieser fortgeleitet wird.

Die Rezeptoren übermitteln der Nervenfaser auch die Intensität des wirkenden Reizes, bei starken Reizen kann man eine größere Anzahl von Aktionsströmen je Sekunde an der Nervenfaser messen als bei schwachen. Wirkt ein Reiz längere Zeit auf einen Rezeptor, so paßt sich dieser an (Adaptation) und wird unempfindlicher gegenüber dem Reiz. Gut bekannt ist die Reizadaptation als sogenannte „Gewöhnung" an starke Geräusche oder starke Lichtreize. **Versuch 28**

Rezeptoren können auch durch nicht adäquate (inadäquate) Reize erregt werden. So ruft beispielsweise ein Schlag auf das Auge Lichtempfindungen hervor. Ein inadäquater Reiz muß allerdings bedeutend energiereicher sein als der adäquate Reiz, ehe eine Erregung ausgelöst wird. Da ein inadäquater Reiz die gleiche Empfindung auslösen kann wie ein adäquater, das heißt, daß auf verschiedenartige Reizung immer gleichartig geantwortet wird, spricht man von einer „spezifischen Energie der Sinnesorgane".

Gleiche Empfindungen bei verschiedenartigen Reizen treten auf, weil die Rezeptoren lediglich die Reizaufnahme bewerkstelligen, die Empfindungen jedoch nach Fortleitung

der Erregung über die Nerven in einem dem Sinnesorgan zugeordneten Zentrum im Gehirn entstehen. Auch einige reizbare Systeme, die nicht zu den Sinnesorganen gehören, reagieren auf alle Reizarten in gleicher Weise. Dies erkannte bereits 1826 der berühmte Physiologe JOHANNES MÜLLER. „Es ist unwesentlich", schrieb er, „mit welchen Mitteln der Muskel gereizt wird, ob galvanisch, chemisch oder mechanisch, . . . auf jegliche Art der Reizung, die überhaupt eine Wirkung hervorruft, reagiert er mit einer Bewegung." Die gleiche Erscheinung finden wir auch bei Pflanzen. Beispielsweise führen die Tentakel des insektenverdauenden Sonnentaus (*Drosera*) auf alle Reizungen Fangbewegungen aus.

Alle diese Systeme haben sich im Laufe der Jahrmillionen währenden Stammesgeschichte zu ihrem spezifischen Leistungsvermögen entwickelt.

Idealistische Philosophen vertraten die Meinung, wenn man verschiedenartige Reize (Licht- und Schlagreize beim Auge) gleichartig empfinde, so zeige sich, daß die Sinnesorgane unsere Umwelt nicht richtig widerspiegeln, sondern daß die Sinnesorgane nach eigenen Gesetzen eine Scheinwelt entstehen ließen. Diese Philosophen leugnen, daß man mit den Sinnesorganen die Welt erkennen kann. Sie verschweigen aber, daß verschiedene Sinnesorgane ein gleiches Bild der Umwelt entwerfen (einen Tisch kann man z. B. sehen, aber auch ertasten), und daß normalerweise jedes Sinnesorgan gegen andere Reize geschützt ist (zu den Sinneszellen des Ohres kann z. B. kein Licht vordringen, die knöcherne Augenhöhle und die Augenlider schützen vor mechanischen Reizen). Außerdem vermag der Mensch in seiner praktischen Tätigkeit die Umwelt nach seinen Vorstellungen zu gestalten, was voraussetzt, daß die Umwelt von den Sinnesorganen richtig widergespiegelt worden ist. So bleibt auch in der Reizphysiologie kein Platz für idealistische Auffassungen.

Frage

Worin bestehen die Unterschiede zwischen Reizaufnahme, Erregungsleitung und Reaktion bei Pflanzen und Tieren?

VERZEICHNIS DER VERSUCHE

(L = Lehrerarbeit, Sch = Schülerarbeit)

1. Bau und Funktion der pflanzlichen Zelle (Sch)
   a) Beobachtung der Zelle und der Plasmaströmung
   b) Färbung mit Neutralrot
   c) Demonstration osmotischer Vorgänge in der Zelle mit Hilfe der Plasmolyse
   d) Abtöten der Zellen durch Erhitzen
2. Osmotisches Verhalten roter Blutkörperchen (Sch)
3. Osmotischer Druck des Kartoffelgewebes (Sch)
4. Ringelungsversuch zur Demonstration der Wasserleitung im Xylem (Sch)
5. Nachweis der Wasserabgabe bei der Transpiration (Sch)
6. Blutkreislauf bei Süßwasseroligochaeten (Sch)
7. Wasserabgabe durch die Haut des Menschen (Sch)
8. Wasseraufnahme durch die Haut bei Fröschen (Sch)
9. Gaswechsel bei der Photosynthese (Sch)
10. Die Wirkung verschiedener Spektralbereiche des Lichtes bei der Photosynthese (Sch)
11. Nachweis der Trennung verschiedener Blattfarbstoffe durch Papierchromatographie (Sch)
12. Eigenschaften des Rohrzuckers (Sch)
13. Außenverdauung bei Käfern (Sch)
14. Stärkespaltung durch Fermente im Speichel des Menschen (Sch)
15. Eiweißverdauung durch Pepsin (Sch)
16. Fettemulgierung mit Galle (Sch)
17. Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidentwicklung bei der Atmung (L)
18. Versuche zur alkoholischen Gärung
    a) Herstellung des Gäransatzes (L)
    b) Nachweis des bei der Gärung gebildeten Äthanols (L, Sch)
19. Organische Säuren als Zwischenverbindungen im Atmungsstoffwechsel (Sch)
20. Eigenschaften der Eiweiße (Sch)
21. Versuche über die Eigenschaften der Fermente am Beispiel der stärkespaltenden Amylasen (Sch)
    a) Ansetzen der Amylaselösung (Vorbereitung durch den Lehrer)
    b) Dauer des fermentativen Stärkeabbaues (Sch)
    c) Einfluß der Temperatur auf den fermentativen Stärkeabbau (Sch)
    d) Vergiftung des Fermentes durch chemische Verbindungen (Sch)
    e) Das stärkespaltende Ferment Ptyalin im Mundspeichel (Sch)
22. Fettfleckprobe und Nachweis des Propantriols (Glyzerin) (Sch)
    a) Fettextraktion (L, Sch)
    b) Fettfleckprobe (Sch)
    c) Akroleinprobe (Sch)
    d) Fettverdauung (Sch)
    e) Löslichkeit der Fette in verschiedenen Solventien (Sch)
23. Versuche mit einigen sekundären Pflanzenstoffen (Sch)
    a) Nachweis des Holzstoffes (Lignin)
    b) Reaktionen mit Gerbstoffen
    c) Nachweis des Koffeins im schwarzen Tee
    d) Einfluß des pH-Wertes auf die Färbung des Rotkohlsaftes
    e) Nachweis der Alkaloide in der Kartoffel
24. Versuche zur Samenkeimung (Sch)
    a) Äußere Bedingungen der Samenkeimung
    b) Keimzahlbestimmung
    c) Ermittlung der Wachstumszonen

25. Tätigkeit eines Flimmerepithels beim Frosch (Sch)
26. Reizphysiologische Versuche am Froschschenkelpräparat (Sch)
    a) Herstellung eines Schenkelpräparates mit Hüftnerv (L, Sch)
    b) Elektrische Reizung
    c) Mechanische Reizung
    d) Thermische Reizung
    e) Osmotische Reizung
    f) Demonstration der Reizschwelle
27. Versuche zur Reizphysiologie der Pflanzen (Sch)
    a) Phototropismus von Keimpflanzen
    b) Geotropismus von Keimpflanzen
    c) Hydrotropismus von Keimpflanzen
28. Adaptation von Sinneswahrnehmungen (Sch)
29. Lichtrückenreflexe bei Wasserinsekten (Sch)

Versuche

1. Bau und Funktion der pflanzlichen Zelle (Sch)

Untersuchungsmaterial: Obere Epidermis der Zwiebelschuppe.
Geräte und Reagenzien: Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Präpariernadeln, Rasierklinge, Pinzette, Glasstab, Filtrierpapier. – 0,6 mol KCl-Lösung, destilliertes Wasser, Neutralrotlösung in Leitungswasser 1 : 10 000.
Dauer: 45 Minuten.

a) Beobachtung der Zelle und der Plasmaströmung

Methodik: Wir teilen eine Zwiebel in vier Quadranten und lösen aus einem davon eine Zwiebelschuppe heraus. Dabei löst sich meist schon die obere Epidermis als dünnes Häutchen ab. Sollte das nicht der Fall sein, dann verfahren wir folgendermaßen:

Wir schneiden mit der Rasierklinge kreuzweise die obere Epidermis ein, so daß kleine Quadrate von 2 bis 3 mm Seitenlänge entstehen. Mehrere davon legen wir in einen Wassertropfen auf einem Objektträger und decken anschließend das so gewonnene Präparat mit einem Deckglas ab.

Wir beobachten die Zellen der oberen Zwiebelepidermis unter dem Mikroskop. Dazu suchen wir eine geeignete Zelle auf, in der der Zellkern an einer seitlichen Zellwand liegt. Deutlich sind Zellwand, Protoplasma und Vakuole erkennbar. Das Protoplasma liegt als dünner Belag an der Zellwand und ist nur in unmittelbarer Nachbarschaft des Zellkerns sichtbar. Bei starker Vergrößerung sind feinkörnige Einschüsse erkennbar, welche sich in gleitender Bewegung befinden. Der gesamte Innenraum der Zelle ist mit Zellsaft erfüllt und erscheint leer.

b) Färbung mit Neutralrot

Wir überführen nun einige unserer Epidermispräparate in ein kleines Schälchen mit einer Lösung von Neutralrot in Leitungswasser. Dazu legen wir die Schnitte aus der Zwiebelepidermis mit der Innenseite auf die Oberfläche der Lösung. Nach 10 bis 15 Minuten nehmen wir die Schnitte heraus und übertragen sie in ein Schälchen mit reinem Leitungswasser. Darin werden die Präparate ausgewaschen. Wir bringen sie anschließend in einen Tropfen Leitungswasser auf einen Objektträger und beobachten sofort. Der

Zellsaft zeigt eine deutliche rote Färbung, da der Farbstoff in neutralem oder schwach basischem Milieu im Zellsaft gespeichert wird. Wie bei starker Vergrößerung an der vorhandenen Bewegung des Protoplasmas zu erkennen ist, lebt die Zelle weiter.

c) Demonstration osmotischer Vorgänge in der Zelle mit Hilfe der Plasmolyse

Wir übertragen einige unserer mit Neutralrot vorher angefärbten Zwiebelepidermispräparate in einen Tropfen der KCl-Lösung auf einem Objektträger, decken mit einem Deckgläschen ab und beobachten in kurzen Zeitabständen unter dem Mikroskop. Durch die eindringenden Kaliumionen wird das Protoplasma gequollen. Nun sind rot gefärbter Zellsaft in der Vakuole, gequollenes Protoplasma und Zellwand deutlich voneinander zu unterscheiden. Das Protoplasma zeigt nach außen und nach innen zur Vakuole hin klare Abgrenzungen, die Plasmagrenzschichten.

d) Abtötung der Zellen durch Erhitzen

Wir töten abschließend einige der ungefärbten und der gefärbten Präparate durch Erhitzen ab. Dazu erwärmen wir sie auf dem Objektträger vorsichtig über einer Spiritusflamme, bis die Flüssigkeit unter dem Deckglas leicht brodelt. Wir beobachten erneut unter dem Mikroskop. Es herrscht völlige Desorganisation in der Zelle. Die Plasmagrenzschichten sind zerstört, Zellsaft und Protoplasma haben sich vermischt, und die Plasmabewegung ist nicht mehr feststellbar.

Auswertung:

a) Erklären Sie das Verhalten der Zellen in einer Lösung, welche eine höhere Salzkonzentration besitzt als der Zellsaft!
b) Zeichnen Sie eine normale und eine plasmolysierte Zelle und beschriften Sie die Zeichnung!
c) Woran können Sie erkennen, ob es sich bei einem Präparat um lebende oder tote Zellen handelt?

2. Osmotisches Verhalten roter Blutkörperchen (Sch)

Untersuchungsmaterial: Blut eines Säugetieres.

Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Pipette, bedrucktes Papier. – Destilliertes Wasser und 0,9%ige Kochsalzlösung.

Dauer: 20 Minuten.

Methodik: Ein Reagenzglas wird mit drei Tropfen Blut und 10 ml destillierten Wassers gefüllt, ein zweites mit drei Tropfen Blut und 10 ml der 0,9%igen Kochsalzlösung. Beobachten Sie nach einigen Minuten! (Kontrolle durch Betrachten eines hinter die Reagenzgläser gehaltenen bedruckten Stückes Papier).

Auswertung:

a) Worauf beruht das unterschiedliche Verhalten der Blutzellen in den beiden Reagenzgläsern?
b) Erklären Sie das Verhalten von Zellen in Lösungen, deren Salzkonzentration schwächer ist als die des Zellsaftes!
c) Vergleichen Sie das Verhalten der Epidermiszellen in Versuch 1c und der roten Blutkörperchen in Versuch 2!

3. Osmotischer Druck des Kartoffelgewebes (Sch)

Untersuchungsmaterial: Kartoffelknollen.

Geräte und Reagenzien: Reagenzglasständer, Reagenzgläser, Pipette, Messer oder Rasierklinge, Millimeterpapier oder Lineal, evtl. Korkbohrer. – Destilliertes Wasser und 1 mol Rohrzuckerlösung.

Dauer: Versuchsansatz 20 Minuten, Auswertung nach 3 Stunden.
Methodik: Mit dem Korkbohrer werden 11 gleich starke zylindrische Stifte aus dem Kartoffelgewebe ausgestochen. Hat man keine Korkbohrer zur Hand, dann schneidet man mit dem Messer oder mit der Rasierklinge 11 Stifte von quadratischem Querschnitt, so daß die Stifte gut in ein Reagenzglas gesteckt werden können. Man schneidet nun die Kartoffelgewebszylinder alle auf gleiche Länge (5 oder 6 cm) und verteilt sie auf 11 Reagenzgläser. Man übergießt die Gewebestücke sofort mit Rohrzuckerlösungen abgestufter Konzentrationen, die man sich auf folgende Weise herstellt: In das erste Glas füllt man 10 ml der 1 mol Rohrzuckerlösung, in das zweite 9 ml Zuckerlösung und 1 ml destilliertes Wasser, in das dritte 8 ml Zuckerlösung und 2 ml destilliertes Wasser, und so weiter, in das vorletzte kommen dann 1 ml Zuckerlösung und 9 ml destilliertes Wasser, während wir in das letzte 10 ml destilliertes Wasser einfüllen. Auf diese Weise erhalten wir eine Reihe verschiedener Lösungen mit abgestuften Konzentrationen: 1 mol / 0,9 / 0,8 / 0,7 / 0,6 / 0,5 / 0,4 / 0,3 / 0,2 / 0,1 und 0,0 mol Rohrzucker.
Nach drei Stunden nehmen wir die Kartoffelgewebsstücke heraus und messen ihre Länge mit Millimeterpapier oder Lineal. Das Kartoffelstück mit der geringsten Abweichung von der Anfangslänge zeigt an, daß die entsprechende Rohrzuckerlösung der osmotisch wirksamen Konzentration des Zellsaftes im Kartoffelgewebe am ähnlichsten ist. Einige Stücken sind länger geworden, andere haben sich verkürzt.

Auswertung:
a) Stellen Sie die Längenveränderung der Kartoffelstifte in Abhängigkeit von der Konzentration der zugehörigen Lösungen graphisch dar!
b) Erklären Sie, warum Verkürzungen oder Verlängerungen der Stifte stattgefunden haben!

4. *Ringelungsversuche zur Demonstration der Wasserleitung im Xylem*

Untersuchungsmaterial: Jüngere, aber schon genügend verholzte Zweige beliebiger Pflanzen (z. B. Linde, Holunder o. ä.).
Geräte und Reagenzien: 2 Pulverflaschen 500 ml mit passenden doppelt durchbohrten Stopfen (eine kleinere und eine größere Bohrung), Rasiermesser, Vaseline oder Plastillin. – Leitungswasser.
Dauer: Ansetzen des Versuches 15 Minuten, Beobachtung 1 bis 2 Wochen.
Methodik: Wir stecken zwei verholzte Zweige derselben Pflanzenart so weit durch die größere Bohrung der Gummistopfen, daß die Zweigenden sich etwa 1,5 cm über dem Flaschenboden befinden. Dann entfernen wir von den unteren Zweigenden in etwa 3 cm Breite die Rinde. Bei dem einen der beiden Zweige bestreichen wir den freigelegten Holzzylinder so mit Vaseline oder Plastillin, daß seine Schnittfläche dadurch abgedichtet wird, während der davon 3 cm entfernte untere Rindenrand frei bleibt. Beim zweiten Zweig dehnen wir die Vaselinekappe so weit aus, daß auch der Rindenrand dadurch wasserdicht verschlossen wird und legen dann durch einen Querschnitt im Bereich des überstehenden Holzzylinders den Holzteil, nicht aber den Bast, frei. Nun befestigen wir die Stopfen auf den Flaschen, nachdem wir diese zu $^4/_5$ mit Wasser gefüllt haben. Den oberen Wasserstand markieren wir mit Fettstift oder mit Klebpapier an der Flaschenwand. Die beiden Flaschen werden am Fenster aufgestellt. Nach 2 Tagen beobachten wir den Wasserstand in den beiden Gläsern und vergleichen das Aussehen der beiden Pflanzen. Nach einer Woche füllen wir mit einer Mensur soviel Wasser von

einer abgemessenen Menge in beide Flaschen, daß der Wasserstand die alten Markierungen erreicht. Wir vergleichen die verbrauchten Wassermengen und das Aussehen der Pflanzen. Die Beobachtungen können in der gleichen Weise fortgesetzt werden.

Auswertung:

a) Ziehen Sie aus dem unterschiedlichen Verhalten der beiden Zweige Schlüsse auf den Ort der Wasserleitung!
b) Welche Ursachen können das Welken der Pflanzen hervorrufen?
(Bemerkung: Eine der Ursachen kann aus dem Versuch abgeleitet werden. Es gibt daneben jedoch noch andere Möglichkeiten. Welche?)

Der Versuch kann dahingehend erweitert werden, daß man noch eine dritte Flasche aufstellt, in deren Stopfen man einen Zweig befestigt, dessen Blätter abgetrennt worden sind. Das untere Zweigende präpariert man so, daß der Bast wasserdicht verschlossen ist und der Holzteil frei bleibt. Erläutern Sie Ihre Beobachtungen!

5. *Nachweis der Wasserabgabe bei der Transpiration (Sch)*

Untersuchungsmaterial: Blätter mit unterseitigen Spaltöffnungen (*Tradescantia*, Gummibaum, Alpenveilchen) und mit beiderseitigen Spaltöffnungen (getopfte, größere Pflanzen von Hafer oder Mais, rechtzeitig ansetzen!). Die Blätter müssen sich an der Pflanze befinden.
Geräte und Reagenzien: Dünne quadratische Zelluloid- oder Glasscheiben von etwa 3 cm Seitenlänge, Foto- oder Büroklammern, Filtrierpapier. – 5%ige Kobaltchloridlösung, Blaugel oder konzentrierte Schwefelsäure als Trockenmittel.
Dauer: 30 Minuten (die Kobaltchloridpapierscheiben müssen vorbereitet sein).
Methodik: Wir schneiden aus dem Filtrierpapier kreisrunde Scheiben von 2 cm Durchmesser und tränken sie mit der Kobaltchloridlösung. Anschließend trocknen wir die Scheiben in einem Trockenschrank oder an einem Ofen und bewahren sie dann in einem Exsikkator über einem Trockenmittel auf. Die feuchten Scheiben mit der Kobaltchloridlösung haben eine rosarote Färbung. Durch den Trockenvorgang nehmen die Scheiben eine blaue Farbe an. Die Eigenschaft des Kobaltchlorids, bei wechselnder Feuchtigkeit auch einen Farbwechsel zu zeigen, machen wir uns nun für den Nachweis der Wasserabgabe bei der Transpiration zunutze.

Wir legen auf Ober- und Unterseite verschiedener Blätter gegenüberliegende Scheiben unseres Kobaltchloridpapiers und decken diese mit den Zelluloidquadraten ab. Um zu verhindern, daß die Papierscheiben abfallen, klemmen wir sie mit den Büro- oder Photoklammern fest. Wir beobachten nun, wie lange es dauert, bis auf den Papierscheiben eine Rosafärbung beginnt. Sie wird um so schneller erscheinen, je mehr Spaltöffnungen an der betreffenden Seite des Blattes zu finden sind. Daneben ist die Geschwindigkeit der Rötung auch vom Öffnungszustand der Spaltöffnungen abhängig. Da diese im Dunkeln allgemein geschlossen gehalten werden, kann man die gleichen Messungen auch an Pflanzen durchführen, die vor Beginn des Versuches im Dunkeln oder im Licht gestanden haben. Dadurch können auch qualitative Auskünfte über den Öffnungszustand der Spaltöffnungen erhalten werden.

Auswertung:

a) Erklären Sie die Ursache für den Farbwechsel des Kobaltchloridpapiers!
b) Wovon hängt die Geschwindigkeit der Rötung des Papieres ab?

6. Blutkreislauf bei Süßwasseroligochaeten (Sch)

Untersuchungsmaterial: Kleine Süßwasseroligochaeten, z. B. *Lumbricus* oder *Tubifex* (*Tubifex* ist in zoologischen Handlungen als Fischfutter erhältlich. Viele geeignete Süßwasseroligochaeten findet man in Wasserproben vorwiegend vom Grunde gut bewachsener stehender oder langsam fließender Gewässer).
Geräte und Reagenzien: Lupe oder Mikroskop mit schwacher Vergrößerung, Objektträger, Deckglas, Wachs oder Plastillin.
Dauer: 10 Minuten.
Methodik: Wir legen kleine Oligochaeten in einen großen Wassertropfen auf dem Objektträger und bedecken das Präparat mit einem Deckglas auf Wachsfüßchen, um die Tiere am Leben halten zu können. Unter der Lupe läßt sich bei den durchscheinenden Tieren infolge der Rotfärbung des hämoglobinhaltigen Blutes die Pulsation von Gefäßen beobachten. Peristaltische Kontraktionswellen verlaufen über das große Rückengefäß von hinten nach vorn. Daneben sind – je nach der Art der Untersuchungsobjekte – noch pulsierende Gefäße im mittleren oder vorderen Körperbereich sichtbar, die das Blut meist dem Ventralgefäß zuführen. Das in der Regel gut sichtbare Bauchgefäß weist keine Kontraktionswellen auf. Der Typ eines geschlossenen Blutgefäßsystems ohne zentrales Herz ist deutlich erkennbar.

7. Wasserabgabe durch die Haut beim Menschen (Sch)

Geräte und Reagenzien: Becherglas (etwa 600 ml), Tuch.
Dauer: 5 Minuten.
Methodik: Eine Hand wird in das Becherglas gehalten und die Öffnung zwischen Handgelenk und Glasrand mit dem Tuch umwickelt. Es ist darauf zu achten, daß man das Glas weder innen noch außen berührt. Erläutern Sie Ihre Beobachtung!

8. Wasseraufnahme durch die Haut bei Fröschen (Sch)

Untersuchungsmaterial: 1 Frosch.
Geräte und Reagenzien: Glasschale mit Deckel (auch Marmeladenglas geeignet), Gefäß zum Wiegen des Frosches, Zellstoff.
Dauer: 2 mal 5 Minuten im Abstand von 3 Stunden, Frosch 2 Tage vor dem Versuch in ein trockenes Terrarium geben.
Methodik: Zuerst wiegen wir den Frosch. Darauf bringen wir ihn in die Glasschale und wickeln ihn so in feuchten Zellstoff ein, daß er durch das Maul kein Wasser aufnehmen kann. Nach 3 Stunden wird er herausgenommen und mit Filtrierpapier etwas abgetrocknet. Wir bestimmen erneut das Gewicht.

9. Gaswechsel bei der Photosynthese (Sch)

Untersuchungsmaterial: Wasserpest oder Wassermoos (*Fontinalis*).
Geräte und Reagenzien: 4 Erlenmeyerkölbchen von je 50 ml Inhalt mit passenden unten abgeschrägten Gummistopfen, 2 Pipetten. – Frisch angesetzte Pyrogallollösung 10%ig (1,2,3-Trioxybenzol, höchstens schwach gelb gefärbt), 30%ige Natronlauge, Selterswasser oder Natriumhydrogenkarbonat, gasfreies Leitungswasser.
Dauer: 45 Minuten.
Methodik: Wir füllen in die vier Erlenmeyerkölbchen gasfreies Leitungswasser, das auf folgende Weise hergestellt werden kann: Wir kochen das Leitungswasser einige Zeit aus und lassen es dann unter Luftabschluß abkühlen.

Anschließend geben wir in drei der vier Kölbchen etwa gleich viele Sproßstückchen unserer Wasserpflanzen. Das vierte Kölbchen bleibt leer und dient als Kontrollversuch. In das zweite geben wir zusätzlich als Kohlendioxidquelle noch ein wenig Hydrogenkarbonat oder Selterswasser. Nun stellen wir die Kölbchen 1, 2 und 4 an ein helles Fenster und verschließen sie luftdicht, indem wir die abgeschrägten Gummistopfen so auf die gestrichen vollen Kölbchen setzen, daß keine Luftblasen unter den Stopfen bleiben. Das dritte Kölbchen stellen wir für die gleiche Zeit wie die anderen an einen verdunkelten Ort. Nach etwa 30 Minuten öffnen wir die Versuchsgefäße und geben in jedes davon je 1 ml der Pyrogallollösung und 1 ml der Natronlauge. Wir verschließen die Kölbchen erneut und schütteln gut um. Es tritt in Abhängigkeit von der verbrauchten oder entwickelten Sauerstoffmenge eine unterschiedliche Braunfärbung auf.

Auswertung:

a) Nennen Sie die Ursachen für die unterschiedlich starke Sauerstoffentwicklung in den verschiedenen Versuchsansätzen!
b) Weshalb kann die Photosynthese der grünen Pflanzen auf dem Umweg über Sauerstoff nachgewiesen werden?

10. Die Wirkung verschiedener Spektralbereiche des Lichtes bei der Photosynthese

Untersuchungsmaterial: Wasserpest.
Geräte und Reagenzien: Kleinbildprojektor, Farbfilter, Stoppuhr, Zollstock, Belichtungsmesser, 2 Küvetten. – Gesättigte Kaliumdichromatlösung, 5%ige Kupfersulfatlösung, welcher bis zur Auflösung des Niederschlages Ammoniak zugegeben wurde, 1%ige Kaliumhydrogenkarbonatlösung.
Dauer: 30 Minuten.
Methodik: Wir füllen eine Küvette mit 1%iger Kaliumhydrogenkarbonatlösung und stecken einen Sproß der Wasserpest so hinein, daß seine schräge Schnittfläche nach oben zeigt. Nun bringen wir die Küvette in den Strahl unseres Bildwerfers und zählen die in 5 Minuten entwickelten Sauerstoffbläschen. Wir messen dann mit Hilfe des Belichtungsmessers an der Stelle, wo die Küvette stand, die Lichtintensität und merken uns den Ausschlag des Zeigers am Belichtungsmesser. Für die zweite Messung bringen wir ein rotes Farbfilter in den Strahlengang des Bildwerfers und ermitteln mit unserem Belichtungsmesser jene Stelle, an der der gleiche Ausschlag des Zeigers wie im Versuch mit dem weißen Licht erfolgt. Dort herrscht annähernd die gleiche Lichtintensität wie im ersten Versuch. Wir stellen nun unsere Küvette mit der Wasserpest an diese Stelle und messen wieder 5 Minuten lang die Zahl der austretenden Sauerstoffbläschen. Den gleichen Versuch wiederholen wir mit einem Blaufilter. Haben wir keine Filtergläser zur Verfügung, dann können wir uns mit den Lösungen von Kaliumdichromat und Kupfersulfat helfen.

Damit alle Schüler in der Klasse den Versuch verfolgen können, bauen wir ihn so auf, daß der durch die Küvette fallende Strahl des Bildwerfers auf eine Leinwand fällt. Dunkelt man dabei den Klassenraum ein wenig ab, so können alle Schüler die Zahl der entwickelten Sauerstoffblasen auf der Leinwand mitzählen.

Wir stellen das Resultat unseres Versuches graphisch dar, wobei die Blasenzahlen als abhängige Variable in Beziehung zu der Lichtqualität gesetzt werden müssen!

Auswertung:

a) Erläutern Sie an diesem Versuch die Abhängigkeit der Photosyntheseintensität von der Lichtqualität bei ungefähr gleicher einfallender Lichtmenge!

b) Vergleichen Sie die Photosyntheseintensität im weißen Licht mit jener bei rotem oder blauem Licht!

11. Nachweis und Trennung verschiedener Blattfarbstoffe durch Papierchromatographie (Sch)

Untersuchungsmaterial: Blätter der Brennessel oder andere chlorophyllreiche Blätter, auch Grünalgen.

Geräte und Reagenzien: Mörser mit Pistill, kleines flaches Schälchen aus Glas, großes Reagenzglas oder kleine Mensur mit passendem Gummistopfen, in den von unten ein kleines Drahthäkchen gesteckt wurde, Schere, Chromatographierpapier (FN 3 vom VEB Spezialpapierfabrik Niederschlag/Erzgebirge, Bezug durch VK Papierwaren Karl-Marx-Stadt). – Azeton (Propanon) oder Chloroform (Trichlomethan), Benzin, Benzol.

Dauer: Extraktherstellung 10 Minuten, Auftragen 10 Minuten, Laufzeit maximal 1 Stunde.

Methodik: Wir fertigen uns zuerst einen Extrakt der Blattfarbstoffe an. Dazu verreiben wir mehrere Blätter unserer Versuchspflanze mit Quarzsand und Azeton oder Chloroform in der Reibschale, bis sich ein deutlich dunkelgrüner Extrakt gebildet hat. Diesen trennen wir kurz durch Absitzen von den Rückständen und gießen ihn vorsichtig in unsere flache kleine Glasschale. Wir decken die Glasschale gut ab, um ein zu rasches Verdunsten des Lösungsmittels zu verhindern. Wir schneiden nun einen Streifen aus dem Chromatographierpapier, welcher gerade so breit ist, daß er beim Einhängen in das Reagenzglas nicht an den Seitenwänden anstößt. Die Länge des Streifens bemessen wir so, daß der Streifen den Boden des Reagenzglases knapp berührt, wenn das Papier an dem Haken des Gummistopfens hängt, mit dem das Glas verschlossen werden soll. Es empfiehlt sich, diese Streifen schon vor Beginn des Versuches zuzuschneiden. Ebenso kann auch der Extrakt der Blattfarbstoffe schon vom Lehrer vorbereitet werden.

Nun tauchen wir den Streifen aus Chromatographierpapier in unseren Extrakt, bis der Farbstoff etwa 0,5 bis 1 cm hoch eingesaugt worden ist (Abb. 134). Dann lassen wir den Streifen kurz trocknen. Das Einsaugen wiederholen wir mehrere Male, um den Farbstoff in der Nähe des unteren Randes zu konzentrieren. Anschließend hängen wir den so präparierten Streifen an den Haken des Gummistopfens und verschließen damit das Reagenzglas, nachdem wir vorher etwa einen Zentimeter hoch Benzol oder Benzin-Benzol-Gemisch (Verhältnis 1 : 1) eingefüllt haben. Das Lösungsmittel steigt nun durch die Saugkraft des Papiers in dem Streifen aufwärts und trennt dabei die verschiedenen Blattfarbstoffe, welche in dem Extrakt enthalten sind. Ist diese Trennung vollzogen, so brechen wir den Versuch ab und lassen den Streifen an der Luft trocknen. Wir finden in unserem Papierchromatogramm von unten nach oben folgende Farbstoffe: Chlorophyll b (gelbgrün), Chlorophyll a (blau-grün), Xanthophylle (gelbe Farbstoffe der Plastiden) und in der Nähe oder direkt in der Lösungsmittelfront Karotine (orangefarbene Pigmente der Plastiden).

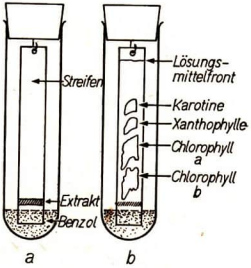


Abb. 134 Anordnung zur papierchromatographischen Trennung der Blattfarbstoffe
a Streifen vor Beginn der Entwicklung im Reagenzglas,
b Streifen nach Ende der Trennung.

12. Eigenschaften der Saccharose (Rohrzucker, Sch)

Untersuchungsmaterial: Rohrzuckerlösung, Extrakt aus Zuckerrüben.
Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Pipetten, Reagenzglashalter, Bunsenbrenner, Dreifuß und Asbestnetz, Erlenmeyerkolben 100 ml. – Fehlingsche Lösungen (I und II), Resorzin (1,3-Dioxybenzol), konzentrierte Salzsäure.
Dauer: 30 Minuten.
Methodik: Wir füllen in je einen Erlenmeyerkolben etwa 20 ml unserer Rohrzuckerlösung bzw. des Pflanzenextraktes und geben je 10 ml konzentrierte Salzsäure dazu. Wir kochen den Inhalt beider Kolben einige Minuten zur Hydrolyse der Zucker.

Wir stellen nun in unseren Reagenzglasständer zweimal je 3 Reagenzgläser und bezeichnen sie mit den Zahlen von 1 bis 6. In die Gläschen 1 und 4 füllen wir 2 bis 3 ml der nicht hydrolysierten Extrakte aus den Rüben bzw. der nicht hydrolysierten Zuckerlösung. Die Gläschen 2 und 5 werden mit je 2 bis 3 ml des hydrolysierten Extraktes bzw. der hydrolysierten Zuckerlösung gefüllt, welche wir dann mit Natronlauge gegen Lackmuspapier neutralisieren. In die Reagenzgläser 3 und 6 geben wir ebenfalls je 2 bis 3 ml des hydrolysierten Extraktes bzw. der hydrolysierten Lösung, neutralisieren sie jedoch nicht.

Zu den Untersuchungslösungen in den Reagenzgläsern 1, 2, 4 und 5 füllen wir je 2 bis 3 ml der Lösung Fehling I und danach je 2 bis 3 ml der Lösung Fehling II. Wir erhitzen 3 Minuten mit dem Bunsenbrenner und vergleichen. Zu den nicht neutralisierten Hydrolysaten in den Gläschen 3 und 6 geben wir eine Messerspitze Resorzin und erhitzen wie bei den anderen Proben. Zum Vergleich führen wir die Resorzin-Reaktion daneben mit Maltoselösungen in unhydrolysierter und hydrolysierter Form durch. Die Durchführung erfolgt in der gleichen Weise wie mit Rohrzuckerlösungen (Reagenzgläser 4 und 5).

Auswertung:

a) Erklären Sie die Ursachen für den negativen Ausfall der Fehlingschen Probe in den Gläschen 1 und 4, den positiven Ausfall in den Reagenzgläsern 2 und 5.
b) Warum fällt die Resorzin-Reaktion bei Maltoselösung und ihrem Hydrolysat negativ, bei hydrolysiertem Rohrzucker dagegen positiv aus?

13. Außenverdauung bei Käfern (Sch)

Untersuchungsmaterial: Mehrere große lebende Laufkäfer (*Carabidae*).
Geräte und Reagenzien: Präparierbesteck, kleine Glasschale, Chloroform, Watte, mageres Fleisch, Lupe, Uhrschälchen.
Dauer: 10 Minuten, nach $^1/_2$ Stunde erneut 10 Minuten.
Methodik: Die Laufkäfer werden in die Glasschale gebracht und erhalten kleine Fleischstückchen vorgelegt. Die Bewegungen der Mundwerkzeuge sind zu beobachten. Käfer, die nicht an das Fleisch herangehen, werden herausgenommen. Nun läßt man die Schale mit den Käfern etwa $^1/_2$ Stunde stehen. Man tötet die Tiere dann mit Chloroform ab. Die teilweise verdauten Fleischreste werden etwas auseinandergezupft und unter der Lupe betrachtet. Dabei zeigt sich, daß die Faserstruktur des Muskels unter der Einwirkung der Verdauungsfermente zerstört worden ist. Anschließend ist bei den getöteten Käfern der Darm herauszunehmen. Der Vorderdarm wird aufgeschnitten und der Nahrungsbrei auf ein Uhrschälchen gebracht. Er ist gleichfalls unter der Lupe zu betrachten. Außer der gelösten Substanz lassen sich darin Faserstrukturen erkennen.

14. Stärkespaltung durch Fermente im Speichel des Menschen (Sch)

Untersuchungsmaterial: Brotstücke.
Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser im Gestell, Mörser mit Pistill, destilliertes Wasser, Jodjodkaliumlösung, Fehlingsche Lösungen I und II.
Dauer: 10 Minuten.
Methodik: Ein Brotstückchen wird mit Jodjodkaliumlösung betropft; die tiefblaue Färbung zeigt Stärke an. Ein anderes Brotstück wird etwa 5 Minuten lang gut durchgekaut und dann in den Mörser gebracht. Wir versetzen es mit etwas destilliertem Wasser und gießen den Überstand nach gutem Durchmischen ab. In einer Probe davon prüfen wir erneut auf Anwesenheit von Stärke. Die Prüfung fällt bei ausreichender Durchspeichelung negativ aus. Eine zweite Probe wird in üblicher Weise mit Fehlingscher Lösung auf reduzierende Zucker getestet, die Probe ist in der Regel positiv. Erklären Sie die Ursachen für die Veränderungen im gekauten Brot!

15. Eiweißverdauung durch Pepsin (Sch)

Untersuchungsmaterial: Karminfibrin. Fibrin erhält man am einfachsten, indem man Säugetier- oder Vogelblut gerinnen läßt, den Blutkuchen in ein Tuch wickelt und ihn unter ständigem Kneten in fließendem Wasser auswäscht. Dadurch werden die Erythrozyten zerstört und nur das Fibringerüst bleibt zurück. Nach kurzem Trocknen färbt man das Fibrin in einer beliebigen Karminfarbe, z. B. Boraxkarmin oder Alaunkarmin. Die Differenzierung wird mit salzsaurem Äthanol – 3 Tropfen konzentrierte HCl auf 100 ml 70%iges Äthanol – vorgenommen, bis keine Farbwolken mehr abgehen. Karminfibrin ist in Glyzerin unbegrenzt haltbar. Es muß vor Verwendung in Wasser ausgewaschen werden.
Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser im Gestell, großes Becherglas, Brenner, Dreifuß, Thermometer, 0,2%ige Salzsäure, 1%ige Pepsinlösung.
Dauer: 5 Minuten und nach 1 Stunde 5 Minuten Auswertung.
Methodik: Man kennzeichnet 4 Reagenzgläser und bringt in:
Glas 1 = 1 kleine Fibrinflocke, 1 ml Pepsinlösung und 10 ml Wasser
Glas 2 = 1 kleine Fibrinflocke, 10 ml Salzsäure
Glas 3 = 1 kleine Fibrinflocke, 1 ml Pepsinlösung und 10 ml Salzsäure
Glas 4 = 1 kleine Fibrinflocke, 10 ml Salzsäure und 1 ml Pepsinlösung, die vorher aufgekocht wurde.

Wir stellen die Reagenzgläser in ein großes Becherglas, welches als Wasserbad dient. Die Temperatur wird 1 Stunde lang etwa bei 37° gehalten.
Beobachten Sie die Veränderungen am Fibrin und erklären Sie die Unterschiede in den 4 Reagenzgläsern!

16. Fettemulgierung mit Galle (Sch)

Untersuchungsmaterial: Pflanzenöl, Galle. (Man bezieht die Galle entweder frisch vom Schlachthof oder verwendet sie in getrockneter Form. Galle ist nach Eintrocknung bei etwa 60 °C unbegrenzt haltbar.)
Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser im Ständer, destilliertes Wasser.
Dauer: 5 Minuten.
Methodik: In 2 Reagenzgläser gießen wir je eine kleine Probe Pflanzenöl und füllen mit Wasser zur Hälfte auf. Einem der beiden Gläser setzen wir Galle zu. Nun werden beide Gläser gut durchgeschüttelt.

Beobachten Sie nach kurzer Zeit das Verhalten des Öles! Leiten Sie aus dem Versuch die Wirkung der Galle bei der Fettverdauung ab!

17. Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidentwicklung bei der Atmung (L)

Untersuchungsmaterial: Gut gekeimte Erbsen oder Bohnen.

Geräte und Reagenzien: Stativ mit Muffe und Klemme, größere Kristallisierschale, großer weithalsiger Kjeldahl-Kolben, Watte, Pipette mit gebogener Spitze. – Quecksilber, 15%ige Natronlauge.

Dauer: Vorkeimen 2–3 Tage, Versuchsansatz 15 Minuten, Beobachtung 2–3 Stunden.

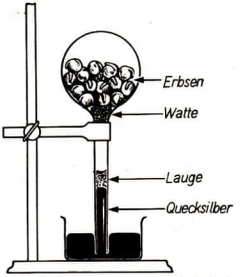


Abb. 135 Versuchsanordnung zum Nachweis des Sauerstoffverbrauches bei der Atmung

Methodik: Wir füllen die gut vorgekeimten Erbsen in den Bauch des Kjeldahl-Kolbens und stecken dann in den Übergang zwischen Bauch und Hals des Kolbens einen Wattebausch. Nun spannen wir den Kolben so in die Stativklemme, daß der Kolbenhals nach unten zeigt und in die mit Quecksilber gefüllte Kristallisierschale taucht (Abb. 135). Mit Hilfe der gebogenen Pipette geben wir durch das Quecksilber hindurch einige ml der konzentrierten Lauge in den Flaschenhals. Das Kohlendioxid des Gasraumes in dem Kolben wird durch die Lauge absorbiert. Den Keimlingen steht nur noch der Sauerstoff zur Verfügung. Wir stellen die Versuchsanordnung an einen dunklen und warmen Platz. Nach 2–3 Stunden beobachten wir unseren Versuch.

Auswertung:
a) Warum stellen wir den Versuch im Dunkeln auf?
b) Worauf beruht der Anstieg des Quecksilbermeniskus im Kolbenhals?
c) Erklären Sie die Unterschiede im Gasaustausch bei Photosynthese und Atmung!

18. Versuche zur alkoholischen Gärung

Untersuchungsmaterial: Bäckerhefe und vergorene Rohrzuckerlösung.
Geräte und Reagenzien: Glaskolben 2 l, dazu passender Gummistopfen mit Bohrung, in der ein passendes, oben U-förmig abgebogenes Glasrohr mit freiem Schenkel steckt, kleines Reagenzglas, Watte, Stativ mit Muffe und Klemme, Wasserbad, Liebig-Kühler mit Übergang passend zu dem 2l-Kolben, Vorlage zum Kühler, 2 Erlenmeyerkolben 100 ml, Becherglas 100 ml, Pipette, Reagenzglasständer und Reagenzgläser, Bunsenbrenner. – 1 100 ml 15%ige Rohrzuckerlösung, Jodjodkaliumlösung oder einige Jodkristalle, 30%ige Kalilauge, Ammoniumsulfat, Kaliumdihydrogenphosphat, konzentrierte Lösung von Bariumhydroxyd.
Dauer: Gäransatz 2–3 Tage. Versuchsdurchführung 45 Minuten mit Unterbrechungen.

Methodik:
a) Herstellung des Gäransatzes (L)
Einige ml einer Hefeabkochung und je eine Messerspitze des Ammoniumsulfates und Kaliumdihydrogenphosphates werden zu 1 000 ml 15%iger Rohrzuckerlösung gegeben.

Das so vorbereitete Medium vermengen wir mit Hefe und füllen es in den 2-l-Kolben. Diesen verschließen wir mit einem Gärverschluß, den wir uns selbst herstellen können. Dazu setzen wir auf den Kolben das in dem Gummistopfen steckende Glasrohr mit U-förmiger Biegung und führen den freien Schenkel des Rohres durch einen Wattebausch in ein kleines Reagenzglas, welches mit konzentrierter Kali- oder Natronlauge gefüllt ist (Abb. 136). Dadurch wird ein Sauerstoffzutritt unterbunden, während das gebildete CO_2 austreten kann und in der Lauge aufgefangen wird. Verwendet man dazu Bariumhydroxydlösung, dann wird die Abgabe des Kohlendioxids durch die Trübung der Lauge auch sichtbar. – Wir lassen den Gärvorgang etwa drei Tage ablaufen. Dann stellen wir mit dem Gärprodukt den nachfolgenden Versuch an.

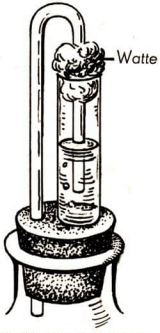


Abb. 136 Selbstgefertigtes Gärröhrchen

b) Nachweis des bei der Gärung gebildeten Äthanols (L, Sch)

An dem Gärprodukt wird eine Geschmacksprobe durchgeführt. – Dann verbinden wir den Kolben mit der vergorenen Zuckerlösung durch einen passenden Übergang mit einem Liebig-Kühler und destillieren das Gärprodukt auf dem Wasserbad in eine bereitgestellte Vorlage. Am Destillat wird eine Geschmacksprobe durchgeführt.

Wir prüfen das Destillat auf seine Brennbarkeit.

Wir führen am Destillat in folgender Weise die Jodoformprobe (Trijodmethan) durch: In einem Becher- oder Reagenzglas erhitzt man etwas Destillat mit einigen Jodkristallen oder mit einigen ml Jodjodkaliumlösung. Dann gibt man einige Tropfen der konzentrierten Lauge dazu. Es entwickeln sich die typischen Jodoformdämpfe (Trijodmethan)

$$\underset{\text{Äthanol}}{C_2H_5OH} + \underset{\text{Kalilauge}}{KOH} + \underset{\text{Jod}}{4\,J_2} \rightarrow \underset{\text{Kaliumformiat}}{HCOOK} + \underset{\text{Trijodmethan}}{CH\,J_3} + \underset{\text{Jodwasserstoff}}{5\,HJ}$$

Auswertung:

Warum muß der Gäransatz mit einem besonderen Verschluß, dem Gärröhrchen, versehen werden?

19. Organische Säuren als Zwischenverbindungen im Atmungsstoffwechsel (Sch)

Untersuchungsmaterial: Zitronensäure und Preßsäfte fleischiger Früchte.
Geräte und Reagenzien: Schraubstock mit zwei Messing- oder Aluminiumplatten, Weithalserlenmeyerkolben 200 ml mit passendem Korkstopfen, Bunsenbrenner, Dreifuß und Drahtnetz, Becherglas 600 ml, Reagenzglas mit Gummistopfen, Reagenzglasständer, Indikal-pH-Papier, Lackmuspapier. – 10%ige Kalziumchloridlösung, verdünnte Kalilauge.
Dauer: 10 Minuten.
Methodik: Wir geben in ein Reagenzglas einige ml einer verdünnten Lösung von Zitronensäure. In ein zweites Reagenzglas drücken wir einige Tropfen Zitronensaft. Dann versetzen wir die Flüssigkeiten in beiden Gläsern mit Kalilauge bis zur alkalischen Reaktion (Lackmuspapier verwenden). Nach Zugabe von Kalziumchloridlösung flockt in beiden Reagenzgläsern Trikalziumzitrat aus.

An einigen ml Zitronensaft, welche wir in ein drittes Reagenzglas gefüllt haben, bestimmen wir mit Hilfe des pH-Papiers den pH-Wert des Saftes.

20. Eigenschaften der Eiweiße (Sch)

Untersuchungsmaterial: Kartoffeln, Erbsenschrot, Gelatine.
Geräte und Reagenzien: Reibeisen, Trichter, Reagenzgläser, Filtrierpapier, Bunsenbrenner, Reagenzglashalter, Mörser mit Pistill. – Äthanol 96%ig, Ammoniumsulfat fest, Essigsäure (Äthansäure), 10%ige Lösung von Kaliumhexazyanoferrat (gelbes Blutlaugensalz), 10%ige Bleiazetatlösung (Bleiäthanat), Natronkalk, Lackmuspapier, konzentrierte Salpetersäure, 40%ige Kalilauge, 3%ige Kupfersulfatlösung.
Dauer: 45 Minuten.
Methodik: Wir reiben auf dem Reibeisen einige Kartoffeln und lassen den Rückstand 15 Minuten absitzen. Dann trennen wir den Saft durch Filtrieren vom Bodensatz. An der so gewonnenen Eiweißlösung stellen wir Versuche über die Fällbarkeit der Eiweiße mit verschiedenen Reagenzien an.

Dazu füllen wir mehrere Reagenzgläser mit gleichen Mengen der Eiweißlösung. Den Inhalt des ersten Glases kochen wir auf. Es erfolgt eine Ausfällung des Eiweißes durch die Hitzewirkung. In das zweite Reagenzglas geben wir so lange pulverisiertes Ammoniumsulfat, bis das Eiweiß ausfällt. Nun versuchen wir die Niederschläge in beiden Reagenzgläsern durch Wasserzugabe zu lösen. Das gelingt nur bei den durch Ammoniumsulfat reversibel gefällten Eiweißen im zweiten Reagenzglas.

Den Inhalt eines dritten Reagenzglases fällen wir durch Zugabe von 10%iger Bleiazetatlösung und leichtes Erwärmen (Schwermetallfällung). – Die Säurefällung führen wir an der Probe im vierten Reagenzglas durch. Dazu säuern wir die Kartoffelsaftlösung mit Essigsäure an und geben gerade soviel Kaliumhexazyanoferrat-Lösung zu, bis die Fällung eintritt. – Auch durch konzentriertes Äthanol können Eiweiße ausgefällt werden. Diese Probe führen wir im fünften Reagenzglas durch.

Zur Durchführung von typischen chemischen Reaktionen des Eiweißes zerreiben wir in einem Mörser geschrotete Samen der Erbse. Dann geben wir von diesem Untersuchungsmaterial eine Spatelspitze voll in ein Reagenzglas und übergießen unser Eiweißprodukt mit konzentrierter Salpetersäure. Nach kurzem Erhitzen tritt die bekannte gelbe Färbung auf (Xanthoprotein). Die gleiche Probe stellen wir mit ein wenig Gelatine an.

Zum Nachweis des in Eiweißen enthaltenen Stickstoffs verfahren wir folgendermaßen: Wir verreiben in einem Mörser Erbsenschrot mit ein wenig Natronkalk, überführen dieses Untersuchungsmaterial in ein Reagenzglas und erhitzen es, wobei wir über die Mündung des Glases einen Streifen feuchten roten Lackmuspapieres halten. Dieses färbt sich durch die entstehenden Ammoniakdämpfe blau.

Die Anwesenheit von Schwefel im Eiweiß läßt sich auf folgende Weise zeigen. Wir versetzen eine Eiweißprobe im Reagenzglas mit 40%iger Natronlauge und einigen Tropfen konzentrierter Bleiazetatlösung (am besten gesättigte Lösung von Bleiazetat) und erwärmen das Reaktionsgemisch vorsichtig bis zum Sieden. Das allmählich entstehende Bleisulfid dient mit seiner schwarzen Farbe als Nachweis für die Anwesenheit von Schwefel im Eiweiß.

Mit der sogenannten Biuret-Reaktion lassen sich die zwischen den Aminosäuren im Eiweiß vorhandenen Peptidbindungen nachweisen. Wir geben zu einer Eiweißprobe im Reagenzglas ein wenig Wasser. Dann füllen wir dazu 40%ige Kalilauge und lösen das Eiweiß unter schwachem Erwärmen auf. Wir kühlen das Reagenzglas ab und geben

anschließend einige Tropfen der 3%igen Kupfersulfatlösung dazu. Es tritt eine rotviolette Färbung auf.

21. Versuch über die Eigenschaften von Fermenten am Beispiel der stärkespaltenden Amylasen (Sch)

Untersuchungsmaterial: Amylaselösungen und Stärkelösung.
Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser mit Reagenzglasständer, Tüpfelplatten aus Porzellan, Glasstäbe und kleine Pipetten, Bechergläser 400 ml, Bunsenbrenner, Dreifuß und Drahtnetz, Thermometer. – Stärkelösung 1%ig, Jodjodkaliumlösung, Fehlingsche Lösungen I und II, Eis, Thymol, Toluol (Methylbenzol), Kupfersulfat.
Dauer: 45 Minuten.
Methodik: Um die Versuche in einer Unterrichtsstunde zu schaffen, empfiehlt es sich, die verschiedenen Teile des Versuches von verschiedenen Schülergruppen durchführen zu lassen!

a) Ansetzen der Amylaselösung (Vorbereitung durch den Lehrer)

Fünf Tage vor Beginn der Versuche werden etwa 250 Weizenkörner zum Keimen ausgelegt (dazu ein verschlossenes Glasgefäß verwenden). Die Keimlinge werden nach Ablauf dieser Zeit mit Quarzsand im Mörser zerrieben und mit 150 ml Wasser extrahiert. Den Extrakt filtriert man vom Rückstand ab und gewinnt damit die Fermentlösung.

b) Dauer des fermentativen Stärkeabbaus (Sch)

Wir füllen in mehrere Reagenzgläser gleiche Mengen der Stärkelösung und geben dazu abgestufte Mengen des Fermentes. Die höchste Fermentmenge soll dabei das Doppelte der Stärkelösung betragen. Wir mischen Stärkelösung und Ferment durch Schütteln, schreiben uns die Zeit des Versuchsbeginns auf und entnehmen dann in regelmäßigen Zeitabständen mit einem Glasstab aus jedem Glas einen Tropfen, den wir auf die Tüpfelplatte bringen. Wir prüfen dort durch Zugabe von einem Tropfen Jodjodkaliumlösung auf das Vorhandensein von Stärke. Ist keine Blaufärbung mehr feststellbar, dann notieren wir diesen Zeitpunkt als das Ende des Versuches. Wir werten den Versuch durch eine graphische Darstellung aus. Dazu tragen wir in ein Koordinatenkreuz die Versuchsdauer in Abhängigkeit von der Fermentkonzentration ein. Ergebnis?

Ist der Stärkeabbau beendet, dann prüfen wir das Reaktionsprodukt mit der Fehlingschen Probe. Ergebnis?

c) Einfluß der Temperatur auf den fermentativen Stärkeabbau (Sch)

Wir füllen in drei Reagenzgläser je 2 ml Stärkelösung und dazu je 4 ml des Fermentextraktes. Das erste Reagenzglas stellen wir in ein Becherglas mit Eiswasser von 0 °C, das zweite lassen wir bei Zimmertemperatur stehen, während wir das dritte bis zum Sieden erhitzen. Wir vergleichen nun in der gleichen Weise wie im Versuch b) durch Tüpfelproben, wie lange es bei den drei verschiedenen Proben dauert, bis die Stärke abgebaut ist.

d) Vergiftung des Fermentes durch chemische Verbindungen (Sch)

Wir füllen in 4 Reagenzgläser je 2 ml Stärkelösung und je 4 ml Fermentlösung. Dazu geben wir in die drei ersten Gläser jeweils etwas Thymol, Toluol oder Kupfersulfat. Das vierte Reagenzglas bleibt ohne Zugabe. Durch Tüpfelproben verfolgen wir auch hier die Geschwindigkeit des Stärkeabbaus.

e) Das stärkespaltende Ferment Ptyalin im Mundspeichel (Sch)

Zum Nachweis des stärkespaltenden Fermentes Ptyalin im Mundspeichel gehen wir

folgendermaßen vor: Wir geben in ein Reagenzglas 2 ml Stärkelösung und füllen dazu die doppelte Menge Mundspeichel. Mit der Tüpfelprobe verfolgen wir den Abbau der Stärke zu Maltose (Malzzucker). Nach Beendigung der Reaktion kann der Nachweis des Malzzuckers mit Fehlingscher Lösung durchgeführt werden.

Auswertung:

a) Begründen Sie, warum mit zeitlichem Abstand vom Versuchsbeginn immer schwächere Jod-Stärke-Reaktionen auftreten!
b) Erklären Sie den unterschiedlich schnellen Stärkeabbau bei verschiedenen Temperaturen! Berücksichtigen Sie dabei ihre Kenntnisse über die Eigenschaften von Fermenten.
c) Welche Beziehungen bestehen zwischen der Ferment- und Stärkemenge in Hinsicht auf die Geschwindigkeit der Stärkehydrolyse?

22. Fettfleckprobe und Nachweis des Propantriols (Glyzerin)

Untersuchungsmaterial: Fetthaltige Samen von Pflanzen.
Geräte und Reagenzien: Filtrierpapier, Bunsenbrenner, Dreifuß und Drahtnetz, größeres und kleineres Reagenzglas, ein Gummiring, passend um das kleinere Reagenzglas, jedoch mit größerem Außendurchmesser als das größere Reagenzglas, Stativ, Klemme und Muffe, Mörser mit Pistill, Petrischalen. – Diäthyläther, Mezym forte (Pankreaspräparat, in Apotheken käuflich), Speiseöl, Paraffinöl, Tetrachlormethan, Äthanol, Azeton, Kaliumhydrogensulfat, 1%ige Silbernitratlösung, welcher soviel Ammoniak zugegeben wird, daß der entstehende Niederschlag gelöst wird.
Dauer: 45 Minuten.
Methodik:

a) Fettextraktion

Die Extraktion von Fetten aus den Pflanzensamen führen wir nach den Angaben im Lehrbuch „Chemie Teil 2" (erweiterte Oberschule), S. 297, Versuch S. 29, durch. Das gewonnene Fett verwenden wir für die weiteren Versuche.

b) Fettfleckprobe

Die Fetthaltigkeit von Samen kann man in einfacher Weise dadurch nachweisen, daß man die betreffenden Samen zwischen zwei Stückchen Filtrierpapier legt und dann zwischen Daumen und Zeigefinger quetscht. Fetthaltige Samen ergeben einen deutlichen Fettfleck. Zum Vergleich können Tropfen unseres extrahierten Pflanzenfettes und des käuflichen Fettes auf Filtrierpapier getropft werden.

c) Akroleinprobe

Wir geben 1 ml unseres Extraktes und 1 ml käuflichen Pflanzenöles in je ein Reagenzglas und füllen mit einem Spatel etwa die gleiche Menge pulverisierten Kaliumhydrogensulfates dazu. Wir erhitzen die Reagenzgläser über der Flamme des Bunsenbrenners. Der stechende Geruch von Akrolein (Propenal) dient als Nachweis des gebildeten Propantriols (Glyzerins).

Akrolein (Propenal) ist ein Alkanal. Seine reduzierende Wirkung kann daher mit einem Streifen in ammoniakalische Silbernitratlösung getauchten Filtrierpapiers nachgewiesen werden, welchen wir vor die Mündung des Reagenzglases halten, in dem wir Fett mit Kaliumhydrogensulfat erhitzen. Das Papier schwärzt sich.

d) Fettverdauung

Wir pulverisieren in einer Reibschale ein wenig Mezym forte. Das Pulver überführen wir in eine Petrischale. Wir geben etwas destilliertes Wasser dazu und schlämmen das

Pulver in dem Wasser auf. In eine zweite Petrischale füllen wir die gleiche Menge Wasser ohne das Fermentpräparat. – Nun schneiden wir 6 gleich große Streifen aus dem Filtrierpapier. Auf je zwei davon geben wir 1. einen Tropfen Paraffinöl, 2. einen Tropfen käuflichen Speiseöls und 3. einen Tropfen unseres extrahierten Pflanzenfettes. Die Streifen werden nun gleichmäßig auf die beiden Petrischalen verteilt. Die Petrischalen werden 15 Stunden an einem mäßig warmen Ort aufbewahrt. Danach nehmen wir die Streifen aus den Schalen und stellen fest, auf welchen davon die Fettflecken verschwunden sind und auf welchen sie erhalten geblieben sind. Erklärung?

e) Löslichkeit der Fette in verschiedenen Solventien

Wir füllen in 5 Reagenzgläser je 1 ml Speiseöl und geben dann in jedes davon eines der folgenden Lösungsmittel: 1. Wasser, 2. Azeton, 3. Tetrachlormethan, 4. Diäthyläther, 5. Äthanol. Wir schütteln die Gläser um und vergleichen den Lösungsvorgang. Ergebnis?

23. Versuche mit einigen sekundären Pflanzenstoffen (Sch)

Untersuchungsmaterial: Fichtenholzspäne, Fichtenrinde, schwarzer Tee, Keime oder Früchte von Kartoffeln, Rotkohlblätter.

Geräte und Reagenzien: Bunsenbrenner, Dreifuß und Drahtnetz, mehrere Uhrgläser, Becherglas, Reagenzglasständer mit Reagenzgläsern, Glasstäbe, Pipetten. – Konzentrierte Salzsäure, Phlorogluzinlösung (1,3,5-Trioxybenzol), 0,5%ige Lösung von Ammoniummetavanadat in 70%iger Schwefelsäure, m/15 KH_2PO_4-Lösung (9,075 g in 1000 ml Lösung), m/15 Na_2HPO_4-Lösung (11,868 g in 1000 ml Lösung), m/15 K_3PO_4-Lösung (14,151 g in 1000 ml Lösung), n/10 HCl, KCl fest, 0,5%ige Gelatinelösung, $FeCl_3$-Lösung 1%ig frisch zubereitet, konzentrierte Bleiazetatlösung (Bleiäthanat).

Dauer: 45 Minuten, Versuche teilweise nebeneinander in der Stunde durchführen.

Methodik:

a) Nachweis des Holzstoffes (Lignin)

Mit einem Glasstab streichen wir ein wenig Salzsäure auf einen Fichtenholzspan, nachdem wir vorher dieselbe Stelle mit Phlorogluzinlösung bestrichen hatten. Die auftretende Rotfärbung gilt als Nachweis des Lignins (Holzstoff).

b) Reaktionen mit Gerbstoffen

Wir geben in ein Becherglas Fichtenrinde oder schwarzen Tee und füllen soviel Wasser auf, daß das Extraktionsgut reichlich damit bedeckt ist. Zur Extraktion wird der Inhalt des Glases bis zum Sieden erhitzt. Mit dem so gewonnenen Gerbstoffextrakt stellen wir folgende Versuche an:

Wir füllen in drei Reagenzgläser je 4 ml des Gerbstoffextraktes. In das erste geben wir dann einige Tropfen der frisch bereiteten $FeCl_3$-Lösung, wodurch eine tintenblaue Färbung entsteht. In das zweite Reagenzglas füllen wir 5 ml der 0,5%igen Gelatinelösung und geben einige Tropfen Salzsäure dazu. Niederschlag! Bei Zugabe einiger ml konzentrierter Bleiazetatlösung zu dem Gerbstoffextrakt im dritten Glas kommt es zur Bildung eines Niederschlages von Bleisalzen der Gerbsäure.

c) Nachweis des Koffeins im schwarzen Tee

Wir füllen ein Uhrglas mit schwarzem Tee und decken es mit einem zweiten, jedoch umgekehrten Uhrglas zu. Auf das obere Uhrglas legen wir zur Kühlung kreuzweise zwei feuchte Filtrierpapierstreifen. Nun erhitzen wir das untere Uhrglas vorsichtig mit der kleinen Flamme des Bunsenbrenners. Das Koffein verdampft aus den getrockneten Teeblättern und sublimiert an den gekühlten Stellen des oberen Uhrglases. Es bilden sich lange spitze Kristalle, welche besonders gut unter dem Mikroskop sichtbar sind.

d) Einfluß des pH-Wertes auf die Färbung des Rotkohlsaftes

Im Zellsaft des Rotkohls finden wir Farbstoffe aus der Gruppe der Anthozyane, deren Farbe zwischen Blau und Rot wechseln kann. Der Farbwechsel ist besonders vom pH-Wert abhängig.

Wir stellen uns in 12 Reagenzgläsern Lösungen mit verschiedenen pH-Werten her, indem wir die Stammlösungen n/10 HCl (I), m/15 KH_2PO_4 (II), m/15 Na_2HPO_4 (III), m/15 K_3PO_4 (IV) in Mengenverhältnissen nach der folgenden Tabelle mischen:

pH	I	II	III	IV
2,1	9,5	0,5	—	—
3,6	0,5	9,5	—	—
4,7	—	10,0	—	—
5,9	—	9,0	1,0	—
6,5	—	7,0	3,0	—
7,0	—	4,0	6,0	—
7,4	—	2,0	8,0	—
8,0	—	4,5	—	5,5
9,8	—	5,0	—	5,0
10,7	—	3,0	—	7,0
11,2	—	—	3,0	7,0

In das 12. Reagenzglas füllen wir 10 ml destillierten Wassers. In jedes Glas geben wir 4 ml eines mit kaltem Wasser hergestellten Extraktes aus zerkleinerten Rotkohlblättern. Wir protokollieren die Farben bei den verschiedenen pH-Werten und vergleichen mit der Farbe in destilliertem Wasser.

e) Nachweis der Alkaloide in der Kartoffel

Schnittstellen von Früchten oder Keimlingen der Kartoffel werden mit dem Ammoniumvanadatreagenz in Schwefelsäure bestrichen. Der Gehalt an Solanumalkaloiden ist dann an der auftretenden Färbung zu erkennen. Diese ist zuerst gelb, wechselt später über orange und purpurrot, bis nach Stunden Entfärbung auftritt.

24. *Versuche zur Samenkeimung (Sch)*

Untersuchungsmaterial: Samen der Getreidearten, der Erbse oder Bohne.
Geräte und Reagenzien: 5 Exsikkatoren (oder andere chemisch neutrale, verschließbare, große Gefäße), Petrischalen, Glasröhrchen mit passendem Korkstopfen, Stecknadeln, evtl. 5 größere Pulverflaschen mit Korkstopfen, Blumentöpfe, Quarzsand oder gewaschener Flußsand für Keimbetterstellung, evtl. Watte. – Konzentrierte Schwefelsäure, Pyrogallol (1,2,3-Trioxybenzol), konzentrierte Kalilauge, schwarze Tusche.
Dauer: Ansetzen der Versuche 45 Minuten, Beobachtungen über 6 Tage 24-stündig.

Methodik:

a) Äußere Bedingungen der Samenkeimung

Wir legen in fünf gleich große Petrischalen passende Scheiben aus Filtrierpapier und feuchten diese gut an, so daß etwas Wasser über dem Papier steht. Dann zählen wir in jede Schale die gleiche Anzahl Samen vom Weizen oder von einer anderen Getreideart (50 Stück). Wir stellen in jeden der Exsikkatoren (bzw. in Ersatzgefäße) eine der offenen

Petrischalen. Die Exsikkatoren werden nun in verschiedener Weise zu Ermittlung des Einflusses der Außenfaktoren auf die Keimung der Samen verwendet.

Drei der Exsikkatoren stellen wir bei verschiedenen Temperaturen auf. Damit die Samen nicht durch Feuchtigkeitsmangel an der Keimung gehindert werden, füllen wir unten in die Exsikkatoren Wasser ein, bevor wir die Deckel aufsetzen. (Bei Verwendung von Ersatzgefäßen müssen die Petrischalen auf ein umgestülptes kleines Becherglas gestellt werden, damit sie nicht in das Wasser eintauchen!)

In den vierten Exsikkator füllen wir unten anstelle von Wasser konzentrierte Schwefelsäure ein. Wir stellen ihn wie einen der ersten Exsikkatoren bei Zimmertemperatur auf.

Der fünfte Exsikkator wird unter dem Einsatz mit konzentrierter Kalilauge gefüllt, welcher wir einige Porzellanlöffel voll Pyrogallol zusetzen. Die Pyrogallol-Kalilauge-Mischung dient zur Absorption des Sauerstoffes, welcher im Innenraum des Exsikkators enthalten ist. Auch diesen Exsikkator stellen wir bei Zimmertemperatur auf.

In Abständen von 24 Stunden vergleichen wir sechs Tage lang die Keimzahlen in den einzelnen Exsikkatoren. Ein Same gilt als gekeimt, wenn seine Keimwurzel deutlich sichtbar hervorgetreten ist. – Erklären Sie die unterschiedlichen Ergebnisse!

b) Keimzahlbestimmung

Zur Ermittlung der Qualität eines Saatgutes werden die Keimzahlen bestimmt. Dazu legen wir in Petrischalen je 100 Samen verschiedener Pflanzen zum Keimen aus. Die Samen und die darunterliegenden Filtrierpapierscheiben werden gut mit Wasser angefeuchtet. Dann werden die Schalen an einem gleichmäßig temperierten Ort aufgestellt. Die Deckel der Schalen dürfen nicht völlig luftdicht abschließen! Wir bestimmen nach 6 Tagen die Keimzahlen in Prozent der ausgelegten Samenzahl. (Bei den amtlichen Keimzahlbestimmungen werden 4 Parallelproben angesetzt. Die Auszählungen erfolgen in bestimmten Zeitabständen nach Versuchsbeginn. Diese Zeiten sind für verschiedene Samen unterschiedlich.)

c) Ermittlung der Wachstumszone (Sch)

Wir keimen Samen vom Mais und von der Erbse in Petrischalen vor, bis die Keimwurzel sichtbar wird. Dann pflanzen wir die Maissamen in Blumentöpfe. Dazu legen wir sie nur soweit in die Erde, daß sie noch an der Oberfläche sichtbar sind, und daß die Keimwurzeln nach unten in die Erde zeigen. Wir warten nun noch ein bis zwei Tage, bis die Keimscheide gut entwickelt ist. Während dieser Zeit muß der Topf im Dunkeln stehen. – Die gekeimten Erbsensamen legen wir auf Blumentöpfen mit Sand aus. Wir bohren dazu tiefe gerade Löcher in den feuchten Sand und legen die Erbsensamen so auf diese Löcher, daß die Keimwurzel in das Loch zeigt. Wir erreichen mit dieser Methode, daß die Keimlinge gerade gewachsene Wurzeln erhalten.

Nachdem wir durch die Vorbereitungen gerade gewachsene Keimwurzeln und Keimscheiden erhalten haben, markieren wir diese mit Tusche in Abständen von 1 mm. Dazu verwenden wir eine Besenborste, welche wir zu besseren Handhabung in ein Holzstöckchen geklemmt haben. Wir tauchen die Borste in die Tusche und streichen dann damit über die betreffenden Pflanzenteile, die wir zum Abmessen neben ein kleines Lineal halten. Am besten ist es, wenn wir zur Markierung in eine Dunkelkammer gehen und dort bei rotem Licht arbeiten.

Den Maiskeimling bringen wir zurück an seinen dunklen Ort, wobei er auch während des Transportes durch einen Dunkelsturz (Karton o. ä.) vor Licht geschützt werden soll. Den markierten Erbsensamen befestigen wir mit einer Stecknadel so an dem passenden Korkstopfen eines Reagenzglases, daß die Keimwurzel senkrecht nach unten in das Röhrchen hineinragt. Unten in das Glas geben wir ein wenig Wasser, um die notwen-

dige Feuchtigkeit zu erhalten. Auch diesen Versuch stellen wir im Dunkeln auf. In Abständen von 24 Stunden messen wir mit Hilfe unserer Tuschemarken das Längenwachstum der Keimwurzel und der Keimscheide. Nach drei Tagen brechen wir den Versuch ab. Wir stellen das Ergebnis graphisch dar, wobei wir auf der Abszisse die Zahl der anfänglichen Segmente von je 1 mm Länge auftragen und auf der Ordinate den Längenzuwachs in mm. Wo liegen die Zonen des stärksten Längenwachstums? Warum liegen diese Zonen nicht unmittelbar an der Wurzel- oder Keimscheidenspitze?

(Führt man die Keimungsversuche in Pulvergläsern durch, so hängt man an deren Korkstopfen mittels einer Stecknadel einen Wattebausch, welchen man anfeuchtet und auf den dann die Samen gelegt werden. Durch die Feuchtigkeit kleben kleinere Samen allgemein so an der Watte fest, daß sie nicht herabfallen.)

25. Tätigkeit eines Flimmerepithels beim Frosch (Sch)

Untersuchungsmaterial: Ein großer Frosch.
Geräte und Reagenzien: Präparierbesteck, Präparierbecken, Frosch-Ringer-Lösung (6,5 g NaCl + 0,12 g $CaCl_2$ + 0,14 g KCl + 0,2 g $NaHCO_3$ + 0,01 g NaH_2PO_4 + 2,0 g Glukose auf 1000 ml Aqua dest.)
oder 0,65%ige Kochsalzlösung, Glasplatte, Millimeterpapier, Ruß.
Dauer: 10 Minuten und 5 Minuten Vorbereitungszeit.
Methodik: Zur Vorbereitung töten wir einen Frosch durch Zerschneiden der Wirbelsäule hinter dem Kopf und bohren das Rückenmark mit einer Präpariernadel heraus. Danach wird der Unterkiefer abgeschnitten, so daß bei dem auf dem Rücken liegenden Tier der gesamte Gaumen sichtbar ist. Dieser muß mit Ringer- oder Kochsalzlösung feucht gehalten werden!

Auf den Gaumen des Frosches streichen wir ein wenig feinen Ruß. Dieser wird durch die Tätigkeit der Flimmern zum Schlund transportiert. Man beobachtet, an welchen Stellen die Bewegung am schnellsten ist. Dort wird ein kleines Stück Schleimhaut abpräpariert, mit den Flimmern nach unten auf die Glasplatte gelegt und gut ausgebreitet. Das Epithel bewegt sich durch die Flimmertätigkeit auf der Platte vorwärts, was sich durch untergelegtes Millimeterpapier sichtbar machen läßt.

Zur Ergänzung können dem Frosch nach einigen Minuten Speiseröhre und Magen herausgenommen und aufgeschnitten werden. Der auf den Gaumen gebrachte Ruß hat sich jetzt in diesen Organen angesammelt.

26. Reizphysiologische Versuche am Froschschenkelpräparat (Sch)

a) Schenkelpräparat mit Hüftnerv (L, Sch)
Untersuchungsmaterial: Große Frösche.
Geräte und Reagenzien: Präparierbesteck, Präparierschale, Stativ, Klemme, dünner Faden, altes Tuch, Frosch-Ringer-Lösung.
Dauer: 15 Minuten (als Vorbereitung für die folgenden 2 Versuche).
Methodik: Der Kopf des Frosches wird vom Rumpf getrennt, das Rückenmark mit einer Nadel ausgebohrt, die Wirbelsäule hinter den Vorderbeinen durchschnitten und das ganze Vorderteil mit den Eingeweiden entfernt. Dann fassen wir den Stumpf der Wirbelsäule mit der einen Hand an, die Haut mit der anderen (wobei wir sie mit einer Tuchfalte ergreifen) und ziehen die Haut ruckartig herunter. Nun wird ein dünner Faden unter den Hüftnerven nahe der Wirbelsäule durchgezogen und festgeknotet. Mit einem Schnitt trennen wir Darmbein und Steißbein und ziehen den Nerv – ohne ihn zu dehnen – vorsichtig durch den entstandenen Spalt. Gleichzeitig bringen wir

das Präparat in die Bauchlage. Danach wird der Nerv, der nur an dem Faden angefaßt werden darf, vorsichtig bis zum Knie freipräpariert. Nach der Entfernung der Muskeln des Oberschenkels ist der Knochen nahe dem Hüftgelenk mit einer starken Schere zu durchschneiden. Der Knochenstumpf wird waagerecht in der Klemme des Stativs befestigt, der Unterschenkel hängt locker herab. Das Präparat muß während dieser Herstellung und der folgenden Versuche durch Ringerlösung ständig feucht gehalten werden! Es ist für verschiedene nerven- und muskelphysiologische Versuche (s. u.) geeignet. Während der Präparation muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß die Hautsekrete des Frosches nicht mit Nerven oder Muskeln in Berührung kommen, da sonst Lähmungserscheinungen auftreten!

Nachweis für die Reaktion auf verschiedene Reize (Sch)

Untersuchungsmaterial: Schenkelpräparat mit Hüftnerv vom Frosch (s. oben).

Geräte und Reagenzien: Galvanische Pinzette, Taschenlampenbatterie, Schere, ein großer Nagel, Objektträger. – Kochsalz, Frosch-Ringer-Lösung.

Dauer: 15 Minuten.

Methodik:

b) Elektrische Reizung

Der Nerv wird vorsichtig auf die beiden Metallstreifen der galvanischen Pinzette aufgelegt. Sind darin die beiden Metalle in der üblichen Weise miteinander verbunden, so entsteht beim Auflegen des Nerven ein Strom, der als Reiz wirkt. Er verursacht eine Zuckung des Schenkelpräparates. Beim vorsichtigen Abheben des Nerven wird der Stromkreis geöffnet, der Nerv dadurch wiederum gereizt und das Präparat zuckt. Benutzen wir eine galvanische Pinzette, in der die beiden Metallstreifen voneinander isoliert sind, so erreichen wir das Öffnen oder Schließen des Stromkreises nach dem Auflegen des Nerven durch Zusammen- oder Auseinanderbiegen der Metalle.

Der Nerv wird auf die beiden Pole der Taschenlampenbatterie aufgelegt, so daß er diese verbindet. Beim Schließen des Stromkreises sowie beim Öffnen durch Abheben des Nerven tritt eine Zuckung des Präparates auf.

c) Mechanische Reizung

Mit einer Schere schneiden wir ein kleines Stückchen vom Ende des Nerven ab. Das Präparat zuckt.

d) Thermische Reizung

Wir erhitzen einen Nagel in der Flamme und berühren damit das Nervenende. Es kommt zur Zuckung des Präparates.

e) Osmotische Reizung

Wir legen den Nerv auf einen Objektträger, umgeben sein Ende mit Kochsalz und fügen einen Tropfen Wasser dazu. Dem Nerv wird auf osmotischem Wege Wasser entzogen, es kommt dadurch zur Reizung und Erregung. Es treten zunächst unregelmäßige Einzelzuckungen auf, die dann in einen unvollkommenen Starrkrampf übergehen. Dann spülen wir das Nervenende ab und beobachten erneut. Erklären Sie das veränderte Verhalten des Nerven, nachdem das Kochsalz entfernt wurde!

f) Demonstration der Reizschwelle (Sch):

Untersuchungsmaterial: Schenkelpräparat mit Hüftnerv vom Frosch (s. oben).

Geräte und Reagenzien: Taschenlampenbatterie, Stromschlüssel (z. B. Morsetaster), Schlitteninduktorium.

Dauer: 15 Minuten.

Methodik: Wir legen den Nerv des Präparates auf die zwei Ableitungsdrähte der Sekundärspule des Induktoriums. In den Primärkreis sind die Stromquelle und ein

Stromschlüssel eingebaut. Sowohl beim Öffnen als auch beim Schließen des Primärkreises entsteht im Sekundärkreis ein Strom, der als Reiz dient. Diese induzierten Stromstöße lassen sich durch Entfernen der beiden Spulen voneinander variieren. Je weiter die beiden Spulen voneinander entfernt sind, desto weniger schneiden die von der Primärspule ausgehenden Kraftlinien die Sekundärspule und um so schwächer sind die Induktionsströme. Durch Verschieben der Spulen läßt sich eine Einstellung finden, bei der nur noch der Induktionsstrom beim Öffnen des Stromkreises als Reiz ausreicht und zur Zuckung des Präparates führt. Der Induktionsstrom, welcher beim Schließen des Stromkreises auftritt, ist dann bereits unterschwellig.

27. *Versuche zur Reizphysiologie der Pflanzen (Sch)*

Untersuchungsmaterial: Keimlinge von Erbsen, Kresse und Getreide.
Geräte und Reagenzien: Schwarzes Papier, Glasgefäße mit passendem Deckel, Glasscheiben aus Fensterglas, welche so zugeschnitten sein müssen, daß sie in die Glasgefäße passen und senkrecht darin stehen können, Filtrierpapier, Zwirn, Stecknadeln, flache Glasschalen, Stativ mit Muffe und Klemme, Dunkelsturz (Karton mit Deckel; man stellt den Versuch in den auf dem Tisch liegenden Deckel und stülpt dann den Karton so darüber, daß er unten vom Deckel gegen Licht abgedeckt wird), Glühlampe 200 W.
Dauer: 45 Minuten zum Ansetzen, mehrfache Beobachtung in Abständen von 24 Stunden.
Methodik: Für alle Versuche benötigen wir Keimlinge mit gerade gewachsenen Wurzeln und Keimsprossen. Um diese zu erhalten, gehen wir so wie in Versuch 24c vor. Die Anzucht der Keimlinge erfolgt im Dunkeln.

a) Phototropismus von Keimpflanzen

Wir überziehen eine Glasplatte mit Filtrierpapier und spannen etwa bei $^2/_3$ über dem unteren Rand einen Zwirnfaden um die Platte. Hinter diesen Faden hängen wir einen Kressekeimling, so daß die Keimwurzel senkrecht nach unten zeigt. Die Platte mit dem Keimling stellen wir dann in eines der Glasgefäße, in dem sich unten etwas Wasser befindet, das in dem Papier hochgesaugt wird und so die genügende Wasserversorgung des Keimlings sichert. Nun verschließen wir das Gefäß mit einem Deckel und hüllen es dann in schwarzes Papier, damit kein Licht eindringen kann. An der Seite, wo die Glasplatte innen im Gefäß mit der schmalen Kante an der Glaswand anliegt, schneiden wir einen schmalen Schlitz in die Verdunkelung, so daß der Keimling seitlich vom Licht getroffen wird und auf den Lichtreiz reagieren kann (Abb. 127). Wir stellen den Versuch an einem hellen Fenster auf und beobachten im Abstand von 48 Stunden die Wachstumsrichtung von Sproß und Wurzel. Wie reagieren sie auf den Lichtreiz?

b) Geotropismus von Keimpflanzen

Wir biegen uns aus festem Filtrierpapier einen Hohlzylinder. Daran befestigen wir mit Stecknadeln in gleichem Abstand vom unteren Rand Erbsenkeimlinge, deren Keimwurzeln in verschiedene Richtungen zeigen müssen. 1. Keimling: Senkrecht nach unten; 2. Keimling: Waagerecht zur Seite; 3. Keimling: senkrecht nach oben (Abb. 128). Den Papierzylinder stellen wir in ein Glasgefäß, welches unten Wasser enthält. Der Papierzylinder wird mit seinem unteren Rand in das Wasser eingetaucht und saugt sich voll Wasser. Wir decken das Glas mit einem passenden Deckel zu und stellen es unter einen Dunkelsturz. In Abständen von 24 Stunden beobachten wir die Wachstumsrichtung von Wurzeln und Sprossen. Wie reagieren die Wurzeln und Sprosse auf den Reiz der Erdschwerkraft? Fertigen Sie eine Zeichnung von den Keimlingen in Ausgangs- und Endlage an!

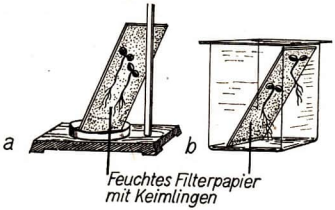


Abb. 137 Versuchsanordnung zur Demonstration der hydrotropischen Reaktion
a Versuch ohne feuchte Kammer,
b Versuch in feuchter Kammer.

c) Hydrotropismus von Keimpflanzen

Wir umhüllen zwei Glasscheiben wie im Versuch a) mit Filtrierpapier und binden auch hier Zwirnsfäden um die Glasscheibe, hinter die wir Keimlinge mit geraden Wurzeln stecken. Die Wurzeln sollen senkrecht nach unten zeigen.

Die eine der beiden Glasplatten stellen wir in ein Glasgefäß, welches Wasser am Boden enthält. Das Glasgefäß wird verschlossen und an einem Ort mit diffusem Licht aufgestellt. Die zweite Glasplatte stellen wir in eine Glasschale mit Wasser, so daß im Filtrierpapier Wasser hochgesaugt werden kann. Dazu stellen wir eine flache Glasschale auf den Fuß eines Stativs und lehnen die darin stehende Glasplatte an den Stativstab. Wir plazieren den Versuch an der gleichen Stelle wie das Glasgefäß mit der ersten Versuchsanordnung (Abb. 137). Wir verfolgen nun das Wachstum der Wurzeln.

Erklären Sie den Unterschied im Wurzelwachstum! Wie reagieren Sproß und Wurzel einer Pflanze auf den vom Wasser ausgehenden Reiz?

28. Adaptation von Sinneswahrnehmungen

Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser mit Stopfen, Himbeersirup, Zitronensirup o. ä.
Dauer: 10 Minuten.
Methodik: Wir füllen etwas Himbeer- oder Zitronensirup in die Reagenzgläser. Dann werden die Gläser verschlossen. Wir riechen etwa 2 Minuten intensiv an dem Himbeersirup. Dabei wird deutlich, daß der zunächst kräftige aromatische Geruch allmählich nachläßt. Nun riechen wir am Zitronensirup, dessen Aroma anfangs stark wahrzunehmen ist, dann aber gleichfalls nahezu verschwindet. Riechen wir nun erneut am Himbeersirup, so tritt dessen Geruch wieder deutlich hervor.

29. Lichtrückenreflexe bei Wasserinsekten

Untersuchungsmaterial: Rückenschwimmer (*Notonecta glauca*), Larven vom Gelbrandkäfer oder von anderen Dytisciden.
Geräte und Reagenzien: Kleines Aquarium, Dreifuß, 2 starke Taschenlampen.
Dauer: 5 Minuten.
Methodik: Wir stellen das mit Wasser gefüllte Aquarium auf den Dreifuß und setzen Rückenschwimmer oder Schwimmkäferlarven hinein. Im verdunkelten Raum wird das Glas nun abwechselnd von oben und von unten beleuchtet. Dabei drehen sich die Rückenschwimmer infolge eines Lichtrückenreflexes immer mit der Bauchseite zur Lichtquelle. Die Schwimmkäferlarven verhalten sich gerade umgekehrt.

Zur Geschichte der Hygiene

Die Hygiene ist in ihrer heutigen Begriffsbestimmung eine recht junge Wissenschaft. Auf Erfahrungen und Beobachtungen beruhend, wurde aber bereits im Altertum die Einhaltung bestimmter Regeln gefordert, die man im heutigen Sinne als hygienische Maßnahmen bezeichnen kann.

So entwickelten sich vom 4. bis 1. Jahrtausend v. u. Z. in Ägypten, Indien und China auf Grund der damaligen Lebensweise und unter dem religiösen Einfluß dieser Zeit hygienische Grundregeln in bezug auf die Abfallbeseitigung, den Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen, die Leichenbestattung u. a.

Es gab zu dieser Zeit auch bereits strenge Speisegesetze. Sie verboten den Genuß von bestimmten Fleischarten, von Aas oder Speiseresten, die länger als zwei Tage aufbewahrt worden sind. Aber alle im Altertum bestehenden hygienischen Vorschriften wurden an Exaktheit und Strenge von denen der Juden übertroffen, die zum Teil bereits in den 10 Geboten enthalten sind.

In Babylon ließ HAMMURABI (2 267 bis 2 213 v. u. Z.) die erste zentrale Wasserleitung bauen, die aus dem Tigris gespeist wurde. Annähernd zur gleichen Zeit wird auch über den Bau von Wasserleitungen in Athen, Samos und Pergamon berichtet sowie über die Wasserversorgung in Karthago durch Zisternen.

Um die Zeitenwende gab es in Rom bereits öffentliche Bäder und Thermen. Allein in den Thermen des Caracalla konnten gleichzeitig 2 300 Menschen baden. Diese mit großer Pracht erbauten Bäder bestanden aus drei Abteilungen:

dem Schwitzbad (Calidarium), dem lauen Wannenbad (Tepidarium) und dem kalten Schwimmbad (Frigidarium).

Die Bäder wurden teilweise von heute noch erkennbaren unterirdischen Luftheizungen erwärmt.

Während der Belagerung Roms durch die Goten wurde die Wasserleitungsanlage außerhalb der Stadt zerstört, wodurch die Wasserversorgung völlig aufhörte. Erst 1447 wurde mit der Restaurierung der alten Wasserleitungen begonnen.

Einen großen Einfluß übte die griechisch-römische Kultur auf die Entwicklung der Hygiene aus. HIPPOKRATES (460 bis 377 v. u. Z) stellte in einem Traktat fest, daß die Umwelt einen großen Einfluß auf die Entwicklung des menschlichen Organismus und auf die Entstehung von Krankheiten hat. In seinen Schriften findet sich eine umfassende Gesundheitslehre, die zur Erhaltung der Gesundheit eine richtige Ernährung, Bäder und Körperpflege als wichtigste Maßnahmen empfiehlt.

AVICIENNA (980 bis 1037) beschäftigte sich mit den Fragen der Wohnungshygiene, der Bekleidung und Ernährung und schrieb über die Problematik der „Guten Luft" und der „Qualität des Wassers", wobei er schon Verfahren der Wasserfiltration und -destillation andeutete.

In der ersten Hälfte des Mittelalters war ein allgemeiner Niedergang von Kultur und Wissenschaft zu beobachten, der sich auch in den hygienischen Maßnahmen widerspiegelte. So wurde das Mittelalter zur Epoche der Seuchen – der Pest, Cholera und Syphilis. Erst mit der Entwicklung der Städte kam es zu einer allmählichen Wiedergeburt der Hygiene.

Die Städteärzte oder Stadtphysici, über die erstmalig aus dem 14. Jahrhundert berichtet wird, waren im gewissen Sinne eine Sanitärpolizei der Städte. Auf Grund der verheerend um sich greifenden Seuchen war es erforderlich, daß beispielsweise strenge Absperrungsmaßnahmen bei der Pest, Maßnahmen zur Bekämpfung der Ratten, Kontrolle der Badestuben, die Durchführung der Stadtreinigung von diesen Ärzten angeordnet und überwacht wurden. Um ein weiteres Einschleppen von Seuchen zu verhindern, wurden in den großen Hafenstädten, wie Venedig und Genua, für das Einlaufen von Schiffen bestimmte Quarantänemaßnahmen (Quarantäne von quaranta juorni = 40 Tage) festgelegt. Erst nach einer vierzigtägigen Absonderung und Beobachtung durften die Schiffe direkt in den Hafen einlaufen.

Mit der Einrichtung der Manufakturen treten erstmalig auch Krankheiten auf, deren Ursachen in den unhygienischen und ungesunden Arbeitsbedingungen zu suchen sind.

In seinem Buch über die Arbeitspathologie weist der italienische Arzt RAMMANZINI (1633 bis 1714) bereits auf die Möglichkeiten zur Verhütung von berufsbedingten Gesundheitsschäden hin, und 1741 schrieb SÜSSMILCH, daß die Mortalität (Sterblichkeit) der Bevölkerung bestimmten Gesetzmäßigkeiten unterliegt und von der Gesamtheit der den Menschen umgebenden Umweltfaktoren abhängig ist.

Als einen Vorkämpfer für die moderne Hygiene kann man JOHANN PETER FRANK (1745 bis 1821) bezeichnen, der in seinem Werk aus dem Jahre 1799 „System einer vollständigen medicinischen Polizey" alle Fragen der Hygiene umrissen hat. Er befaßte sich sowohl mit der Seuchenbekämpfung als auch mit bevölkerungspolitischen Problemen und setzte sich mit den Fragen des wirksamen Schutzes für Mutter und Kind, der Säuglingspflege und -ernährung, der gesunden Wohnverhältnisse sowie der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung intensiv auseinander.

FRANK stellte erstmals die gesellschaftliche Abhängigkeit der Hygiene heraus und spielte damit als Arzt eine aktive Rolle im Kampf um die Beseitigung der durch die feudalen gesellschaftlichen Verhältnisse bedingten gesundheitlichen Mißstände.

Auch HUFELAND (1762 bis 1836) befaßt sich in seinem Buch „Makrobiotik" mit der Wirkung der gesundheitsschädlichen Einflüsse. Dieses Buch wird noch heute als eines der ersten modernen Lehrbücher der Hygiene bezeichnet.

Der eigentliche Begründer der Hygiene auf naturwissenschaftlicher Grundlage war Max von PETTENKOFER (1818 bis 1901). Im Jahre 1853 wurde er Professor der Hygiene in München und war damit der erste Ordinarius für Hygiene in Deutschland. PETTENKOFER entwickelte die Hygiene zu einem exakt naturwissenschaftlichen Lehrfach an den Universitäten.

Durch seine außergewöhnlich vielseitige Begabung verdanken wir ihm die verschiedenartigsten Erkenntnisse. So analysierte er beispielsweise als erster die unterschiedliche Wirkungsweise der Ofen- und Luftheizung. Er beschäftigte sich auch mit den Problemen der Ventilation der Wohnungen und der physikalischen, hygroskopischen und chemischen Wirkungen der Kleidung. Darüber hinaus untersuchte er im Experiment aber auch den Einfluß der Luft, des Wassers und des Bodens auf den menschlichen Organismus.

Das Hauptverdienst PETTENKOFERS ist die Einführung und Anwendung experimen-

teller Methoden in der Hygiene. Dadurch wurden schließlich alle Grundfragen der Hygiene auf das Experiment hin ausgerichtet und der Einfluß der sozialen Faktoren auf den menschlichen Organismus mit allen seinen Besonderheiten fand dabei kaum mehr Berücksichtigung. Das führte zu einer allgemeinen Überbewertung der natürlichen Faktoren in ihrer Wirkung auf den Menschen.

Während PETTENKOFER die Ursachen für das Auftreten von Seuchen beispielsweise nur in den lokalen hygienischen Mißständen sah, machte VIRCHOW (1821 bis 1902) die soziale Lage des einzelnen sowie ganzer Bevölkerungsgruppen für das Seuchengeschehen verantwortlich. VIRCHOW trat deshalb ganz entschieden für die Einführung eines wirksamen öffentlichen Gesundheitsschutzes ein. Obgleich zu dieser Zeit die Ursachen für die Entstehung der Cholera, des Typhus und anderer übertragbarer Krankheiten noch nicht geklärt waren, betrachtete VIRCHOW sie als vermeidbar, wobei er die Bedeutung der Hygiene für die Verhütung von Krankheiten überhaupt herausstellte.

Durch die bedeutungsvollen Entdeckungen L. PASTEURS (1822 bis 1895) und R. KOCHS (1843 bis 1910) kam es zu einer beschleunigten Entwicklung der Mikrobiologie. Dieser neue Wissenszweig, der zwar für die Hygiene der Umwelt sehr bedeutungsvoll war, berücksichtigte aber die sozialen Bedingungen immer weniger. In Deutschland wurde die Hygiene schließlich zu einem Anhängsel der Mikrobiologie.

Diese Entwicklung wurde auch noch dadurch begünstigt, daß der deutsche Imperialismus an der Liquidierung der Seuchen mehr interessiert war als an den hygienischen Problemen der Umwelt, Kleidung, Wohnung, Arbeit u. a.

In der Zeit des Faschismus wurde die echte hygienische Problematik dazu noch zur sogenannten Rassenhygiene herabgewürdigt, die die Aufgabe hatte, die faschistische Theorie der Aufteilung der Völker in höhere und niedere Rassen zu begründen.

Da in Vorbereitung eines neuen Krieges die Rüstung große Summen verschlang, gingen auch die bis dahin erzielten Errungenschaften der Hygiene weitestgehend verloren. Beim Zusammenbruch des Faschismus standen wir vor katastrophalen hygienischen Zuständen. Durch die neuen gesellschaftlichen Bedingungen nach 1945 wurde es möglich, den in der Entwicklung der Hygiene im Vergleich zu anderen Ländern bestehenden Rückstand langsam wieder auszugleichen. An den Universitäten und Medizinischen Akademien gibt es heute außer der Mikrobiologie als Lehr- und Prüfungsfach gleichberechtigt die Hygiene mit drei großen Fachrichtungen:

Allgemeine und Kommunalhygiene, Sozialhygiene und Arbeitshygiene.

Neben der Forschung auf allen Gebieten der Hygiene werden aber auch Fachärzte für alle drei Fachrichtungen ausgebildet, die die hygienischen Grundprinzipien und die neuen Forschungsergebnisse zum Wohle aller Menschen in die Praxis umsetzen helfen.

Allgemeine und kommunale Hygiene

Die Kommunalhygiene kann man, entsprechend ihrem Aufgabenbereich, auch als Hygiene der Städte und Gemeinden bezeichnen. Sie untersucht vorwiegend den Einfluß der sogenannten natürlichen Umweltfaktoren, wie Wasser, Luft, Boden, Wohnverhältnisse, Kleidung usw. auf den menschlichen Organismus, sowohl am Einzelindividuum als auch an bestimmten Kollektiven. Die Gesamteinschätzung erfolgt unter Einbeziehung der gesellschaftlichen Faktoren, durch welche die Wirkungsweise der natürlichen Umwelt negativ oder positiv wesentlich beeinflußt werden kann. Die Kommunalhygiene untersucht die bestehenden Wechselbeziehungen zwischen Mensch und natürlicher Umwelt als Grundlage für die Erarbeitung wissenschaftlicher Normen, Richtlinien und Maßnahmen zur Gewährleistung gesunder Lebensbedingungen für die gesamte Bevölkerung. Dabei bedient sich die Kommunalhygiene vielfältiger experimenteller und statistischer Untersuchungsmethoden. Darüber hinaus stützt sie sich auf die Erkenntnisse der verschiedensten technischen Disziplinen, wie beispielsweise des Städtebaus mit allen Zweigen der Bautechnik. Dadurch ist es möglich, in der Praxis unmittelbaren Einfluß auf die Stadt- und Dorfplanung, den Wohnungsbau, die Standortwahl für Industriebetriebe, die Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung, die Schädlingsbekämpfung usw. zu nehmen.

Die Kommunalhygiene untergliedert sich in folgende Spezialgebiete:

1. Die Lufthygiene (hygienischer Schutz der atmosphärischen Luft)
2. Hygiene des Wassers und der Wasserversorgung
3. Hygiene des Bodens sowie der Beseitigung der festen Abfälle
4. Hygienischer Schutz der Gewässer und die Beseitigung der häuslichen, gewerblichen und industriellen Abwässer einschließlich Abwasserbehandlung
5. Hygiene der Wohnungen und der gesellschaftlichen Bauten
6. Hygiene der Stadt- und Dorfplanung

Die Aufgaben der Kommunalhygiene sind also sehr vielseitig, und ihre Erfüllung ist von großer praktischer Bedeutung.

Lufthygiene

In den letzten Jahren ist es durch die ständig zunehmende Industrialisierung in der ganzen Welt zu einer immer stärkeren Verunreinigung der Luft gekommen.

Als luftverunreinigende Stoffe werden solche bezeichnet, die auf mechanische, physikalische, chemische oder biologische Weise durch die menschliche Arbeit entstehen und in Form von Gasen, Dämpfen, Rauch oder verschiedenartigsten Stäuben in der atmosphärischen Luft nachweisbar sind.

Alle luftverunreinigenden Stoffe beeinträchtigen die menschliche Gesundheit, sei es nun sofort oder erst nach einer längeren Einwirkung. Der Wirkungsgrad ist dabei sowohl abhängig von der qualitativen wie von der quantitativen Beschaffenheit der giftigen Verunreinigungen. Durch die qualitative Beschaffenheit, die auf der chemischen und physikalisch-chemischen Natur der Stoffe beruht, ist die spezifische Wirkung auf

den menschlichen Organismus bedingt, durch die quantitative Beschaffenheit Stärke und Intensität der Einwirkung des betreffenden luftverunreinigenden Stoffes.

Der normale Funktionsablauf im menschlichen Organismus wird vor allem dann beeinflußt, wenn die stark verunreinigte Luft keine oder eine zu geringere Turbulenz aufweist. Die ersten Erscheinungen zeigen sich bei kleinen Kindern und älteren Menschen in Form von Störungen im Bereich des Kreislaufsystems und der Atmungsorgane. Handelt es sich um toxische (giftige) Konzentrationen, die noch dazu längere Zeit (mehrere Tage) bestehen bleiben, so sind Todesfälle nicht zu verhindern.

Über solche Katastrophen wurde 1930 aus Belgien, 1948 aus den USA (Pennsylvania) und 1930, 1948, 1952 und 1962 aus London berichtet:

BERLINER ZEITUNG, 9. Dezember 1962

Der „Smog" – Tod von London – 136 Menschen starben im Giftnebel. Seit gestern wieder klare Sicht.

London (ADN/BZ). Die Bewohner der britischen Hauptstadt atmen wieder — wörtlich genommen — freier:

Der seit vier Tagen über London lastende giftige Nebel löste sich im Laufe des gestrigen Tages auf. Dem „Smog" fielen insgesamt 136 Menschen zum Opfer; über 1 000 mußten mit Schädigungen der Atemwege in die Krankenhäuser eingeliefert werden. Die Schäden durch Ausfall von Arbeitskräften, Unfälle und Verkehrsstockungen werden auf 154 Millionen bis 224 Millionen DM geschätzt. Noch am Freitag bot die Millionenstadt an der Themse ein gespenstisches Bild: Den zur „Nacht" gewordenen Tag erhellten die Fackeln der Sanitätsfahrzeuge, die mühsam zu den Stätten zahlreicher Verkehrsunfälle geleitet wurden. Bei einer Kollission waren zum Beispiel nicht weniger als 15 Autos aufeinandergeprallt. Im Vorort- wie im Fernverkehr der Eisenbahn kam es zu erheblichen Verspätungen. Auf dem Waterloo-Bahnhof führte das Verkehrsdurcheinander zu einem Sturm auf den ersten seit 50 Minuten einlaufenden Vorortzug. Dabei trampelte die Menge Frauen und Kinder nieder.

Im Londoner Osten mußten zwei Schulen die Kinder über Nacht dabehalten, weil der Nebel eine Heimfahrt unmöglich machte. Andere Schulen hatten völlig geschlossen.

Auf dem Flughafen Croydon herrschte seit 88 Stunden zum ersten Mal eine Sichtweite von 140 Metern. Im Hafen lagen mehr als 170 Schiffe fest.

Schließlich traten auch schwere Störungen der Energieversorgung auf: Zahlreiche Fabriken waren ohne Strom, da die Leitungen durch die Unzahl voll eingeschalteter Heizkörper überlastet wurden.

Eine besondere Nuß hat jetzt nach dem Abflauen des „Smogs" die Londoner Verkehrspolizei zu knacken: Viele Fahrzeugbesitzer, die ihre Wagen im undurchdringlichen Nebel stehenlassen mußten, können den Standort nicht wiederfinden!

Der gefürchtete Londoner Nebel forderte nach Angaben der britischen Gesundheitsbehörden alle 60 Minuten ein Todesopfer.

1952 waren insgesamt 4 000 Menschen der ungewöhnlichen Wettersituation erlegen. Die besondere Heimtücke des „Smogs" ist, daß er auch in die Häuser eindringt und speziell Kleinkindern, Greisen, Asthmatikern und Bronchitiskranken schwere Schäden zufügen kann.

Um Schädigungen des menschlichen Organismus durch Luftverunreinigungen weitestgehend zu vermeiden, werden bestimmte Werte für das höchstzulässige Maß an luftverunreinigenden Stoffen in der atmosphärischen Luft festgelegt. Diese festgelegten Werte bezeichnet man als MIK-Werte (Werte für die zulässige „maximale Immissionskonzentration").

Bei der Festlegung solcher hygienischer Normative legt man die Wirkung zum Beispiel der verunreinigten Luft auf die Gesundheit, die Arbeits- und Leistungsfähigkeit sowie das subjektive Wohlbefinden eines Menschen zugrunde.

Es wird nur eine Konzentration von Staub oder sonstigen Verunreinigungen – etwa durch Gase – zugelassen, die weder direkt noch indirekt einen schädlichen bzw. einen unangenehmen Einfluß auf den Menschen ausüben.

Bei der Luftverunreinigung unterscheidet man zwei Grenzwerte:
die hygienisch zulässige einmalige Maximalkonzentration
die hygienisch zulässige mittlere 24-Stunden-Konzentration

Die luftverunreinigenden Stoffe entstehen im wesentlichen durch den Hausbrand, die Kraftwerke, die Industrieanlagen sowie durch den Straßenverkehr. Ruß, Kohlenstaub, Flugasche, Zement sowie mechanische Gesteinstäube, ferner Schwefeldioxid, andere Schwefelverbindungen, Stickoxid, Kohlenmonoxid, Chlor und andere Halogene spielen dabei die größte Rolle.

Entsprechend dem Ursprung in der Produktion werden die Luftverunreinigungen wie folgt eingeteilt:
Erdgase, d. h. Gase, die im Endstadium des Produktionsprozesses entstehen. Dazu rechnet man u. a. die Rauchgase von Kraftwerken. Diese Gase haben eine ziemliche hohe Konzentration an Schadstoffen.
Abgase, das sind solche, die in Zwischenstadien des Produktionsprozesses entstehen. Sie entstehen meist periodisch und können ebenfalls eine hohe Konzentration an schädlichen Stoffen haben.
Die **Ventilationsluft** aus Arbeitsräumen. Sie fällt meist in großen Mengen an, z. B. bei nicht vollständiger Mechanisierung von Be- bzw. Entladeeinrichtungen. Sie ist meist hochgradig verunreinigt.
Sonstige Abgase, die z. B. auf Abfallhalden entstehen oder wenn Industrieabwässer in offene Ableitungskanäle gepumpt werden.

Um der zunehmenden Verunreinigung der Luft entgegenzuwirken, werden durch die Kommunalhygiene bestimmte Schutzmaßnahmen gefordert, die die Besonderheiten der einzelnen Industriezweige berücksichtigen. Neben der weiteren Verbesserung der Entstäubungs- und Abgasreinigungsanlagen in den Betrieben ist gerade hier die richtige hygienische Siedlungsplanung von außerordentlicher Bedeutung.

Unter Berücksichtigung der häufigsten Windrichtung, der Höhe der Schornsteine und eines bestehenden Grüngürtels soll die Belästigung der Wohngebiete durch Industriestaub und Gas zumindest auf ein Minimum reduziert werden.

Hygiene der Wasserversorgung

Wasser wird benötigt als Trink- und Brauchwasser, als Waschwasser, für Schwimmbäder, für landwirtschaftliche, gärtnerische, industrielle und gewerbliche Zwecke. In der DDR wurden 1958 von der insgesamt geförderten Wassermenge 11% von der Bevölkerung verbraucht, weitere 11% entfielen auf die Landwirtschaft und rund 78% auf die Industrie.

Der Wasserbedarf steigt in der ganzen Welt ständig an. Als Ursachen werden der Zuwachs der Bevölkerung, die Zunahme der zentralen Wasserversorgungsanlagen, der Ausbau der landwirtschaftlichen Bewässerung und vor allem die zunehmende Industrialisierung angegeben.

Da die Gesundheit der Menschen durch verunreinigtes Wasser stark gefährdet werden kann, wird an Wasser, das als Trinkwasser Verwendung finden soll, ein besonders strenger Maßstab angelegt. Es wird deshalb in Wasserwerken aufbereitet. Im wesentlichen soll dabei folgendes erreicht werden:

- mechanische Reinigung durch Klärung und Filterung (Entfernung ungelöster Schwebestoffe und kollodialer Teilchen)
- Entsäuerung, Entmanganung, Enthärtung
- Entkeimung
- Beeinflussung des Geschmacks und des Geruchs

Gerade der Entkeimung des Wassers ist große Aufmerksamkeit zu schenken, da viele Krankheiten, wie Cholera, Typhus, Paratyphus, die infektiöse Gelbsucht usw. über das Trinkwasser verbreitet werden können (Abb. 138).

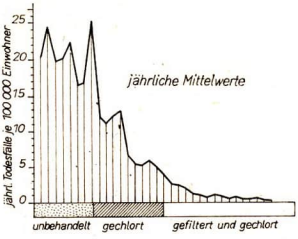


Abb. 138 Die Auswirkung der Wasseraufbereitung auf die Typhussterblichkeit einer Stadt, die Wasser aus einem klaren See entnimmt.

Die Überwachung der zentralen Wasserversorgungsanlagen ist relativ einfach. Anders ist es jedoch bei den Einzelversorgungsanlagen (Brunnen). Es gibt genaue Bestimmungen (Verordnung über die hygienische Überwachung der Brunnen vom 23. 8. 1951) für die Anlage und für die Zulassung eines Brunnens für die Trinkwasserversorgung.

Ergibt die bakteriologische und chemische Untersuchung des Brunnenwassers keine Keimzahl je cm^3 über 100, wurden kein *Bacterium coli* und sonst keine gesundheitsgefährdenden Bestandteile festgestellt, wird ein Freigabeschein für den überprüften Brunnen als Trinkwasseranlage ausgestellt. Solche Brunnen werden turnusmäßig von der Hygieneinspektion des Kreises überprüft.

Neben der laufenden Überwachung der Trinkwasseranlagen gilt die besondere Aufmerksamkeit der Hygiene u. a. den öffentlichen Schwimmbädern und ihrer unmittelbaren Umgebung.

Die wichtigste Maßnahme ist die Reinhaltung des Wassers, sowohl bei Hallen- als auch bei Freibädern. In den geschlossenen Badeanstalten erfolgt neben der Umwälzung

Abb. 139 Gefährdung des Wassers durch Müllablagerung

des Wassers (Zufuhr von Frischwasser) eine Desinfizierung mit Chlor. Bei Freibädern ist die Umgebung auf Zuflüsse von Schmutz- bzw. Industrieabwässern zu kontrollieren. Flußbäder werden nur für den öffentlichen Badebetrieb zugelassen, wenn keine Kolibakterien, die immer ein Zeichen ablaufender Fäulnisprozesse sind, nachgewiesen werden. Bei stehenden Gewässern sollen ebenfalls keine Kolibakterien nachweisbar sein.

Abwasser- und Abfallbeseitigung

Im engen Zusammenhang mit der Reinhaltung des Wassers steht das Problem der hygienischen Beseitigung der Abwässer und der festen Abfallstoffe.

Einfaches Schmutzwasser, wie es normalerweise im Haushalt anfällt, kann über die Kläranlagen wieder in Brauchwasser umgewandelt werden. Bei den industriellen Abwässern dagegen müssen entsprechend den Besonderheiten der einzelnen Betriebe spezielle Maßnahmen festgelegt werden, damit die Trinkwasserversorgung der nächsten Umgebung und auch der Badebetrieb der öffentlichen Badeanstalten nicht gefährdet wird. In vielen Fällen muß das Abwasser vor Einleitung in ein natürliches Gewässer entgiftet und gereinigt werden.

Die Beseitigung der festen Abfallstoffe unterliegt ebenfalls besonderen hygienischen Bestimmungen. Eine unkontrollierte Müllbeseitigung kann über einen allgemeinen Anziehungspunkt für Hunde, Katzen, Ratten, Insekten usw. zur Quelle für das Auftreten übertragbarer Krankheiten werden.

Als Möglichkeit zur Beseitigung fester Abfallstoffe werden angewendet:

Die Freilandschüttung zur Auffüllung von Gruben; z. B. Kies- und Sandgruben oder zur Einebnung eines hügeligen Geländes. Der Müll ist dann sofort unterzupflügen und mit mindestens 30 cm Erdreich zu bedecken. Bei der Freilandschüttung ist jedoch zu beachten, daß eine Beeinflussung des Grundwassers möglich ist, die sich aber oft erst nach Jahren bemerkbar machen kann (Abb. 139).

Die Müllversenkung ins Meer, die zu Verunreinigung bestimmter Küstenabschnitte führen kann.

Die Müllverbrennung. Die anfallende Schlacke findet größtenteils im Straßenbau Verwendung. Obwohl es sich bei der Müllverbrennung um eine hygienisch optimale Methode handelt, hat sie sich, infolge der technischen Aufwendigkeit für die Anlage, bis heute nicht allgemein durchgesetzt.

Die Kompostierung. Hierzu ist ein Vorsortieren des Mülls notwendig. Durch ein Heißgärverfahren werden die organischen Anteile der Abfälle in Kompostmieten in Humus umgewandelt. Bei sachgemäßer Durchführung werden gleichzeitig die tierischen und pflanzlichen Krankheitserreger sowie Wurmeier abgetötet. Dieses Verfahren wird vielerorts in der DDR angewendet.

Lebensmittelhygiene

Das Lebensmittelgesetz vom 30. 11. 1962 regelt den Verkehr mit Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen.

Der Verkehr mit Lebensmitteln umfaßt die gewerbsmäßige Gewinnung, Herstellung, Zubereitung, Be- und Verarbeitung, Abmessung, Auswiegung, Verpackung, Aufbewahrung, Beförderung, das gewerbsmäßige Anbieten, Abgeben oder jedes sonstige gewerbsmäßige Behandeln von Lebensmitteln.

Die Einhaltung der für den Umgang mit Lebensmitteln festgelegten Bestimmungen wird durch die Hygieneinspektionen der Kreise ständig kontrolliert.

Entsprechend der unterschiedlichen Beschaffenheit und Haltbarkeit der einzelnen Lebensmittel gibt es auch verschiedene Bestimmungen in bezug auf Behandlung, Aufbewahrung usw.

So besagt zum Beispiel die Hackfleischverordnung, daß vom 1. Mai bis 31. Oktober nur in solchen Geschäften Hackfleisch hergestellt werden darf, die über entsprechende Kühlmöglichkeiten verfügen. Auf dem Ladentisch darf Hackfleisch in dieser Zeit nicht ausgestellt und Reste müssen abends durch Versalzen ungenießbar gemacht werden.

In Groß- oder Betriebsküchen darf nur Hackfleisch verwendet werden, das unmittelbar vor der Zubereitung im eigenen Küchenbetrieb hergestellt worden ist.

Ein besonders empfindliches Lebensmittel ist die Milch. Sie ist eine gute Wachstumsgrundlage für Bakterien aller Art, sie ist nur begrenzt haltbar und nimmt überdies schnell fremde Gerüche an.

Die Milchhygiene beginnt bereits bei der hygienisch einwandfreien Gewinnung. In der Molkerei wird, neben der Reinigung in besonderen Reinigungszentrifugen, die Milch von pathogenen (krankheitserregenden) Keimen befreit.

Dafür gibt es drei verschiedene Erhitzungsverfahren:
Dauererhitzung auf 62 bis 65 °C für mindestens 30 Minuten
Kurzzeiterhitzung auf 71 bis 74 °C für 40 Sekunden bis 1 Minute
Hocherhitzung auf 85 °C für die Dauer von einigen Sekunden

So wie für Fleisch und Milch gibt es für die anderen Lebensmittel entsprechende Bestimmungen.

Auch die Lebensmittelbetriebe, Gemeinschaftsküchen, Lebensmittelverkaufsstellen und das in diesen Einrichtungen beschäftigte Personal unterliegen besonderen Anordnungen und Kontrollen, deren Einhaltung strengstens überwacht wird.

Mit diesen Beispielen soll vor allem gezeigt werden, daß die Aufgaben der Kommunalhygiene sich nicht nur in der Überwachung sanitärer Anlagen erschöpfen, sondern weit umfangreicher sind. Es gehören neben den genannten Gebieten noch die Bau- und Wohnungshygiene, die Hygiene der gesellschaftlichen Einrichtungen, wie Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten und Krippen, Internate usw., die hygienischen Belange des Bodens, die Verkehrshygiene u. a. dazu.

Diese vielfältigen Aufgaben kann die Kommunalhygiene nur mit Hilfe eines gut durchorganisierten Netzes von Kontrollorganen in den Bezirken und Kreisen lösen. Die Leitung liegt in den Händen von speziell dafür ausgebildeten Ärzten. Außerdem arbeiten dort Physiker, Chemiker, Ingenieure, Hygieneinspektoren, medizinische Assistenten und Desinfektoren, die bestimmte Spezialaufgaben zu lösen haben.

In der DDR gibt es eine besondere Hygienegesetzgebung, die die schnelle Durchsetzung der wissenschaftlichen Forschungsergebnisse in Form hygienischer Grundsätze

und Normative in die Praxis ermöglicht. Die einheitliche Anleitung und Kontrolle des Hygienewesens erfolgt in der DDR durch die dem Ministerium für Gesundheitswesen unterstellten Organe der Hygieneinspektionen, die in allen Bezirken und Kreisen bestehen.

Seuchen

Die Bezeichnung „Seuche" war in alten Zeiten der allgemeingültige Ausdruck für alle auftretenden Massenerkrankungen. Man nahm an, daß sie ausschließlich von Dämonen verursacht werden und wertete sie als äußeres Zeichen des Zornes der Götter. Erst nachdem man die verschiedenen Ursachen der Massenerkrankungen erkannt hatte, erhielt der Begriff „Seuche" vor etwa 60 Jahren seine heutige Prägung.

Wir verstehen heute unter einer Seuche eine periodisch auftretende Erkrankung, die zahlenmäßig schnell zunimmt und durch lebende Krankheitserreger verursacht wird.

Dazu gehören u. a. Pest, Cholera, Pocken, Typhus, Malaria, aber auch Tuberkulose, Virusgrippe und die ansteckende Form der Gelbsucht.

Alle anderen Erkrankungen, die sich zwar ebenfalls zu einer Massenerkrankung ausweiten können, aber nicht durch Klein- oder Kleinstlebewesen hervorgerufen werden, bezeichnet man als Volkskrankheiten. Hierzu rechnet man beispielsweise Rheumatismus, Herz- und Kreislauferkrankungen, Erkrankungen an bösartigen Geschwülsten usw.

Ein historischer Rückblick läßt deutlich erkennen, daß die Seuchen meist im Gefolge von sozialen Katastrophen, wie Hungersnöten, Kriegen, Naturereignissen, die zur Zerstörung der Wohnstätten führten, und Krisen auftraten.

Heute spricht man ganz allgemein von „Seuchen der Unkultur", zu denen die Malaria, Ruhr, Cholera usw. gerechnet werden, und den „akuten Zivilisationsseuchen", zu denen Masern, Scharlach, Diphtherie usw. gehören.

Während sich die Seuchen der Unkultur durch allgemeinhygienische Maßnahmen bekämpfen lassen, hat man bei den Zivilisationsseuchen damit keinen Erfolg. Hier wendet man nach der Entdeckung der Erreger und Entwicklung spezifischer Antiseren die Schutzimpfung an.

Der im Zusammenhang mit der Seuche gebrauchte Begriff der Epidemie hat nichts mit der Erkrankung an sich zu tun, sondern sagt nur etwas über das Tempo und die Art und Weise der Ausbreitung aus.

Als Beispiel, daß sich eine Seuche explosionsartig ausbreitet, sei hier die „spanische Grippe" genannt. Am 7. September 1918 erkrankte ein Mensch in Amerika daran; am nächsten Tag waren es bereits 12, nach 10 Tagen 600 und nach weiteren zwei Tagen 1 543 Kranke. Dann griff die Seuche auch auf andere Kontinente über. Rund 21 Millionen Menschen starben an dieser Grippe, die im November 1918, also nach knapp drei Monaten, genau so plötzlich erlosch, wie sie aufgetreten war.

Die Ausbreitung der Seuchen kann auf vielfältige Weise erfolgen. So beispielsweise durch direkten Kontakt mit dem Erkrankten, in Form einer Tröpfcheninfektion, durch verunreinigtes Trinkwasser oder über infizierte Lebensmittel. Ein besonderes Problem sind auch heute noch die Dauerausscheider. Das sind Menschen, die Keimträger sind, ohne selbst zu erkranken. Durch Kontakt mit anderen Menschen oder über einen Zwischenträger können sie jedoch die Krankheiten weiterverbreiten. Dieser Personenkreis steht unter laufender gesundheitlicher Kontrolle und darf nicht in Lebensmittel-

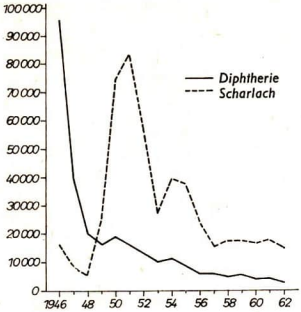
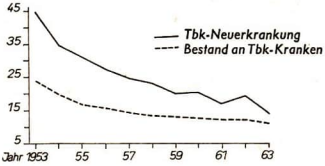


Abb. 140 Rückgang der Zahl der Erkrankungsfälle an Diphtherie und Scharlach

Abb. 141 Neuerkrankungen auf 10 000 und Bestand an Tuberkulosekranken auf 1 000 der mittleren Bevölkerung 1953 bis 1963



betrieben, -verkaufsstellen oder Küchen beschäftigt werden. Es gibt aber auch recht komplizierte Übertragungswege über einen sogenannten Zwischenwirt. Hierbei entwickelt sich der Erreger bis zu einem bestimmten Stadium im Tier und wird erst bei einer Übertragung für den Menschen gefährlich. Solch ein Zwischenwirt ist beispielsweise für die Malaria die *Anopheles* (eine Mückenart) und für das Fleckfieber die Kleiderlaus. Gerade die Erforschung des „Wirtwechsels" war für die Bekämpfung dieser Seuchen sehr bedeutungsvoll. Da es eine Übertragung von Mensch zu Mensch nicht gibt, bietet die Ausschaltung des Zwischenwirtes eine Möglichkeit zur Unterbrechung der Übertragungskette.

Alle Seuchen, deren Ausbreitung durch unhygienische Verhältnisse oder Nichteinhaltung der persönlichen Hygiene begünstigt wird, spielen in den zivilisierten Ländern nur noch eine untergeordnete Rolle. Das ist sowohl auf die allgemeine Verbesserung der hygienischen Verhältnisse als auch auf das Ergebnis der Aufklärung der Bevölkerung über die Bedeutung der Hygiene im Kampf um die Erhaltung der Gesundheit zurückzuführen.

Die Bekämpfung der Seuchen konzentriert sich vor allem auf die zivilisationsbedingten Erkrankungen, wie Tuberkulose, Diphtherie usw. mit Hilfe der Impfungen. Man unterscheidet dabei zwischen einer aktiven und passiven Immunisierung.

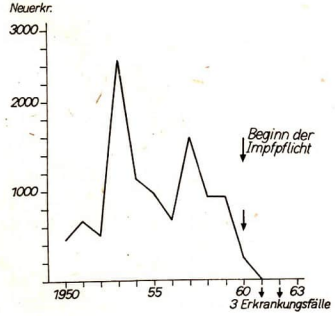


Abb. 142 Neuerkrankungen an Kinderlähmung in der DDR von 1950 bis 1963

Wichtige Krankheiten des Menschen, die von Bakterien oder Viren hervorgerufen werden

Krankheit	Erreger Inkubationszeit	Merkmale	hauptsächliche Übertragung	aktive oder passive Immunisierung	Vorbeugung
Diphtherie	Bakterium 1 bis 10 Tage	Schluckbeschwerden, auf Mandeln oder Gaumen schmieriger weißlicher Belag, leichtes Fieber, Mundgeruch	Speicheltröpfchen, infizierte Gegenstände	Schutzimpfung (aktive Immunisierung), bei Erkrankung (auch bei Verdacht) Serumbehandlung (passive Immunisierung)	Absonderung des Kranken (4 Wochen)
Eiterungen	Kugelbakterien und andere Erreger	Eiterbildung	Schmutz	Schutzimpfung (aktive Immunisierung) möglich	Sauberkeit, Desinfektion
Grippe	Virus 1 bis 4 Tage	Muskelschmerzen, oft Husten, hohes Fieber	Speicheltröpfchen	Schutzimpfung (aktive Immunisierung)	Abhärtung, Berührung mit Erkrankten vermeiden
Grippeähnliche Erkältungskrankheiten	verschiedene Erreger	wie bei Grippe, aber leichterer Verlauf	Speicheltröpfchen		Abhärtung, Berührung mit Erkrankten vermeiden
Halsentzündung, Mandelentzündung (Angina)	verschiedene Erreger, besonders Kokken	Schluckbeschwerden, Kopfschmerzen, geröteter Rachen, hohes Fieber	Speicheltröpfchen		Berührung mit Erkrankten vermeiden
Keuchhusten (Pertussis)	Bakterium 7 bis 14 Tage	krampfartige Hustenanfälle, oft mit Erbrechen	Speicheltröpfchen	Schutzimpfung (aktive Immunisierung)	Berührung mit Erkrankten vermeiden, Erkrankte dürfen 10 Wochen nicht in die Schule
Kinderlähmung (Poliomyelitis)	Virus 3 bis 14 Tage	Beginn wie Grippe, nach einigen Tagen Auftreten von Lähmungen	Speicheltröpfchen, Wasser, Stuhl	Orale Schluckimmunisierung (aktive Immunisierung)	Absonderung des Kranken (6 Wochen), Sauberkeit, Übermüdung vermeiden

Lungen-tuberkulose	Bakterium	geringer Husten mit Auswurf, Müdigkeit, Entkräftung, Verlauf schmerzlos	Speicheltröpfchen, Milch	Schutzimpfung (aktive Immunisierung)	Überwachung der gefährdeten Personen (Röntgenreihenuntersuchungen)
Masern	Virus 9 bis 16 Tage	Temperaturanstieg bis 40 °C, großfleckiger roter Ausschlag, Schnupfen	Speicheltröpfchen	Serumbehandlung (passive Immunisierung) vorbeugend (bis 1 Woche nach Ansteckung) möglich	Absonderung des Kranken (bis 2 Woch. nach Fieberfreiheit)
Ruhr	Bakterien 1 bis 7 Tage	Kopf- und Bauchschmerzen (Durchfall, oft mit Blut), Fieber	Wasser, infizierte Gegenstände, Fliegen, Stuhl	Schutzimpfung (aktive Immunisierung) möglich	Sauberkeit! Desinfektion der Toiletten; Abkochen von Trinkwasser und Milch, rohes Obst und Gemüse sorgfältig säubern
Scharlach	Bakterien (in Zusammenhang mit einem Virus?) 1 bis 8 Tage	Rötung von Zunge und Rachen, Fieber, rötlicher grießartiger Ausschlag auf dem ganzen Körper	Speicheltröpfchen		Absonderung des Kranken (bei Behandlung mit Penicillin 3 Wochen)
Starrkrampf (Tetanus)	Bazillus 5 bis 14 Tage	Spannung der Kau- und Gesichtsmuskeln, dann Nacken- u. Rumpfmuskeln; schmerzhafte Muskelkrämpfe, Atemnot	durch Erde u. a. verunreinigte Wunden	Schutzimpfung (aktive Immunisierung), Serumbehandlung (passive Immunisierung), auch vorbeugend	Entkeimung (Desinfektion) verdächtiger Wunden durch den Arzt
Typhus (ähnlich verläuft der Paratyphus)	Bakterien 1 bis 3 Wochen	Appetitlosigkeit, Durchfall, leichtes Fieber, dann hohes Fieber, Darmblutungen	infizierte Gegenstände, Fliegen, Schmutz, Wasser, Nahrungsmittel	Schutzimpfung (aktive Immunisierung)	wie bei Ruhr
Windpocken	Virus 10 bis 21 Tage	Fieber, rote Flecke, Bläschen, Juckreiz	Speicheltröpfchen		Absonderung des Kranken, Schulbesuch nach Abfallen des Schorfs
Ziegenpeter (Mumps)	Virus 11 bis 21 Tage	Kaubeschwerden, Schwellung vor und hinter dem Ohr, Fieber	Speicheltröpfchen		Berührung mit Erkrankten vermeiden

Bei der aktiven Immunisierung erfolgt die Impfung mit abgeschwächten Krankheitskeimen. Der Geimpfte macht also eine leichte Form der Krankheit durch, wobei der Organismus zur Abwehr Antikörper bildet, die teilweise für das ganze Leben, teilweise aber nur für eine bestimmte Zeit, einen Schutz gegen diese spezielle Erkrankung bieten.

Bei der passiven Immunisierung werden dem Organismus bereits entsprechende Abwehrstoffe eingespritzt. Diese Form der Immunisierung wird beispielsweise als Behandlungsmethode bei den auftretenden Erkrankungen, u. a. bei Diphtherie und Wundstarrkrampf praktiziert. Aber auch als vorbeugende Maßnahme wird die passive Immunisierung zur Bekämpfung von Masern, Keuchhusten, Ziegenpeter usw. durchgeführt.

Heute erfolgen diese Impfungen nach einem genauen Plan. Die Schutzimpfungen gegen Pocken, Kinderlähmung (bis zum 22. Lebensjahr), Diphtherie, kombiniert mit Wundstarrkrampf, sowie gegen Tuberkulose sind Pflicht, d. h. die Eltern sind gesetzlich verpflichtet, ihre Kinder impfen zu lassen.

Impfkalender

Lebensalter	Art der Impfung
1. Woche	Tuberkuloseschutzimpfung (BCG-Impfung)
ab 3. Monat im 1. Lebensjahr	Schluckimpfung gegen Kinderlähmung 3mal in Abständen von 4 Wochen gegen die 3 einzelnen Typen
4. Monat	1. Impfung gegen Diphtherie-Tetanus-Pertussis
5. Monat	2. Impfung gegen Diphtherie-Tetanus-Pertussis
6. Monat	3. Impfung gegen Diphtherie-Tetanus-Pertussis
7. bis 8. Monat	Erstimpfung gegen Pocken
9. bis 10. Monat	Schutzimpfung gegen Masern
ab 12. Monat im zweiten Lebensjahr	Schluckimpfung gegen Kinderlähmung mit trivalentem Impfstoff
18. Monat	4. Impfung gegen Diphtherie-Tetanus-Pertussis
5. Lebensjahr (bei der Vorschuluntersuchung)	5. Impfung gegen Diphtherie-Tetanus
1. Schuljahr	Prüfung der Tuberkulose-Allergie evtl. Tuberkuloseschutzimpfung
3. Schuljahr	1. Wiederimpfung gegen Pocken
5. Schuljahr	6. Impfung gegen Diphtherie-Tetanus
6. Schuljahr	Prüfung der Tuberkulose-Allergie evtl. Tuberkuloseschutzimpfung
11. Schuljahr (17. Lebensjahr)	2. Wiederimpfung gegen Pocken und Wiederholung der Tetanusschutzimpfung
12. Schuljahr (18. Lebensjahr) sowie auch bei endgültigem Schulabgang einschließlich der Berufsschulen	Prüfung der Tuberkulose-Allergie evtl. Tuberkuloseschutzimpfung

Die Erfolge dieser Impfprophylaxe liegen klar auf der Hand. Nach Einführung des Impfschutzes gegen die Kinderlähmung ist die Zahl der Neuerkrankten schlagartig abgesunken. In gleicher Weise sind auch die Erfolge der Tuberkulose- und Diphtherieschutzimpfung zu werten (Abb. 140, 141 und 142).

Zur Bekämpfung der Seuchen bestehen bei uns einheitliche Richtlinien. Es gibt genaue Instruktionen des Ministeriums für Gesundheitswesen über die durchzuführende Behandlung und Isolierung, es gibt eine gesetzlich geregelte Meldepflicht, um die Ausbreitung nach einer aufgetretenen Erkrankung zu verhüten, zumindest aber einzudämmen, und es werden hygienische Grundforderungen für Schulen, Betriebe, öffentliche Einrichtungen, Lebensmittelverkaufsstellen, Küchen u. a. festgelegt sowie vorbeugende Pflichtimpfungen durchgeführt.

Ziel unseres Gesundheitswesens ist es, die Seuchen unter Aufbietung aller Mittel möglichst vollkommen auszurotten, da sie sonst immer wieder eine Gefahr für Leben und Gesundheit der gesamten Bevölkerung darstellen.

Sozialhygiene

Die Sozialhygiene ist die Wissenschaft, die sich mit den sozialen Problemen in der Medizin auseinandersetzt. Historisch sind die Anfänge der Sozialhygiene in der Geschichte weit zurück zu verfolgen.

Als eigentlichen Begründer der wissenschaftlichen Sozialhygiene kann man Alfred GROTJAHN (1869 bis 1931) bezeichnen. Nach seinen eigenen Worten wurde ihm die Übertragung sozialpolitischer Erkenntnisse auf die Medizin zum Bedürfnis. Als seine Lebensaufgabe betrachtete er die Entwicklung des vorbeugenden Gesundheitsschutzes und die Schaffung gesundheitsfördernder Lebensbedingungen. Seine Arbeit war aber nur in gewissem Grade von Erfolg gekrönt. Sie scheiterte im wesentlichen durch seine eigene kleinbürgerliche Einstellung, sie scheiterte aber auch an den bestehenden gesellschaftlichen Verhältnissen. Der Kinderarzt SCHLOSSMANN (1876 bis 1939) erwarb sich besondere Verdienste um die gesundheitliche Entwicklung der Säuglinge und Kleinkinder in den Kinderheimen. Die von ihm erreichten Erfolge bei der Senkung der Sterblichkeit dieser Kinder waren beispielgebend für alle Kinderärzte. Als ein Förderer der Sozialhygiene ist außerdem besonders der berühmte Hygieniker C. FLÜGGE (1847 bis 1923) zu nennen.

Die Profilierung der Sozialhygiene fällt in die Zeit der Entwicklung des Kapitalismus, in der durch die veränderten Produktionsbedingungen die Lösung sozialer Probleme zu einer zwingenden Notwendigkeit wurde. Durch die Veränderung der Produktionsbedingungen änderten sich zwangsläufig auch die Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten. Viele Menschen arbeiteten auf sehr engem Raum zusammen. Dazu kam noch, daß die Maschine das Arbeitstempo bestimmte. Das führte zu einer Intensivierung der Arbeitsleistung auf Kosten der körperlichen Kräfte der Arbeiter. Diese ungesunden Arbeitsverhältnisse, die meist schlechten hygienischen Bedingungen am Arbeitsplatz und die oft ungesunden Wohnverhältnisse führten zu schweren gesundheitlichen Schäden der Arbeiter.

Damit wurde erstmalig die Aufmerksamkeit auf die bestehenden Beziehungen zwischen Gesundheitszustand und Umweltbedingungen gelenkt. Dieser Umstand führte schließlich zur Entwicklung der sozialen Hygiene. Man wollte versuchen, beide Faktoren in Übereinstimmung zu bringen, um so dem Bedürfnis der Menschen nach Erhaltung der Gesundheit Rechnung zu tragen.

Dieses Bedürfnis der Menschen, gesund zu bleiben, ist so alt wie die Menschheit selbst. Unter Anerkennung des Wunsches nach immerwährender Gesundheit umriß SALOMON NEUMANN (1819 bis 1908), ein Berliner Arzt, die sich für die Wissenschaft daraus ergebenden Aufgaben wie folgt: „Die Wissenschaft kann erstlich Gesundheit schaffen, sie kann dann zweitens Krankheiten verhüten, und endlich kann sie in dritter Reihe Krankheiten heilen".

Historisch bedingt steht die Behandlung kranker Menschen an erster Stelle. Das ärztliche Ethos verlangt von jedem Arzt den größten persönlichen Einsatz und die Ausschöpfung aller Möglichkeiten für die Wiederherstellung der Gesundheit jedes kranken Menschen. Deshalb war die Entwicklung der medizinischen Wissenschaften zu jeder Zeit gekennzeichnet durch die Erforschung neuer Behandlungsmethoden und Medikamente als Grundlage für eine erfolgreiche Bekämpfung von Krankheiten.

Der vorbeugende Gesundheitsschutz (Prophylaxe), der die Krankheitsverhütung zum Inhalt hat, wurde zu damaliger Zeit aus zwei Gründen in seiner Bedeutung unterschätzt: Einmal war der Arzt darauf angewiesen, daß kranke Menschen ihn zur Behand-

lung aufsuchen, da er damit seinen Lebensunterhalt verdiente. Zum anderen wurden bei der Durchführung prophylaktischer Maßnahmen Kosten verursacht, für deren Deckung sich niemand verantwortlich fühlte, weder der Staat noch die Krankenversicherung, noch der Unternehmer, denn die Umsetzung dieser Kosten in Gesundheit war zunächst in keiner Weise meßbar bzw. realisieren sie sich erst zu einem Zeitpunkt, zu dem die geldgebende Institution vielleicht an dem Betreuten gar kein Interesse mehr hatte.

Aus der Erkenntnis heraus, daß die Umwelt einen bedeutenden Einfluß auf den Gesundheitszustand des einzelnen und der Bevölkerung insgesamt hat, versuchte die Sozialhygiene von jeher, das Schwergewicht der ärztlichen Behandlung mehr auf den vorbeugenden Gesundheitsschutz zu orientieren.

Die unlösbaren Widersprüche der bürgerlichen Gesellschaft verdrängen die soziale Hygiene jedoch bald von ihren eigentlichen Aufgaben und verwandeln sie weitgehend in eine abstrakte Wissenschaft.

Trotzdem gibt es viele Beispiele dafür, daß einzelne fortschrittliche Gemeinden auch in dieser Zeit auf dem Gebiet der Sozialhygiene Erhebliches geleistet haben.

Die Entwicklung der Sozialhygiene ist im Kapitalismus eng mit dem Kampf der Arbeiterklasse um bessere Existenzbedingungen verbunden. So konnte beispielsweise BISMARCK im Jahre 1878 das Verbot der SPD nur durchsetzen, weil er gleichzeitig Konzessionen an die Arbeiterklasse machte, die unter anderem zur Gründung der Sozialversicherung in Deutschland führten. Trotz derartiger Zugeständnisse wurde aber von fortschrittlichen Ärzten schon damals klar ausgesprochen, daß erst nach Abschaffung der Ausbeutung und Übernahme der Macht durch die Arbeiterklasse ein wirklicher Gesundheitsschutz für die gesamte Bevölkerung möglich ist. Der Kampf um die Verbesserung der Sozialhygiene war ein fester Bestandteil des Kampfprogramms der Arbeiterklasse.

Anfang der zwanziger Jahre entstanden in Deutschland proletarische Laienorganisationen, die unter Leitung mit der Arbeiterklasse verbundener Ärzte um die sozialistische Umgestaltung des Gesundheitswesens bemüht waren. Große Verdienste erwarb sich dabei der 1942 von den Faschisten ermordete G. BENJAMIN. In einem 1928 veröffentlichten Artikel „Leitsätze zum Ausbau der Sozialhygiene" verlangte er die gesundheitliche Fürsorge für alle Teile der Bevölkerung und alle Altersgruppen, die gewerbeärztliche Überwachung der Arbeiter, staatliche Anstellung der Ärzte und den „Kampf gegen diejenigen Kräfte, die die Sozialpolitik und Sozialhygiene als unproduktiv bekämpfen". Der Artikel schließt: „Die Durchführung eines derartigen Gesundheitsprogramms kann nur im politischen Kampf erreicht werden, der von den sozialistischen Ärzten in Kampffront und mit Unterstützung des klassenbewußten Proletariats geführt werden muß."

In der Zeit des Faschismus aber gingen alle errungenen Erfolge der Sozialhygiene vollkommen verloren. Sie wurde zur Rassenhygiene herabgewürdigt und sollte die unterschiedliche Wertigkeit verschiedener Rassen wissenschaftlich begründen und somit die Ausschreitungen der damaligen Zeit sanktionieren. Nach 1945 mußte die Sozialhygiene mit ihrer Arbeit neu beginnen. Das war nach der Zeit der Diskriminierung und unter den allgemeinen katastrophalen Verhältnissen nach Beendigung des Krieges nicht einfach.

Die Entwicklung der Sozialhygiene muß man immer in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der gesellschaftlichen Verhältnisse beurteilen. Erst in einem sozialistischen Staat, der in dem Menschen nicht billige Arbeitskräfte und Rekrutennachwuchs sieht, sondern eine Persönlichkeit mit hohen schöpferischen Qualitäten, wird alles getan,

um die für die volle Entfaltung seiner Fähigkeiten notwendigen Lebens- und Arbeitsbedingungen zu schaffen.

Die veränderten gesellschaftlichen Verhältnisse nach 1945 und die sich daraus ergebenden Forderungen und Möglichkeiten stellen der Sozialhygiene folgende Aufgaben:

1. Der Gegenstand der Sozialhygiene ist der Gesundheitszustand der Bevölkerung bzw. umschriebener Kollektive in seiner Auswirkung auf die Gesellschaft und der Einfluß der gesellschaftlichen Umwelt auf ihn.
2. Die Methoden der Sozialhygiene sind Methoden der Natur- und Gesellschaftswissenschaften.
3. Die Aufgaben der Sozialhygiene sind Forschung, Lehre und wissenschaftliche Begründung der Praxis der medizinischen Prophylaxe, der Organisation des aktiven Gesundheitsschutzes und der Förderung der damit zusammenhängenden organisatorisch-wissenschaftlichen und kulturell-erzieherischen Maßnahmen des Staates.
4. Das Ziel der Sozialhygiene ist die allseitige Förderung und Sicherung der Gesundheit der gesamten Bevölkerung, um allen Menschen die Möglichkeit zur Entfaltung ihrer körperlichen und geistigen Fähigkeiten zu gewährleisten und damit zum Aufbau des Sozialismus beizutragen.

Die Sozialhygiene umfaßt also die gesamte soziale Problematik in der Medizin sowie die Fragen der wissenschaftlichen Begründung der Organisation des Gesundheitswesens. Für die Erfüllung dieser Aufgaben bedient sie sich neben medizinischer Methoden auch statistischer, ökonomischer und historischer. Darüber hinaus werden aber auch experimentelle Ergebnisse und praktische Erfahrungen durch sozialhygienische Spezialerhebungen vervollständigt.

Mit den so erarbeiteten Ergebnissen schafft die Sozialhygiene mit die Voraussetzung für die weitere Planung und Gestaltung des Gesundheitswesens. Dabei deckt sie aber auch Lücken, Schwächen oder Mängel in der jetzigen Struktur auf und kann dadurch das Augenmerk der staatlichen Gesundheitsverwaltung auf bestimmte Schwerpunktprobleme lenken.

Die Voraussetzungen für die Arbeit der Sozialhygiene sind in der DDR günstig. Es besteht für alle Bürger der DDR soziale Sicherheit durch einen einheitlichen Gesundheitsschutz für die Werktätigen. Nicht die finanziellen Voraussetzungen des einzelnen bestimmen heute die Art der Behandlung, sondern das Krankheitsgeschehen.

Zwar steht heute noch die Therapie (Behandlung der Krankheiten) im Vordergrund. Diese Konzentration auf die therapeutische Arbeit war zunächst aber notwendig, um die ärztliche Grundversorgung in der Stadt und auf dem Lande zu sichern. Trotzdem kann man sagen, daß die Einheit von Prophylaxe (vorbeugen), Therapie (heilen) und Metaphylaxe (Nachsorge) heute festes Prinzip unseres Gesundheitswesens ist, wobei sich das Schwergewicht langsam immer mehr zugunsten der Prophylaxe verlagert.

Die Erfolge dieses Prinzips sind heute bereits vielfach exakt nachweisbar.

Säuglingssterblichkeit

Da die Säuglingssterblichkeit ein sehr feiner Indikator für die bestehende gesellschaftliche Situation eines Landes ist, soll sie hier als Beispiel für vieles abgehandelt werden.

Die Säuglingssterblichkeit ist nicht allein abhängig vom Entwicklungsstand der medizinischen Wissenschaft. Entscheidend für Leben oder Tod eines Säuglings sind oftmals vielmehr das häusliche Milieu sowie die Möglichkeiten der zweckmäßigen Ernährung und Pflege.

Die Wirksamkeit sozialer Faktoren zeigt sich sehr deutlich, wenn man beispielsweise

die Sterblichkeit der Kinder im 1. Lebensjahr zu Anfang dieses Jahrhunderts unter dem Aspekt der beruflichen Tätigkeit des Vaters analysiert.

Familien	SSt.
von Offizieren, Beamten,	
Angehörigen freier Berufe	10,9%
des Handelsstandes	15,2%
gelernter Industriearbeiter	16,2%
ungelernter Arbeiter	17,9%

Mit sinkendem Einkommen steigt die Säuglingssterblichkeit also deutlich an. Dieser unmittelbare Zusammenhang zwischen dem Lebensstandard der Eltern und den Lebensaussichten der Neugeborenen waren zu allen Zeiten der kapitalistischen Gesellschaftsordnung nachweisbar. Darüber hinaus zeigten sich aber auch deutliche Schwankungen zu höheren Sterbeziffern im Verlauf von Kriegs- und Krisenzeiten. Während die Säuglingssterblichkeit vor dem 2. Weltkrieg bei 6% lag, betrug sie 1946 13,1%. Mit der Besserung der allgemeinen Lebensbedingungen sanken gleichzeitig die Sterbeziffern. Im Jahre 1950 betrug die Säuglingssterblichkeit in der DDR noch 7,2%, 1960 3,9% und 1963 3,2%.

Welche sozialmedizinischen Maßnahmen haben nun diese Entwicklung begünstigt?

Die erste medizinische Betreuung beginnt bereits in der Schwangerenberatung. Jede werdende Mutter wird dort ärztlich untersucht, ihr Gesundheitszustand wird laufend überwacht. Für Frauen mit angegriffenem Gesundheitszustand besteht die Möglichkeit einer Kurverschickung, die keinerlei Anrechnung auf Jahres- oder Schwangeren- bzw. Wochenurlaub findet. Ist die werdende Mutter berufstätig und an einem Arbeitsplatz beschäftigt, der in irgendeiner Form die normale Entwicklung des Kindes gefährden könnte, so ist der Betrieb verpflichtet, die Umsetzung auf einen Arbeitsschonplatz vorzunehmen. Die Frau darf dabei keine finanzielle Einbuße erleiden, auch wenn es sich um eine qualitativ geringere Arbeit handelt. Die Lohndifferenzen sind ausschließlich vom Betrieb zu tragen. Schichtarbeit und Nachtschicht sowie Überstunden sind einer schwangeren Frau vom 4. Monat an grundsätzlich untersagt. Außerdem steht jede schwangere Frau unter Kündigungsschutz. Sechs Wochen vor dem vom Arzt errechneten Geburtstermin wird die werdende Mutter ganz von der Arbeit befreit, sie erhält Schwangerenurlaub. Während dieser Zeit erhält sie ihren Durchschnittslohn.

Die Entbindungen erfolgen heute fast ausschließlich in einer stationären Einrichtung unter ärztlicher Leitung, ohne besondere Kosten für die Frau. Dadurch ist nicht nur sofort spezielle ärztliche Hilfe im Falle eines komplizierten Geburtsablaufes möglich, auch das Neugeborene wird in den ersten Lebenstagen ärztlich überwacht. In dieser Zeit wird auch gleich die erste Schutzimpfung gegen Tuberkulose vorgenommen. Nach der Entlassung aus der Klinik übernimmt die Mütterberatungsstelle die weitere Betreuung. Diese Beratungsstellen ziehen sich wie ein dichtmaschiges Netz über das Territorium der DDR. Jede Mutter, auch in ländlichen Gebieten, soll nicht mehr als 2 km Fußweg bis zur Beratungsstelle zurückzulegen haben. Damit sind rein organisatorisch die Voraussetzungen geschaffen worden, die es jeder Mutter ermöglichen, ihr Kind regelmäßig dem Arzt vorzustellen. In den Beratungsstellen erfolgt neben der Kontrolle der körperlichen Entwicklung des Säuglings auch eine Ernährungs- und Erziehungsberatung sowie eine Aufklärung über die erforderlichen pflegerischen Maßnahmen.

Neben dem einmaligen obligatorischen Hausbesuch durch eine Fürsorgerin der Beratungsstelle in allen Familien werden bei besonders gefährdeten Kindern mehrmalige Kontrollen vorgenommen.

Jede Mutter bekommt nach der Entbindung 8 Wochen bezahlten Wochenurlaub. Sie kann aber auch bis zum Ende des 1. Lebensjahres die Sorge um ihr Kind voll und ganz selbst übernehmen – jedoch ohne finanzielle Sicherung –, wobei ihr der Arbeitsplatz erhalten bleibt, d. h. sie bleibt Angehörige des Betriebes.

Um auch finanziell die normale Entwicklung des Kindes zu sichern, erhält jede Mutter eine Geburtenbeihilfe

beim ersten Kind von	500 MDN
beim zweiten Kind von	600 MDN
beim dritten Kind von	700 MDN
beim vierten Kind von	850 MDN
bei jedem weiteren Kind von	1 000 MDN

Um die Auszahlung dieser Beihilfen sozialhygienisch wirksam zu gestalten, werden sie gestaffelt ausgezahlt und sind teilweise an bestimmte Bedingungen geknüpft.

Erfolgt der erste Besuch in der Schwangerenberatung innerhalb der ersten drei Schwangerschaftsmonate, so wird ein Betrag von 100 MDN ausgezahlt. Bei einer späteren Vorstellung werden für jeden Monat 25 MDN in Abzug gebracht, im Höchstfalle jedoch 50 MDN. Weitere 50 MDN werden bei der 2. Vorstellung in der Beratungsstelle ausgezahlt. Bis auf einen Restbetrag von 100 MDN erfolgt bei der Geburt des Kindes die Auszahlung des größten Teilbetrages. Die restlichen 100 MDN werden bei den ersten vier, in monatlichen Abständen zu erfolgenden Vorstellungen in der Mütterberatung ausgezahlt. Damit ist in fast allen Fällen ein Minimum an ärztlicher Betreuung, sowohl bei der Schwangeren als auch beim Säugling, gewährleistet.

Außerdem gibt es ein monatliches Stillgeld, und die wieder berufstätige Frau hat Anspruch auf täglich insgesamt 90 Minuten bezahlte Stillpause.

Die schon während der Schwangerschaft einsetzende umfassende ärztliche fürsorgerische Betreuung zeigt sich aber auch nur an der Senkung der Müttersterblichkeit, die, bezogen auf jeweils 10 000 lebendgeborene Kinder, von 1955 mit 11,9 bis 1959 auf 9,9 heruntergegangen ist. Für die gleiche Zeitspanne liegen die Zahlen für die Bundesrepublik bei 15,7 bzw. 10,8. 1963 lag die Müttersterblichkeit in der DDR nur noch bei 7,8.

Der berufstätigen Mutter gilt weiterhin die Sorge des Staates. Damit sie unbelastet ihrer beruflichen Arbeit nachgehen kann, sind Einrichtungen zur Unterbringung der Kinder geschaffen worden, die tagsüber die Pflege und Erziehung übernehmen.

Die Kinder bis zum vollendeten 3. Lebensjahr werden in Krippen versorgt, die Vorschulkinder in Kindergärten und die Schulkinder in Horten und Tagesschulen. Für nicht schulpflichtige Kinder ist bei Schichtarbeit der Eltern die Unterbringung in einer Wocheneinrichtung möglich, in der die Kinder auch während der Nacht bleiben, da durch den wechselnden Dienst der Eltern sonst der regelmäßige Tagesablauf des Kindes gestört wäre.

Alle Eltern bezahlen für die Unterbringung ihrer Kinder in einer der obengenannten Einrichtungen nicht die tatsächlich entstehenden Kosten, sondern im Durchschnitt nur einen Verpflegungszuschuß von 20 MDN. Alle anderen Kosten werden durch staatliche Zuschüsse gedeckt, sie betragen etwa 160 MDN monatlich für jedes Kind.

Alle Einrichtungen werden laufend ärztlich überwacht, die Entwicklung der Kinder in körperlicher und geistiger Hinsicht wird kontrolliert.

Es hat sich gezeigt, daß gerade die Erziehung in der Gemeinschaft viele Vorteile bietet, besonders in der Förderung der positiven zwischenmenschlichen Beziehungen der Kinder untereinander. Heute sind die Kindereinrichtungen keine Bewahranstalten mehr, sondern ein wichtiges Glied in der Kette der Erziehungsfaktoren vom Säugling bis zum Erwachsenen.

Das Krankenhaus als Gesundheitszentrum

In einem sozialistischen Staat sind die Krankenhäuser die entscheidenden Zentren der gesamten medizinischen Arbeit. Die Mitarbeiter der Krankenhäuser beschränken sich nicht mehr auf die medizinische Betreuung der aufgenommenen Patienten, sie tragen vielmehr in engster Zusammenarbeit mit den Ärzten der Polikliniken und Ambulatorien, des Betriebsgesundheitswesens und mit allen anderen Ärzten die Verantwortung für die Gesundheit der gesamten Bevölkerung ihres Versorgungsbereiches.

Das Krankenhaus ist daneben aber auch ein Fortbildungszentrum für alle Ärzte. Diese Zusammenarbeit der Ärzte wirkt sich wiederum sehr positiv auf die Qualität der Behandlung aus. Die wichtigsten Aufgaben eines Krankenhauses sind – neben der Behandlung der Patienten – die Klärung von schwierigen Diagnosen, die Durchführung aller Maßnahmen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes, die wissenschaftliche Forschungsarbeit, die Ausbildung von Wissenschaftlern und Fachärzten, die ärztliche Fortbildung für alle im Versorgungsbereich tätigen Ärzte und die Aus- und Fortbildung des ärztlichen Hilfspersonals.

Das Krankenhaus entwickelt sich in einem sozialistischen Staat in zunehmendem Maße zu einem Zentrum der Gesundheitspflege, denn die allseitige gesundheitliche Betreuung der Bevölkerung erfordert die einheitliche Handhabung gesundheitsfördernder, vorbeugender, erkennender, behandelnder und nachsorgender Maßnahmen. So soll beispielsweise der leitende Kinderarzt sich nicht nur um seine kranken Patienten bemühen, sondern sein Wissen gleichzeitig auch für die Gesunderhaltung aller Kinder einsetzen. Das gilt für alle anderen Facheinrichtungen in gleicher Weise.

Unsere Aufgabe ist es, alle materiellen und kulturellen Bedürfnisse der Menschen möglichst maximal befriedigen zu können. Dazu gehört auch die Sorge um die Erhaltung der Gesundheit und ihre Wiederherstellung im Krankheitsfalle. Die dafür erforderlichen Maßnahmen müssen aber, um voll wirksam zu werden, mit einer hygienischen Lebensweise kombiniert sein. Nur so werden wir schließlich die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit der Bevölkerung insgesamt steigern können. Aber auch nur so wird sich die eigene Lebensweise mit einem optimalen Gesundheitsschutz sinnvoll koordinieren und damit zur besten Hilfe für Gefährdete und Kranke werden.

Das Krankenhaus beeinflußt mit der Qualität der Behandlung sehr wesentlich den Erfolg dieser Bestrebungen, wobei die Qualität teilweise von den finanziellen Voraussetzungen abhängig ist. Diese sind in der DDR durch Mittel aus dem Staatshaushalt besonders günstig:

Ausgaben im Staatshaushalt für den Gesundheitsschutz in der DDR in TMDN

Sachgebiet	1958	1960	1963
Jugendgesundheitsschutz	16 378	25 916	31 340
Impfwesen	3429	5293	5479
Arbeitsschutz	21 675	26 577	29 565
Sozialversicherung (Ausgaben für gesundheitliche Zwecke)	2 138 327	2 441 642	3 015 444

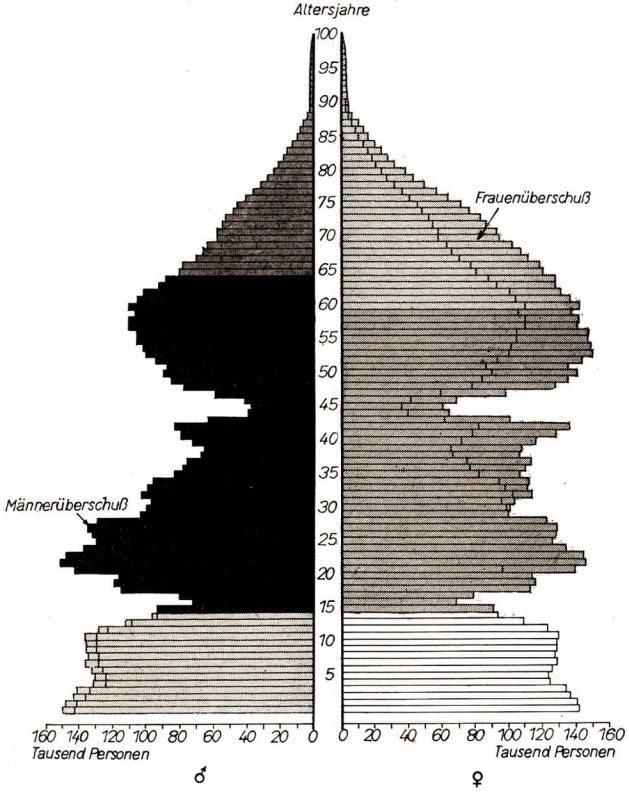


Abb. 143 Altersaufbau der Bevölkerung der DDR 1962

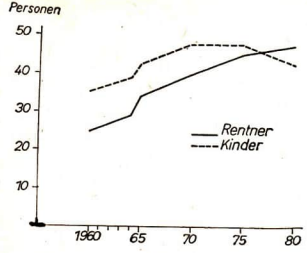


Abb. 144 Personen im Kindes- und Rentenalter, bezogen auf 100 Personen im arbeitsfähigen Alter in Berlin, der Hauptstadt der DDR, in der Entwicklung bis 1980 (ab 1965 umfaßt die Gruppe der Kinder das Alter von 0 bis 17 Jahre).

Die Kur- und Verpflegungskosten in einem Krankenhaus betrugen je Tag und Patient 1893 = 1,63 RM, 1901 = 2,14 RM und 1904 = 2,59 RM. In der DDR dagegen beliefen sich die Ausgaben für die stationäre Betreuung im Jahre 1960 pro Tag und Patient auf etwa 22,80 MDN. Die Gesamtsumme für die stationäre Betreuung ist im Staatshaushaltsplan festgelegt. Daraus allein ergibt sich schon die gesellschaftliche Bedingtheit der gesamten medizinischen Versorgung und die große Verantwortung aller Ärzte und auch des Hilfspersonals bei der Behandlung kranker Menschen.

Trotzdem dürfen wir mit unseren Erfolgen noch keinesfalls zufrieden sein. Wir müssen vielmehr mit aller Kraft darum bemüht bleiben, die gesetzlich verankerten Bestimmungen noch besser wirksam werden zu lassen. Insgesamt kann man aber feststellen, daß wir mit der begonnenen Verlagerung des Schwerpunktes der medizinischen Betreuung auf die Prophylaxe (den vorbeugenden Gesundheitsschutz) den richtigen Weg beschritten haben. Zwar ist es sehr schwer nachzuweisen, daß unsere Menschen gesünder geworden sind, aber sicher ist die gestiegene Lebenserwartung (bei der Frau auf etwa 73 Jahre, beim Mann auf etwa 68 Jahre) also die Zeit, die durchschnittlich ein heute geborenes Kind leben wird, als ein Ausdruck der insgesamt besseren medizinischen und sozialen Betreuung zu werten.

Zielstrebig müssen wir unseren begonnenen Weg weiter verfolgen und uns mit unserer ganzen Persönlichkeit dafür einsetzen, daß keine neuen kriegerischen Auseinandersetzungen unser Werk wieder zerstören. Der Aufbau unseres Lebensbaumes gibt deutliche Auskunft, in welch starkem Maße die Bevölkerung von Kriegen und Krisen dezimiert wird. Heute ist unsere Bevölkerung dadurch überaltert, die leistungsfähigsten Jahrgänge weisen große Lücken auf und bedingen im wesentlichen den Arbeitskräftemangel (Abb. 143).

Auf 100 arbeitsfähige Menschen kamen 1964 39 Rentner, 1965 werden es sogar 42 Rentner sein. Die soziale Versorgung der Rentner erfolgt auf Kosten der wirklich berufstätigen Bevölkerung. Diese Zahl ist natürlich noch niedriger als die Zahl der Personen im arbeitsfähigen Alter, denn die Oberschüler, Studenten, ein Teil der Hausfrauen usw. sind zwar im arbeitsfähigen Alter, bringen aber zur Zeit keine Arbeitsleistung im Sinne der Produktion (Abb. 144).

Diese Überalterung unserer Bevölkerung und die sich daraus ergebenden sozialen Verpflichtungen bedingen u. a. auch, daß sich der Wert der gesamten Arbeitsleistung unserer Bevölkerung im Endeffekt zunächst nur zum Teil in eine Verbesserung der Lebensbedingungen aller umsetzen kann.

Die Überwindung dieser Kriegseinwirkungen wird noch Jahrzehnte dauern, und wir werden die Folgen noch zu tragen haben, wenn bereits alle im Krieg zerstörten Städte neu aufgebaut worden sind. Deshalb muß diese Erkenntnis unser weiteres Handeln bestimmen.

Arbeitshygiene

Die Probleme der Arbeitshygiene stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Entwicklung der Produktivkräfte und den bestehenden Produktionsverhältnissen, d. h., die jeweils herrschende Klasse bestimmt sehr wesentlich die arbeitshygienischen Maßnahmen.

Rein historisch betrachtet, gab es bereits im Altertum arbeitsbedingte Probleme, denn schon in alten Schriften gibt es Angaben über Arbeiten, die die Gesundheit schädigen und die Krankheit fördern. HIPPOKRATES, ein bedeutender Arzt des griechischen Altertums, schrieb etwa 400 Jahre v. d. Z.: „Es gibt viele Handwerke und Künste, welche denjenigen, die sie ausüben, manche Plagen und Leiden verursachen".

Die Aufgaben der Arbeitshygiene und des Arbeitsschutzes, die bei den Handwerkern und Kleingewerbetreibenden in früherer Zeit nur eine untergeordnete Rolle spielten, wurden jedoch mit der Entwicklung der maschinellen Produktion sehr bedeutungsvoll. Die fortschreitende Industrialisierung vermehrte auch die gesundheitlichen Schäden, deren Ursachen in der ausgeübten beruflichen Tätigkeit liegen.

Da es früher noch keinerlei Arbeitsschutzbestimmungen gab, beschränkte sich die Hilfe für die betroffenen Arbeiter lediglich auf die Feststellung und im Höchstfall auf die Behandlung der gesundheitlichen Schäden. Um jede Verbesserung der Arbeitsbedingungen mußten die Arbeiter erbittert kämpfen.

Uns heute selbstverständlich Erscheinendes, wie 8-Stunden-Tag, eine ununterbrochene Arbeitspause für jeden Beschäftigten von mindestens 36 Stunden zwischen zwei Arbeitswochen, Verbot der Erwerbsarbeit für Kinder unter 14 Jahren, das Recht auf bezahlten Urlaub waren lange unerfüllte Forderungen der Arbeiter.

Bei der raschen industriellen Entwicklung stand für die Unternehmer lediglich die Erhaltung der Konkurrenzfähigkeit im Vordergrund. Nur für die Erreichung dieses Zieles wurden gewisse Zugeständnisse gemacht.

In den Großbetrieben und Konzernen gab es später Werkärzte, um zumindest nach außen hin der Sorge um die arbeitenden Menschen Ausdruck zu geben. Diese Werkärzte waren direkte Angestellte der Unternehmer. Damit bestand ein enges Abhängigkeitsverhältnis, das der Erfüllung der berechtigten Forderungen der Arbeiter nach umfassender gesundheitlicher Betreuung zwangsläufig entgegenstand.

Die Tätigkeit der Werkärzte beschränkte sich im wesentlichen auf
die Durchführung von Einstellungsuntersuchungen, damit nur gesunde und leistungsfähige Arbeiter in den Betrieb kamen,
die gesundheitliche Kontrolle durch Reihenuntersuchungen, wobei eine notwendig erscheinende Behandlung nicht durchgeführt werden durfte, die Erste-Hilfe-Leistung bei Betriebsunfällen.

Die Belange der Arbeitshygiene im umfassenden Sinne können unter kapitalistischen Arbeitsbedingungen niemals volle Berücksichtigung finden. Zwei gegensätzliche Faktoren, einmal der Kampf der Arbeiterklasse gegen die steigende Ausbeutung und um die Verbesserung aller Maßnahmen des Gesundheitsschutzes zur Erhaltung der Arbeits- und Leistungsfähigkeit, zum anderen die Teilzugeständnisse der Unternehmer, um sich auch weiterhin die Ausbeutung der Arbeiterklasse zu sichern, bestimmen das Wesen der Arbeitshygiene dieser Gesellschaftsordnung.

Die Arbeitshygiene als ein Teilgebiet der Hygiene ist eine medizinische Disziplin, die sich speziell mit allen Fragen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes der werktätigen

Bevölkerung beschäftigt. Ihre generelle Aufgabe in der sozialistischen Gesellschaft ist:

1. die Erforschung der Hygiene des Arbeitsprozesses und des Arbeitsmilieus sowie ihrer Einwirkung auf den menschlichen Organismus und die Verhütung von schädlichen Einflüssen auf den arbeitenden Menschen und
2. die Erforschung und Schaffung von Arbeitsbedingungen, die sich fördernd auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der arbeitenden Menschen auswirken.

Die Arbeitshygiene befaßt sich mit dem Studium des Einflusses der Arbeitsbedingungen auf den Gesundheitszustand und die Leistungsfähigkeit des Werktätigen sowie mit der Festlegung der erforderlichen praktisch-hygienischen Maßnahmen zur Verhütung von schädlichen, zu Erkrankungen führenden Einflüssen durch die Arbeit und sucht nach Möglichkeiten zur Förderung der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit aller arbeitenden Menschen.

Die moderne Arbeitshygiene ist also eine komplexe wissenschaftliche Disziplin, die nicht nur aus der Arbeit resultierende Schäden verhüten, sondern darüber hinaus die Arbeit zu einem leistungsfördernden Faktor entwickeln will. Das beginnt mit dem Studium des Arbeits- und Produktionsprozesses und des Einflusses der Arbeit auf den physiologischen Funktionsablauf des Menschen. Dabei müssen aber auch die Wirkungsweise der zur Verarbeitung kommenden Rohstoffe und der dabei möglicherweise entstehenden Abgase oder Stäube, die technischen Voraussetzungen, die äußeren Arbeitsbedingungen sowie die Organisation der Arbeit mit berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Erarbeitung praktischer Vorschläge zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen und in einigen Fällen auch für spätere gesetzliche Bestimmungen. Dazu gehören zum Beispiel die Ausarbeitung von Maßnahmen – unter Einbeziehung der Technik – zur Durchführung des medizinischen und technischen Arbeitsschutzes, zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen, zur Verhütung von Berufskrankheiten und die Verbesserung der hygienischen Einrichtungen in den Betrieben.

Ziel muß sein, für alle Werktätigen gesunde und optimale Arbeitsbedingungen zu schaffen und den Arbeitsablauf durch bessere Organisation zu systematisieren, damit Gesundheit und Leistungsfähigkeit bis ins hohe Alter hinein erhalten bleiben.

Die Arbeitshygiene bedient sich zur Durchführung ihrer Aufgaben der Methoden und Erkenntnisse der Medizin, der Physiologie, der Pathologie, der medizinischen Statistik, der Physik, Chemie und der speziellen Technik der einzelnen Produktionszweige.

Die erfolgreiche Lösung arbeitshygienischer Probleme ist aber nur dann möglich, wenn die technologischen Voraussetzungen und die hygienisch-technischen Bedingungen zumindest annähernd in Übereinstimmung gebracht werden können. Dabei muß von der Einheit des Organismus in seinen Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen mit der Umwelt und der führenden Rolle des Nervensystems bei allen Prozessen ausgegangen werden.

Heute wird oft noch eine Teilung in geistige und körperliche Arbeit vorgenommen. Diese Einteilung entspricht nicht dem normalen Funktionsablauf beim Menschen, denn bei jeder Muskeltätigkeit ist zwangsläufig das ganze Nervensystem beteiligt und auf der anderen Seite wird jede geistige Tätigkeit von bestimmten Formen der Muskeltätigkeit begleitet.

Es gibt jedoch Arbeiten mit vorwiegend körperlicher oder vorwiegend geistiger Bean-

spruchung, wobei sich mit der Mechanisierung und Automatisierung der Arbeitsprozesse die Grenzen zwischen beiden immer mehr verwischen.

Grobe Muskelarbeit wird in zunehmenden Maße in allen Produktionszweigen durch die Bedienung komplizierter Maschinen und Geräte abgelöst. Die beste Form der Arbeit, wie wir sie anstreben, ist ein harmonisches Zusammenspiel von körperlicher und geistiger Tätigkeit.

Von ganz speziellen Aufgaben und den Berufserkrankungen abgesehen, auf die hier nicht eingegangen werden soll, beschäftigt sich die Arbeitshygiene mit:

- den Fragen der Arbeitsorganisation und ihrer gesundheitlichen Bedeutung,
- der Leistungsfähigkeit in den verschiedenen Lebensabschnitten, besonders auch der Frau,
- den Problemen der Arbeitszeit, Schichtarbeit, Nachtarbeit, der Ermüdung durch die Arbeit, Pausengestaltung als Erholfaktor u. a.,
- der optimalen Gestaltung des Arbeitsplatzes und des Arbeitsraumes einschließlich Belichtung, Belüftung und des Arbeitslärms,
- den sanitären und sozialen Einrichtungen des Betriebes, dem Unfallgeschehen und der Unfallverhütung usw.

Aus der Fülle der Probleme sollen hier nur einige Beispiele näher erläutert werden.

Arbeitszeit

Die Arbeitszeit muß man in engem Zusammenhang mit der Ermüdung, der Erholung und der Arbeitsleistung betrachten. Unter Berücksichtigung aller genannten Faktoren kann man einen ökonomischen, arbeitshygienischen und einen kulturell-sozialen Arbeitstag unterscheiden.

Der ökonomische Arbeitstag, der nur die Probleme der Arbeitszeit von der Produktion aus betrachtet, also Produktionsleistung und -kosten im Vordergrund sieht, steht im gewissen Gegensatz zu den arbeitshygienischen, kulturellen und sozialen Fragen des Arbeitstages. Der arbeitshygienische Arbeitstag geht davon aus, daß die Dauer der Arbeitszeit in einem bestimmten Verhältnis zur möglichen Beanspruchung stehen muß. Durch die Gewährung ausreichender Pausen soll eine Übermüdung oder spätere Erschöpfung verhindert werden. Unter dem kulturell-sozialen Arbeitstag dagegen versteht man die tägliche Arbeitszeit, die ohne Berücksichtigung der Ermüdung und der Produktionsleistung dem Werktätigen die größtmöglichste Freizeit zur Erholung gewährt. Von einer optimalen Arbeitszeit könnten wir sprechen, wenn die positiven Faktoren aller drei Formen gleichzeitig Berücksichtigung finden würden. Die Klärung dieser Fragen gehört zu den wichtigsten Aufgaben der Arbeitshygiene.

Angestrebt wird ein Arbeitstag, der unter Berücksichtigung einer hohen Produktion eine bestimmte tägliche Arbeitsleistung bei möglichst kurzer Arbeitszeit und möglichst geringer Ermüdung erreicht.

Je länger ein Arbeitstag ist, der noch dazu mit gleichbleibender intensiver Arbeitsleistung absolviert wird, um so größer sind die auftretenden Ermüdungserscheinungen. Daraus läßt sich ableiten, daß bei Verkürzung der Arbeitszeit, aber gleichbleibender Arbeitsintensität, die Ermüdung am Ende der Arbeitszeit geringer ist. Muß dagegen, um die gleiche Produktionsleistung in der verkürzten Arbeitszeit zu bringen, die Inten-

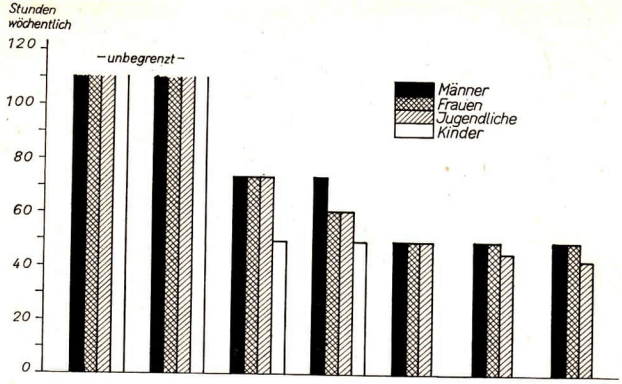


Abb. 145 Dauer der Arbeitszeit (Schema) in den verschiedenen geschichtlichen Epochen (von links: Altertum, Mittelalter, 1891, 1908 1918, 1950, 1957).

sität der Arbeitsleistung erhöht werden, so werden die Vorteile der Arbeitszeitverkürzung durch eine stärkere Ermüdung zunichte gemacht. Erst wenn also durch die Verbesserung der Technik die Gewähr besteht, daß die Verkürzung der Arbeitszeit keine Intensivierung der Leistung nach sich zieht, ist sie sinnvoll. Natürlich kann man durch Übung ganz allgemein auch zu einer Intensitätssteigerung kommen, ohne daß sie eine erhöhte Ermüdung zur Folge hat. Wichtig ist dabei nur, daß man diese Steigerung verhältnismäßig langsam durchführt, damit sich der Organismus jeder neuen Arbeitssituation in vollem Umfange anpassen kann. Um nicht schon durch die Länge der Arbeitszeit – in diesem Falle einmal unabhängig von der Schwere der Arbeit betrachtet – gesundheitliche Schäden hervorzurufen, ist sie in der DDR durch das Arbeitsgesetzbuch verbindlich geregelt. Jugendliche, deren Organismus durch die sich vollziehende körperliche Entwicklung besonders empfindlich auf Überbelastungen reagiert, dürfen nur verkürzt arbeiten. Die Arbeitszeit beträgt bis zum 16. Lebensjahr 40 Wochenstunden, bis zum 18. Lebensjahr 42 Stunden wöchentlich. Außerdem erhalten sie 21 bzw. 18 Tage Urlaub (Abb. 145).

Am Ende eines Arbeitstages ist – auch wenn keine Sonderbelastung vorhanden war – eine bestimmte Ermüdung nachweisbar. Sie ist abhängig von der Art der Arbeit, den Arbeitsbedingungen, dem Alter, dem Geschlecht, dem allgemeinen Gesundheitszustand, der Berufserfahrung, und außerdem spielen auch psychisch-nervale Faktoren dabei eine große Rolle. Die normale Form der Ermüdung ist durch eine Erholungspause und genügend Schlaf bis zum nächsten Arbeitstag wieder überwunden. Übersteigt die Müdigkeit jedoch das normale Maß und wird sie nicht durch eine ausreichende Erholung wieder ausgeglichen, bleiben Ermüdungsreste, auf die sich die neuen Ermüdungserscheinungen aufstocken. So kommt es schließlich zu einer Übermüdung. Dieser Zustand ist durch

eine verlängerte Erholungspause mit viel Schlaf wieder auszugleichen. Findet dieser Ausgleich nicht statt, so bildet sich langsam ein Erschöpfungszustand heraus, bei dem die nervöse Reizbarkeit, die bei der Übermüdung nur zeitweilig auftritt, die gesamte Lebenssituation bestimmt. Aus dieser Phase kann sich der Mensch nur selten wieder allein herausbringen, da sie durch die nervliche Überreizung mit Schlaflosigkeit verbunden ist.

Durch eine Einstellungsuntersuchung wird deshalb versucht, die Werktätigen nur auf Arbeitsplätzen einzusetzen, die ihrer Leistungsmöglichkeit entsprechen. Daneben hat jedoch jeder einzelne die gesellschaftliche Pflicht, seine persönlichen Lebensgewohnheiten so zu gestalten, daß es möglichst nicht zu einer Übermüdung, keinesfalls aber zu einer Erschöpfung kommt.

Hitzearbeit

Beträgt die Temperatur am Arbeitsplatz mehr als 25 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von 60%, oder mehr als 28 °C, unabhängig von der Luftfeuchtigkeit, wird die Tätigkeit als Hitzearbeit eingestuft.

Die Arbeit in diesem Hitzemilieu stellt besondere gesundheitliche Anforderungen an den dort Tätigen. Die Leistungsfähigkeit eines Hitzearbeiters ist neben seinem allgemeinen Gesundheitszustand einmal von der Körperkonstitution abhängig, zum anderen von der Gewöhnung an die bestehenden Temperaturen.

Ganz allgemein betrachtet, wirkt ein Hitzemilieu so lange nicht gesundheitsschädlich, wie der Mensch genügend Schweiß produzieren und der Schweiß verdunsten kann. Das ist abhängig von der aufgenommenen Flüssigkeitsmenge und der herrschenden Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung.

Da die gesundheitliche Dauerschädigung eines Hitzearbeiters eine große Gefahr darstellt, werden besondere hygienische Maßnahmen für den dort arbeitenden Personenkreis gefordert. Das beginnt bereits bei der Einstellungsuntersuchung. Es hat sich gezeigt, daß große, füllige Menschen mit einer starken Ausbildung des Unterhautfettgewebes und auch Frauen einer ständigen Hitzebelastung kaum gewachsen sind. Selbst ein normal gesunder Mensch gewöhnt sich nur langsam an diese besonderen Arbeitsbedingungen. Zunächst kommt es bei Arbeitsaufnahme zur Störung im Wärmehaushalt, die zum Anstieg der Körpertemperaturen bis auf 40 °C und starker Pulserhöhung sowie erheblichen Schweißausbrüchen führt.

In den ersten Arbeitstagen darf, da ja ohnehin der Körper infolge der ständig erhöhten Temperatur starken Belastungen ausgesetzt ist, keine schwere Arbeit ausgeführt werden. Schon nach wenigen Tagen beginnt sich die Anpassung einzuspielen. Nach etwa 4 bis 6 Wochen ist der Arbeiter dann völlig angepaßt. Das zeigt sich zum Beispiel dadurch, daß der Organismus auf die Hitze mit der kontinuierlichen Schweißproduktion reagiert. Ein diesen Bedingungen angepaßter Arbeiter kann bis zu 1 Liter Schweiß in der Stunde absondern, das sind etwa 20 bis 40% mehr als beim Nichtangepaßten. Außerdem ist der Schweiß des Angepaßten wesentlich salzarmer.

Zur Erhaltung der normalen Funktionsabläufe des Organismus ist es jedoch notwendig, daß besondere arbeitshygienische Forderungen berücksichtigt werden und der Gesundheitszustand dieser Arbeiter ständig überprüft wird. Zu den speziellen arbeits-

hygienischen Maßnahmen gehört zum Beispiel das Bereitstellen von Getränken durch den Betrieb, um den ständigen Flüssigkeitsverbrauch abzudecken. Tees verschiedener Geschmacksrichtungen sind dafür zu empfehlen, alle kohlensäurehaltigen Getränke sind abzulehnen. Weiter gehört dazu die Einhaltung von Abkühlungspausen zur Entlastung des Kreislaufs, die Verkleidung der wärmestrahlenden Objekte, die Regulierung der Belüftung, das Tragen einer zweckentsprechenden, also wärmeabstrahlenden und schweißaufsaugenden Arbeitsschutzbekleidung und die allgemeine Verkürzung des Arbeitstages (Walzwerk, Hüttenwerker).

Im Mittelpunkt der arbeitshygienischen Forschung steht der Mensch, der durch die Arbeit keinen gesundheitlichen Schaden erleiden soll. Deshalb werden neben allgemeingültigen Forderungen auch spezielle aufgestellt, wie hier am Beispiel der Hitzearbeit gezeigt werden sollte.

Betriebsgesundheitsschutz

Die Arbeitshygiene wird bei der Durchführung und Erfüllung ihrer Aufgaben sehr wesentlich durch das Betriebsgesundheitswesen unterstützt, einen Spezialzweig des Gesundheitswesens, der sich ausschließlich mit der Betreuung der Werktätigen befaßt.

Die Größe des Betriebes bestimmt die Art der entsprechenden Einrichtung:

Gesundheitsstube in Betrieben bis zu 200 Beschäftigten, Raum mit Liege, Kasten für Erste Hilfe und fließendem Wasser, Betreuung ehrenamtlich durch DRK-Helfer.

Schwesternsanitätsstelle in Betrieben von 200 bis 500 Beschäftigten, 3 Räume: Warte-, Sprech- und Behandlungszimmer (Höhensonne, Massage u. dgl.), Leitung durch staatlich geprüfte Krankenschwester.

Arztsanitätsstelle in Betrieben von 500 bis 2 000 Beschäftigten, ebenfalls 3 Räume, Leitung durch nebenamtlich tätigen Arzt, ebenfalls mit Krankenschwester besetzt.

Betriebsambulatorium 2 000 bis 4 000 Beschäftigte, Leitung durch hauptamtlich tätigen Arzt, zusätzlich Labor und weitere Einrichtungen und Behandlungsräume je nach Bedarf und Möglichkeit.

Betriebs-Poliklinik von 4 000 Beschäftigten an.

Betriebe mit weniger als 200 Beschäftigten werden von der Einrichtung eines größeren Nachbarbetriebes mitbetreut.

Die gesetzlichen Grundlagen für die Arbeit des Betriebsgesundheitswesens sind, neben den für die ärztliche Versorgung allgemein gültigen Bestimmungen, das am 12. 4. 1961 beschlossene Arbeitsgesetzbuch und die hierauf aufbauenden Verordnungen zur Erhaltung und Förderung der Gesundheit der Werktätigen im Betrieb (1962).

Außerdem wird durch die 7. Durchführungsbestimmung über die weitere Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen der Arbeiter und der Rechte der Gewerkschaften (ärztliche Reihenuntersuchungen) von 1957 die Durchführung der jährlichen Reihenuntersuchungen geregelt.

Danach müssen einmal im Jahr folgende Personen ärztlich kontrolliert werden:

- Jugendliche bis zum vollendeten 18. Lebensjahr
- Werktätige, die mit körperlich schweren Arbeiten beschäftigt sind,
- Werktätige, die mit gesundheitsgefährdenden Arbeiten beschäftigt sind,
- Schwangere, deren Arbeit hinsichtlich der Schwangerschaft gesundheitsgefährdend werden kann.

Die Aufgaben des Betriebsgesundheitswesens sind natürlich wesentlich umfangreicher. Man kann sie wie folgt zusammenfassen:

- die vorgeschriebenen vorbeugenden Maßnahmen, wie Reihen-, Eignungs- und Überwachungsuntersuchungen sowie Impfungen, durchzuführen bzw. zu veranlassen,
- die Betreuung der Unfallverletzten und akut Erkrankten zu sichern,
- die hygienischen Verhältnisse an den Arbeitsplätzen und in deren unmittelbarer Umgebung sowie in den sozialen Einrichtungen zu kontrollieren,
- den Betriebsleiter bei der Verbesserung der hygienischen Verhältnisse zu unterstützen,
- den Gesundheitsschutz der Werktätigen nach medizinischen Gesichtspunkten auszuwerten und bei der Festlegung und Durchführung von Maßnahmen zur Senkung des Krankenstandes mitzuarbeiten,
- in der Ärzteberatungskommission maßgeblich mitzuwirken, den Betriebsleiter bei der Bekämpfung von Gesundheitsgefahren, insbesondere bei der Verhütung von Berufskrankheiten, anzuleiten,
- den Betriebsleiter hinsichtlich der Beschäftigung von Frauen, Jugendlichen, Altersrentnern, Schwerbeschädigten, Rekonvaleszenten und Rehabilitanden zu beraten und Ermittlungen entsprechend den Bestimmungen über die Melde- und Entschädigungspflicht bei Berufskrankheiten durchzuführen.

Außerdem werden Probleme untersucht, die sich durch die Umgestaltung der Landwirtschaft und deren fortschreitende Mechanisierung ergeben haben.

Mit der Festlegung dieser Aufgaben sind die besten Voraussetzungen gegeben, daß nicht nur die zu erbringende Produktionsleistung den Arbeitsablauf bestimmt, sondern auch die Arbeitsschutzmaßnahmen und die gesundheitlichen Belange im vollen Umfang berücksichtigt werden.

Für die Durchführung und Realisierung aller Maßnahmen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes im Betrieb ist der Betriebsleiter verantwortlich. Unterstützt wird er in dieser Arbeit durch bestimmte Fachleute und durch die gesellschaftlichen Organisationen. Entsprechende Hilfe für die technischen Belange gibt der Sicherheitsingenieur oder Sicherheitsinspektor, für die Durchführung und Einhaltung der Arbeitsschutzmaßnahmen zeichnet die Gewerkschaft verantwortlich, und die Fragen des Gesundheitsschutzes gehören in das Aufgabengebiet des Betriebsgesundheitswesens, vertreten durch den jeweiligen Betriebsarzt. Im Gegensatz zum Betriebsarzt im Kapitalismus gehört er nicht mehr unmittelbar zum Betrieb, sondern er ist Angestellter des staatlichen Gesundheitswesens. Er hat das Recht, den Betriebsleiter mit der Durchführung bestimmter Maßnahmen, die zum Schutze der Arbeiter und zur Erhaltung ihres Gesundheitszustandes erforderlich sind, zu beauftragen.

Dabei gelten selbstverständlich entsprechend dem heutigen Stand der gesellschaftlichen Entwicklung sowie dem Stand der technischen und medizinischen Wissenschaften

1. das Prinzip der Einheit von Planung, Produktion und Gesundheits- und Arbeitsschutz;
2. das Prinzip der gefahrlosen Technik;
3. das Prinzip der Vermeidbarkeit von Krankheiten und Betriebsunfällen;
4. das Prinzip der politischen und rechtlichen Verantwortung der leitenden Staats- und Wirtschaftsfunktionäre für Leben und Gesundheit der ihnen anvertrauten Werktätigen;

5. das Prinzip der politisch-moralischen Verantwortung der Werktätigen sowohl beim Schutz ihres Lebens und ihrer Gesundheit als auch bei ihrer aktiven Mitwirkung im Rahmen der Gestaltung des Gesundheits- und Arbeitsschutzes;
6. das Prinzip der Gesundheitserziehung.

Gesundheitserziehung

Jeder Bürger der DDR genießt weitestgehend Versicherungsschutz.

Die Versicherung trägt die vollen Kosten bei ambulanter und stationärer Behandlung einschließlich Kuren, gewährt Krankengeld und Renten sowie Unterstützungen bei Geburten und bei Todesfällen; außerdem ist die Versorgung mit Medikamenten, Heil- und Hilfsmitteln (Einlagen, Prothesen, voller Zahnersatz usw.) kostenlos.

Die Ausgaben der Sozialversicherung haben sich von 4 499 000 DM im Jahre 1951 bis auf 8 547 000 DM im Jahre 1962 erhöht. Das beweist die immer umfassendere gesundheitliche Betreuung der gesamten Bevölkerung in unserer Republik. So sind beispielsweise 30 Röntgenzüge und 125 transportable Schirmbildgeräte im ständigen Einsatz, um in Stadt und Land die jährlichen Reihenuntersuchungen durchzuführen. Das ist eine Maßnahme des aktiven Kampfes gegen die Lungentuberkulose. Fahrbare Zahnstationen erleichtern die zahnärztliche Betreuung besonders der Landbevölkerung. Immer mehr Landambulatorien sorgen auch dort für die umfassende ärztliche Versorgung auf allen Spezialgebieten. Durch die weitere Erhöhung der Anzahl der Ärzte soll erreicht werden, daß die heute teilweise noch bestehenden unterschiedlichen medizinischen Versorgungsmöglichkeiten zwischen Stadt und Land sich immer mehr ausgleichen. Die einheitliche Leitung des gesamten Gesundheitswesens in der DDR durch ein besonderes Ministerium sowie die Planung und Abstimmung mit den einzelnen Bezirken und Kreisen nach bestimmten Schwerpunkten bieten dafür die beste Gewähr.

Aber alle gesetzlichen Festlegungen, alle Maßnahmen zur Erweiterung und ständigen Verbesserung des Gesundheitswesens, können nur dann wirksam werden, wenn jeder Bürger von der Notwendigkeit überzeugt ist, daß auch er seinen Beitrag zur weiteren Verbesserung der Gesundheit leisten muß.

Die **persönliche Hygiene** ist eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen Kampf gegen Krankheiten und Seuchen. Sie umfaßt alle Lebensalter und alle Lebenssituationen und muß ein fester Bestandteil des gesamten Lebensablaufes sein. Ihren Niederschlag darf sie nicht nur in der allgemeinen Körperpflege finden, sondern auch in der gesunden Ernährung, der Art und Weise der Bekleidung, der Einrichtung der Wohnung sowie eines Tagesablaufes, der ausreichend Zeit für Erholung und Schlaf und eine sinnvolle Freizeitgestaltung gewährleistet. Wird mit der Erziehung zu hygienischen Gewohnheiten schon beim Säugling begonnen, werden diese Gewohnheiten im Vorschul- und Schulalter weiter gefestigt und altersentsprechend ständig erweitert, so gehören die Regeln der Hygiene zu den normalen Lebensgewohnheiten und werden später nicht als etwas zusätzlich zu Erfüllendes angesehen.

Die ständige Verbesserung der Lebensbedingungen sowie die besseren Wohnverhältnisse gestatten es den Menschen, heute hygienischer zu leben. Spricht man heute über die Fragen der persönlichen Hygiene mit älteren Schulkindern und Jugendlichen, so

kann man größtenteils die einfachen Grundregeln, wie das Waschen, Zähneputzen, Kenntnisse über die witterungsangepaßte zweckmäßige Bekleidung usw. voraussetzen.

Dagegen bestehen über die richtige Gestaltung des Tagesablaufes noch recht viele Unklarheiten, sicher dadurch bedingt, daß es hierfür keine einheitlichen Regeln gibt. Der Tagesablauf muß jeweils individuell gestaltet werden, entsprechend der zu bewältigenden Arbeitsleistung. Er ist jedoch so zu gestalten, daß immer genügend Zeit zur Erholung bleibt, sonst besteht die Gefahr der Übermüdung und schließlich der Erschöpfung.

Bei der überwiegend geistigen Belastung, wie sie auch in der Schule besteht, sollte in der Erholungsphase die körperliche Betätigung vorherrschen. Diese Form der Erholung wird als aktive Erholung bezeichnet und hat vor allem die Aufgabe, den normalen Funktionsablauf des Organismus (Anregung des Blutkreislaufes, der Verdauung, Erhaltung und Förderung der Beweglichkeit usw.) zu erhalten und einer bestehenden Trägheit entgegenzuwirken. Menschen, bei denen die körperliche Belastung im Vordergrund steht, ist dagegen mehr zu einer passiven Erholung in Form von Ruhe oder geistiger Betätigung zu raten. Sowohl bei der vorwiegend geistigen, aber auch bei der vorwiegend körperlichen Belastung ist der ausreichende Nachtschlaf die unbedingte Voraussetzung für die Erholung überhaupt. Dabei ist wissenswert, daß die Erholungsphase bis zur Herstellung eines neuen Leistungsoptimums nach körperlicher Ermüdung kürzer ist als nach geistiger Beanspruchung. Schüler zwischen dem 14. und 16. Lebensjahr benötigen durchschnittlich noch 8 Stunden Nachtschlaf. Bei älteren Schülern sollte diese Zeit aber keineswegs unter 7 Stunden liegen.

Da der Jugendliche bereits mit äußeren Gefahren in Berührung kommt, die den Regeln der Hygiene und der Gesundheitserziehung entgegenstehen, soll hier besonders auf die Wirkungsweise einiger dieser Gefahren hingewiesen werden.

Alkohol

Mit jeder Alkoholaufnahme kommt es zu Vergiftungserscheinungen des Körpers. Die Stärke der Vergiftung ist abhängig von der Menge und der Konzentration des aufgenommenen Alkohols, vom Zeitpunkt und der Dauer der Aufnahme sowie vom Füllungszustand des Magens bei Beginn der Alkoholaufnahme. Der Alkohol wirkt wie eine Narkose direkt auf die Nervenzellen ein. Dieser Einfluß auf die Nervenzellen zeigt sich zuerst in einer seelischen Veränderung. Die Hemmungen verschwinden und machen einer gewissen Selbstüberschätzung Platz. Wird mehr Alkohol getrunken, so schreiten die Betäubungserscheinungen der Nervenzellen fort. Ein unsicherer Gang, Doppeltsehen und eine kaum noch vorhandene Kritikfähigkeit sind die Auswirkungen. Unfälle, Gewalttaten und moralische Entgleisungen können die Folge sein, oder aber auch Bekanntschaften zwischen Menschen, die sich im nüchternen Zustand ablehnen würden, können sich anbahnen.

Der Alkohol betrügt den Menschen. Unter seiner Einwirkung werden Sorgen vorübergehend vergessen, die am nächsten Morgen mit doppelter Stärke wieder da sind, durch leichtfertiges Handeln können Unfälle heraufbeschworen werden, für deren Folgen man vielleicht ein ganzes Leben aufkommen muß. Auch das durch Alkohol erzeugte Wärmegefühl ist trügerisch. Über die Lähmung der Nervenendigungen kommt es zu einer Erweiterung der Blutgefäße und somit einem Abgeben der Körperwärme

nach außen. Dadurch kommt es, trotz des zunächst vorhandenen Wärmegefühls, zu einer langsamen Unterkühlung des Körpers. So mancher ist schon im Alkoholrausch erfroren. Der Alkohol ist ein Feind der körperlichen und geistigen Gesundheit. Es kommt zu einer allgemeinen Herabsetzung der Leistungsfähigkeit, aber auf die Dauer schädigt der Alkohol auch das Herz, die Nieren und die Leber. Diese durch Alkohol entstandenen Schäden führen meist zu dauerndem Siechtum und schließlich zum Tod. Da der Staat die Sorge für die kranken Menschen in vollem Umfang übernommen hat, ist die Frage des Alkoholgenusses auch ein gesellschaftliches Problem, zu dem man schon von Jugend an eine richtige Stellung beziehen muß. Dem Alkohol verfallen bedeutet nicht nur Zerstörung seiner eigenen Persönlichkeit und Zerrüttung der Familie mit starker Entwicklungshemmung der Kinder, sondern auch eine Belastung der Gesellschaft in höchstem Maße.

Fröhlich sein kann man nicht nur unter Einfluß von Alkohol, wobei fröhlich hier hemmungslos bedeutet, fröhlich sein aber im wahrsten Sinne des Wortes kann man dagegen in einer Gesellschaft gleichgesinnter und lieber Menschen.

Nikotin

Auf der ganzen Welt setzt man sich mit dem Tabakproblem auseinander, und heute besteht kein Zweifel mehr, daß durch das Rauchen das Entstehen von Krankheiten verursacht beziehungsweise begünstigt wird. Die Lebenschancen für Raucher liegen deutlich niedriger als für Nichtraucher. Zur Zeit erreichen etwa von 100 000 Nichtrauchern 66 000 das 60. Lebensjahr. Bei den Rauchern sind es aber nur 46 000. Besonders das Nikotin, aber auch der Tabakteer haben eine gesundheitsschädigende Wirkung. Nikotin schädigt vor allem das Nervensystem. Da das Nervensystem alle lebensnotwendigen Funktionen steuert und die koordinierten Abläufe der Tätigkeit aller Organsysteme reguliert, überträgt sich die zunächst nervenerregende, später aber nervenlähmende Wirkung des Nikotins auf den gesamten Organismus. Hier kommt es zu mannigfaltigen Störungen, die zunächst durch die Anpassungsfähigkeit des Körpers ohne große Beeinträchtigung ausgeglichen werden. Die Beeinflussung des Herz- und Kreislaufsystems steht dabei an erster Stelle. Über zunächst harmlose Beschwerden, wie Herzstechen und Herzklopfen, kann es zu ernsthaften Störungen kommen, die sich vorwiegend als Blutdruckerhöhung und Durchblutungsstörungen manifestieren und schließlich zu einer lebensbedrohlichen Situation, dem Herzinfarkt, führen können. Aber auch Magengeschwüre, das Faltigwerden der Haut, Ohrensausen oder Kopfschmerzen können ihre Ursachen im Nikotinmißbrauch haben.

Im Gegensatz zum Nikotin entsteht der Tabakteer erst durch das Verbrennen des Tabaks. Er enthält eine Reihe chemischer Verbindungen, von denen die zyklischen Kohlenwasserstoffe in den letzten Jahren wegen ihrer krebserzeugenden Eigenschaften ganz besondere Beachtung gefunden haben. Es konnte festgestellt werden, daß bei Rauchern ein höherer Krebsbefall an den Organen besteht, die unmittelbar der Raucheinwirkung ausgesetzt sind, als bei Nichtrauchern. Etwa 97 % aller Kehlkopfkrebse und 93 % aller Lungenkrebse wurden bei Rauchern diagnostiziert.

Die ursächliche Wirkung des Teers als krebserzeugende Substanz wurde noch dadurch unterstrichen, daß im Tierexperiment durch Tabakteerpinselungen künstlich Krebs erzeugt werden konnte.

Ganz besonders anfällig gegenüber schädlichen Einflüssen sind das Kind und der Jugendliche, deren Wachstums- und Entwicklungsabläufe dadurch beeinträchtigt werden. Obwohl zunächst keine unmittelbare Wirkung nachweisbar ist, können jedoch in diesem Alter bereits die Anfänge späterer Krankheiten liegen.

Weder durch das Abwenden vom Alkohol noch durch die Ablehnung des Rauchens werden bei einem Menschen die Freuden des Lebens gemindert. Sport, Wandern, Reisen, die Beschäftigung mit Kunst und Literatur, sind die echten Freuden des Lebens, die wir länger in voller Gesundheit erleben und genießen können, wenn wir von Jugend an unseren Körper weder mit Alkohol noch mit Tabak vergiften, sondern den Regeln der Hygiene mehr Beachtung schenken.

Wichtige gesetzliche Bestimmungen zur Hygiene

Verfassung der DDR

Gesetz über den Mutter- und Kinderschutz und die Rechte der Frau
GBl 1950, S. 1037

Gesetz zur Änderung des Gesetzes über den Mutter- und Kinderschutz und die Rechte der Frau
GBl 1958 I, S. 416
6. Durchführungsbestimmung
GBl 1958 I, S. 446

Verordnung über die hygienische Überwachung der zentralen Wasser und Abwässer
GBl 1953, S. 913

Verordnung über die hygienische Überwachung der zentralen Wasserversorgungsanlagen
GBl 1951, S. 794

Verordnung über die Hygieneinspektion
GBl 1952, S. 1271

1. Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die weitere Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen der Arbeiter und der Rechte der Gewerkschaften – Erweiterung des Netzes der Einrichtungen des Gesundheitswesens in den Betrieben –
GBl 1954, S. 409

Beschluß über die weitere Entwicklung des Gesundheitsschutzes der Bevölkerung in der DDR
GBl 1954, S. 597

7. Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die weitere Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen der Arbeiter und der Rechte der Gewerkschaften – Ärztliche Reihenuntersuchungen der Arbeiter –
GBl 1955 I, S. 505

Verordnung zum Schutze der Jugend
GBl 1955 I, S. 641

Gesetzbuch der Arbeit (Kap. 1–12)
GBl 1961 I, S. 27

Lebensmittelgesetz
GBl 1962 I, S. 111

Verkürzung der Arbeitszeit für schwere und gesundheitsgefährdende Arbeit
GBl 1962 II, S. 479

„Die Frau, der Frieden und der Sozialismus" im Gesundheits- und Sozialwesen der DDR
VuM MfG 1962, Nr. 4, S. 25

Hygieneüberwachung der im Verkehr mit Lebensmitteln beschäftigten Personen
GBl 1963 II, S. 279

Zur raschen Entwicklung auf dem Gebiete der Hygiene, Bakteriologie und Serologie seit der Mitte des 19. Jahrhunderts haben neben anderen Wissenschaften (Chemie, Physik) und der Vervollkommnung der technischen Mittel (optische Geräte u. a.) viele Mediziner und Biologen wesentlich beigetragen. Im folgenden sollen einige von ihnen vorgestellt werden.

Emil von Behring (1854 bis 1917), Schüler von ROBERT KOCH, später Professor der Bakteriologie in Marburg. BEHRING entdeckte 1890 das Diphtherieheilserum und wurde damit zum Begründer der Serumtherapie (passive Immunisierung).

Er entwickelte außerdem noch andere Verfahren der Serumtherapie und Vakzination gegen Infektionskrankheiten. 1901 erhielt er als erster den Nobelpreis für Medizin.

Albert Calmette (1863 bis 1933), Schüler von PASTEUR. Französischer Arzt und Bakteriologe, Professor, Direktor des Pasteur-Instituts in Saigon und Lille, später in Paris. CALMETTE entwickelte 1926 zusammen mit Professor GUÉRIN einen Impfstoff gegen die Tuberkulose. Aus Kulturen von **B**akterium **C**almette-**G**uérin wird unter staatlicher Kontrolle der BCG-Impfstoff gewonnen, der zur Bildung von Abwehrstoffen gegen Tbk unter die Haut gespritzt wird. CALMETTE entwikkelte außerdem ein nach ihm benanntes Serum gegen Schlangengift.

Jean-Marie Camille Guérin (1862 bis 1961), Professor der Bakteriologie. GUÉRIN war Leiter des Pasteur-Instituts in Paris und entwickelte zusammen mit Professor CALMETTE den BCG-Impfstoff gegen die Tuberkulose.

Edward Jenner (1749 bis 1823), englischer Landarzt. JENNER entdeckte, daß eine Kuhpockeninfektion die davon Betroffenen vor einer echten Pockenerkrankung schützt. Aus dieser Erkenntnis heraus entwickelte er die Pockenschutzimpfung (1796), die erste auf wissenschaftlicher Grundlage aufgebaute Schutzimpfung gegen Infektionskrankheiten.

Robert Koch (1843 bis 1910), Arzt und bedeutender Bakteriologe. KOCH schuf die noch heute gültigen Grundlagen der experimentellen medizinischen Bakteriologie (Fixierung und Photographie des gefärbten Erregers, seine Reinzüchtung auf festen Nährböden und Tierversuche zum Nachweis der krankheitserregenden Eigenschaft des reingezüchteten Bakteriums). KOCH entdeckte 1876 die Sporenbildung des Milzbrandbazillus und klärte damit die Übertragung des Milzbrandes. 1882 gelang ihm die Entdeckung des Tuberkulosebakteriums und 1883 die des Choleraerregers. – 1885 war KOCH Professor der Hygiene an der Universität Berlin, ab 1891 leitete er als Direktor das später nach ihm benannte Institut für Infektionskrankheiten an der Charité in Berlin. 1905 erhielt KOCH den Nobelpreis für Medizin.

Karl Landsteiner (1868 bis 1943), österreichischer Hygieniker und Pathologe in Wien, Den Haag und New York. LANDSTEINER führte Untersuchungen über die Agglutination des Blutes durch und entdeckte dabei die Blutgruppen des Menschen (A, B, 0 um 1900; mit LEVINE 1927 die Eigenschaften M, N u. P; mit WIENER 1940 das Rh-System). Er begründete damit die heutige Blutgruppenlehre. Er arbeitete auch an der Erforschung der Kinderlähmung und deren Erreger (Übertragung auf Affen). 1930 erhielt LANDSTEINER den Nobelpreis für Medizin.

Iwan Petrowitsch Pawlow (1848 bis 1936), russischer Physiologe, 1890 zum Professor ernannt. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts widmete sich PAWLOW fast ausschließlich und mit großem Erfolg der Erforschung der höheren Nerventätigkeit (Begründer der Lehre von den bedingten Reflexen). Für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Verdauungsphysiologie erhielt er 1904 den Nobelpreis.

Louis Pasteur (1822 bis 1895), bedeutender Chemiker, bahnbrechend auf dem Gebiet der Bakteriologie und angewandten Immunologie tätig. PASTEUR kann als Begründer der wissenschaftlichen Mikrobiologie angesehen werden (etwa 1860). Er war Professor der Physik in Dijon und der Chemie in Straßburg, Lille und Paris. PASTEUR widerlegte endgültig die Theorie von der Urzeugung, führte Gärung und Fäulnis auf Mikrobeneinwirkung zurück. Auf chemischem Gebiet begründete er die Lehre von der optischen Aktivität und der Asymmetrie der C-Atome. Später arbeitete er erfolgreich an der Schutzimpfung und Heilimpfung mit abgeschwächten Bakterien und Viren bzw. Immunsera (Milzbrand- und Tollwutimpfung).

Albert B. Sabin (geb. 26. 8. 1906), amerikanischer Virologe (Universität Cincinnati). Dr. SABIN wurde durch seine Forschungen auf dem Gebiet der spinalen Kinderlähmung (Poliomyelitis) bekannt; er entwickelte eine neue Impfmethode gegen Kinderlähmung (orale Immunisierung mit lebenden virulenzgeschwächten Polio-Viren).

Michail P. Tschumakow (geb. 14. 11. 1909), Direktor des Instituts zur Bekämpfung der Kinderlähmung in der UdSSR, entwickelte die SABINsche orale Impfmethode mit Poliomyelitis-Lebend-Vakzine weiter.

Sachwörterverzeichnis

Das Zeichen * weist auf Abbildungen im Text hin

Adaptation 80 f.
Adrenalin 52
Agglutinine 35
Akkommodation 79 f., 80*
Allantois 106*
allgemeine Hygiene 251 ff.
Aminosäuren 127 f.
Amnionhöhle 104, 105*, 106*
Ampulle 74 ff., 75*
Anämie 38
Antitoxine 34
Arbeitshygiene 271 ff.
Astigmatismus 81
Atmung 23, 175 ff., 178*, 182
–, äußere 23
–, innere 23
Augenmuskulatur 78*
autotroph 154, 156 ff.
Avitaminosen 9

Bauchspeicheldrüse 17*, 18, 19, 167, 169*
Baustoffwechsel 149, 153 ff.
Betriebsstoffwechsel 149, 174 ff.
biologische Oxydation 170, 177 ff., 178*
blinder Fleck 78
Blutgefäße 39*, 45*
Blutgerinnung 36
Blutgruppen 37*
Blutplasma 31, 33
Blutserum 36
Bowmansche Kapsel 55*
Bronchien 26*

Chemosynthese 157
Chloroplast 138*
Chromosom 137*
Cortisches Organ 72, 73*
Cupula 75

Dickdarm 17*, 21, Farbtafel 2, 168 ff., 169*
Dünndarm 17*, 18, 19, 167 f., 168*, 169*

Eiweiße 7, 127 ff.
Eizelltypen 202*
Entwicklung 194 ff.
–, direkte 204 f.
–, indirekte 204 f.
Epiphyse 53
Epithelkörperchen 51
Erregung 211 ff.
Erythrozyten 31
Eustachische Röhre 70*
Exkretion 54

Fett 8
Fettstoffwechsel 184
Fortpflanzung 187 ff.
–, geschlechtliche 189 ff.
–, ungeschlechtliche 189

Gallensteine 22
Ganglien 86
Gärung 175, 179 ff.
Gehörknöchelchen 70* f.
gelber Fleck 78
Generationswechsel 206 ff., 208*
Genußmittel 11 f.
Gesamtumsatz 6
Geschlechtsorgane 56 ff., 57*, 59*
Gesundheitserziehung 278 ff.
Glykolyse 177, 178*
Graafscher Follikel 56
Grundstoffwechsel 184 f.
Grundumsatz 6

Hämoglobin 31
Harnorgane 54
Harnstoff 55
Haut 60, 61*
Herz 40, 41*
Herzkranzgefäße 42*
heterotroph 154, 164 ff., 172 ff.
Hormone 49 f.
Hornbildungen der Haut 62*
Hygiene 249 ff.
Hypophyse 52 f.

Immunisierung 35
–, aktive 35
–, passive 35
Immunität 34
–, künstliche 34
–, natürliche 34
Impfkalender 262
Iris 76, 77*

Kehlkopf 23, 24*, 25*
Keimschild 105*
Kohlenhydrate 7, 8
Kohlenstoffassimilation 157 ff.
Kolostrum 114
kommunale Hygiene 252 ff.
Krausesher Endkolben 66

Labyrinth
–, häutiges 71*
–, knöchernes 70*, 71* f.
Langerhanssche Inseln 51
Leber 17*, 20*
Leistungsumsatz 6
Leukämie 38
Leukozyten 31, 33
Luftröhre 16*, 23, 24* f.
Luftwechsel 28
Lunge 25, 26*
Lungenbläschen 26, Farbtafel 8
Lymphe 22, 47
Lymphknoten 48*
Lysine 35

Magen 17*, 166 f., 167*
Malpighisches Körperchen 54
Meißnersche Tastkörperchen 61*, 66
Meiose 190 f., 191*
Mineralstoffe 9
Mitose 146*, 191*

Nebennieren 51 f.
Nebenstoffwechsel 184 f.
Nervenendigungen, freie 66
Neurit 85*
Neurofibrillen 86
Neuron 86

Ohrtrompete 70*

Parasiten 172 ff.
Paukenhöhle 70*
Peristaltik 17, 21
Photosynthese 157, 158*, 182
Plazenta 105 f., 106*
Pneumothorax 27
Präzipitine 35
Primärfollikel 56
Protoplasma 125 ff., 133 ff., 134

Rachenhöhle 17
Ranvierscher Schnürring 85*
Reaktion 214 ff.

Reflexe
–, bedingte 97 ff.
–, unbedingte 98 ff.
Reiz 209 ff.
Reizbarkeit 209
Retina 77*
Ruffinische Körperchen 66

Saprophyten 172
Säurezyklus 177, 178*
Schilddrüse 50 f.
Schnecke 70*, 72*, 73*
Schwannsche Scheide 85*
Sehstörungen 82*
Sekundärfollikel 56
Seuchen 258 ff.
Sexualhormone 52
Signalsystem
–, erstes 97 ff.
–, zweites 98 ff.
Sozialhygiene 263 ff.
Speicheldrüsen 16*
Speiseröhre 17*, 169*
Stoffwechsel 149 ff.
Symbiose 173 f.

Tertiärfollikel 56
Thalamus 92 f.
Thrombozyten 31, 33
Thymusdrüse 51
Toxine 29
Trachom 82
Tränenapparat 79*
Trommelfell 70*

Urogenitalsystem 54, 57*, 59*

Vagusnerv 93
Vakuole 105, 134*, 140
Vater-Pacinische
Lamellenkörperchen 67
Verdauungsvorgänge 166 ff., 169*
Vitamine 9

Wachstumsbewegungen 220 ff.
Wasser 8
Wasserleitung 152*

Zelle 134*, 142 ff.
Zelldifferenzierung 147 f.
Zellkern 134*, 135*, 137
Zellmembran 134*, 141 f.
Zellplasma 134*, 135 f.
Zellsaft 140
Zellvermehrung 144 ff.
Zellwand 125, 134*, 140 f.

Farbtafel 1 Nerven und Blutgefäße der linken Halsseite

Farbtafel 2 Innere Organe der Brust- und Bauchhöhle

Farbtafel 3 Hintere Bauchwand
Gefäße, Nieren mit Nebennieren, Harnleiter, Harnblase

Farbtafel 4 Oben: Frontalschnitt durch Schädeldecke, Hirnhäute und Gehirn
Schk Schädelkapsel, hH harte Hirnhaut, Sph Spinnwebhaut, wH weiche Hirnhaut, gS graue Substanz, wS weiße Substanz,
unten: Motorische (rot) und sensorische (blau) Rindenfelder der Großhirnrinde
1 Bein, 2 Arm, 3 Mimik, 4 Zunge, 5 Kauen, 6 Schreiben, 7 Augen- und Kopfdrehen, 8 Sprache, 9 Körperfühlsphäre, 10 Lesen, 11 Sehen, 12 Hören

Farbtafel 5 Blutzellen
Rote Blutkörperchen (obere Reihe)
a normaler Erythrozyt, b basophil-getüpfelter Erythrozyt, c krankhafte Gestaltsveränderungen bei Erythrozyten (Poikilozyten)
Weiße Blutkörperchen
aus dem Lymphknoten: d Lymphoblast, e großer Lymphozyt, f kleiner Lymphozyt, g Monozyt, h Plasmazelle
aus dem Knochenmark: i bis l Knochenmarkkeimzellen der Leukozyten, m Leukozyt (Jugendform), n Leukozyt (Stabform), o reifer neutrophiler Leukozyt, p basophiler Leukozyt, reosinophiler Leukozyt
Blutplättchen
s Vorstufe, t Thrombozyten

Farbtafel 6 Lungen- und Körperkreislauf (ohne Pfortader)

Farbtafel 7 Pfortaderkreislauf (Schema)
Pfortaderwurzeln (violett), untere Hohlvene und Lebervene (blau), Arterien fehlen

Farbtafel 8 Oben: Korrosionspräparat der menschlichen Lunge
Lungenvene (rot), Lungenarterie (blau), Bronchialbaum (grau)
(Korrosionspräparate sind anatomische Präparate von Hohlorganen. Sie werden gewonnen, indem man die Hohlorgane mit erstarrenden Flüssigkeiten – beispielsweise Harz-Wachsmasse – füllt und die umgebenden Teile durch Säuren oder Laugen zerstört, so daß nur die Ausgußformen erhalten bleiben.)
unten: Lungenbläschen mit Blutgefäßen (Kapillare)

Abbildungsnachweis

Farbtafeln

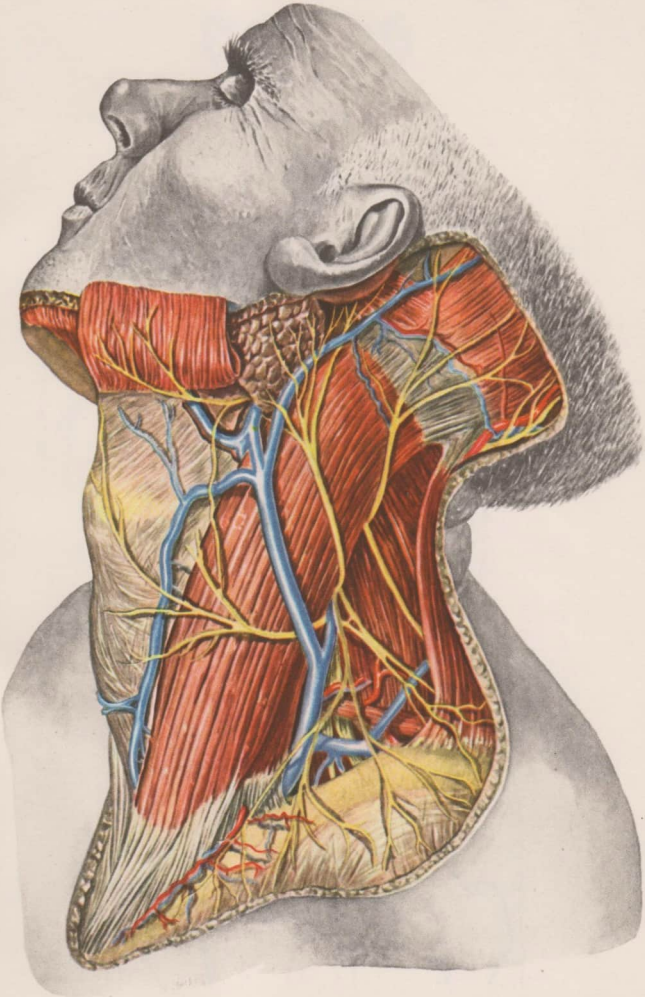
Horst Link, Berlin

Fotos und Reproduktionen

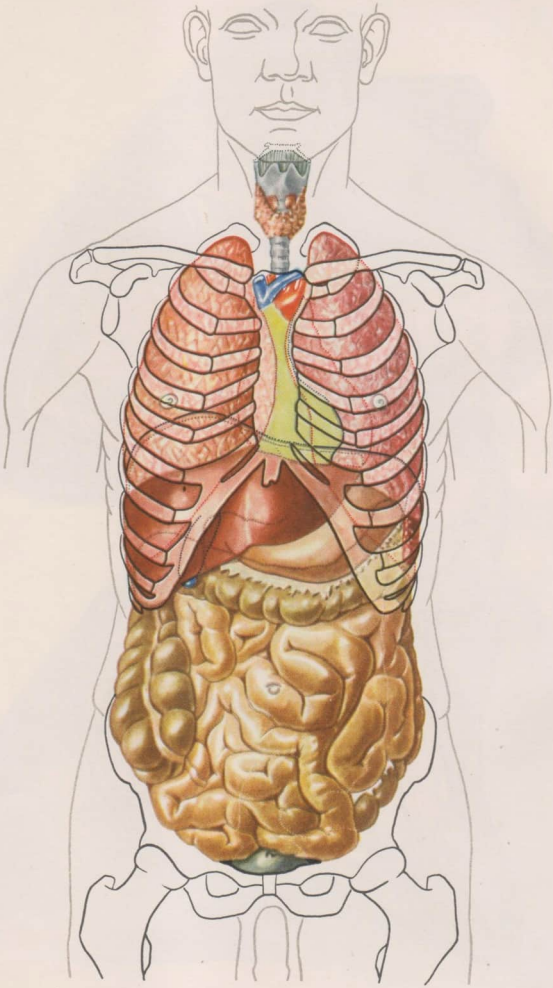
Kurt Herschel, Holzhausen bei Leipzig (Abb. 132); Zentralbild, Berlin (Abb. 62, 63).

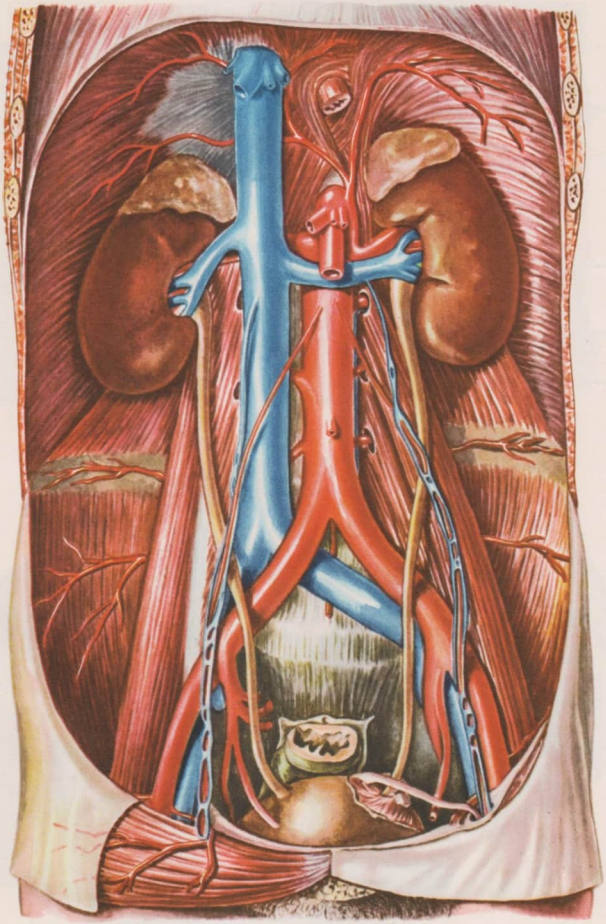
Zeichnungen

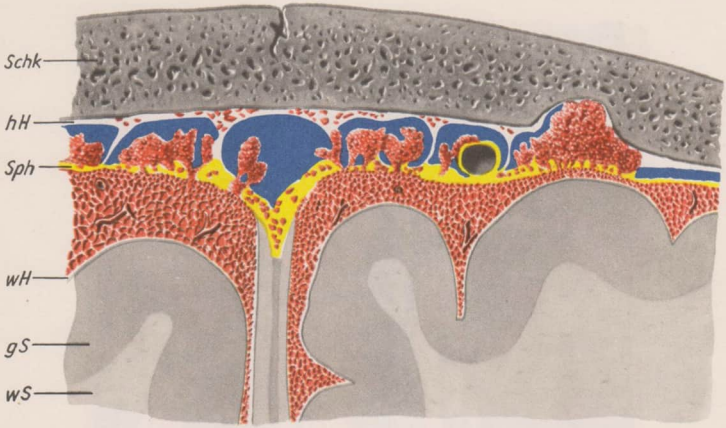
Harri Förster, Berlin (Abb. S. 282 bis S. 285); Eberhard Graf, Berlin (Abb. 15, 64, S. 131, S. 132, Abb. 65 bis 84, 90, 91, 92, 93 bis 128, 134 bis 145); Kurt Herschel, Holzhausen bei Leipzig (Abb. 85 bis 88, 129, 130, 131, 133); Roland Jäger/Rainer Zieger, Berlin (Abb. 89, 92); Horst Link, Berlin (Abb. 1 bis 14, 16 bis 61).

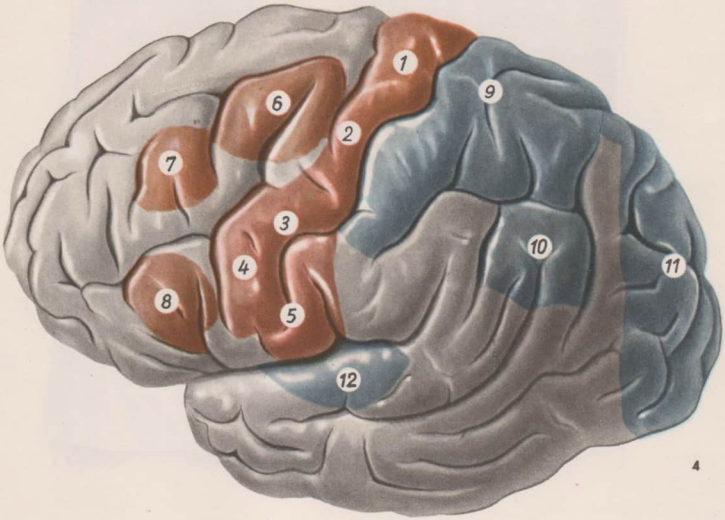


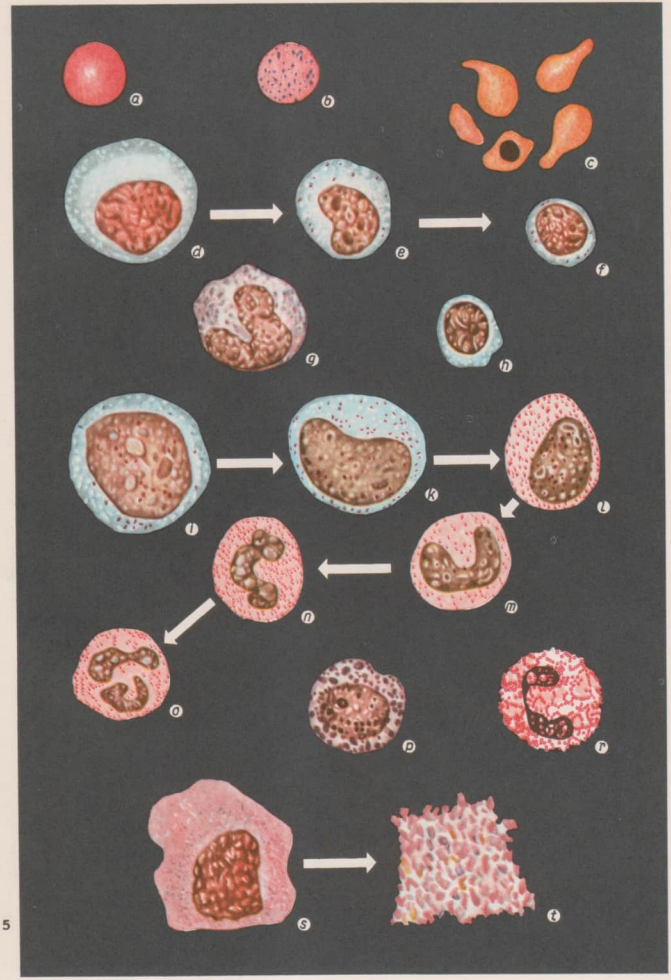
1

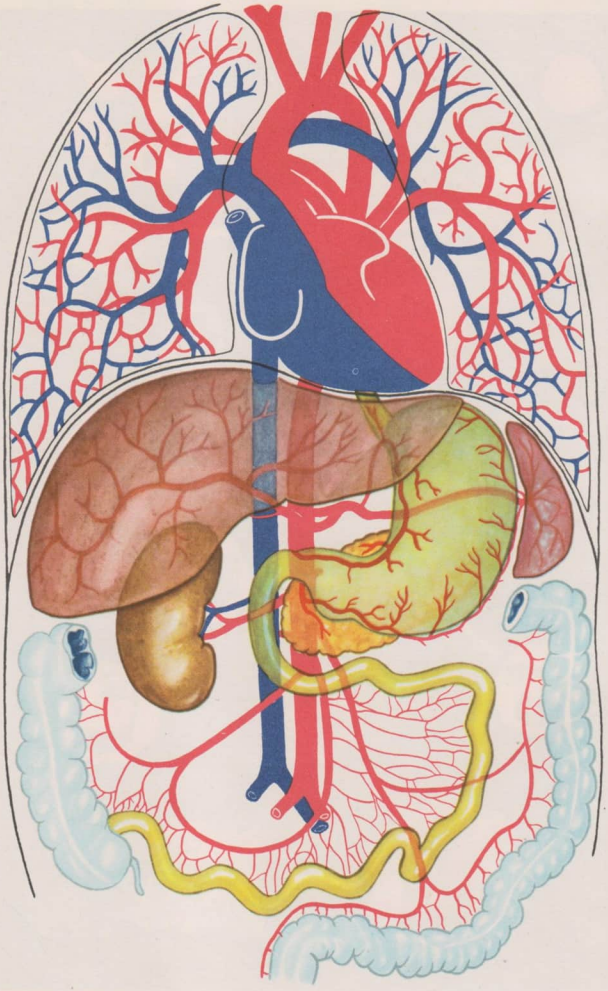


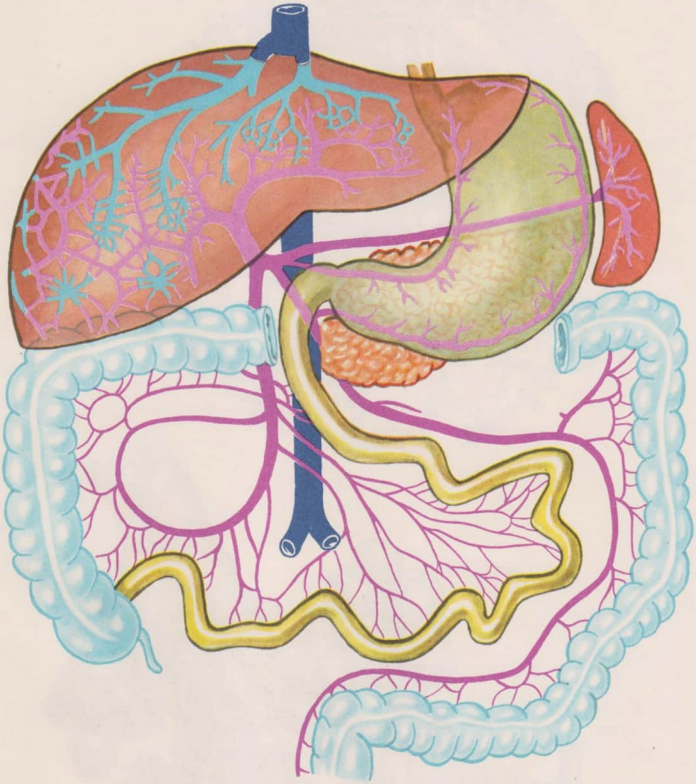


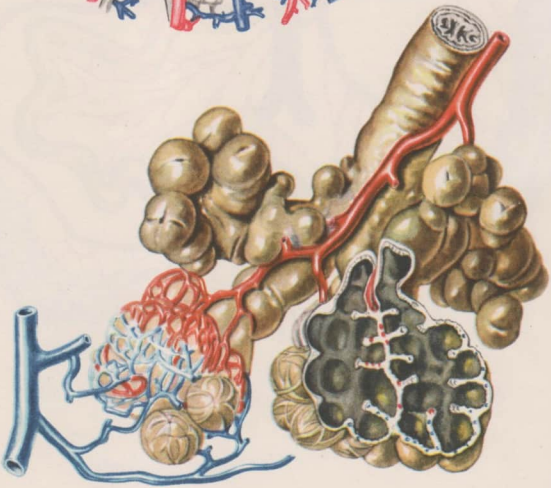

Schk
hH
Sph
wH
gS
wS


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

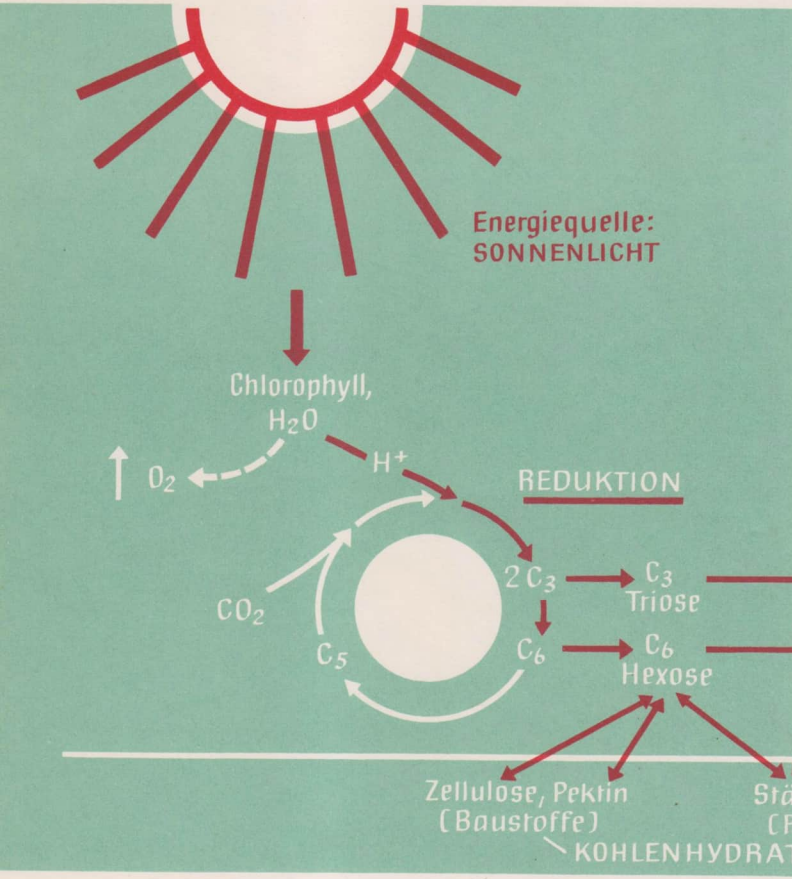

a
b
c
d
e
f
g
h
i
k
l
m
n
o
p
r
s
t



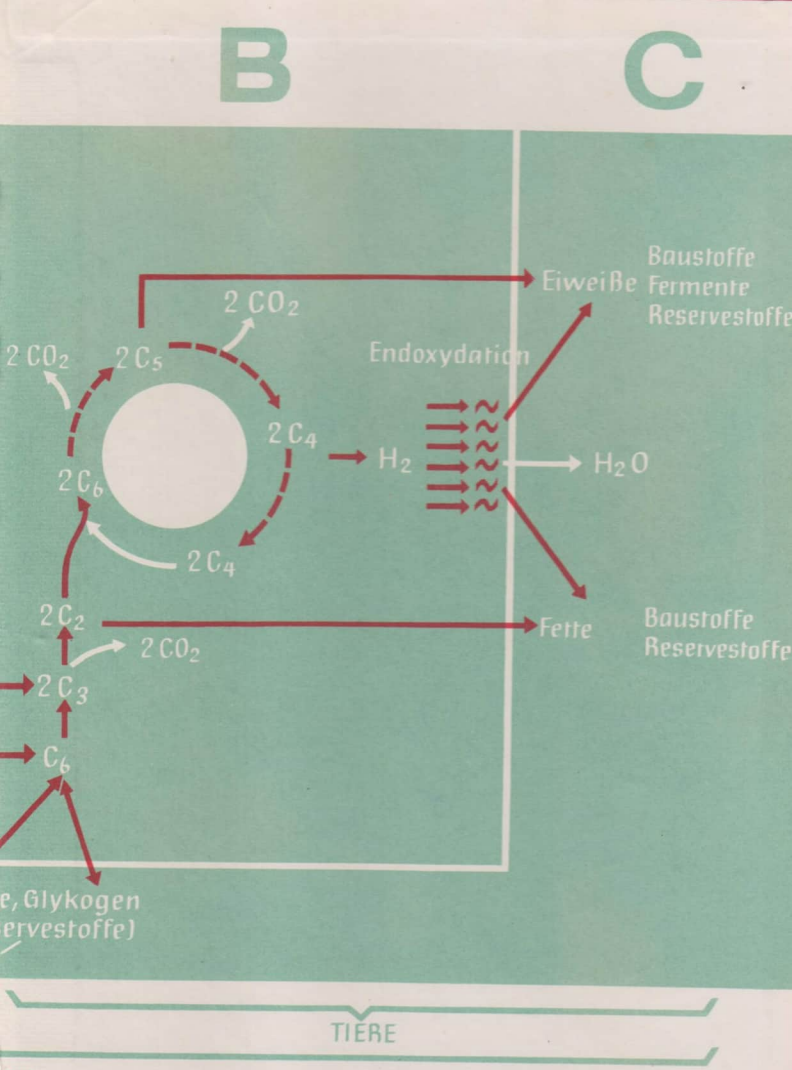


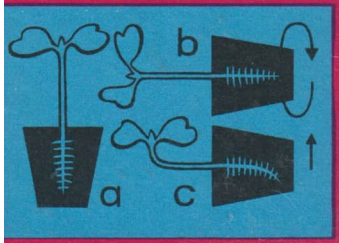

Kc

A


Energiequelle:
SONNENLICHT
Chlorophyll,
H_2O
O_2
H^+
REDUKTION
CO_2
C_5
$2\,C_3$
C_6
C_3
Triose
C_6
Hexose
Zellulose, Pektin
(Baustoffe)
KOHLENHYDRAT

PFLA


B
C
Baustoffe
Eiweiße
Fermente
Reservestoffe
2 CO2
2 CO2
2 C5
Endoxydation
2 C4
H2
H2O
2 C6
2 C4
2 C2
Fette
Baustoffe
Reservestoffe
2 CO2
2 C3
C6
e, Glykogen
ervestoffe)
TIERE
EN



011151-2