LEHRBUCH DER BIOLOGIE

ELFTES SCHULJAHR

ANTHROPOLOGIE

LEHRBUCH DER BIOLOGIE

FÜR DAS ELFTE SCHULJAHR

ANTHROPOLOGIE

Mit 138 Abbildungen im Text

Ausgabe 1952

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1955

Dieses Lehrbuch ist unter Zugrundelegung des neuen Lehrplans für Oberschulen in Zusammenarbeit von Methodikern und Wissenschaftlern entstanden.

Mitarbeiter des Autorenkollektivs:

Dr. Fritz Allies, Willi Lemke, Ulrich Schultze-Frentzel, Hannelore Sieber, Dr. Conrad Vollmer, Dr. Kurt Winter

Bestell-Nr. 01 904-6 2,80 DM · Lizenz Nr. 203 · 1000-P-01 55 12 (DN)

Satz und Druck: (III/18/203) VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig

INHALT

A. Einleitung 5

I. Aufgaben und Bedeutung der Anatomie und der Physiologie .. 5

II. Organe und Organsysteme 6

B. Bewegungssystem des menschlichen Körpers 7

I. Stützsystem 7

a) Stützgewebe 7

1. Bindegewebe 7

2. Knorpelgewebe 8

3. Knochengewebe 9

b) Das menschliche Skelett .. 14

c) Erkrankungen u. Verletzungen der Knochen u. Gelenke 26

II. Bewegungssystem 29

a) Bau u. Funktion des Muskelgewebes 29

b) Muskulatur des Menschen . 35

c) Krankheiten und Schäden .. 42

C. Das Hautorgan 43

D. Stoffwechsel 49

I. Ernährung 50

a) Nährstoffe 50

b) Verdauungsorgane 51

c) Verdauungsvorgänge 59

d) Aufnahme der Nährstoffe in Blut und Lymphe und ihre Umwandlung im Körper .. 64

e) Nahrungs- und Energiebedarf 67

f) Vitamine 70

g) Krankheiten des Magen- und Darm-Kanals 73

II. Atmung 75

III. Blut- und Lymphkreislauf ... 86

a) Blut 86

b) Lymphe und Lymphgefäßsystem 94

c) Blutkreislauf 95

d) Gefäß-, Herz- und Kreislaufkrankheiten 103

E. Das Urogenitalsystem 104

I. Harnorgane 104

II. Geschlechtsorgane 107

a) Weibliche Geschlechtsorgane 107

b) Männliche Geschlechtsorgane 110

c) Die Geschlechtskrankheiten 112

F. Ontogenetische Entwicklung des Menschen 114

I. Befruchtung und erste Entwicklung des Keimes 114

II. Entwicklung des Keimlings nach Ausbildung der Keimblätter ... 118

III. Bildung der Organe 119

IV. Geburt 122

G. Innere Sekretion 123

H. Sinnesorgane und Nervensystem 128

I. Sinnesorgane 128
a) Allgemeine Sinnesphysiologie 128
b) Hautsinnesorgane 131
c) Organe der chemischen Sinne 133
d) Das Lichtsinnesorgan: das Auge 136
e) Sinnesorgane des Ohres ... 143

II. Nervensystem 149
a) Nervengewebe 150
b) Allgemeine Nervenphysiologie 151
c) Rückenmark 152
d) Vegetatives Nervensystem .. 155

I. Das Gesundheitswesen in der Deutschen Demokratischen Republik 172

Sach- und Namenregister 178

A. EINLEITUNG

I. Aufgaben und Bedeutung der Anatomie und der Physiologie

Die *Anatomie* ist die Wissenschaft vom Aufbau der Organismen und ihrer Organe. Die *Physiologie* untersucht die Lebensprozesse, die im Organismus und in seinen einzelnen Organen vor sich gehen. Die anatomische und physiologische Forschung besteht im Studium des normalen Körperbaus und der normalen Lebensvorgänge. Sie tragen dazu bei, die Bedingungen zu finden, die die gesunde Funktion und Entwicklung des Organismus am meisten begünstigen.

Eine Änderung der Funktion eines Organs bedingt oft auch eine entsprechende Veränderung in seiner Struktur. So werden zum Beispiel durch regelmäßige gymnastische Übungen bestimmte Muskelgruppen des Körpers gezwungen, angestrengt zu arbeiten. Unter dem Einfluß einer solchen erhöhten Funktion vergrößern sich diese Muskeln; sie werden stärker und auch kräftiger. Ein nicht beanspruchter Muskel dagegen nimmt an Umfang und Leistung ab, er verkümmert (atrophiert) allmählich. Umgekehrt zieht jede Veränderung der Struktur eines Organs eine entsprechende Änderung seiner Funktion nach sich.

Zwischen der Struktur eines Organs und seiner Funktion besteht also ein enger *wechselseitiger Zusammenhang*. Deshalb muß man zum Verständnis der Funktionen der Organe ihre Struktur sowie ihre Bedeutung für den Organismus kennen. Um die Struktur der Organe zu verstehen, ist es andererseits wichtig, eine richtige Vorstellung von ihren Lebensfunktionen zu besitzen. Wir sehen hieraus, daß Anatomie und Physiologie eng miteinander verbunden sind.

Ohne Kenntnis der Anatomie ist es nicht möglich, die Stellung des Menschen in der Natur, seine Verwandtschaft mit den Tieren, seine Herkunft und Entwicklung zu verstehen. Durch das Studium der Struktur und der Funktionen des Organismus erhält man eine genaue Vorstellung vom Menschen als einem Gliede in der Entwicklungskette der gesamten Natur. Die Erkenntnisse der Anatomie und der Physiologie helfen den Menschen, sich vom Aberglauben und von Vorurteilen über die Entstehung des Menschen zu befreien.

Die Erforschung der Lebensprozesse im menschlichen Organismus hat gezeigt, daß auch diese nach physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten ablaufen. Die besondere Art des Zusammenwirkens dieser Gesetze, die nur dem lebenden Organismus eigen ist, führt zu einer Reihe neuer Beziehungen, die man als *biologische Gesetzmäßigkeiten* bezeichnet. Es ist deshalb unwissenschaftlich und falsch, die Funktionen des Organismus durch das Vorhandensein einer geheimnisvollen Lebenskraft zu erklären.

Anatomie und Physiologie entstanden und entwickelten sich aus dem praktischen Bedürfnis, Kranken zu helfen und gesunde Menschen vor Erkrankungen zu schützen. Die Fortschritte der praktischen Medizin sind eng mit den wichtigsten Entdeckungen und Erfolgen auf dem Gebiet der Anatomie und der Physiologie verknüpft.

Ohne eingehende Kenntnis der Anatomie und der Physiologie kann ein Chirurg keine Operationen ausführen. Wenn heute höchst komplizierte Herz-, Gehirn- und Augenoperationen gelingen, so ist dies erst durch die Entwicklung dieser beiden Wissenschaften in Verbindung mit einer hochentwickelten Technik möglich geworden. Weiterhin gaben beispielsweise die Entdeckung der Vitamine und die Kenntnis ihrer Wirkungen die Möglichkeit, schwere Erkrankungen, wie Skorbut und Rachitis, zu verhüten und zu heilen. Die sorgfältige Untersuchung der Immunisierungsvorgänge im Organismus führte zu umwälzenden Fortschritten bei der Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten.
Auf den Erkenntnissen vieler Wissenschaftszweige, insbesondere der Physiologie, Bakteriologie, Klima- und Bodenkunde, Ernährungslehre sowie der Gesellschaftswissenschaften bauen sich die Regeln der Hygiene auf, deren Befolgung für die Erhaltung der Gesundheit äußerst wichtig ist. Hygiene und Medizin haben wesentlich dazu beigetragen, die Lebenserwartung der Menschen zu steigern. Groß ist auch die Bedeutung der Physiologie für die richtige Organisation der körperlichen und geistigen Arbeit sowie für die Festlegung der zweckmäßigen Abwechslung zwischen Arbeit und Erholung. Auf Grund gewissenhafter arbeitsphysiologischer Untersuchungen konnten in vielen Fällen vorzeitige Ermüdungserscheinungen vermieden werden. Dadurch wurde die Arbeitsproduktivität gesteigert.

II. Organe und Organsysteme

Die Organe des menschlichen Organismus entwickeln sich wie die des tierischen aus den Keimblättern (s. Lehrbuch der Biologie f. d. 10. Schulj., S. 125). Sie haben jeweils eine spezifische Struktur und üben bestimmte Funktionen aus. Das Herz treibt durch seine rhythmische Zusammenziehung das Blut durch die Gefäße. Die Bauchspeicheldrüse scheidet Verdauungssaft aus und gibt einen Wirkstoff in die Blutbahn. Im Magen werden die Speisen zum Teil verdaut. Die Organe haben eine sehr komplizierte Struktur. In fast allen Organen befinden sich Gewebe der vier Gewebearten: Epithel-, Stütz-, Muskel- und Nervengewebe. Meist sind in einem Organ ein oder zwei Gewebe vorherrschend. Im Herzen überwiegt das Muskelgewebe, in der Magenwand befinden sich hauptsächlich Epithelgewebe und Muskelgewebe.
Nach den Hauptfunktionen innerhalb des Organismus unterscheidet man beim Menschen wie bei allen Wirbeltieren folgende Gruppen oder *Systeme* von Organen: das Stütz- und Bewegungssystem (Skelett und Muskeln), das Verdauungssystem (Mundhöhle, Speiseröhre, Magen, Darm, Bauchspeicheldrüse, Leber), das Atmungssystem (Nasenhöhle, Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien, Lungen), das Kreislaufsystem (Herz, Gefäße, Blut und Lymphe), das Urogenitalsystem (Nieren, Harnleiter, Harnblase, Geschlechtsorgane), das hormonale System (Hirnanhangdrüse, Schilddrüse, Nebennieren u. a.), das System der Sinnesorgane, das Nervensystem (Gehirn, Rückenmark, Nerven) und die Haut.
Kein Organ des Körpers arbeitet isoliert. Beim Gehen oder Laufen beispielsweise ziehen sich einzelne Muskelgruppen der Beine oder des Rumpfes in einer bestimm-

ten Ordnung zusammen; dabei verstärken und beschleunigen sich Herztätigkeit und Atmung, wodurch weiterhin auch in der Arbeit anderer Organe, beispielsweise der Gefäße, Änderungen eintreten. Alle Organe arbeiten gemeinsam; das Nervensystem hat die führende Stellung. Kein Organ kann deshalb für sich betrachtet werden, es muß vielmehr als Teil des Organismus, also als Teil eines einheitlichen Ganzen studiert werden.

B. BEWEGUNGSSYSTEM DES MENSCHLICHEN KÖRPERS

Epithel-, Muskel- und Nervengewebe sind weich und mechanisch leicht deformierbar. Die Festigkeit der Organe und des Körpers (beim Menschen wie auch bei Tieren) ist durch besondere Stützgewebe bedingt. Die Stützgewebe erfüllen ihre Funktion auf verschiedene Weise. So wird ein Organ dadurch fest, biegsam und elastisch, daß seine aus Stützgewebe bestehende Hülle durch den Druck (Turgor) des Innenraums straff gespannt wird. Die Festigkeit der Chorda, des inneren Stützorgans des Lanzettierchens und der Neunaugen, beruht auf diesem Prinzip. In anderen Fällen kann weiches Gewebe von einem Stützgewebe, dem Bindegewebe, durchzogen und eingehüllt sein, wie zum Beispiel beim Nerven- und Muskelgewebe. Infolge der Elastizität des Bindegewebes ist die Form der Muskeln weitgehend veränderlich.
Die Festigkeit des Wirbeltierkörpers wird durch ein aus Knochen- und Knorpelgewebe bestehendes Skelett bewirkt. Beweglich aneinandergrenzende Skelettglieder sind durch bindegewebige Bänder miteinander verbunden.

I. Stützsystem

a) Stützgewebe

Stützgewebe können in ihrer Struktur sehr verschiedenartig sein. Sie kommen in Form von Binde-, Knorpel- und Knochengewebe vor. Mit Ausnahme des Stützgewebes im Zentralnervensystem (Gliagewebe, s. S. 150) entwickeln sich alle Stützgewebe aus dem *mittleren Keimblatt* (Mesoderm).
Die Zellen der Stützgewebe scheiden Zwischenzellsubstanzen oder Grundsubstanzen ab. Diese können fest, faserig oder weich sein. Die Zwischenzellsubstanzen bedingen die Festigkeit des Stützgewebes.

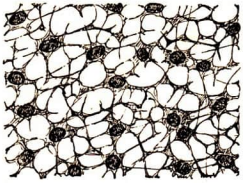


Abb. 1. Embryonales Bindegewebe (etwa 500fach vergr.)

1. Bindegewebe

Die Vielfalt der Formen des Stützgewebes wird verständlich, wenn man ihre Entwicklung und ihre Funktionen kennt. Alle Formen des

Stützgewebes mit Ausnahme des Gliagewebes entwickeln sich aus dem *embryonalen Bindegewebe* (Mesenchym), wie wir es beim Embryo finden. Das embryonale Bindegewebe besteht aus netzartig miteinander verbundenen Zellen, die eine zähflüssige Grundsubstanz ausscheiden (Abb. 1). Das embryonale Bindegewebe wandelt sich im Laufe des Embryonallebens in die verschiedenen Formen des Stützgewebes um, die wir im nachembryonalen Leben finden.

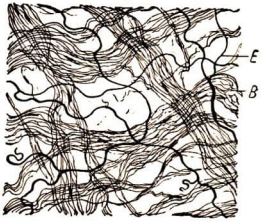


Abb. 2. Lockeres Bindegewebe (250 fach vergr.) (Es sind nur die Fasern dargestellt.)
B kollagene Bindegewebsfasern, *E* elastische Fasern

Weit im Organismus verbreitet sind besonders das kollagene und das elastische Bindegewebe. Das *kollagene* (leimgebende) *Bindegewebe* enthält unverzweigte Fasern einer Kollagen genannten Eiweißsubstanz, die sich beim Kochen in Leim verwandelt. Das kollagene Bindegewebe tritt in zwei Formen auf. Als *lockeres* Bindegewebe füllt es die Lücken zwischen benachbarten Organen aus. Innerhalb der einzelnen Organe bildet es ein Stützgerüst für die spezifischen Zellen des Organs. Als *straffes* Bindegewebe bildet es die Sehnen, Bänder und Gelenkkapseln.

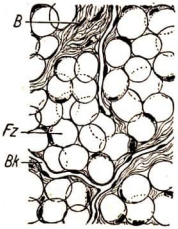


Abb. 3. Fettgewebe (etwa 100 fach vergr.).
B Bindegewebsfasern, *Bk* Blutkapillare, *Fz* Fettzelle mit randständigem Kern

Das *elastische Bindegewebe* findet sich außer in den Wänden der großen Arterien nur noch an wenigen Stellen des Körpers (Stimmbänder und andere elastische Bänder). Im Gegensatz zum kollagenen Bindegewebe besitzen die Fasern des elastischen Bindegewebes eine größere Dehnbarkeit. Sie verzweigen sich und verbinden sich untereinander. Elastische Fasern kommen auch neben leimgebenden im Bindegewebe vor (Abb. 2).

Eine besondere Form des Bindegewebes ist das *Fettgewebe* (Abb. 3). Es besteht aus Bindegewebszellen, die große Fetttropfen gespeichert haben. Dadurch werden Kern und Zellplasma nach dem Rande verdrängt. Fettzellen liegen meist in größeren Gruppen zusammen (z. B. im Unterhautfettgewebe).

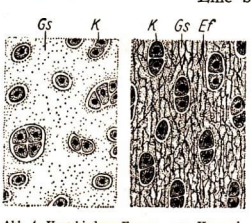


Abb. 4. Verschiedene Formen von Knorpelgewebe (200 fach vergr.).
Ef elastische Fibrillen, *Gs* Grundsubstanz, *K* Knorpelzellen

2. Knorpelgewebe

Im Knorpelgewebe (Abb. 4) scheiden die Zellen meist kollagene, seltener elastische Fasern ab, die durch eine Kittsubstanz miteinander verbunden sind. Es entsteht eine nahezu gleichmäßige, bläulichweiße Zwischenzellsubstanz.

Die Knorpelzellen sind rundlich. Häufig liegen sie zu zweien oder mehreren nebeneinander in der Zwischenzellsubstanz. Sie platten sich dann gegenseitig ab, so daß halbkugelige Zellen entstehen. Die Knorpelzellen werden durch die Lymphe ernährt, die durch den Knorpel hindurch eindringt (diffundiert). Der Knorpel ist von einer Bindegewebshülle, dem *Perichondrium* (Knorpelhaut), umgeben.

Beim Menschen finden wir Knorpelgewebe im Stützgerüst von Nase und Ohr, im Kehlkopf, in den Rippenknorpeln und auf den Gelenkflächen.

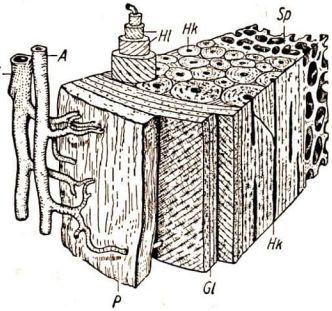


Abb. 5. Knochengewebe.
A Arterie, *Gl* Grundlamellen, *Hk* Haverssche Kanäle, *Hl* Haverssche Lamellen, *P* Periost, *Sp* Spongiosa, *V* Vene

3. Knochengewebe

Bildung des Knochengewebes. Bei den Chordaten geht im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung die Stützfunktion mehr und mehr von der Chorda auf das gegliederte Skelett über. Zunächst bestand es, wie heute noch bei den Knorpelfischen, aus Knorpel (Knorpelskelett). In Wiederholung der Phylogenese entwickelt sich beim menschlichen Embryo zuerst ein Skelett aus Knorpel. Es wird allmählich durch ein knöchernes Skelett ersetzt und ergänzt. Die Zwischenzellsubstanz des Knorpelskeletts wird nach und nach abgebaut. An seine Stelle tritt eine von Knochenzellen ausgeschiedene Zwischenzellsubstanz. Bei diesem Vorgang wird die Knorpelhaut zur derben, ernährenden Knochenhaut (*Periost*, Abb. 5). Die auf diese Weise gebildeten Knochen heißen *Ersatzknochen*.

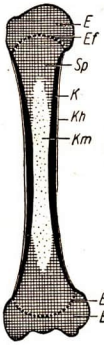


Abb. 6. Struktur eines Röhrenknochens.
E Epiphyse, *Ef* Epiphysenfuge, *K* kompakte Knochensubstanz, *Kh* Knochenhaut, *Km* Markhöhle, *Sp* Spongiosa

Nur ein Teil der Schädelknochen und des Schlüsselbeins wird nicht knorpelig, sondern nur durch Bindegewebe vorgebildet, in dem sich unmittelbar Knochenkerne bilden. Man bezeichnet sie als *Deckknochen*. Da der Knorpel aus embryonalem Bindegewebe entsteht, bilden sich letzten Endes beide Knochenarten aus dem Bindegewebe.

Das *Dickenwachstum* der

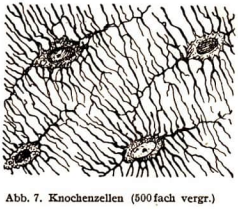


Abb. 7. Knochenzellen (500fach vergr.)

Knochen erfolgt vom Periost aus. Das *Längenwachstum* der Röhrenknochen geht von einer dünnen, zwischen Gelenkkopf und Mittelstück gelegenen Knorpelzone, der Epiphysenfuge, aus (Abb. 6). Diese Knorpelzone wird zwischen dem 20. und 25. Lebensjahr vollständig durch Knochen ersetzt. Damit hat der Knochen seine Fähigkeit zum Längenwachstum verloren. Der Mensch wächst nicht mehr.

Bau und Bestandteile der Knochen. Die Knochen bestehen aus *Knochenzellen* und der von ihnen ausgeschiedenen Zwischenzellsubstanz. Die Knochenzellen sind ovale oder längliche Zellen mit zahlreichen, sich verzweigenden Ausläufern (Abb.7). Die Ausläufer der Knochenzellen verlaufen in feinen *Knochenkanälchen* und stehen untereinander in Verbindung. Außerdem wird die Knochensubstanz noch von größeren Kanälen *(Haversschen Kanälen)* durchzogen. In ihnen verlaufen die Blutgefäße (Abb. 5).

Die *chemische Untersuchung* der Knochenmasse läßt organische und anorganische Bestandteile erkennen. Der organische Bestandteil ist das *Kollagen*. Deshalb kann man aus Knochen Leim gewinnen (s. S. 8).

Durch Ausglühen können aus einem Knochen die organischen Bestandteile entfernt werden. Dadurch verliert der Knochen seine Elastizität. Er behält seine Form, wird aber spröde und brüchig.

Die hauptsächlichsten anorganischen Bestandteile der Knochengrundsubstanz sind verschiedene *Calciumsalze* [Calciumphosphat $Ca_3(PO_4)_2$ und Calciumcarbonat $CaCO_3$].

Legt man einen Knochen in Salzsäure, so werden die Salze herausgelöst. Der Knochen behält seine Form, wird aber biegsam, da seine Substanz nur noch aus dem organischen Kollagen besteht.

Die Härte der Knochen ist also durch die anorganischen, die Elastizität durch die organischen Bestandteile der Knochengrundsubstanz bedingt (s. Rachitis, S. 26).

Wie alle lebenden Gewebe unterliegt auch der Knochen einem ständigen Auf- und Abbau. Das Verhältnis von organischen und anorganischen Bestandteilen ändert sich mit zunehmendem Alter zugunsten der anorganischen Bestandteile. Der Knochen wird im Alter spröder; er bricht leichter.

Die Knochen sind in ihrer *Form* den verschiedenen Funktionen angepaßt. So ist die Schädelkapsel festgefügt und gewölbt; die Gliedmaßenknochen besitzen durch ihre Röhrenform eine starke Druckfestigkeit.

Man unterscheidet platte Knochen (Schädeldecke, Schulterblatt und Becken), kurze und dicke Quaderknochen (Wirbel, Hand- und Fußwurzelknochen), schlanke Spangenknochen (Schlüsselbeine und Rippen), Röhrenknochen (in den Gliedmaßen) und Knochen, die luftgefüllte, mit Schleimhaut ausgekleidete Hohlräume enthalten (Oberkieferbein, Stirnbein).

Die endgültige Form und Struktur der Knochen bildet sich während des Wachstums unter dem Einfluß ihrer Beanspruchung in enger Wechselwirkung mit dem Wachstum der anderen Organe aus. Das Schädelgewölbe beispielsweise wächst mit dem größer werdenden Gehirn.

Auch die Muskeln wirken auf die Form der Knochen ein. Ein ständiger Muskeldruck führt zu einer Vertiefung oder Eindellung des Knochens; Muskelzug dagegen bewirkt am Sehnenansatz Bildung von Knochenhöckern oder -leisten.

Jeder Knochen besteht aus drei verschiedenen Anteilen, die eine Einheit bilden. Knochenhaut (Periost), Knochensubstanz und Knochenmark (Abb. 6).

Die dünne, aber derbe *Knochenhaut* bedeckt den Knochen von außen. Sie besteht aus Bindegewebe. Die Knochenhaut ist der schmerzempfindliche Teil des Knochens. In ihr verlaufen Nerven und Blutgefäße. Das Periost ist am Auf- und Umbau der Knochen beteiligt. Diejenigen Zellen des Periost, die der *Knochensubstanz* unmittelbar aufliegen, können sich teilen und zu Knochenzellen umbilden. Man bezeichnet sie als *Knochenbildner*. Die neu entstandenen Knochenzellen scheiden dann Knochengrundsubstanz aus. Im ausgewachsenen Knochen befinden sich die Knochenbildner im wesentlichen im Zustand der Ruhe, jedoch beginnen sie unter besonderen Umständen (beispielsweise bei Knochenbrüchen) wieder mit ihrer Tätigkeit und bilden neue Knochenzellen. Die Neubildung von Knochen geht also nicht vom Knochengewebe, sondern vom Periost aus.

Querschnitte durch Knochen zeigen, daß sie an der Oberfläche aus einer kompakten Masse bestehen, während sich im Innern ein netzartiges Balkenwerk (Spongiosa) befindet. Man unterscheidet dementsprechend *kompakte* (feste) und *spongiöse* (schwammartige) Knochensubstanz (Abb. 6).

In der *kompakten Knochensubstanz* ist die Knochengrundsubstanz in eigentümlichen Schichten, den Knochenlamellen, angeordnet (Abb. 5). Im Innern der kompakten Knochensubstanz verlaufen die Knochenlamellen ringartig um die Gefäßkanäle (Haversschen Kanäle). An der Oberfläche und an der Innenfläche laufen sie dagegen zu diesen Flächen parallel. Lange Knochen weisen am Mittelstück besonders kräftige und dicke kompakte Knochensubstanz auf. An den Gelenkenden der langen Knochen und bei den kurzen und platten Knochen ist sie wesentlich dünner.

Die *spongiöse Knochensubstanz* ist ein aus feinen Knochenbälkchen aufgebautes Gerüstwerk, in dessen Lücken sich Knochenmark befindet (Abb. 5). Im Mittelstück der langen Röhrenknochen sind fast keine Knochenbälkchen vorhanden. Man findet dort eine einheitliche Höhle, die Markhöhle, die ebenfalls mit Knochenmark ausgefüllt ist. Um die Markhöhle bildet die Knochensubstanz eine Röhre (Röhrenknochen, Abb. 6).

Die innere Struktur der Knochen ist ebenso wie ihre äußere Form durch ihre Funktion bedingt. In der spongiösen Knochensubstanz verläuft die Mehrzahl der Knochenbälkchen stets in den Linien des stärksten Zuges und Druckes. Diese Anordnung der Knochenbälkchen kommt dadurch zustande, daß die Knochenzellen die Knochengrundsubstanz stets in der Richtung des stärksten Zuges beziehungsweise Druckes ausscheiden. Die Bälkchenstruktur der spongiösen Knochensubstanz ist am Schnitt durch einen Oberschenkelkopf (Abb. 8) besonders gut zu erkennen.

In der spongiösen Knochensubstanz und in den Hohlräumen der Röhrenknochen befindet sich das *Knochenmark*. Es ist ein netzförmiges Bindegewebe. Man unter-

Abb. 8. Bälkchenstruktur im Oberschenkelknochen (Längsschliff)

scheidet rotes und gelbes Knochenmark. Das *rote Knochenmark* ist das bluterzeugende Organ, in ihm bilden sich neue Blutkörperchen. Im frühen Kindesalter findet man es außer in den Zwischenräumen der spongiösen Knochensubstanz auch in den Höhlungen der Röhrenknochen. Später wird das rote Knochenmark in den Höhlungen der Röhrenknochen allmählich durch Fettgewebe ersetzt: *gelbes Knochenmark*. Dieses bildet keine Blutkörperchen. Bei großen Blutverlusten (beispielsweise bei Verletzungen oder bestimmten Blutkrankheiten) kann sich jedoch das gelbe Knochenmark beim erwachsenen Menschen zeitweilig in blutbildendes rotes Knochenmark umwandeln.

Die *Blutgefäße*, die das Knochenmark und die Knochensubstanz ernähren, gehen vom Periost aus. Sie dringen durch kleine Kanäle in die kompakte Knochensubstanz, wo sie sich in besonderen Kanälen, den Haversschen Kanälen, verzweigen.

Verbindung der Knochen. Das Skelett eines Menschen besteht aus über 200 Knochen, die entweder fest oder beweglich miteinander verbunden sind.

Die *festen Knochenverbindungen* können sich durch Zusammenwachsen von Knochen bilden. So besteht beispielsweise bei Kindern in den ersten Lebensjahren das knöcherne Becken aus drei einzelnen Knochen, die durch Knorpelstreifen miteinander verbunden sind. Die Knorpelstreifen werden allmählich durch Knochengewebe ersetzt (s. S. 9), so daß die Knochen miteinander verwachsen.

Die Schädelknochen sind gegeneinander unbeweglich, weil zahlreiche Vorsprünge eines Knochens in Vertiefungen eines benachbarten greifen. Diese als *Naht* bezeichnete Knochenverbindung bildet sich ebenfalls in den ersten Lebensjahren aus. Beim Kleinkind besteht die Verbindung der Schädelknochen noch aus Bindegewebe. Eine geringe Beweglichkeit wird bei Knochenverbindungen durch Knorpelzwischenlagen erreicht. So sind die knöchernen Rippen durch die Rippenknorpel mit dem Brustbein verbunden.

Knorpelige *Zwischenwirbelscheiben* liegen wie Polster zwischen den Wirbelkörpern (Abb. 9). Wenn die Muskeln sich auf der einen Seite des Rückgrates zusammenziehen, werden die Zwischenwirbelscheiben auf dieser Seite zusammengedrückt und die Enden der Wirbel einander genähert. Auf der gegenüberliegenden Seite entfernen sich die Wirbelenden voneinander. Das Rückgrat biegt sich nach der Seite, auf der die Muskeln sich verkürzen. So ist die Wirbelsäule durch die Zwischenwirbelscheiben zugleich fest und biegsam.

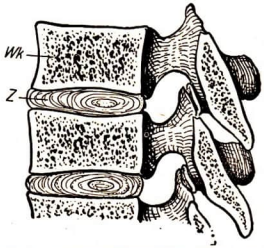


Abb. 9. Zwischenwirbelscheiben; Wirbel, im Schnitt gesehen.
Wk Wirbelkörper, *Z* Zwischenwirbelscheibe

Die Biegsamkeit der Wirbelsäule kann durch häufige Bewegungen des Rumpfes gesteigert werden. Planmäßige gymnastische Übungen von klein auf lassen die Wirbelsäule außerordentlich biegsam werden. Durch sportliches Training, besonders durch Schwimmen und Rudern, aber auch durch Laufen, erhöhen sich die Beweglichkeit der Rippen und damit das Fassungsvermögen des Brustkorbes beträchtlich.

Als *Gelenke* bezeichnet man bewegliche Knochenverbindungen. Ein Gelenk besteht aus den Gelenkkörpern und der Gelenkkapsel. Meist treten nur zwei, in manchen Fällen jedoch mehrere Knochen (beispielsweise im Hand- und Fußgelenk) zu einem Gelenk zusammen.

Die Gelenkkörper sind mit einer etwa 2 bis 5 mm dicken Schicht von Knorpelgewebe bedeckt. Der glatte Knorpel verringert die Reibung zwischen den Knochen erheblich. Der *Gelenkknorpel* ist druckelastisch, so daß durch ihn die Knochen auch gegen das Abschleifen geschützt werden. Die aneinanderstoßenden Knorpelflächen im Gelenk nennt man *Gelenkflächen*. Sie können der Form des Gelenkkörpers entsprechend entweder eben oder gewölbt (konvex bzw. konkav) sein. Den konvexen Gelenkkörper nennt man *Gelenkkopf*, den konkaven *Gelenkpfanne*. Jedes Gelenk ist von einer *Gelenkkapsel* (Abb. 10) umschlossen. Sie ist die unmittelbare Fortsetzung der Knochenhaut, die sich an der Stelle vom Knochen löst, an der der Gelenkknorpel beginnt. In die Fasern des Bindegewebes der Gelenkkapsel sind parallele Faserstränge, *Bänder*, eingewoben, die die Beweglichkeit des Gelenks in bestimmten Richtungen einschränken und das Gelenk festigen (z.B. Seitenbänder des Knies). Bei übermäßiger Beanspruchung können sich durch zu starkes Dehnen der Gelenkkapsel die Knochen voneinander entfernen oder gegeneinander verschieben (Verrenkung, s. S. 29).

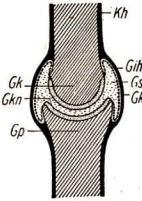


Abb. 10. Schema eines Gelenks. *Gih* Gelenkinnenhaut, *Gk* Gelenkkopf, *Gka* Gelenkkapsel, *Gkn* Gelenkknorpel, *Gp* Gelenkpfanne, *Gs* Gelenkschmiere, *Kh* Knochenhaut

Die Gelenkkapsel schließt die *Gelenkhöhle* luftdicht ab und scheidet in die Gelenkhöhle eine zähe Flüssigkeit aus, die *Gelenkschmiere*, die den Reibungswiderstand der Gelenkflächen weiterhin stark vermindert. Durch den äußeren Luftdruck werden alle Teile des Gelenks so fest aneinandergefügt, daß die Gelenkhöhle beim lebenden Gelenk nicht als eigentliche Höhle, sondern nur als ein feiner, von Gelenkschmiere erfüllter Spalt vorhanden ist.

Man kann leicht beobachten, daß die Bewegungsmöglichkeiten in den verschiedenen Gelenken nicht gleich sind. Die Bewegungen sind abhängig von der Form der Gelenkkörper, vom Bau der Gelenkkapsel und von den Ansatzpunkten der Muskeln. Man unterscheidet:

1. Kugelgelenk (Abb. 11). Beim Kugelgelenk ist die Gelenkpfanne kugelschalenähnlich, der Gelenkkopf kugelkappenähnlich gewölbt. Dadurch erlaubt das Kugelgelenk vielseitig freie Bewegungen (Schultergelenk). Eine besondere Form des Kugelgelenks ist das Nußgelenk (Abb. 12). Bei ihm liegt der Gelenkkopf der Gelenkpfanne nicht nur an, sondern wird von ihr umschlossen (Hüftgelenk). Auch

dieses Gelenk ist in allen Richtungen beweglich, nur nicht so weit wie das reine Kugelgelenk. Dafür ist es bedeutend fester und gegen Verrenkungen sicherer. Verrenkungen des Hüftgelenks sind daher weitaus seltener als Verrenkungen des Schultergelenks.

2. Scharniergelenk (Abb.13). Beim Scharniergelenk ist der Gelenkkopf walzenförmig ausgebildet. Die Gelenkpfanne greift rinnenförmig um den Gelenkkopf herum.

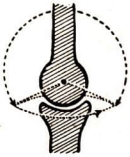


Abb. 11. Kugelgelenk, schematisch

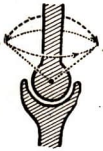


Abb.12. Nußgelenk, schematisch

Abb. 13. Scharniergelenk, schematisch

Abb. 14. Ellipsoidgelenk, schematisch; links in Aufsicht, rechts von der Seite

Abb. 15. Sattelgelenk, schematisch

Abb. 16. Radgelenk, schematisch

Die Scharniergelenke lassen Bewegungen um nur eine Achse zu (Mittel- und Endgelenke der Finger).

3. Ellipsoidgelenk (Abb. 14). Beim Ellipsoidgelenk ist die Gelenkpfanne wie eine ellipsoidförmige Hohlschale gestaltet. Es ermöglicht entsprechend seinen beiden Hauptachsen Bewegungen nach zwei Richtungen (oberes Handgelenk, s. S. 22).

4. Sattelgelenk (Abb. 15). Das Sattelgelenk entspricht in seiner Bauart zwei Sattelflächen. Zwei sattelflächenförmige Gelenkpfannen stehen quer aufeinander. Das Sattelgelenk kommt in seiner Bewegungsmöglichkeit fast den Kugelgelenken gleich (Gelenk zwischen Handwurzel- und Mittelhandknochen des Daumens).

5. Radgelenk (Abb. 16). Das Radgelenk besteht aus einem scheibenförmigen Gelenkkopf mit rundlichem Rand, der in einer entsprechend ausgehöhlten Pfanne schleift. Es ermöglicht die Drehung eines Knochens um die Längsachse eines anderen (der zwischen Speiche und Elle gelegene Teil des Ellbogengelenks).

Durch systematische Übung (Arbeit, Sport) wird die Festigkeit der Gelenke vergrößert. Kapseln und Bänder werden fester, Verstauchungen und Verrenkungen seltener.

b) Das menschliche Skelett

Vergleicht man die Skelette von Wirbeltieren mit dem Skelett des Menschen, so können wir eine weitgehende Übereinstimmung feststellen. Sogar Vögel, Reptilien und Amphibien, deren äußere Gestalt der des Menschen nur wenig ähnelt, besitzen

annähernd die gleiche Gliederung des Skeletts. An der Skelettstruktur der Schädel lassen sich viele gemeinsame Merkmale feststellen. Die fünfstrahligen Gliedmaßen sind bei den verschiedenen Klassen und Ordnungen der Wirbeltiere in ihren Funktionen außerordentlich verschiedenartig. Trotzdem stimmen sie in ihrem Aufbau überein. Die Übereinstimmung der Organe erklärt sich aus dem gemeinsamen Ursprung. Es sind *homologe Organe* (s. Lehrbuch d. Biologie f. d. 8. Schulj., S. 53 bis 55). Die Unterschiede entstanden im Laufe der Entwicklung durch Anpassung an die verschiedenen Umweltbedingungen. Besonders weitgehend stimmen die Skelette von Menschenaffen mit dem Skelett des Menschen überein, da Menschen und Menschenaffen sich erst in geologisch junger Zeit aus gemeinsamen Vorfahren entwickelten.

Trotz der großen Ähnlichkeit mit den Skeletten der Wirbeltiere besitzt das menschliche Skelett wesentliche Besonder-

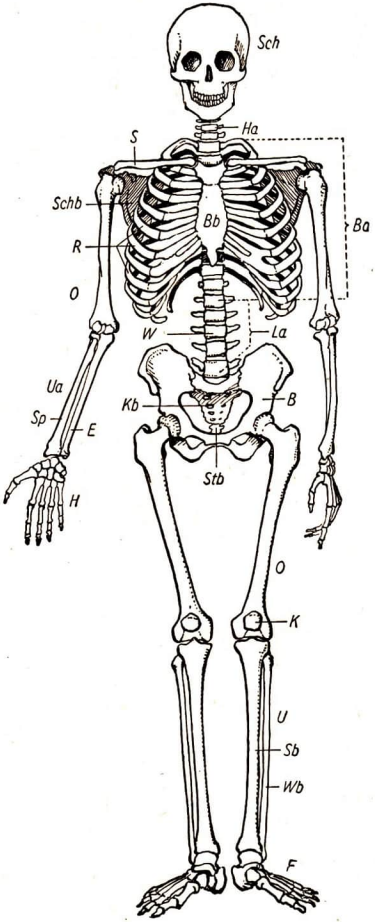


Abb. 17. Skelett des Menschen.

Sch Schädel, *W* Wirbelsäule, *Ha* Halsabschnitt (7 Halswirbel), *Ba* Brustabschnitt (12 Brustwirbel), *La* Lendenabschnitt (5 Lendenwirbel), *Kb* Kreuzbein (5 Kreuzbeinwirbel), *Stb* Steißbein (4 Wirbel), *Bb* Brustbein, *R* Rippen (Brustkorb), *B* Becken, *S* Schlüsselbein, *Schb* Schulterblatt, *O* Oberarmknochen, *Ua* Unterarmknochen mit *Sp* Speiche und *E* Elle, *H* Handknochen, *O* Oberschenkelknochen, *K* Kniescheibe, *U* Unterschenkel mit *Sb* Schienbein und *Wb* Wadenbein, *F* Fußknochen

heiten. Diese *Besonderheiten* entwickelten sich durch den Übergang der Vorfahren der heute lebenden Menschen zum aufrechten Gang und zur Arbeit.
Als Folge des aufrechten Ganges veränderten sich der Brustkorb und das Becken des Menschen. Der Brustkorb wurde breiter, der Abstand zwischen Brustbein und Wirbelsäule geringer. Dadurch lagerten sich die Eingeweide näher an die Wirbelsäule heran, was für die Verteilung des Schwerpunktes beim aufrechten Gang von wesentlicher Bedeutung war.
Das Becken trägt beim aufrechten Gang die Last der Eingeweide. Dadurch entwickelte es sich zu einem breit ausladenden, kräftigen Knochen.
Der Mensch ist der einzige Säuger, der *dauernd* einen *aufrechten Gang* hat. Die Affen bewegen sich im allgemeinen auf den hinteren und vorderen Gliedmaßen fort. Doch ist bereits bei den Affen die Funktionsteilung zwischen vorderen und hinteren Extremitäten stärker ausgeprägt als bei den anderen Säugetieren.
Mit dem Erwerb des aufrechten Ganges verlor die Hand des Menschen mehr und mehr ihre Bedeutung als Fortbewegungsorgan. Der Übergang zur aufrechten Körperhaltung machte die Hand endgültig für die Arbeit frei. Die weitere Ausbildung der Hand vollzog sich unter dem Einfluß der Arbeit.

Wirbelsäule Die Wirbelsäule des Menschen bildet die feste und zugleich federnde Stütze des Körpers. Sie trägt den Kopf sowie die Ansatzknochen für die Gliedmaßen und umschließt mit ihren Wirbelbögen das Rückenmark. Die Wirbelsäule besteht aus 33 bis 34 Wirbeln, aus 7 Hals-, 12 Brust-, 5 Lenden-, 5 Kreuzbein- und 4 bis 5 Steißbeinwirbeln. Man teilt demzufolge die Wirbelsäule in fünf Abschnitte ein: Hals-, Brust-, Lendenabschnitt, Kreuzbein und Steißbein (Abb. 17, 18). Die Wirbelsäule des Erwachsenen zeigt mehrere Krümmungen. Der Halswirbel- und der Lendenabschnitt sind konvex nach vorn gebogen, der Brustwirbelabschnitt nach hinten. Diese Krümmungen der Wirbelsäule sind beim Neugeborenen nur angedeutet und bilden sich erst mit der aufrechten Körperhaltung aus. Durch die Krümmungen wird die Gleichgewichtshaltung des Körpers wesentlich erleichtert.
Jeder *Wirbel* besteht aus dem bauchwärts gelegenen Wirbelkörper und dem rückenwärts gerichteten Wirbelbogen (Abb. 19). Der Wirbelbogen trägt rückenwärts den Dornfortsatz und seitlich Querfortsätze mit Gelenkflächen. Durch die Gelenkflächen und durch Bänder sind die Wirbel untereinander und mit den Rippen gelenkig verbunden. Die Wirbelbögen bilden eine Röhre, den Wirbelkanal, in dem das Rückenmark und seine Hüllen liegen. Zwischen den Wirbelkörpern liegen die knorpeligen Zwischenwirbelscheiben (s. S. 12). Läßt im Alter die Elastizität der Zwischenwirbelscheiben nach, so werden die Scheiben zusammengedrückt, und der Mensch wird dadurch um einige Zentimeter kleiner. Ebenso werden bei lang andauernder auf-

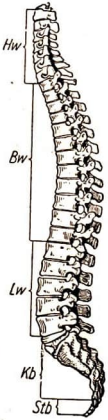


Abb. 18. Wirbelsäule von links.
Bw Brustwirbel, *Hw* Halswirbel, *Kb* Kreuzbein, *Lw* Lendenwirbel, *Stb* Steißbein

rechter Haltung die Zwischenwirbelscheiben zusammengepreßt, so daß der Mensch am Abend etwa 1 bis 2 cm kleiner ist als am Morgen.

Die *Halswirbelsäule* des Menschen besteht, wie bei fast allen Säugetieren, aus sieben Wirbeln. Die Halswirbel sind verhältnismäßig klein. Der erste Halswirbel, der *Atlas*, und der zweite, der *Epistropheus*, stellen die gelenkige Verbindung des Schädels mit der Halswirbelsäule her. Durch die Besonderheit ihrer Funktion weichen sie in ihrer Form von den anderen Halswirbeln erheblich ab. Der Atlas (Abb. 20) bildet einen Knochenring, dessen Innenraum durch ein sehr festes Querband in zwei verschieden große Abschnitte geteilt wird. In den bauchwärts gelegenen kleineren Abschnitt ragt ein zapfenförmiger Knochenfortsatz des Epistropheus, der sogenannte Zahn, hinein (Abb. 20). Entwicklungsgeschichtlich ist der Zahn des Epistropheus ein Teil des Wirbelkörpers des Atlas. Er ist erst sekundär von diesem abgelöst und mit dem Wirbelkörper des Epistropheus verschmolzen. Um den Zahn dreht sich der Atlas und damit der Kopf. Die seitlichen Gelenkgruben am Atlas tragen die Gelenkhöcker des Hinterhauptbeines; sie ermöglichen die Nickbewegung. Im Gelenk zwischen Hinterhauptbein und Atlas werden also die Nickbewegungen, in dem zwischen Atlas und Epistropheus die Drehbewegungen ausgeführt. Die Halswirbel sind nach fast allen Seiten gegeneinander beweglich.

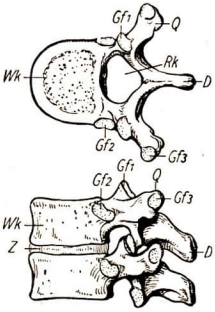


Abb. 19. Brustwirbel, von oben und von der Seite gesehen.

D Dornfortsatz, Gf_1 Gelenkfläche für die entsprechende Gelenkfläche des Querfortsatzes am vorhergehenden Wirbel, Gf_2 Gelenkfläche des Wirbelkörpers für das Rippenköpfchen, Gf_3 Gelenkfläche für die Rippenhöcker, *Rk* Rückenmarkskanal, *Q* Querfortsatz, *Wk* Wirbelkörper, *Z* Zwischenwirbelscheibe

Abb. 20. Oben: Atlas von unten; Mitte: Epistropheus von hinten; unten: Atlas und Epistropheus von oben.

A Wirbelbogen des Atlas, *B* Querband des Atlas, *D* Dornfortsatz, *E* Wirbelbogen des Epistropheus, *Gf* Gelenkflächen des Atlas und des Epistropheus, *Rk* Rückenmarkskanal, *Q* Querfortsatz, *Z* Zahn des Epistropheus

Als *Brustwirbelsäule* bezeichnet man den Teil der Wirbelsäule, der Rippen trägt. Die Brustwirbel können sich gegeneinander etwas drehen, aber nur wenig beugen, so daß die Rippen nicht aneinanderstoßen.

Die fünf *Lendenwirbel* können sich gegeneinander besser beugen, aber weniger drehen als die Brustwirbel. Da die Lendenwirbel einer viel stärkeren Belastung ausgesetzt sind als die Hals- und Brustwirbel, sind sie weitaus kräftiger ausgebildet als diese. Sie sind höher und breiter.

Die fünf Wirbel des *Kreuzbeins* sind miteinander verwachsen und können nicht gegeneinander bewegt werden. Durch festes Bindegewebe sind sie auch mit dem Becken fest, nahezu unbeweglich, verbunden. Durch das Kreuzbein wird die Last des Rumpfes auf das Becken übertragen. Der Wirbelkanal setzt sich bis in das Kreuzbein fort. — Bei

den Säugetieren bilden die zahlreichen Schwanzwirbel das Schwanzskelett. Die entfernteren Vorfahren des Menschen hatten noch einen Schwanz. Beim Menschen dagegen findet man als Rudimente vier bis fünf unentwickelte, oft miteinander verwachsene Steißbeinwirbel. Sie bilden als *Steißbein* das untere Ende der Wirbelsäule.

Brustkorb. Die zwölf Brustwirbel, die dazugehörigen Rippenpaare sowie das Brustbein bilden zusammen mit den Rippenknorpeln den Brustkorb (Abb. 21). Jede Rippe ist gelenkig mit der Wirbelsäule verbunden, und zwar beim zweiten bis zehnten Wirbelkörper an dessen Oberrand und zugleich am Unterrand des vorhergehenden. Sie verläuft bogenförmig schräg abwärts nach vorn. Die vorderen Enden der sieben oberen Rippenpaare stehen durch spangenförmige Rippenknorpel mit dem Brustbein in Verbindung. Die Knorpel des achten, neunten und mitunter zehnten Rippenpaares verwachsen mit den Knorpeln des vorhergehenden Paares und bilden den Rippenbogen. Das elfte und zwölfte, oft auch das zehnte Rippenpaar enden frei. Durch die gelenkigen Verbindungen zwischen Brustwirbeln und Rippen sind die Rippen beweglich befestigt (Abb. 22). Dadurch wird die Brustatmung ermöglicht. Die Bewegungen des Brustkorbes werden durch zwei Muskelschichten bewirkt, welche die Rippenzwischenräume ausfüllen. Die Fasern der äußeren Zwischenrippenmuskeln verlaufen schräg von hinten oben nach vorn unten. Wenn sie sich zusammenziehen, heben sie die Rippen und erweitern dadurch die Brusthöhle (Einatmung). Die inneren Zwischenrippenmuskeln verlaufen unter den äußeren von hinten unten nach vorn oben, sie überkreuzen also die Fasern der äußeren Zwischenrippenmuskeln fast in einem rechten Winkel. Bei einem Zusammenziehen der inneren Zwischenrippen-

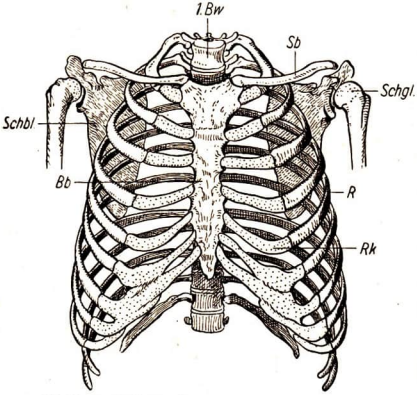


Abb. 21. Brustkorb von vorn.
Bb Brustbein, *1. Bw* 1. Brustwirbel, *R* knöcherne Rippe, *Rk* Rippenknorpel, *Sb* Schlüsselbein, *Schbl* Schulterblatt, *Schgl* Gelenkkopf des Oberarmknochens

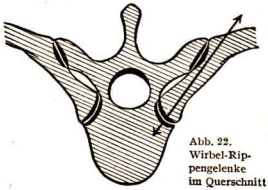


Abb. 22. Wirbel-Rippengelenke im Querschnitt

muskeln werden die Rippen gesenkt. Dadurch wird die Brusthöhle verkleinert (Ausatmung). Während sich bei ruhiger Einatmung der Brustkorb allein durch das Zusammenziehen der äußeren Zwischenrippenmuskeln hebt, wirken bei der Ausatmung die Schwerkraft sowie die Elastizität der Bänder und Gelenke, die den Brustkorb in seine Ruhelage zurückführen, fördernd mit.

Schultergürtel. Der Schultergürtel besteht aus den Schulterblättern (Abb. 23) und den mit ihnen gelenkig verbundenen Schlüsselbeinen. Sie bilden zusammen einen unvollständigen, vorn und hinten offenen Ring. Der vordere zwischen den beiden Schlüsselbeinen liegende Raum des Schultergürtels wird durch den oberen Teil des Brustbeins geschlossen. Die Lücke zwischen den beiden Schulterblättern bleibt frei. Der Schultergürtel ist sehr beweglich. Die Schulterblätter sind nur durch Muskeln und Sehnen mit dem Brustkorb verbunden (Abb. 24). Oben, an der Seitenecke jedes Schulterblattes, befindet sich die Gelenkpfanne des Schultergelenks. Das Schlüsselbein (Abb. 24, 17) ist ein schwach S-förmig gekrümmter Knochen, der Brustbein und Schulterblatt miteinander gelenkig verbindet. Es stützt das Schultergelenk gegen den oberen Teil des Brustbeins ab und gibt dem Gelenk dadurch bei aller Beweglichkeit die notwendige Festigkeit. Das Mittelstück des Schlüsselbeines ist, ähnlich wie die Deckknochen des Schädels, beim Embryo nur bindegewebig, nicht aber knorpelig vorgebildet.

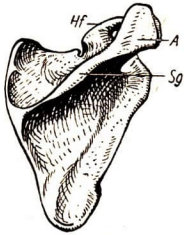


Abb. 23. Schulterblatt.
A Grätenfortsatz, *Hf* Hakenfortsatz, *Sg* Schulterblattgräte

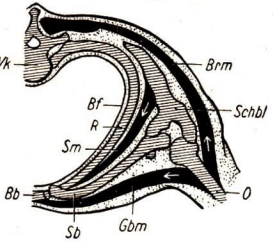


Abb. 24. Querschnitt durch die linke Brustkorbhälfte in Höhe des Schultergelenks.
Bb Brustbein, *Bf* Brustfell, *Brm* breiter Rückenmuskel, *Gbm* großer Brustmuskel, *O* Oberarmknochen, *R* Rippe, *Sb* Schlüsselbein, *Schbl* Schulterblatt, *Sm* seitlicher Sägemuskel, *Wk* Wirbelkörper

Beckengürtel. Das Becken hat eine besondere Bedeutung als Ansatzstelle für die Bänder und Sehnen der Muskeln der unteren Gliedmaßen. Während der Schultergürtel an der Rückenseite offen ist, ist der Beckengürtel ein geschlossener Knochenring (Abb. 25).

Bei den Säugetieren lasten die inneren Bauchorgane auf den muskulösen Bauchwänden, beim Menschen infolge der aufrechten Körperhaltung dagegen auf den Beckenknochen. Dadurch ist im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung das Becken des Menschen breiter geworden.

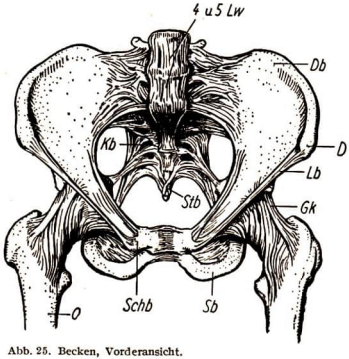


Abb. 25. Becken, Vorderansicht.

D Darmbeinstachel, *Db* Darmbein, *Gk* Bänder der Gelenkkapsel des Hüftgelenks, *Kb* Kreuzbein, *Lb* Leistenband, *4 u. 5 Lw* 4. u. 5. Lendenwirbel, *O* Oberschenkelknochen, *Sb* Sitzbein, *Schb* Schambein, *Stb* Steißbein

Der Beckengürtel wird von den beiden Hüftbeinen und dem Kreuzbein gebildet. Jedes Hüftbein entsteht aus drei Knochen, dem Darmbein, dem Sitzbein und dem Schambein, die im Jugendalter knöchern miteinander verwachsen (Abb. 26). Das Darmbein ist ein platter, schaufelförmiger Knochen. Sitzbein und Schambein umrahmen zusammen ein Loch, das durch eine Bindegewebsplatte verschlossen wird. Die äußerste, vordere Ecke der Darmbeinschaufel bezeichnet man als vorderen Darmbeinstachel (Abb. 25). Er liegt unmittelbar unter der Haut und ist leicht abzutasten. Von ihm verläuft ein starker Bindegewebszug, das Leistenband, zur Mitte des Schambeins.

Die Schambeine verwachsen nicht, sondern bleiben durch Bindegewebe fest verbunden (Schambeinfuge). Am Becken lassen sich zwei Teile unterscheiden. Der obere Teil, das große Becken, wird im wesentlichen von den beiden Darmbeinschaufeln gebildet. Der untere Teil, das kleine Becken, wird vorn durch Schambein und Sitzbein, hinten durch das Kreuzbein gebildet. Bei der Frau verläuft durch das kleine Becken der Geburtskanal. Die Weite des kleinen Beckens ist deshalb von wesentlicher Bedeutung für den normalen Ablauf der Geburt. Das männliche Becken ist hoch, eng und schmal, das weibliche Becken dagegen niedriger, breiter und weiter.

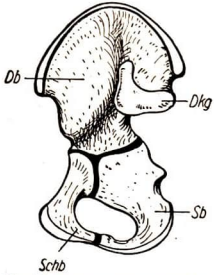


Abb. 26. Rechtes jugendliches Hüftbein von der Innenseite.

Db Darmbein, *Dkg* Gelenkfläche des Darmbein-Kreuzbeingelenks, *Sb* Sitzbein, *Schb* Schambein

Gliedmaßenskelett. Die Knochen des Arm- und Beinskeletts entsprechen einander weitgehend (Abb. 27).

Arm: Oberarmknochen
Speiche und Elle
8 Handwurzelknochen
5 Mittelhandknochen
14 Fingerknochen

Bein: Oberschenkelknochen
Schienbein und Wadenbein
7 Fußwurzelknochen
5 Mittelfußknochen
14 Zehenknochen

Infolge ihrer verschiedenen Funktionen weisen Arme und Beine jedoch Unterschiede in der Stärke und Form der Knochen, in der Form der Gelenke und damit in der Stellung von Hand und Fuß auf.

Das *Schultergelenk* ist ein Kugelgelenk. Es besitzt von allen Gelenken unseres Körpers den größten Bewegungsumfang. Durch das Schultergelenk sind Schulterblatt und Oberarmknochen miteinander verbunden. Die Oberfläche des Gelenkkopfes des Oberarmknochens ist etwa viermal so groß wie die der Gelenkpfanne am Schulterblatt. Der Gelenkkopf liegt also nur zu einem Teil der flachen Pfanne an. Dadurch wird die große Beweglichkeit des Gelenks möglich. Der Oberarmknochen (Abb. 27) und die beiden Unterarmknochen, Speiche und Elle, sind Röhrenknochen, die durch das Ellbogengelenk miteinander verbunden sind. Das *Ellbogengelenk* setzt sich aus drei Gelenkteilen zusammen, die von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben sind, jedoch verschiedenen Bewegungen dienen. Das Gelenkteil zwischen Oberarmknochen und Elle ist ein Scharniergelenk und ermöglicht die Beuge- und Streckbewegungen des Unterarms gegen den Oberarm. Das Gelenkteil zwischen Oberarm und Speiche ist für diese Beuge- und Streckbewegung nur ein Nebengelenk. In dem Gelenkteil zwischen den oberen Enden von Elle und Speiche, einem Radgelenk (s. S. 14), erfolgt die Drehbewegung des Unterarms und der Hand (Abb. 28); außerdem ist ein Gelenk zwischen den unteren Enden der beiden Unterarmknochen an dieser Bewegung beteiligt. Da die Elle für die gelenkige Verbindung von Ober- und Unterarm den Hauptknochen darstellt, ist sie zum Oberarmknochen hin stärker als die Speiche. Die Speiche dagegen ist der Hauptknochen für die gelenkige Verbindung von Unterarm und Handwurzel. Sie ist am Handgelenk stärker als am Ellbogen. Das untere Ende der Speiche liegt der Handwurzel nach der Seite des Daumens hin unmittelbar an; die Elle liegt an der Seite des kleinen Fingers, ist aber nicht direkt gelenkig mit der Handwurzel verbunden.

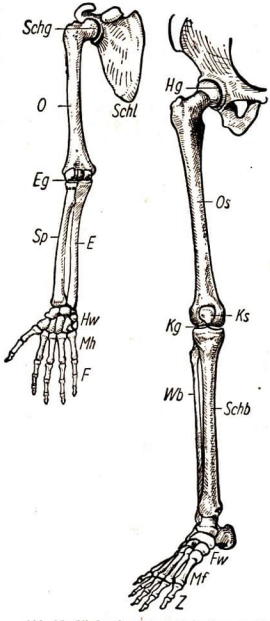


Abb. 27. Gliedmaßenskelett, links Arm-, rechts Beinskelett.

Schg Schultergelenk, *Schl* Schulterblatt, *O* Oberarmknochen, *Eg* Ellbogengelenk, *Sp* Speiche, *E* Elle, *Hw* Handwurzelknochen, *Mh* Mittelhandknochen, *F* Fingerknochen, *Hg* Hüftgelenk, *Os* Oberschenkelknochen, *Ks* Kniescheibe, *Kg* Kniegelenk, *Wb* Wadenbein, *Schb* Schienbein, *Fw* Fußwurzelknochen, *Mf* Mittelfußknochen, *Z* Zehenknochen

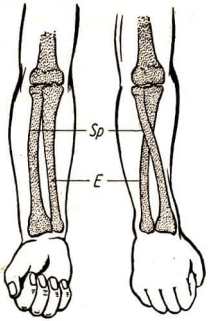


Abb. 28. Drehung der Hand.
E Elle, *Sp* Speiche

Das Skelett der *Hand* besteht aus 8 Handwurzelknochen, 5 Mittelhandknochen und 14 Fingerknochen (Abb. 27). Die Hand ist mit dem Unterarm durch ein zweiteiliges Gelenk verbunden. Es ermöglicht die Bewegungen der ganzen Hand gegen den Unterarm. Das obere Handgelenk ist ein Ellipsoidgelenk; es verbindet die Speiche mit der ersten Reihe der Handwurzelknochen. Das untere Handgelenk liegt zwischen der ersten und der zweiten Reihe der Handwurzelknochen. Der Mittelhandknochen des Daumens ist durch ein Sattelgelenk mit der Handwurzel verbunden, die übrigen Finger sind mit den Mittelhandknochen durch Kugelgelenke verbunden.

Das Kugelgelenk des Oberarms und die Gelenke des Ellbogens, der Hand und der Finger ermöglichen im Zusammenwirken mannigfaltige Bewegungen der Arme und der Hand.

Vergleicht man die Arme des Menschen mit den vorderen Gliedmaßen bei Tieren, so erkennt man, daß die Gelenke des Menschen sich zu einer größeren Beweglichkeit entwickelt haben. Die Knochen der Handwurzel und der Mittelhand bilden eine breite Handfläche. Der Daumen kann allen übrigen Fingern gegenübergestellt werden. Der Unterschied im Aufbau des Skeletts der menschlichen und der tierischen Vordergliedmaßen ist durch ihre verschiedenen Funktionen bedingt. Während die vorderen Gliedmaßen der Tiere in erster Linie zur Fortbewegung dienen, sind die Hände des Menschen Organe der Arbeit.

Die *Beine* sind die Fortbewegungsorgane und die einzige Stütze des frei stehenden Menschen. Dadurch sind die Beinknochen wesentlich kräftiger als die Armknochen geworden. Der Fuß bildet eine sichere und breite Stütze, die senkrecht zum Unterschenkel steht. Infolgedessen sind die Gelenke zwischen Unterschenkel und Fuß anders gebaut als das Handgelenk. Die Bewegung des Fußes erfolgt im oberen und im unteren Sprunggelenk. Im oberen Sprunggelenk, das durch die Enden der beiden Unterschenkelknochen und einen Fußwurzelknochen, das Sprungbein, gebildet wird, erfolgt die Hebung und Senkung des Fußes. Das obere Fußgelenk gestattet nur Bewegungen in dieser einen Ebene.

Es ist also ein Scharniergelenk. Das untere Sprunggelenk wird durch das Sprungbein und zwei andere Fußwurzelknochen, das Fersenbein und das Kahnbein, gebildet. Bei Bewegungen im unteren Sprunggelenk wird der innere Fußrand gehoben und der äußere gesenkt und umgekehrt. Beim Fuß sind Drehbewegungen in weitaus geringerem Maße möglich als bei der Hand.

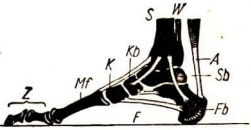


Abb. 29. Fußskelett mit Sehnen.
A Achillessehne, *F* Fußwurzelknochen, *Fb* Fersenbein, *K* Keilbein, *Kb* Kahnbein, *Mf* Mittelfußknochen, *S* Schienbein, *Sb* Sprungbein, *W* Wadenbein, *Z* Zehenknochen

Die Fußwurzelknochen bilden zusammen mit den Mittelfußknochen sowohl ein Längs- als auch ein Quergewölbe (Abb. 29). Sind die Wölbungen zu stark ausgebildet, so spricht man von einem *Hohlfuß*. Ist infolge Erschlaffung der Bänder und Sehnen das Längsgewölbe abgeflacht, so entsteht ein *Senkfuß*, bei völliger Abflachung ein *Plattfuß*. Bei Abflachung des Quergewölbes bildet sich ein *Spreizfuß*. Derartige Anomalien des Fußskeletts führen zu Beschwerden beim Stehen und Laufen. Sie können durch orthopädische Maßnahmen (Einlagen, gymnastische Übungen usw.) oder Operationen beseitigt werden.

Schädel. Am Schädel (Abb. 30) unterscheidet man *Gehirnschädel* und *Gesichtsschädel*. Der Gehirnschädel umschließt das Gehirn; im Gesichtsschädel liegen die Anfänge des Speise- und des Luftweges. Im Gegensatz zum Schädel der Tiere hat der Schädel des Menschen nahezu *Kugelgestalt*. Der Gehirnschädel liegt beim Menschen über dem Gesichtsschädel, während er bei den langgestreckten Tierschädeln hinter dem Gesichtsschädel liegt. Der Gesichtsschädel der Tiere ist für ihre Verteidigung und zum Nahrungserwerb von großer Bedeutung. Das Gebiß der Tiere, das zur Vorbereitung der Nahrung dient, und die größeren Nasenhöhlen, die ein feineres Geruchsvermögen ermöglichen, führten zur Ausbildung eines großen Gesichtsschädels. In vielen Fällen übertrifft er den Gehirnschädel bei Tieren beträchtlich an Umfang und Gewicht. Mit dem Übergang zum aufrechten Gehen und dem Freiwerden der vorderen Gliedmaßen zur Bearbeitung der Nahrung verloren die bisherigen Funktionen des Gesichtsschädels für die Vorfahren des Menschen an Bedeutung. Durch die Fähigkeit, die Hände statt der Zähne als Waffen zu gebrauchen und die Speisen mit den Händen zuzubereiten, konnte sich der Gesichtsschädel rückbilden. Der Gehirnschädel dagegen entwickelte sich mit zunehmender Vergrößerung des Gehirns zu einem Umfang, der den der tierischen Hirnschädel weit übertrifft. Bei den Tieren wird der Schädel mit seinen großen und schweren Gesichtsschädelknochen durch starke Nackenmuskeln und -bänder gehalten. Beim Menschen sind diese Muskeln und Bänder nur noch schwach entwickelt, da der Kopf in der Wirbelsäule eine Stütze von unten besitzt. Viele Tierschädel tragen große Vorsprünge und Kämme als Ansatzstellen stärkerer Muskulatur. Der menschliche Schädel dagegen hat eine verhältnismäßig glatte Oberfläche.

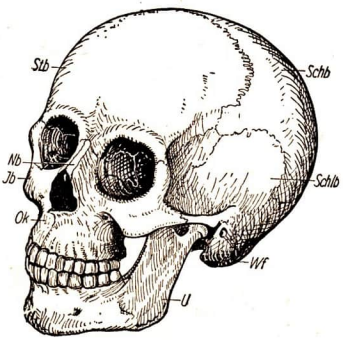


Abb. 30. Schädel.

Jb Jochbein, *Nb* Nasenbein, *Ok* Oberkieferbein, *Schb* Scheitelbein, *Schlb* Schläfenbein, *Stb* Stirnbein, *U* Unterkiefer, *Wf* Warzenfortsatz des Schläfenbeins

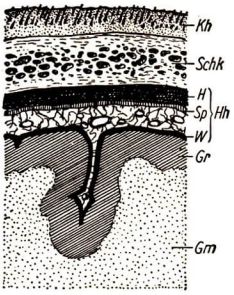


Abb. 31. Hirnhäute im Schnitt.

Kh Kopfhaut, *Schk* Schädelknochen, *Hh* Hirnhäute: *H* harte Hirnhaut, *Sp* Spinnwebhaut, *W* weiche Hirnhaut; *Gr* Großhirnrinde, *Gm* Großhirnmarklager

Der *Hirnschädel* bildet eine fast allseitig geschlossene Kapsel. Er setzt sich zum großen Teil aus flachen, tafelförmigen Knochen zusammen. Beim Erwachsenen sind die Nähte der Schädelknochen, die beim Säugling noch aus Bindegewebe bestehen (Fontanellen), verknöchert. Die Schädelknochen bestehen aus einer äußeren und einer inneren kompakten Knochenschicht, zwischen denen spongiöse Knochensubstanz (s. S. 11) liegt. Die spongiöse Knochensubstanz enthält Knochenmark und zahlreiche Blutgefäße. Die Schädelknochen sind außen von einem dicken Periost bedeckt. Innen liegt dem Knochen die harte Hirnhaut an (Abb. 31).

Das *Schädeldach* wird vom Stirnbein, den beiden Scheitelbeinen und der Schuppe des Hinterhauptsbeines gebildet (Abb. 32). Im jugendlichen Alter sind die zwei *Stirnbeinhälften* in der Mittellinie voneinander getrennt. Erst im Laufe der Entwicklung verschmelzen die Stirnbeinhälften miteinander. An der dicksten Stelle liegt in jeder Stirnbeinhälfte ein mit Schleimhaut ausgekleideter Hohlraum, die *Stirnbeinhöhle*. Beide Stirnbeinhöhlen stehen mit der Nasenhöhle in Verbindung und sind mit Luft gefüllt. An das Stirnbein schließen sich nach hinten die beiden *Scheitelbeine* an. An ihrer hinteren Kante grenzen die Scheitelbeine an die Schuppe des *Hinterhauptbeines*. Der untere Teil des Hinterhauptbeines leitet zur Basis des Schädels über (Abb. 33). In ihm befindet sich eine große Öffnung, das *Hinterhauptloch*. Durch das Hinterhauptloch verlaufen das verlängerte Mark und die beiden Wirbelarterien. Das Hinterhauptbein bildet in seiner Gesamtheit eine Schale, in der das Kleinhirn liegt. Seitlich des Hinterhauptloches wölben sich zwei Gelenkköpfe vor, die in die Gelenkpfannen des Atlas greifen (s. S. 17). Ebenso wie das Hinterhauptbein sind auch die *Schläfenbeine* sowohl am Aufbau der Schädelbasis als auch am Aufbau der Schädelkapsel beteiligt. Sie enthalten zahlreiche Hohlräume und Kanäle, in denen unter anderem das Gehörorgan und das Organ der Lage- und Bewegungsempfindung mit ihren Nerven liegen. Den mittleren Teil der Schädelbasis nimmt das *Keilbein* mit seinen Fortsätzen, den *Keilbeinflügeln*, ein. Das Hinterhauptsbein und das Keilbein sind beim Jugendlichen durch Knorpel verbunden, die später durch

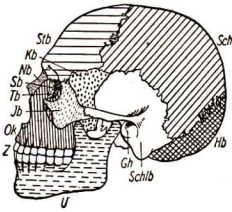


Abb. 32. Schädelknochen.

Gh Gehörgang, *Hb* Hinterhauptbein, *Jb* Jochbein, *Kb* Keilbeinflügel, *Nb* Nasenbein, *Ok* Oberkieferknochen, *Sb* Siebbein, *Schb* Scheitelbein, *Schlb* Schläfenbein, *Stb* Stirnbein, *Tb* Tränenbein, *U* Unterkiefer, *Z* Zähne

Knochen ersetzt werden. In einer Vertiefung des Keilbeins, dem *Türkensattel* (Abb. 33), liegt die Hirnanhangdrüse, die Hypophyse (Abb. 106, S. 127). Vor dem Keilbein und unter dem Stirnbein liegt das *Siebbein*, das zusammen mit dem *Pflugscharbein* den knöchernen Teil der Nasenscheidewand und der Nasenmuscheln bildet. Das Siebbein ist an seiner Oberseite von vielen kleinen Öffnungen durchbrochen, durch die Fasern des Riechnervs vom Gehirn zur Nasenhöhle hindurchtreten.

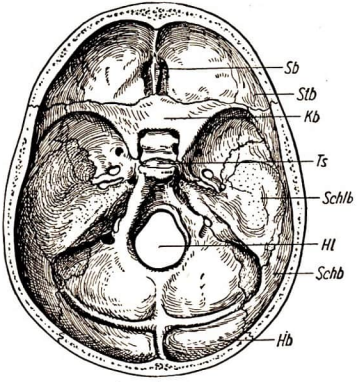


Abb. 33. Schädelbasis von innen.
Hb Hinterhauptbein, *Hl* Hinterhauptloch, *Kb* Keilbein, *Schb* Scheitelbein, *Schlb* Schläfenbein, *Stb* Stirnbein, *Sb* Siebbein, *Ts* Türkensattel

Den größten Teil des *Gesichtsschädels* nehmen die beiden *Oberkieferknochen* ein, die vorn, in der Mittellinie, verwachsen sind. Diejenigen Abschnitte der Oberkieferknochen, welche die Schneidezähne tragen, heißen *Zwischenkieferknochen*. Sie sind bis kurz vor der Geburt seitwärts durch Knochennähte vom Oberkiefer abgesetzt. Das ist ein Beweis dafür, daß sie den Zwischenkieferknochen der Säugetiere homolog sind. Bei den Säugetieren bleiben diese Nähte im allgemeinen zeitlebens bestehen. Im Oberkieferknochen befinden sich ebenso wie im Stirnbein und im Keilbeinkörper luftgefüllte, mit Schleimhaut ausgekleidete Höhlen, die mit der Nasenhöhle in Verbindung stehen. Der Oberkieferknochen ist an der Bildung der Augenhöhle (untere Wand), der Nasenhöhle (seitliche Wand) und der Mundhöhle (vorderer Teil des knöchernen Gaumens) beteiligt. Der hintere Teil des knöchernen Gaumens wird von den in der Mittellinie miteinander verschmolzenen *Gaumenbeinen* gebildet (Abb. 55, S. 54).

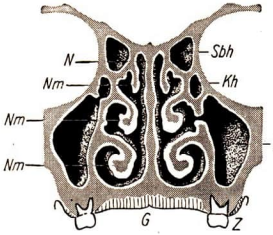


Abb. 34. Querschnitt durch die Nasenhöhle.
G knöcherner Gaumen, *Kh* Oberkiefer, *Nm* Nasenmuscheln, *N* Nasenscheidewand, *Sbh* Siebbeinhöhle, *Z* Zahn

Die Nase wird im oberen Teil von den *Nasenbeinen* gestützt, die oben an das Stirnbein, hinten und seitwärts an den Oberkieferknochen grenzen.

An den Innenseiten der Augenhöhlen liegen die kleinen *Tränenbeine*, die an der Bildung des Tränenkanals beteiligt sind. Seitlich wird die Augenhöhle von dem senkrechten Fortsatz des *Jochbeins* gebildet. Dieser Fortsatz verwächst an seinem

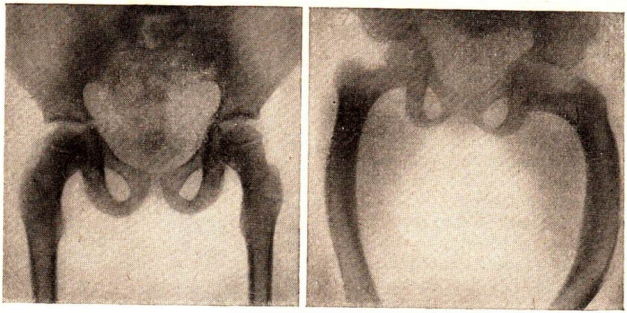


Abb. 35. Röntgenaufnahme des kindlichen Beckens und der Oberschenkelknochen, links normal, rechts Oberschenkel durch Rachitis verkrümmt, Becken eingedrückt

oberen Teil mit dem Stirnbein. Der nach vorn gerichtete Fortsatz des Jochbeins grenzt an den Oberkieferknochen, der nach hinten gerichtete verwächst mit einem Fortsatz des Schläfenbeins und überbrückt damit die Schläfengrube. Die Schläfengruben werden vom vorderen Anteil des Schläfenbeins und weiter vorn durch den großen Keilbeinflügel gebildet.

Ober- und Unterkiefer tragen die *Zähne*. Der *Unterkiefer* ist der einzige frei bewegliche Knochen des Schädels. Er umgibt spangenartig seitlich und vorn die Mundhöhle. Der Unterkiefer ist im Kiefergelenk mit dem Schläfenbein beweglich verbunden. Der aufsteigende Ast des Unterkieferknochens endet in zwei Fortsätzen. Am vorderen Fortsatz setzt der als Kaumuskel wichtige Schläfenmuskel an; der hintere Fortsatz trägt den Gelenkkopf des Kiefergelenks. Der Boden der Mundhöhle wird nicht von Knochen, sondern von Muskeln gebildet. Das kleine *Zungenbein* liegt, nur durch Muskeln mit anderen Knochen verbunden, in der Zungenwurzel.

c) Erkrankungen und Verletzungen der Knochen und Gelenke

Rachitis. Eine Erkrankung des Skeletts, die in früheren Zeiten außerordentlich häufig auftrat, ist die Rachitis. Sie beruht auf einem Mangel an Vitamin D. Das Vitamin D bewirkt die Ablagerung von Kalksalzen in die neugebildete und zunächst unverkalkte Grundsubstanz der wachsenden Knochen. Bei einem Mangel an Vitamin D ist also die Verkalkung der Knochengrundsubstanz verzögert und mangelhaft; die Knochen bleiben abnorm biegsam. Dadurch treten, besonders an den stark belasteten Knochen (untere Gliedmaßen, Becken, Wirbelsäule), Verkrümmungen auf (Abb. 35). Der ungenügend verkalkte Knochen reagiert auf die Belastungsreize mit einer verstärkten Wucherung der Knorpelzellen und der Knochenbildungszellen. Es bilden sich am Skelett Verdickungen und Auswüchse. Die Rachitis läßt

sich heute mit Sicherheit durch ausreichende Zufuhr von Vitamin D (Dekristol, Lebertran) verhüten oder heilen. Da der menschliche Körper im Unterhautfettgewebe eine chemische Substanz (Ergosterin) speichert, die durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (Sonne, Höhensonne) in Vitamin D umgewandelt wird, läßt sich die Rachitis auch durch ausgiebige Sonnenbestrahlung wirksam bekämpfen. Man bezeichnet chemische Substanzen, die wie das Ergosterin als Vorstufe eines Vitamins im Körper erst in dasselbe umgewandelt werden, als Provitamine. Durch die Umwandlung des Ergosterins oder die direkte Zufuhr von Vitamin D werden in die rachitisch veränderten Knochen Kalksalze abgelagert. Richtet man die verkrümmten Knochen durch orthopädische Maßnahmen zuvor gerade, so brauchen durch die Rachitis keine dauernden Veränderungen zu entstehen. Werden die Kalksalze aber in die verkrümmten Knochen abgelagert, so entstehen bleibende Formänderungen des Skeletts. Deshalb ist die Verhütung bzw. die frühzeitige ärztliche Behandlung der Rachitis von großer Wichtigkeit.

Gelenkrheumatismus. Eine häufige Erkrankung der Gelenke ist der Gelenkrheumatismus. Er äußert sich in einer Entzündung eines oder mehrerer Gelenke, die schmerzhaft anschwellen. Ursache und Entstehung des Gelenkrheumatismus sind noch nicht eindeutig geklärt. Wahrscheinlich entsteht er durch eine Überempfindlichkeitsreaktion des Bindegewebes auf Stoffwechselprodukte von Bakterien, die von einem Bakterienherd des Körpers (häufig an den Zahnwurzeln, in den Gaumenmandeln usw.) in die Blutbahn ausgeschwemmt werden. Auch an anderen Stellen des Körpers, beispielsweise an der Herzinnenhaut, können dabei durch die Stoffwechselprodukte der Bakterien Entzündungen entstehen. Die akute, mit Fieber einhergehende Form des Gelenkrheumatismus tritt oft im jugendlichen Alter auf, die chronische, fieberlos verlaufende Form häufiger im höheren Alter. Durch Entfernung der Bakterienherde läßt sich der Krankheitsprozeß oft aufhalten; die bereits bestehenden Veränderungen an den Gelenken können durch Wärmebehandlung und Bäder günstig beeinflußt werden.

Knochenbrüche. Festigkeit und Elastizität der Knochen sind außerordentlich groß. Dennoch kann bei Stürzen oder Sprüngen die Festigkeitsgrenze der Knochen durch die Stoßbelastung überschritten werden. Dann bricht der Knochen. Dabei kann es zu einer Abknickung, Verdrehung, Seitenverschiebung und (durch Muskelzug) zu einem Nebeneinanderschieben der Knochenenden kommen. Durch die Gewebezerreißung entsteht in der Umgebung der Bruchstellen ein Bluterguß, der sich nach außen als Schwellung mit blauroter Verfärbung der Haut bemerkbar macht. Durch Reizung sensibler Nerven treten, besonders beim Versuch einer Bewegung des verletzten Gliedes, Schmerzen auf. Je nachdem, ob die Haut über der Bruchstelle verletzt ist oder nicht, spricht man von *offenen* oder *geschlossenen Knochenbrüchen*. Bei einem offenen Knochenbruch besteht die Gefahr einer *Infektion*. Durch die Wunde können Bakterien in die tiefer gelegenen Gewebe eindringen und hier Entzündungsprozesse und Eiterungen hervorrufen. Auch der Erreger des Wundstarrkrampfes kann auf diese Weise in den Körper gelangen und den *Wundstarrkrampf* (Tetanus, s. S. 32) verursachen. Noch vor etwa 50 Jahren verliefen nahezu zwei

Drittel aller offenen Brüche durch Infektion tödlich. Durch das Abdecken der Wunden mit sterilisiertem Verbandmaterial läßt sich heute in der Mehrzahl der Fälle eine Infektion vermeiden. Vorbeugende Injektion von Wundstarrkrampfserum vermag den Ausbruch des Wundstarrkrampfes zu verhindern. Auch bei Eiterungen stehen heute der Medizin in den Sulfonamiden und den Antibiotica (z. B. Penicillin) wirksame Heilmittel zur Verfügung, so daß tödliche Ausgänge offener Knochenbrüche praktisch nicht mehr vorkommen.

Es gibt eine Anzahl *typischer Bruchstellen.* So bricht beispielsweise bei Stürzen auf die Hand besonders häufig die Speiche in ihrem unteren Drittel (Abb. 36). Das liegt daran, daß nur die Speiche, nicht aber die Elle gelenkig mit der Hand verbunden ist (s. S. 21). Bei einem Sturz überträgt sich die Belastung also hauptsächlich auf die Speiche. Am Oberschenkel bricht häufig der Schenkelhals des Oberschenkelknochens.

Zur Erkennung (Diagnose) von Knochenbrüchen wird heute das *Röntgenbild* herangezogen. Es läßt alle Einzelheiten eines Bruches erkennen und bildet damit eine wichtige Grundlage für die ärztliche Behandlung. — Nach einem Knochenbruch wächst der Knochen wieder zusammen. Vom Periost aus werden die Bruchenden zunächst durch wucherndes Bindegewebe miteinander verbunden, das später verknöchert. Überschüssig gebildete Knochensubstanz wird späterhin wieder aufgelöst. Die Heilung des Bruches wird durch vorsichtige Belastung der Bruchstelle beschleunigt. Man verwendet deshalb bei Brüchen des Unterschenkels häufig den Gehgipsverband.

Bei jedem Verdacht eines Knochenbruches muß der Verletzte sofort nach Leistung der ersten Hilfe zu einem Arzt oder in ein Krankenhaus transportiert werden.

Abb. 36. Röntgenaufnahme eines typischen Speichenbruches

Die *erste Hilfe* bei Knochenbrüchen besteht darin, daß man das verletzte Glied vollständig ruhigstellt. Bei offenen Brüchen legt man auf die Wunde zunächst einen keimfreien Verband. Bei geschlossenen Brüchen muß man darauf achten, daß kein Bruchende durch unvorsichtige Bewegung die Haut durchspießt und der Bruch dadurch zu einem offenen wird. Das verletzte Glied wird durch Schienen aus Stöcken, Ästen, Brettern usw. ruhiggestellt. Jede derartige behelfsmäßige Schiene muß durch Taschentücher, Halstücher, Oberhemden usw. gut gepolstert werden. Die Schiene soll über die beiden dem Bruch benachbarten Gelenke hinwegreichen. Beim Schenkelhalsbruch beispielsweise muß die Schiene vom Brustkorb bis zum Unterschenkel reichen. Notfalls kann man einen verletzten Arm auch an den Rumpf, ein verletztes Bein an das gesunde schienen. Die Schienen müssen so fest an das verletzte Glied gebunden werden, daß es vollständig ruhiggestellt ist, die Blutzirkulation jedoch nicht gestört wird. Bei Kälte sind die geschienten Gliedmaßen warmzuhalten (Decken, Wärmflasche).

Verrenkungen und Verstauchungen. Die empfindlichsten Teile des Skeletts sind die Gelenke. An ihnen kommt es durch gewaltsame Überbeugung oder Überstreckung häufig zu Verstauchungen (Zerrungen) oder Verrenkungen. Während bei den Verstauchungen die Gelenkenden von selbst wieder in ihre normale Lage zurückkehren, werden bei Verrenkungen die Gelenkenden so weit verschoben, daß die Gelenkflächen jede Berührung miteinander verlieren (Abb. 37). Sowohl bei Verstauchungen als auch bei Verrenkungen werden die Gelenkkapseln und Bänder übermäßig gedehnt oder zerrissen. Dabei treten häufig Blutergüsse am Gelenk oder in den benachbarten Gebieten auf. Besonders leicht entstehen Verrenkungen am Schultergelenk, da bei diesem Kugelgelenk der Gelenkkopf nur zu etwa einem Viertel in der Gelenkpfanne ruht. Bei Verrenkungen kann das verletzte Glied nicht mehr bewegt werden. In diesem Falle muß das Gelenk von einem Arzt wieder eingerenkt werden. Ohne Röntgenbild läßt sich nicht feststellen, ob außer einer Verrenkung oder Verstauchung auch noch ein Bruch entstanden ist. Schon deshalb bedarf jede dieser Verletzungen ärztlicher Hilfe. Auf keinen Fall darf man versuchen, eine Verrenkung selbst zu beheben.

Abb. 37. Röntgenaufnahme einer Verrenkung im Ellbogengelenk

II. Bewegungssystem

a) Bau und Funktion des Muskelgewebes

Das Muskelgewebe entwickelt sich aus dem mittleren Keimblatt. Die Fähigkeit der *Formveränderung*, die alles Protoplasma besitzt, ist im Muskelgewebe besonders entwickelt. Die Muskelzellen oder *Muskelfasern* können sich in ihrer Längsrichtung verkürzen *(kontrahieren)*. In jeder Muskelzelle befinden sich feine Plasmafädchen, die den Zelleib längs durchziehen. Man nennt sie *Myofibrillen*. Die Myofibrillen haben die Eigenschaft der Kontraktilität. Die Kontraktion des Muskels beruht also auf der Zusammenziehung der Myofibrillen in den einzelnen Muskelfasern. Die Muskelfasern und damit der ganze Muskel werden kürzer und dicker.

Nach der Beschaffenheit der Myofibrillen unterscheidet man glatte Muskulatur (Eingeweidemuskulatur) und quergestreifte Muskulatur (Skelett- und Herzmuskulatur).

Die *glatten Muskelfasern* der Eingeweidemuskulatur sind längliche, hüllenlose Zellen, die nur *einen* Kern besitzen (Abb. 38). Ihre Myofibrillen lassen sich nur durch besondere Färbemethoden darstellen; sie erscheinen gleichförmig (homogen). Die einzelnen Muskelfasern werden durch Bindegewebe zu Faser-

Abb. 38. Glatte Muskelfasern (*a* etwa 100fach vergr.; *b* etwa 400fach vergr.); *a* Längsschnitt, *b* Querschnitt. *F* Fibrillen, *K* Kern

Abb. 39. Quergestreifte Muskelfaser, am unteren Ende aufgefasert (etwa 600fach vergr.). *K* Kern, *Mf* Muskelfibrillen, *S* Sarkolemm

bündeln vereinigt. Da die glatte Muskulatur nicht dem Willen unterworfen ist, bezeichnet man sie auch als *unwillkürliche Muskulatur*. In den Wandungen von Speiseröhre, Magen, Darm, Harnblase, Gebärmutter und Blutgefäßen treten glatte Muskelfasern auf.

Die *quergestreiften Muskelfasern* (Abb. 39, 40) sind dicker und länger als die glatten. Beim Embryo unterscheiden sich die Zellen der quergestreiften Muskulatur zunächst sehr wenig von denen der glatten Muskulatur. Erst im Laufe der Entwicklung bilden sie sich durch schnelleres Wachstum zu langen Muskelfasern aus. Als Folge häufiger Kernteilung ohne nachfolgende Plasmateilung enthalten sie viele Kerne. Im Verlauf jeder Myofibrille wechseln stärker und doppelt lichtbrechende *(anisotrope)* mit schwächer und einfach lichtbrechenden *(isotropen)* Lagen ab. Dadurch kommt die Querstreifung zustande. Diese einzelnen Querschichten der verschiedenen Fibrillen liegen innerhalb der Muskelfaser eines Skelettmuskels nebeneinander in gleicher Höhe. Daher erscheint die ganze Faser quergestreift. Die Myofibrillen drängen die Zellkerne randständig beiseite.

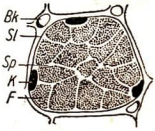


Abb. 40. Querschnitt durch eine quergestreifte Muskelfaser (etwa 900fach vergr.). *Bk* Blutkapillare, *F* Fibrillen, *K* Kern, *Sl* Sarkolemm, *Sp* Sarkoplasma

Im Gegensatz zu den glatten Muskelzellen bilden die quergestreiften Muskelzellen eine Zellmembran aus (Sarkolemm, Abb. 40). Die einzelnen quergestreiften Muskelfasern sind von lockerem Bindegewebe umgeben. Jeweils mehrere Muskelfasern werden durch dickere Bindegewebelagen zu einem Faserbündel zusammengeschlossen. Mehrere solcher Bündel wiederum bilden ein ebenfalls von Bindegewebe umgebenes großes Bündel und so fort über immer größere Bündel bis zum ganzen Muskel (Abb. 41). Im Bindegewebe verlaufen die Nerven und Blutgefäße zu den Muskelfasern. Die quergestreifte Muskulatur ist mit Ausnahme der Herzmuskulatur dem Willen unterworfen. Man bezeichnet sie deshalb auch als *willkürliche Muskulatur*. Die Herzmuskulatur (Abb. 42) weist einen von der Skelettmuskulatur etwas abweichenden Bau auf (s. S. 97).

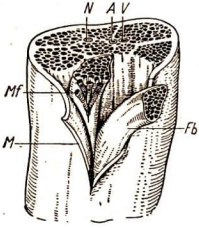


Abb. 41. Plastischer Querschnitt durch einen quergestreiften Muskel. *A* Arterie, *Fb* Faserbündel, *M* Muskelbinde, *Mf* Muskelfaser, *N* Nerv, *V* Vene

An den Skelettmuskeln lassen sich drei Bestandteile unterscheiden: das rote *Muskelfleisch*, die *Muskelbinde* (Faszie) und die gelblichweißen *Sehnen*. Nur das Muskelfleisch enthält Muskelzellen; Faszien und Sehnen sind Bindegewebe. Die Faszien umhüllen die Muskeln. Sie gehen an beiden Enden des Muskels in das straffe Sehnengewebe über. Die Sehnen strahlen in das Periost des Knochens ein und verbinden so den Knochen mit den Muskeln.

Bestimmte Sehnen der Hand und des Fußes sind von einem mit Flüssigkeit gefüllten Schlauch aus Bindegewebe, der *Sehnenscheide*, umgeben. Die Sehnenscheiden verhindern, daß sich die Sehnen aneinander reiben.

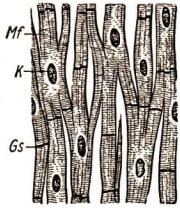
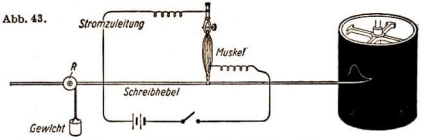


Abb. 42. Herzmuskulatur (etwa 300fach vergr.). *Gs* Glanzstreifen, *K* Kern, *Mf* Muskelfasern

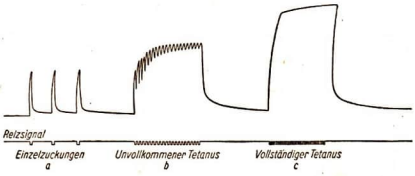
Muskelkontraktion. Alle Muskelfasern sind reizbar, elastisch, können sich zusammenziehen und Erregungen weiterleiten. Sie reagieren auf unmittelbare mechanische, elektrische oder chemische Reize mit einer Zusammenziehung. Dieser Vorgang läßt sich am herausgetrennten Schenkelmuskel eines Frosches zeigen. Sticht man einen solchen Froschmuskel mit einer Nadel, berührt man ihn mit einem erhitzten Draht oder läßt man elektrischen Strom auf ihn einwirken, so zuckt er zusammen.

Im lebenden Körper werden die Muskeln auf andere Weise gereizt. Zu jeder Muskelfaser führt eine *Nervenfaser*, die die vom Zentralnervensystem ausgehenden Erregungen zur betreffenden Muskelfaser leitet. Auf jeden dieser physiologischen Reize reagiert die Muskelfaser mit einer blitzschnellen Zusammenziehung (Zuckung). Zwischen Reiz und Reaktionsbeginn liegt eine kurze Zeitspanne, in der sich der Reiz noch nicht auswirkt *(Latenzzeit)*. Diese Latenzzeit beträgt beim quergestreiften Muskel etwa 0,01 Sekunde, beim glatten Muskel etwa eine bis mehrere Sekunden. Auch die Dauer der Einzelzuckung ist bei quergestreiften und glatten Muskelfasern verschieden. Bei den Skelettmuskeln beträgt sie 0,1 Sekunde und darüber, bei den Eingeweidemuskeln dagegen 80 bis 100 Sekunden. Erfolgt ein zweiter Reiz, ehe die erste Zuckung beendet ist, so fließen die Zuckungen zusammen (Abb. 43). Folgen die Reize genügend rasch aufeinander, so führt das Zusammenfließen einzelner Kontraktionen zu einer starken *Dauerkontraktion (Tetanus*, nicht zu verwechseln mit der gleichnamigen Krankheit, s. S. 27). Solche tetanischen Kontraktionen der Muskelfasern liegen den meisten Zusammenziehungen der Skelettmuskeln zugrunde. Unsere Muskeln können

Abb. 43.



Versuchsanordnung zur Aufzeichnung von Muskelzuckungen



Zuckungskurve, *a* bei drei Einzelreizen in größerem, zeitlichem Abstand, *b* bei einer Reizfolge von etwa 20 Reizen je Sekunde, *c* bei einer Reizfolge von etwa 50 Reizen je Sekunde

dabei in einer Sekunde 40 bis 60 Reize durch die Nerven erhalten, bei erhöhten Leistungen sind es noch mehr. Beim *Wundstarrkrampf* befindet sich die Mehrzahl der Skelettmuskeln in einer Dauerkontraktion, da den Muskeln von dem krankhaft gereizten Rückenmark dauernd nervöse Erregungen zufließen.
Die durch blitzartige Einzelzuckungen der Muskelfasern entstehenden Muskelkontraktionen lassen sich am besten bei den Reflexen (z. B. beim Kniesehnenreflex und am Lidschlag) beobachten.
Bei gleichzeitiger Reaktion aller Muskelfasern erreicht die Kontraktion des ganzen Muskels ihre größte Kraft. Werden weniger Muskelfasern gleichzeitig gereizt, so ist demzufolge auch die Kraft der Muskelkontraktion geringer. Wird ein Muskel (beispielsweise durch eine Nervenverletzung) vollständig von den natürlichen, ihm durch Nerven zufließenden Reizen abgeschnitten, so ist er gelähmt. Einige Zeit lang läßt er sich dann noch durch direkte künstliche Reizung mit Elektroden, die man auf den Muskel aufsetzt, zur Zusammenziehung bringen. Nach einigen Wochen verliert er jedoch auch diese Fähigkeit. Er atrophiert und reagiert auf keine Art der Reizung mehr mit einer Zusammenziehung.
Im Gegensatz zu den Skelettmuskeln besitzen die glatten Muskeln eine verhältnismäßig schwache Erregbarkeit und ziehen sich sehr langsam zusammen. Sie dehnen sich auch verhältnismäßig langsam wieder. Die Magen- und Darmmuskeln, die aus glatten Fasern bestehen, brauchen für jede Kontraktion mehrere Sekunden. Dementsprechend sind auch die Bewegungen der Organe mit glatter Muskulatur langsamer und träger. Die Bewegungen der leicht erregbaren quergestreiften Muskeln vollziehen sich dagegen mit außerordentlicher Schnelligkeit. Die Skelettmuskeln des Menschen beispielsweise können sich bis zu zehnmal in der Sekunde tetanisch zusammenziehen.

Muskeltonus. 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 (s. S. 155). Das Zentralnervensystem entsendet dann seinerseits Impulse, die den Tonus verändern. Läßt man die Arme ruhig 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.
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 ab. 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 Energieaufwand aufrechterhalten. Bei Skelettmuskeln gibt es keine Dauerkontraktionen ohne Stoffwechselsteigerung, die den Dauerverkürzungen der glatten Muskulatur vergleichbar sind. Alle dauernden Muskelanspannungen, die beim Stehen, Laufen oder Sitzen notwendig sind und unbewußt ausgeführt werden, erfordern einen erhöhten Energieaufwand. Die Muskelanspannungen, die einem ständigen Wechsel unterworfen sind, bilden die Basis für alle willkürlichen und reflektorischen Bewegungsvorgänge.

Chemische Vorgänge bei der Muskelkontraktion. Ein Reiz löst im Muskel eine Reihe physikochemischer Vorgänge aus, die eine Kontraktion des Muskels bewirken. Diese Vorgänge sind stets mit positiver Wärmetönung verbunden. Im Gegensatz zu einer Wärmekraftmaschine wird jedoch im Muskel nur ein Teil der frei werdenden chemischen Energie in Wärme umgewandelt. Der andere Teil, etwa 30%, wird unmittelbar als mechanische Arbeit wirksam.

In der Arbeitsphase des Muskels werden komplizierte organische Phosphorverbindungen abgebaut. Dabei entstehen Phosphorsäuren. Diese Phosphorsäuren bewirken Veränderungen in den langgestreckten fadenförmigen Eiweißmolekülen, die parallel zur Oberfläche in den Myofibrillen liegen. Nur sie bilden die kontraktile Substanz. Sie gehen unter Einwirkung der Säure aus der gestreckten Form in Spiralform über und verursachen so die Kontraktion des Muskels.

In der Erholungsphase müssen die energieliefernden Ausgangsstoffe aus den Spaltprodukten immer wieder aufgebaut werden.

Die notwendige Energie gewinnt der Muskel aus der Umwandlung von Glykogen, einem hochmolekularen Kohlenhydrat [Summenformel $(C_6H_{10}O_5)_n$], in Milchsäure. Ein Teil dieser Milchsäure wird mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd und Wasser oxydiert. Die dabei frei werdende Energie dient dem Wiederaufbau der übrigen Milchsäure zu Glykogen. Kohlendioxyd und Wasser werden mit dem Blut zu den Ausscheidungsorganen transportiert.

Wir unterscheiden also bei der Muskelkontraktion verschiedene Phasen. In der Arbeitsphase wird durch gärungsähnliche Prozesse die Energie für die Kontraktion gewonnen. Während der Erholungsphase werden die Voraussetzungen geschaffen, die den Muskel wieder arbeitsfähig machen. Man kann diese Vorgänge vergleichen mit der Entladung eines Akkumulators (Arbeitsprozeß) und dessen Wiederaufladung (Erholungsprozeß).

Der Glykogenvorrat des Muskels nimmt also durch Kontraktionen allmählich ab. Sobald der Glykogenbestand des Muskels abnimmt, diffundiert jedoch aus dem Blut Traubenzucker in die Muskelzellen hinein und wird hier zu neuem Glykogen aufgebaut.

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 z. B. einen 100-m-Lauf, auszuführen. Die Sauer-

stoffaufnahme ist auf dieser Strecke ganz unbedeutend (kaum ein Liter). Der für die Erholungsphase zur Verbrennung der entstandenen Milchsäure erforderliche Sauerstoff (etwa acht Liter) wird erst nach dem Lauf eingeatmet, was etwa zwei Minuten dauert.

Ermüdung des Muskels. Bei anhaltender Arbeit werden Milchsäure und Kohlensäure nur ungenügend vom Blut weggeschafft. Sie häufen sich im Muskel an; der Muskel ermüdet allmählich und versagt schließlich. Die verstärkte Durchblutung im geübten Muskel erleichtert den Abtransport der Ermüdungsstoffe. Im Versuch können wir die Ermüdungsstoffe mit physiologischer Kochsalzlösung aus einem Muskel ausspülen und damit eine Ermüdung verhindern. Der „Muskelkater" ist ein Zeichen dafür, daß sich in ungeübten Muskeln Ermüdungsstoffe angehäuft haben. Massage beschleunigt die Blutzirkulation und damit die Erholung. Bei den meisten Arbeiten wechseln die beteiligten Muskeln in ihrer Tätigkeit ab und ermüden deshalb nicht so rasch. Daher strengt 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 geleisteten Arbeit. 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.

Energieumsatz. Als Nutzeffekt bezeichnet man denjenigen Teil der einer Maschine zugeführten Energie, der in nutzbare Arbeit umgesetzt wird. Betrachten wir den Muskel als eine Maschine, so hat er einen Nutzeffekt von 25% bis fast 40%, das heißt, 25% bis 40% der dem Muskel mit den Nährstoffen zugeführten Energie werden in nutzbare mechanische Arbeit umgesetzt. Dampfmaschinen, bei denen zunächst die gesamte chemische Energie in Wärme und dann ein Teil davon in Bewegung umgesetzt wird, haben einen Nutzeffekt von 15% bis 18%, Dieselmotoren von 35% und darüber.

Muskelarbeit. Bei jeder Bewegung leisten unsere Muskeln mechanische Arbeit. Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg. Die *Kraft*, die ein Muskel ausüben kann, wird gemessen durch das Gewicht, das er heben kann. Sie ist um so größer, je mehr Fasern nebeneinanderliegen, das heißt, je dicker der Muskel ist. Der *Weg* ist die Strecke, um die sich der Muskel verkürzt. Je länger die Fasern sind, desto mehr kann sich der Muskel bei der Kontraktion verkürzen. Kurze, dicke Muskeln können große Kraft ausüben; dünne, lange Muskeln sind rascher, weitausholender Bewegungen fähig.
Die bei einer Muskelkontraktion geleistete Arbeit hängt auch von der Lage der *Ansatzpunkte* des Muskels an den Skeletteilen ab. Je länger der Hebelarm, an

dem der Muskel ansetzt, desto größer ist die von dem Muskel geleistete Arbeit. Regelmäßige Beanspruchung eines Muskels führt zur Größenzunahme der Muskelfasern und damit zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit. Die höchste Steigerung der Muskelleistung wird durch systematische Leibesübungen erreicht. Höhere Muskelleistung bedeutet auch größeren Sauerstoffbedarf, der durch die Atmungs- und Kreislauforgane gedeckt werden muß. Auch diese werden also durch regelmäßige Leibesübungen gekräftigt. So führt die Muskelarbeit nicht nur zu einer Stärkung der betätigten Muskeln selbst, sondern auch zur Stärkung des Herzens, der Atemmuskulatur und der Kreislaufregulation.

b) Muskulatur des Menschen

Skelettmuskeln. Der Mensch besitzt über 300 Skelettmuskeln. Mit wenigen Ausnahmen verbinden sie Teile des Skeletts miteinander. Nur einige quergestreifte Muskeln, die lediglich in der Haut ansetzen, haben keine Verbindung zum Knochensystem: es sind dies die mimischen Muskeln der Gesichtshaut.
Durch ihre Kontraktion rufen die Muskeln entweder eine Körperbewegung hervor oder halten Körperteile in einer bestimmten Lage. Die Knochen wirken dabei im allgemeinen als *Hebel*, die durch die Muskeln in Bewegung gesetzt werden. Die Bewegung in einem Gelenk erfolgt gewöhnlich durch mehrere Muskeln. Andrerseits ist jeder einzelne Muskel an der Ausführung verschiedener Bewegungen beteiligt. Die Bewegungsmöglichkeiten hängen von der Lage der Befestigungspunkte der Muskeln an den betreffenden Knochen ab. Die Verschiedenartigkeit der Bewegungen ist weiterhin bedingt durch das Zusammenspiel verschiedener Muskeln. Muskeln, die bei Ausführung einer einfachen Bewegung zusammen wirken, bezeichnet man als *Synergisten*; Muskeln, die entgegengesetzte Bewegung bewirken, als *Antagonisten*. Antagonisten sind beispielsweise Beuger und Strecker (Arme und Beine), Einwärts- und Auswärtsdreher (Hände), Anzieher und Abspreizer (Anziehen und Abspreizen des Beines), Schließ- und Öffnungsmuskeln (Mund und Augenlider).

Kopfmuskulatur. Die kräftigsten Muskeln am Kopf sind die *Kiefermuskeln* (Schläfenmuskel, Kaumuskel). Der *Schläfenmuskel* (Abb. 44) entspringt fächerförmig am Schläfenbein und zieht unter dem Jochbein hindurch zum Unterkiefer. Der *Kaumuskel* (Abb. 44) entspringt am Jochbogen und setzt am Unterkiefer an. Er ist ein dicker, viereckiger Muskel. Schläfenmuskel und Kaumuskel liegen unmittelbar unter der Haut. Die Kontraktionen des Schläfenmuskels sind beim Kauen gut an der Schläfe zu fühlen. Der Schläfenmuskel und der Kaumuskel heben den Unterkiefer und bewirken dadurch den Kieferschluß. Schläfenmuskel und Kaumuskel sind Synergisten.

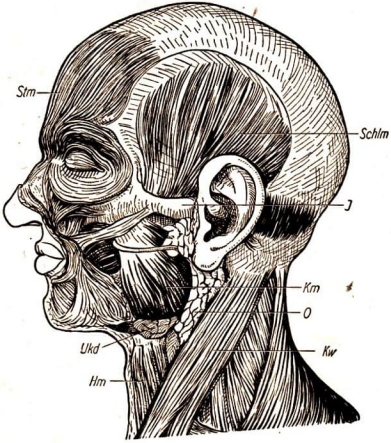


Abb. 44. Kopfmuskulatur.

Hm **Halsmuskulatur,** *J* **Jochbeinbogen,** *Km* **Kaumuskel,** *Kw* **Kopfwendemuskel,** *O* **Ohrspeicheldrüse,** *Schlm* **Schläfenmuskel,** *Stm* **Stirnmuskel,** *Ukd* **Unterkieferspeicheldrüse**

An der Öffnungsbewegung des Unterkiefers ist eine Reihe kleinerer Muskeln beteiligt, von denen die wichtigsten vom Zungenbein zum Unterkiefer verlaufen *(obere Zungenbeinmuskulatur)*. Das Zungenbein wird durch die *unteren Zungenbeinmuskeln*, die am Brustbein ansetzen, in seiner Lage festgehalten.

Eine große Anzahl von Gesichtsmuskeln um Auge, Ohr, Mund- und Nasenöffnung bewirkt das Mienenspiel; diese Muskeln werden als *mimische Gesichtsmuskeln* bezeichnet. Beim Schließen der Augen und der Lippen treten ringförmige *Schließmuskeln* in Tätigkeit. Die Muskeln der Ohrmuscheln sind beim Menschen rudimentär.

Halsmuskulatur. Die kräftigsten Halsmuskeln sind die beiden *Kopfwender* (Abb. 45). Sie entspringen jeweils an den Schlüsselbeinen und am Brustbein und ziehen zum Warzenfortsatz des gleichseitigen Schläfenbeins. Ist der Kopfwender kontrahiert, so kann man ihn als einen dicken Wulst unter der Haut des Halses deutlich erkennen. Wirken die beiden Kopfwendemuskeln zusammen, so wird der Kopf nach hinten gebeugt. Tritt dagegen nur ein Kopfwendemuskel in Tätigkeit, so wird der Kopf nach der dem Muskel entgegengesetzten Seite gewendet.

Rumpfmuskulatur. Zu den Rumpfmuskeln gehören die Zwischenrippenmuskeln, das Zwerchfell, die Bauchmuskeln und die große Gruppe der Rückenstrecker.

Die *Zwischenrippenmuskeln* verlaufen schräg zwischen den einzelnen Rippen. Sie heben und senken den Brustkorb bei der Atmung (s. S. 79). Die durch die Zwischenrippenmuskeln bewirkten Atembewegungen des Brustkorbes bezeichnet man als Brustatmung. Es gibt außerdem eine Bauchatmung, die vor allem durch das *Zwerchfell* bewirkt wird (Abb. 46). Das Zwerchfell (Abb. 67, S. 76) ist eine kuppelförmige dünne Muskelplatte. Sie bildet die Scheidewand zwischen Brust-

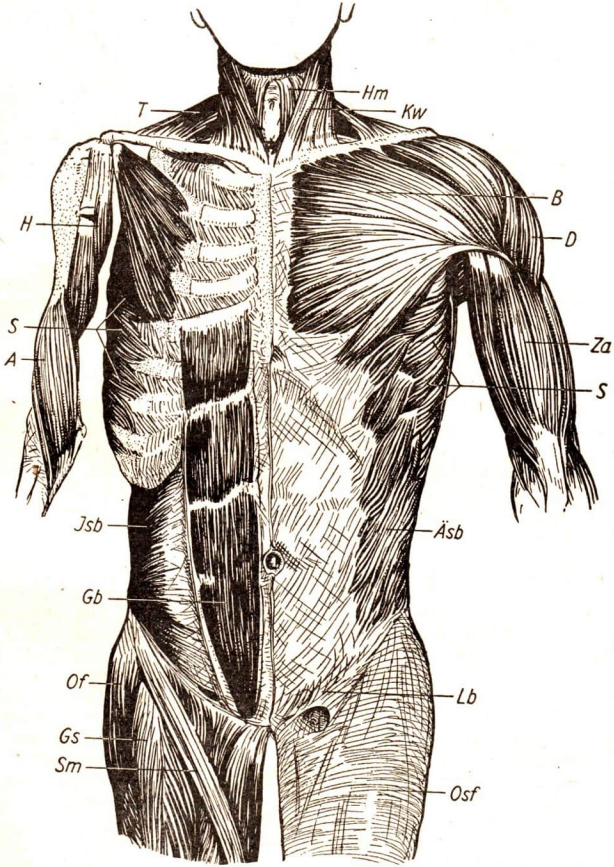


Abb. 45. Muskulatur des Menschen, Vorderansicht (rechts äußere, links innere Muskelschicht).

A Armbeuger, *Äsb* äußerer schräger Bauchmuskel, *B* großer Brustmuskel, *D* Deltamuskel, *Gb* gerader Bauchmuskel, *Gs* gerader Schenkelmuskel, *H* Hakenarmmuskeln, *Hm* Halsmuskeln, *Jsb* innerer schräger Bauchmuskel, *Kw* Kopfwender, *Lb* Leistenband, *Of* Spanner der Oberschenkelbinde, *Osf* Oberschenkelbinde, *S* seitlicher Sägemuskel, *Sm* Schneidermuskel, *T* Trapezmuskel, *Za* Bizepsmuskel

und Bauchhöhle. Die absteigende Aorta, der Milchbrustgang, die Speiseröhre, die untere Hohlvene und Nervenbündel treten in gesonderten Öffnungen durch sie hindurch. In entspanntem Zustand ist das Zwerchfell nach oben gewölbt. Bei der Kontraktion senkt sich die Zwerchfellkuppel. Dadurch wird die Brusthöhle nach unten erweitert, und die Bauchorgane werden nach abwärts gedrückt (Abb. 46). Die Erweiterung des Brustkorbes führt zur Einatmung.

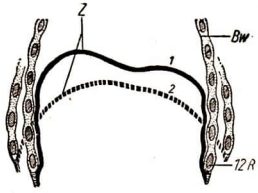


Abb. 46. Zusammenziehung des Zwerchfells bei der Atmung; *1* Zustand bei Ausatmung, *2* bei Einatmung.
Bw Brustwand, *12 R* zwölfte Rippe, *Z* Zwerchfell

Die paarig angelegten *Bauchmuskeln* bilden die Bauchwand. Nach den Einatmungsbewegungen durch das Zwerchfell ziehen sie sich zusammen und drängen Bauchorgane und Zwerchfell nach oben, so daß die Brusthöhle verkleinert wird (Ausatmung). Sie wirken als Atmungsmuskeln und sind also Antagonisten des Zwerchfells. Wir können die Wirkung der Bauchatmung an der Bauchdecke erkennen.

Die Bauchmuskeln (Abb. 45, 47) sind an den Beuge- und Drehbewegungen des Rumpfes beteiligt. Der äußere schräge Bauchmuskel (Abb. 45, 47) hat seinen Ursprung an der Außenfläche der fünften bis zwölften Rippe. Seine Fasern verlaufen zum Teil schräg absteigend zum Leistenband. Sie haben also den gleichen Verlauf wie die äußeren Zwischenrippenmuskeln. Der äußere schräge Bauchmuskel entstand durch die Verschmelzung von äußeren Rippenmuskeln, nachdem sich die Rippen der Lendenwirbel im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung rückgebildet hatten. Außer diesem Muskel sind an der Bildung der Bauchwand noch die inneren schrägen Bauchmuskeln (Abb. 45, 47), die queren Bauchmuskeln und die geraden Bauchmuskeln (Abb. 45) beteiligt.

Man unterscheidet nahe der Oberfläche liegende und tiefliegende *Rückenmuskeln*. Die nahe der Oberfläche liegenden Rückenmuskeln liegen unmittelbar unter der Haut. Zu ihnen gehört der breite Rückenmuskel, der von den Dornfortsätzen der unteren Brustwirbel und der Lendenwirbel zum Oberarm hinzieht (Abb. 47). Er bewegt den Arm nach hinten, vor allem aber nach unten, z. B. beim Klimmzug. Die tiefliegenden Rückenmuskeln verlaufen als breiter Muskelstrang beiderseits der Dornfortsätze der Wirbelsäule vom Becken bis zum Kopf. Sie bilden in der Halsbeuge die kräftige Nackenmuskulatur. Sie setzen sich aus vielen kleinen Muskelbündeln zusammen. Die tiefliegenden Rückenmuskeln richten die Wirbelsäule auf (Rückenstrecker) und sind an allen Rumpfbewegungen beteiligt. Der Tonus des großen Rückenstreckmuskels bewirkt die aufrechte Haltung des Rumpfes. Bei ermüdeten Menschen ist die Rumpfhaltung infolge der Erschlaffung der Rückenstreckmuskeln schlecht.

Am Rumpf setzen viele Muskeln an, die die Gliedmaßen bewegen. Der *Deltamuskel* (Abb. 45, 47) hat eine dreieckige Form. Mit seinem breiten Ende setzt er am Schulterblatt und am seitlichen Drittel des Schlüsselbeins an, mit seinem spitzen Ende am Oberarm. Er hebt den Arm im Schultergelenk und ist auch an allen anderen

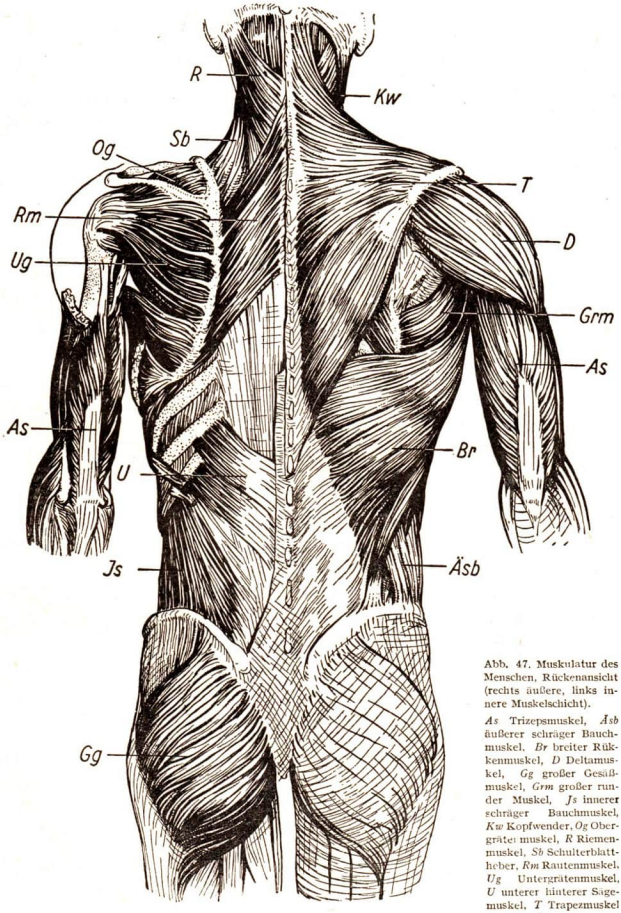


Abb. 47. Muskulatur des Menschen, Rückenansicht (rechts äußere, links innere Muskelschicht).

As Trizepsmuskel, *Äsb* äußerer schräger Bauchmuskel, *Br* breiter Rückenmuskel, *D* Deltamuskel, *Gg* großer Gesäßmuskel, *Grm* großer runder Muskel, *Js* innerer schräger Bauchmuskel, *Kw* Kopfwender, *Og* Obergrätenmuskel, *R* Riemenmuskel, *Sb* Schulterblattheber, *Rm* Rautenmuskel, *Ug* Untergrätenmuskel, *U* unterer hinterer Sägemuskel, *T* Trapezmuskel

Bewegungen im Schultergelenk beteiligt. Der *große Brustmuskel* (Abb. 45) entspringt am Brustbein und an den ersten fünf Rippenknorpeln sowie am Schlüsselbein. Er zieht zum oberen Teil des Oberarmknochens. Der große Brustmuskel liegt unmittelbar unter der Haut, gemeinsam mit dem breiten Rückenmuskel zieht er den erhobenen Arm an den Rumpf; außerdem rollt er ihn nach innen. Beim Schwimmen wird dieser Muskel besonders beansprucht, er ist deshalb bei Schwimmern stark ausgebildet. Der *Trapezmuskel* (Abb. 45, 47) entspringt am Hinterhauptsbein und an den Dornfortsätzen der Hals- und Brustwirbel und zieht zum oberen Teil des Schulterblattes und zum Schlüsselbein. Der rechte und der linke Trapezmuskel zusammen haben die Form eines Trapezes. Je nachdem, welche Anteile des Trapezmuskels sich kontrahieren, wird das Schulterblatt nach oben, zur Mittellinie oder nach unten gezogen. Dem Trapezmuskel entgegengesetzt wirkt der *seitliche Sägemuskel* (Abb. 24, 45). Er entspringt seitlich an den Rippen und zieht unter dem Schulterblatt hindurch zum inneren Rand des Schulterblattes. Da von jeder Rippe ein Muskelbündel entspringt, sieht der ganze Muskel gezackt aus. Deshalb hat er die Bezeichnung Sägemuskel bekommen. Der Sägemuskel zieht das Schulterblatt nach vorn.

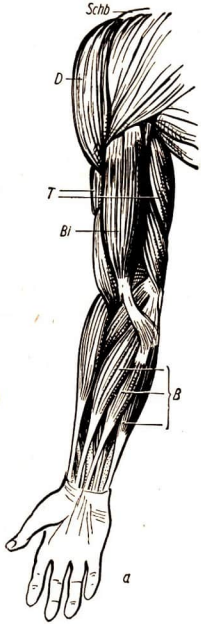


Abb. 48a. Armmuskeln.
Schb Schlüsselbein, *D* Deltamuskel, *T* Trizeps, *Bi* Bizeps, *B* Handbeugemuskeln

Muskeln der Gliedmaßen. Auf der Beugeseite des Oberarms liegt ein kräftiger *zweiköpfiger Muskel*, der *Bizeps*. Man kann ihn bei der Beugung des Armes als einen kräftigen, rundlichen Wulst fühlen und sehen. Seine beiden Köpfe entspringen mit ihren Sehnen am Schulterblatt. In der Mitte des Oberarms vereinigen sich beide Köpfe und ziehen als gemeinsamer Muskel zum oberen Ende der Speiche. Da der Bizeps sowohl über das Schultergelenk als auch über das Ellbogengelenk reicht, kann er beide Gelenke bewegen. Er wirkt mit bei der Hebung des Oberarms, bei der Beugung des Unterarms und bei den Umwendebewegungen der Hand. Neben dem Bizeps beugen noch andere Muskeln (Abb. 48a) das Ellbogengelenk. Sie alle haben nur einen Antagonisten, den *dreiköpfigen Armstrecker* oder *Trizeps*, dessen oberes Ende drei Köpfe hat. Der eine Kopf entspringt am Schulterblatt, die beiden anderen entspringen am Oberarmknochen. Der Trizeps verläuft an der Streckseite des Oberarms zum oberen Ende der Elle. Er streckt das Ellbogengelenk. Die *Beugemuskeln für die Hand* und die Finger liegen an der

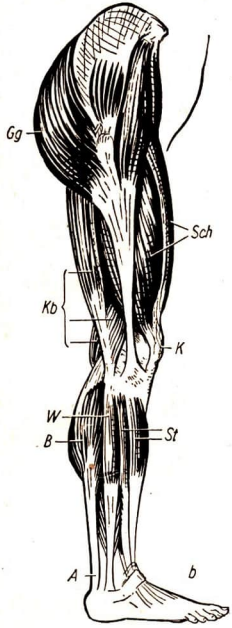


Abb. 48b. Beinmuskeln.
A Achillessehne, *Gg* großer Gesäßmuskel, *Sch* Schenkelstrecker, *Kb* Kniebeugemuskeln, *K* Kniescheibe, *W* Wadenbeinmuskeln, *B* Beugergruppe der Unterschenkelmuskeln, *St* Streckergruppe der Unterschenkelmuskeln

Beugeseite des Unterarms, die *Streckmuskeln* an seiner Streckseite. Die kleinen Muskeln des Daumens bilden den Handballen.

Der *große Lendenmuskel*, der seinen Ursprung im wesentlichen an den Lendenwirbelkörpern hat, und der *Darmbeinmuskel*, der in der Darmbeingrube entspringt, enden in einer gemeinsamen Sehne am oberen Teil des Oberschenkelknochens. Sie bilden zusammen den *Hüftlendenmuskel*, der zum größten Teil im Becken liegt. Er zieht den Oberschenkel nach vorn und nach oben. Beim Schnellauf bewirkt er das rasche Nachvornwerfen des Beines.

Der *große Gesäßmuskel* (Abb. 47, 48b) streckt den Oberschenkel nach rückwärts und rollt ihn etwas nach außen. Stehen die Beine fest, so richtet er den Rumpf aus gebeugter Haltung auf. Der große Gesäßmuskel ist wichtig beim Treppensteigen, beim Aufrichten aus der Hocke und beim Springen. Zur Oberschenkelmuskulatur gehört die Gruppe der Schenkelanzieher. Sie liegt an der Innenseite des Oberschenkels und zieht das abgespreizte Bein in die Standhaltung zurück.

Auf den Unterschenkel wirkt der *vierköpfige Schenkelstrecker* (Abb. 48b). Er ist ein außerordentlich stark entwickelter Muskel, der an der Vorderseite des Oberschenkels liegt. Ein Muskelkopf entspringt am Becken, die drei anderen entspringen am Oberschenkel. Der vierköpfige Schenkelstrecker verläuft zum Schienbein. Er streckt das Kniegelenk. Beim Treppensteigen und Bergsteigen, beim Springen und Aufrichten aus der Hocke, also immer, wenn durch Streckung im Kniegelenk der Schwerpunkt des Körpers gegen die Schwerkraft gehoben wird, ist der vierköpfige Schenkelstrecker in Tätigkeit. Da das Heben des Körpers eine große Arbeit erfordert, hat sich der vierköpfige Schenkelstrecker zum schwersten Muskel des Körpers entwickelt.

An der Rückseite des Oberschenkels liegt eine Muskelgruppe, die im wesentlichen vom Sitzbein zum Unterschenkel verläuft. Sie beugt das Knie und streckt das Hüftgelenk.

Die *Unterschenkelmuskeln* kann man in drei Gruppen einteilen, in die Streckergruppe, die vorn am Unterschenkel verläuft, in die an der Außenseite verlaufenden

Wadenbeinmuskeln und in die kräftigere Beugergruppe, die die Wade des Unterschenkels bildet. Der wichtigste Muskel des Unterschenkels ist der *Zwillingswadenmuskel*, der mit zwei Köpfen am unteren Teil des Oberschenkelknochens entspringt und mit einer kräftigen Sehne, der Achillessehne, zum Fersenbein verläuft.

Muskelketten. Bei der Bewegung von Skeletteilen wirken fast immer mehrere Muskeln zusammen. Bei vielen Bewegungen lassen sich Reihen von Muskeln feststellen, die wie Glieder einer Kette ineinandergreifen. An der Haltung des Rumpfes, z. B. beim aufrechten Sitzen, ist die Kette der tiefliegenden Rückenmuskeln und der Bauchmuskeln beteiligt. Am Arm bilden der Bizeps, die anderen Beuger des Ellbogengelenks, die Handbeuger und die Fingerbeuger eine Muskelkette.
Sowohl beim Gehen und Laufen als auch bei den Arbeitsbewegungen (Feilen, Holzfällen, Schreiben) kontrahieren sich verschiedene Muskelgruppen nacheinander. Dabei ist die Zusammenziehung einer Muskelgruppe mit der Erschlaffung ihrer Antagonisten verbunden.

c) Krankheiten und Schäden

Bei Unfällen oder sportlichen Überanstrengungen treten zuweilen *Zerrungen* oder *Risse* der Muskeln oder der Sehnen auf. Sie müssen durch einen Arzt behandelt werden und heilen selbst bei sorgfältiger Schonung nur langsam. Aus sehr verschiedenen Ursachen können manchmal unwillkürliche Muskelkontraktionen entstehen, die wir *Krämpfe* nennen. Sie können den ganzen Körper oder nur einzelne Muskelgruppen befallen, wie Waden- und Fingerkrampf (Schreibkrampf). Beim Krampf eines einzelnen Muskels helfen Dehnung und leichte Massage des verkrampften Muskels den Krampf beheben.
Eine Verminderung der Zahl und der Größe der Muskelfasern bezeichnet man als *Muskelatrophie*. Bereits durch längere Untätigkeit eines Muskels (beispielsweise durch Ruhigstellung im Gipsverband) kann sich eine Muskelatrophie entwickeln. Hochgradige Muskelatrophien entstehen, wenn Muskeln von ihrer Nervenversorgung abgeschnitten oder die Muskelzellen selbst durch krankhafte Vorgänge geschädigt werden.

C. DAS HAUTORGAN

Die Haut schützt den Körper gegen viele schädigende Einflüsse, dient der Wärmeregulation, scheidet Sekrete ab und birgt zahlreiche Reizaufnahmeorgane (Rezeptoren: Tast-, Druck-, Temperaturkörperchen). Ein Querschnitt durch die Haut (Abb. 49) 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) entwickeln sich aus dem Ektoderm. Die Epidermis ist ein Epithelgewebe. Als Epithelgewebe bezeichnet man Zellschichten, die eine Oberfläche bedecken oder einen Hohlraum im Körperinnern auskleiden. Sie können einschichtig oder mehrschichtig sein. Beim erwachsenen Menschen von mittlerer Körpergröße bedeckt die Haut 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 Oberhaut besteht aus einem mehrschichtigen Epithelgewebe, dessen obere Zellagen verhornen und absterben. Dementsprechend unterscheidet man an der Oberhaut die an der Oberfläche gelegene *Hornschicht* und die darunterliegende unverhornte *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 Beanspru-

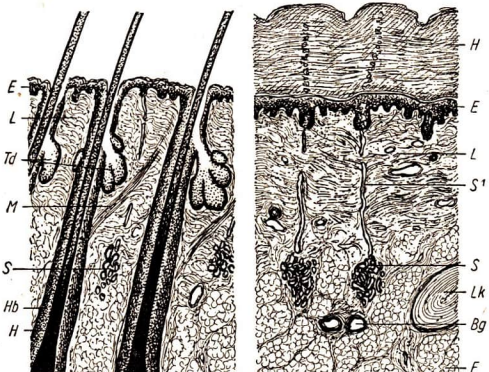


Abb. 49.
Links: Schnitt durch die Kopfhaut (etwa 30fach vergr.).
E Epithel, *L* Lederhaut, *Td* Talgdrüse, *M* glatte Muskelfasern, *S* Schweißdrüsen, *Hb* Haarbalg, *H* Haarwurzel, *Hp* Haarpapille, *F* Fettgewebe der Unterhaut.
Rechts: Schnitt durch die Haut der Hand (etwa 30fach vergr.).
H Hornschicht, *E* Epithel, *L* Lederhaut, *S* Schweißdrüsen, *S*¹ deren Ausführungsgang *Lk* Lamellenkörperchen, *Bg* Blutgefäße, *F* Fettgewebe der Unterhaut

chung 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 0,03 mm. Die abgeschilferten Lagen der Hornschicht werden ständig aus der darunterliegenden Keimschicht ersetzt. Die unterste Lage der Keimschicht besteht aus *teilungsfähigen Zellen.*
Die neugebildeten Zellen rücken nach und nach weiter zur Oberfläche vor. Sie beginnen allmählich zu verhornen, sterben ab und bilden die Hornschicht. 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 die gleiche. Die verschiedenartige Hautfarbe wird lediglich durch die Menge des Pigments 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 nach der Geburt durch Bildung von Pigment 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.

Lederhaut. Die Keimschicht der Oberhaut springt zapfenförmig in die darunterliegende Lederhaut vor. Im Gegensatz zur Oberhaut besteht die Lederhaut aus straffem Bindegewebe. In der Lederhaut verlaufen Kapillargefäßnetze.
In die Lederhaut eingesenkt liegen Haarbälge, Talgdrüsen, Schweißdrüsen, ferner Sinneskörperchen und an manchen Körperstellen glatte Muskelzellen.

Unterhaut. Die Unterhaut besteht aus lockerem Bindegewebe, in das Ansammlungen von Fettzellen eingelagert sind. Da Fett ein schlechter Wärmeleiter ist, 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. Die Schleimhäute kleiden die Körperöffnungen (z. B. Mundhöhle, Nase) und den Magen-Darm-Kanal aus.

Hornbildungen der Haut. Haare und Nägel bestehen wie die verhornten Zellen unserer Oberhaut aus *Horn* oder *Keratin*, einem Eiweißstoff. 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.* Durchschnittlich wächst ein Fingernagel je 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. 50). In das untere Ende des Haarkeimes wächst aus der Lederhaut die aus Bindegewebe und Gefäßen bestehende Papille hinein. Sie ernährt das Haar. An der Basis des Epidermiskeimes

vermehren sich die Zellen. Sie bilden das Haar und verhornen von dessen Spitze her. Sie rücken allmählich bis an die Oberfläche vor und wachsen nach außen durch die Epidermis hindurch. 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.

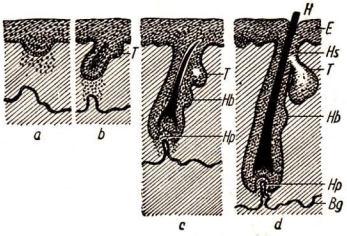


Abb. 50. Entwicklung des Haares (etwa 100fach vergr.); *a* Haarkeim, *b* Haarzapfen, *c* Ausbildung des Haarkegels, *d* ausgewachsenes Haar.
H Haar, *E* Epithel, *Hs* Haarschaft, *T* Talgdrüse (bei *a* bis *c* Talgdrüsenanlage), *Hb* Haarbalg, *Hp* Haarpapille (bei *a* bis *c* Papillenanlage), *Bg* Blutgefäß

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

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

Durch *glatte 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 Haut aus dem Ektoderm. Es sind bläschenförmige unverästelte oder verästelte, in der Lederhaut liegende Drüsen (Abb. 51 b) 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. Im Gegensatz zu den Talgdrüsen sind die Schweißdrüsen nicht bläschenförmig, sondern knäuelartig gewundene Schläuche (Abb. 51 a). Die Schweißdrüsen 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.

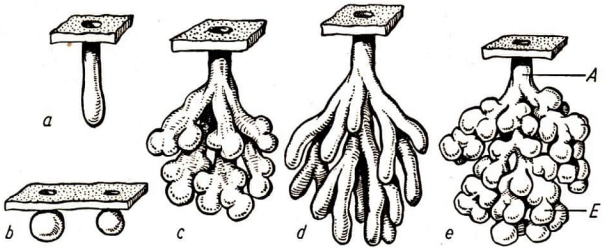


Abb. 51. Drüsenformen; *a* schlauchförmige Drüse (z. B. Schweißdrüsen), *b* bläschenförmige Drüsen (z. B. Talgdrüsen), *c* gemischte Drüse (z. B. Speicheldrüsen), *d* verästelte schlauchförmige Drüse (z. B. Magendrüsen), *e* verästelte bläschenförmige (traubenförmige) Drüse.
A Ausführungsgang, *E* Einzeldrüse

Die Menge des abgesonderten Schweißes wird durch das vegetative Nervensystem (s. S. 155) reguliert („kalter Schweiß" bei starkem Erschrecken).
Das Sekret der Schweißdrüsen besteht zu 98 % aus Wasser, im übrigen vorwiegend aus Kochsalz, Ammoniak und Harnstoff. 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.

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 Einzeldrüse ist kurz vor der Ausmündung in die Brustwarze säckchenartig erweitert. Die Räume zwischen den einzelnen Drüsenteilen sind vom Bindegewebe erfüllt. Die Milchdrüse ist die größte Hautdrüse. Ihr Sekret ist die Milch, die den Säuglingen als Nahrung dient.

Funktionen der Haut. Die Hornschicht schützt die unter ihr liegenden lebenden Zellen. An den Stellen, die starker Beanspruchung ausgesetzt sind, wird die Hornhaut sehr dick. Schwielen und Hühneraugen sind umschriebene Verdickungen der Haut. Die mit dem Sekret der Talgdrüsen bedeckte Hornschicht ist für Wasser undurchlässig und setzt die Verdunstung herab. Nur die *fettlöslichen Stoffe* können den Hauttalg durchdringen und von der Haut aufgenommen werden. Das Unterhautfettgewebe schützt als weiches Polster viele Organe vor Druckeinwirkung.
Sonnenbestrahlung erhöht die Stoffwechselvorgänge der lebenden Zellen. Dringen die Sonnenstrahlen bis zur untersten Schicht der Epidermis, 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 ausgeschieden. 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 rascher vor sich als bei verengerten Gefäßen. Fällt die Außentemperatur, so ziehen sich die Gefäße 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 sie bei den verschiedenen Menschen um wenige Zehntelgrade zwischen 36° und 37° C. Im Körper entsteht durch den Stoffwechsel ständig Wärme. Durch ein im Zwischenhirn gelegenes Temperaturregulationszentrum wird die Wärmeabgabe des Körpers reguliert und die Körpertemperatur konstant gehalten. Unter dem Einfluß des Temperaturzentrums wird unter anderem auch die Schweißproduktion der Schweißdrüsen geregelt. Eine wichtige Rolle spielt die Haut als Träger der Tast- und Temperatursinnesorgane (s. S. 131 ff).

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 liegenden 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 (Jodtinktur, Sepso) betupfen und dann die Wunde mit einem keimfreien Verband bedecken.

Durch lokale Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur entstehen in der Haut *Verbrennungen* oder *Erfrierungen*. Sie beruhen meist auf Entzündungsvorgängen und Ernährungsstörungen der Haut. Je nach der Schwere der Verbrennungen oder Erfrierungen unterscheidet man drei Grade.

1. Grad: Es entsteht eine durch vermehrte Durchblutung der Haut hervorgerufene Rötung, der bei Erfrierungen ein Erbleichen (Gefäßkrampf) vorausgeht. Mitunter tritt auch Gewebsflüssigkeit aus den Gefäßen. 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.

Bei Erfrierungen 1. Grades reibt man die erfrorenen Stellen mit Schnee ab und erwärmt sie nur langsam.

Bei Verbrennungen oder Erfrierungen 2. oder 3. Grades muß die Behandlung der Wunden dem Arzt überlassen bleiben.

Nicht nur durch Wunden, sondern auch durch die Poren der unverletzten Haut (z. B. Talgdrüsenausführungsgänge) können Krankheitserreger in die Haut gelangen und hier *Entzündungsvorgänge* hervorrufen. Eine Entzündung des Haarbalges, seiner Talgdrüse und des umgebenden Gewebes infolge einer derartigen Infektion bezeichnet man als *Furunkel.*

Große, aus mehreren Furunkeln zusammenfließende Entzündungsherde bezeichnet man als *Karbunkel.*

Dringen Eitererreger durch eine Wunde bis in das Unterhautgewebe vor, so können sie eine in den Lymphspalten fortschreitende eitrige Entzündung, eine *Phlegmone,* hervorrufen. Siedeln sich dagegen die Eitererreger in einem begrenzten Gewebsbezirk an und bringen hier das Gewebe zu eitriger Einschmelzung, ohne weiter in das umliegende Gewebe vorzudringen, so spricht man von einem *Abszeß.* Phlegmonen und Abszesse müssen chirurgisch eröffnet werden, um dem Eiter Abfluß zu verschaffen. Nach der Entfernung des Eiters heilen sie von selbst.

Aus den verschiedenartigsten äußeren und inneren Ursachen können auf einer überempfindlichen Haut *Entzündungen* (Ekzeme) entstehen. Meist kommt es zunächst zur Bläschenbildung, nach dem Platzen der Bläschen zum Nässen und bei der Eintrocknung des Sekretes zur Bildung von Krusten. Bei lang dauernden Ekzemen findet man eine verdickte Haut. Die Behandlung von Furunkeln, Karbunkeln, Phlegmonen, Abszessen und allen Formen des Ekzems gehört in die Hand des Arztes.

Hauthygiene. Organische Stoffe im Hauttalg und im Schweiß werden durch bestimmte Bakterienarten leicht zersetzt. Dabei treten flüchtige, stark riechende Stoffe auf. Der sich auf der Hautoberfläche ansammelnde Schmutz verstopft die Öffnungen der Hautdrüsen und erschwert dadurch die Wärmeregulierung.

Die Zersetzungsprodukte der Hautabsonderungen sind ein guter Nährboden für viele *Bakterienarten*. Bei unsauberen Menschen ist die Menge der Bakterien außerordentlich groß (bis zu 40000 auf 1 cm^2 Haut). Unter diesen Bakterien können sich auch Erreger von Cholera, Typhus und Ruhr befinden.
Werden die Regeln der Hauthygiene nicht beachtet, so siedeln sich auch *tierische Schmarotzer*, die unter Umständen Krankheiten hervorrufen, auf der Haut des Menschen an. Die *Krätzmilbe* beispielsweise dringt in die Epidermisschicht der Haut ein und bildet dort Gänge. Sie ruft eine unangenehme Krankheit, die Krätze, hervor. Durch eine große Zahl von Heilmitteln (z. B. Schwefel-, DDT-Präparate), die die Krätzmilbe abtöten, ohne die Haut des Menschen zu schädigen, kann die Krätze geheilt werden. Die *Kleiderlaus* lebt und vermehrt sich in der Kleidung (vor allem in den Nähten). Sie ist der Überträger des Fleckfiebers. Auf schmutziger Haut haften auch die Eier von *Würmern*. Durch schmutzige Hände können Erreger verschiedener ansteckender Krankheiten in die Speisen und mit ihnen in den Organismus gelangen. Ein unsauberer Mensch gefährdet nicht nur sich, sondern auch seine Mitmenschen. Die Sauberhaltung des Körpers schützt die eigene wie auch die Gesundheit anderer Menschen.

D. 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. Mit dem Aufhören des Stoffwechsels hören alle Lebensfunktionen auf; der Organismus stirbt ab.
Die Umwandlung der aufgenommenen Stoffe in körpereigene Stoffe *(Assimilation)* und ihre Verwendung zum Aufbau des Körpers bezeichnet man als Baustoffwechsel. Den Abbau von Stoffen *(Dissimilation)* und die Verwendung der hierbei frei werdenden Energie für die Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge nennt man Betriebsstoffwechsel. Die Stoffumwandlungen sind immer mit einer *Energieumwandlung* verbunden. So wird zum Beispiel beim Zerfall komplizierter organischer Stoffe die in ihnen enthaltene chemische Energie frei. Sie wird besonders in Wärmeenergie oder in mechanische Energie umgewandelt. Stoffwechsel und Energiewechsel kann man nicht voneinander trennen. Durch die Assimilation werden Aufbau- und Vorratsstoffe sowie Energie im Organismus angesammelt. Die Dissimilation bewirkt Stoffabbau und Energieabgabe. Beide Vorgänge gehen ununterbrochen und eng miteinander verbunden vor sich. Die Assimilation gewisser Stoffe wird stets von der Dissimilation anderer begleitet. Jede Erhöhung eines dieser Prozesse zieht auch die Erhöhung des anderen nach sich. Wenn der Organismus wächst und die Menge lebender Materie sich in ihm vergrößert, so treten neben einer

verstärkten Assimilation auch verstärkte Zerfallsprozesse ein. Man muß also Assimilation und Dissimilation als *zwei Seiten ein und desselben Prozesses* — des Stoff- und Energiewechselprozesses im Organismus — betrachten. Der Stoffwechsel findet nicht nur im lebenden Organismus statt, sondern auch in der ganzen 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."

I. Ernährung

a) Nährstoffe

Mit der Zufuhr von Nährstoffen, der Ernährung, beginnen alle Stoffwechselprozesse. Unsere Nahrung besteht aus Nahrungsmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft. In ihnen sind Nährstoffe (Eiweißstoffe, Fette und Kohlenhydrate), Salze, Wasser und Vitamine enthalten.

Alle Nährstoffe von Tier und Mensch stammen unmittelbar oder mittelbar von den autotrophen Pflanzen. Sie werden auf Grund der Photosynthese des Traubenzuckers in Anwesenheit des Chlorophylls gebildet.

Kohlenhydrate, Fette und Eiweißstoffe sind zusammengesetzte Kohlenstoffverbindungen. Sie sind aus einfacheren Bauteilen aufgebaut; bei Anwesenheit bestimmter Fermente können sie unter Aufnahme von Wasser in ihre Bausteine zerlegt werden. Diesen Vorgang nennt man *hydrolytische Spaltung*.

Kohlenhydrate. Die für den Stoffwechsel nutzbaren Kohlenhydrate sind *Stärke* und *Zucker* (in pflanzlichen Nahrungsmitteln) und *Glykogen* (in den Muskeln und in der Leber der Schlachttiere). Alle Kohlenhydrate bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Die allgemeine chemische Formel der Kohlenhydrate lautet: $C_m(H_2O)_n$. Alle Kohlenhydrate, die sich nicht durch Spaltung in einfachere, gleichartig gebaute Körper zerlegen lassen, bezeichnet man als *Monosaccharide*. Die wichtigsten Monosaccharide haben die Summenformel $C_6H_{12}O_6$; ihre Moleküle enthalten also 6 Kohlenstoffatome. Zu ihnen gehören der Traubenzucker und der Fruchtzucker der Früchte und des Bienenhonigs. Rohrzucker, Malzzucker und Milchzucker lassen sich hydrolytisch in je 2 Monosaccharide spalten. Man bezeichnet sie als *Disaccharide*. Die Formel der Disaccharide ist $C_{12}H_{22}O_{11}$. Auch sie sind wasserlöslich. *Polysaccharide* sind Stärke sowie Glykogen und Zellulose. Die Polysaccharide lassen sich hydrolytisch zunächst in Disaccharide und dann in Monosaccharide zerlegen. Ihre Formel ist $(C_6H_{10}O_5)_n$. Die Zellulose ist ein für Menschen nahezu unverdaulicher Nahrungsbestandteil; zur Anregung der normalen Darmtätigkeit ist sie jedoch unentbehrlich (Ballaststoff).

Fette. Die für die Ernährung des Menschen wichtigen tierischen und pflanzlichen Fette bestehen wie die Kohlenhydrate aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Es sind Verbindungen des *Glycerins*, eines dreiwertigen Alkohols, mit drei Molekülen *Fettsäuren*. Die wichtigsten Fettsäuren sind die Palmitin-, die Stearin- und die Ölsäure. In unseren natürlichen Fetten ist je ein Molekül Glycerin

mit drei verschiedenen Fettsäuren verbunden. In den Fettsäuren ist im Vergleich zu den Kohlenhydraten wenig Sauerstoff gebunden. Daher brauchen Fette zu ihrer Oxydation mehr Sauerstoff und erzeugen mehr Wärmeenergie.

Fette sind in Wasser unlöslich. Wenn man eine kleine Menge irgendeines Fettes (z. B. Sonnenblumenöl) in einem Reagenzglas mit Wasser oder mit einer schwachen Sodalösung aufschüttelt, zerfällt das Fett in so kleine Tröpfchen, daß man sie mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmen kann. Es ist eine *Fettemulsion* entstanden. Milch beispielsweise, in der die Fetttröpfchen nur unter dem Mikroskop zu unterscheiden sind, stellt eine Fettemulsion dar.

Eiweiß. Die Eiweißstoffe enthalten neben Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff stets Stickstoff, oft Schwefel und manchmal Phosphor und Eisen. Im Vergleich mit den Molekülen anderer Verbindungen haben die Moleküle der Eiweißstoffe einen sehr komplizierten Bau und sind außerordentlich groß: sie bestehen aus vielen Tausenden bis über hunderttausend Atomen. Die Eiweißstoffe bilden keine echten Lösungen. In echten Lösungen zerfällt der Stoff in einzelne Moleküle, in den Lösungen von Eiweißstoffen dagegen stellt jedes Teilchen eine Gruppe von Molekülen dar. Die Eiweißmoleküle lassen sich hydrolytisch zunächst in *Polypeptide* und diese wiederum in *Aminosäuren* spalten. Zwischenstufen bei dieser Aufspaltung sind die *Dipeptide*, die aus nur zwei Aminosäuren bestehen. Man kennt bisher über 20 verschiedene Aminosäuren aus dem menschlichen Eiweiß. Zum Teil müssen sie mit tierischem Eiweiß aufgenommen werden, zum anderen Teil können sie im Körper der Menschen selbst durch Umbau anderer Aminosäuren beziehungsweise Anlagerung der Aminogruppe an ähnliche organische, aber stickstofffreie Säuren aufgebaut werden. Die pflanzlichen Eiweißstoffe enthalten nicht alle für den Menschen notwendigen Aminosäuren. Daher muß pflanzliche Eiweißnahrung stets durch tierische ergänzt werden (Fleisch, Butter, Käse, Eier, Milch).

Bei der Verdauung werden die Eiweißstoffe bis zu den Aminosäuren gespalten. Aus den Aminosäuren baut unser Körper körpereigenes Eiweiß auf. Das nicht für den Aufbau benötigte Eiweiß wird sofort in Energie umgewandelt, da es nicht wie Glykogen und Fett im Körper gespeichert wird.

b) Verdauungsorgane

Bei den *einzelligen Tieren* geht die Verdauung im allgemeinen innerhalb der Zellen vor sich. Wenn beispielsweise eine Amöbe ein festes Teilchen berührt, umfließt sie es und befördert es in die Zelle. Im Protoplasma bildet sich um das Teilchen eine kleine Höhlung, die Nahrungsvakuole. Die Verdauung der Nährsubstanzen geht unter Einwirkung von Verdauungsfermenten vor sich, die aus dem Protoplasma in die Vakuole gelangen. Unverdaute Reste werden nach außen abgegeben.

An großen *Hohltieren* (Aktinien) wurde folgender Versuch unternommen. In die Verdauungshöhle wurden kleine in Fließpapier gewickelte Stücke von Bluteiweiß (Fibrin) eingeführt. Nach einiger Zeit wurde das Fließpapier zur Untersuchung herausgenommen; das Fibrin in ihm hatte sich fast vollständig aufgelöst. Dieser Versuch zeigt, daß bei den Hohltieren die Verdauung nicht nur in den Zellen, sondern auch in der Verdauungshöhle stattfinden kann. Besondere Drüsenzellen sondern ein Sekret

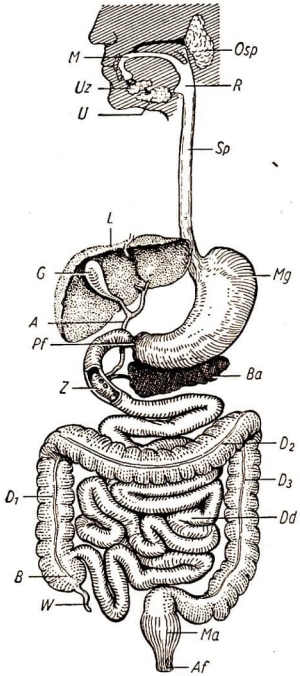


Abb. 52. Verdauungsorgane.
M Mundhöhle, *Osp* Ohrspeicheldrüse, *R* Rachenhöhle, *Uz* Unterzungenspeicheldrüse, *U* Unterkieferspeicheldrüse, *Sp* Speiseröhre, *L* Leber, *G* Gallenblase, *A* Gallengang, *Mg* Magen, *Pf* Pförtner, *Ba* Bauchspeicheldrüse, *Z* Zwölffingerdarm, D_1 aufsteigender, D_2 quer verlaufender, D_3 absteigender Teil des Dickdarms, *Dd* Dünndarm, *B* Blinddarm, *W* Wurmfortsatz, *Ma* Mastdarm, *Af* After

ab, das Fermente enthält, die den Zerfall der Speise in winzige Bröckchen herbeiführen. Diese können durch andere Zellen ergriffen werden, in denen sich, wie im Körper der Amöbe, Verdauungsvakuolen bilden. Bei den Hohltieren findet also die Verdauung sowohl innerhalb als auch außerhalb der Zellen statt. Auch bei vielen anderen wirbellosen Tieren kann die Verdauung gleichzeitig in der Darmhöhle und innerhalb der Zellen vor sich gehen. Je höher das Tier entwickelt ist, um so größere Bedeutung gewinnt die Verdauung außerhalb der Zellen.

Bei den *Wirbeltieren* vollzieht sich die Verdauung in der Höhlung des Darmkanals. Zu den Verdauungsorganen gehören der *Verdauungskanal* und die *Verdauungsdrüsen.* Der Verdauungskanal durchzieht den Körper von den Lippen bis zum After. Seine einzelnen Abschnitte sind: Mundhöhle mit den Mundspeicheldrüsen, Schlund oder Rachenhöhle, Speiseröhre, Magen, Dünndarm mit Leber und Bauchspeicheldrüse und Dickdarm (Abb. 52). Die Innenwand des gesamten Darmrohres ist mit einer dünnen Schleimhaut ausgekleidet, die viele Schleimdrüsen enthält.

Mundhöhle. Durch die Mundöffnung gelangt die Nahrung in die Mundhöhle (Abb. 54). Hier wird sie zerkleinert, eingespeichelt und damit für die Verdauung vorbereitet. Im Mundboden liegt die muskulöse Zunge. Die Seitenwände der Mundhöhle bilden die Wangen oder Backen; das Dach 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, machen sie das Schlucken schmerzhaft.

Zähne. Bau und Form der Zähne entsprechen ihren Funktionen. Zum Abbeißen und Abreißen dienen die meißelförmigen Schneidezähne und spitzen Eckzähne, zum Zermalmen die höckrigen Backenzähne. An allen Zähnen kann man Wurzel, Hals und Krone unterscheiden (Abb. 53). Jeder Zahn steckt mit der Wurzel fest in einer Zahnhöhle des Kiefers. Die Wurzel ist durch die Wurzelhaut mit der Zahnhöhlenwand verbunden. Der Zahnhals ist der vom Zahnfleisch umgebene Teil des Zahnes. Die Hauptmasse der Zähne besteht aus *Zahnbein (Dentin)*. Im Bereich von Zahnhals und Zahnwurzel ist das Dentin von *Zement* umgeben. Die Zahnkrone ragt frei über das Zahnfleisch hervor. In ihrem Bereich ist das Dentin von dem weiß, bläulich oder gelblich glänzenden *Zahnschmelz* überzogen. Das Dentin des gesunden Zahnes liegt also nirgends frei. Im Innern jedes Zahnes befindet sich eine Höhle (Pulpahöhle). Sie ist mit blutgefäß- und nervenhaltigem Bindegewebe *(Pulpa)* ausgefüllt, das durch den Wurzelkanal in die Pulpahöhle vordringt.

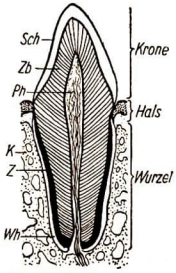


Abb. 53. Schneidezahn.
K Unterkieferknochen, *Ph* Pulpahöhle, *Sch* Schmelz, *Wh* Wurzelhaut, *Z* Zement, *Zb* Zahnbein mit Zahnbeinkanälen

Das erste Gebiß, das *Milchgebiß*, besteht aus je 4 Schneidezähnen, 2 Eckzähnen und 4 Backenzähnen im Ober- und Unterkiefer, im ganzen also aus 20 Zähnen. Etwa vom 6. Lebensjahr an wird es im Zahnwechsel, der sich über mehrere Jahre erstreckt, durch das bleibende Gebiß ersetzt. Das bleibende Gebiß besteht aus den Ersatzzähnen für das Milchgebiß, dazu treten in jeder Kieferhälfte 3 neue Backenzähne, so daß das bleibende Gebiß aus 32 Zähnen besteht (Abb. 55). Die vorderen beiden Backenzähne in jeder Kieferhälfte bezeichnet man als Vorbackenzähne oder *Prämolaren*, die hinteren 3 als *Molaren*. Der hinterste Backenzahn ist der sogenannte Weisheitszahn; oft bricht er erst spät, manchmal überhaupt nicht durch. Die Zahnformel für das Gebiß des erwachsenen Menschen ist demnach

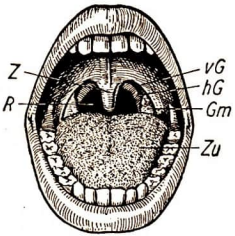


Abb. 54. Mundhöhle;
vG vorderer Gaumenbogen, *hG* hinterer Gaumenbogen, *Gm* Gaumenmandel, *R* Rachen, *Z* Zäpfchen, *Zu* Zunge

3 2 1 2	2 1 2 3
3 2 1 2	2 1 2 3

Der harte Zahnschmelz ist spröde wie Porzellan und bekommt leicht Sprünge, namentlich durch zu heiße oder zu kalte Speisen. Wenn bei ungenügender Mundpflege Speisereste in den Sprüngen des Schmelzes verbleiben, bilden sie einen guten Nährboden für die Mundbakterien, und es entstehen Fäulnisherde. Die Mundbakterien rufen Zerstörungen in dem leicht angreifbaren Zahnbein hervor, das durch die Risse freigelegt ist. Es entsteht die weitverbreitete *Zahnfäule*

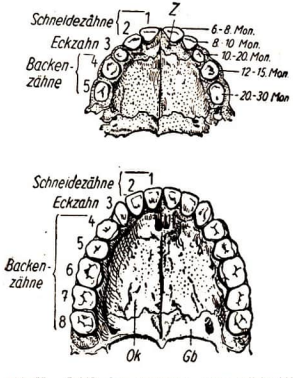


Abb. 55. Gebiß des Menschen, oben Milchgebiß, unten bleibendes Gebiß. Die Daten geben die Zeiten des Zahndurchbruchs an.
Gb Gaumenbein, *Ok* Oberkiefer, *Z* Zwischenkiefer

(Karies). Sobald die Karies bis auf die Pulpa und ihre Nerven vorgedrungen ist, kommt es zu einer schmerzhaften Entzündung. Durch die Karies können Zahnverluste entstehen, die zu mangelhaftem Kauen und damit zu ungenügender Vorbereitung der Verdauung führen. Schädigung des Magens und des Darmes können die Folge sein. Gesunde Zähne sind deshalb für eine normale Verdauung sehr wichtig. Tüchtiges Kauen reinigt die Spalten zwischen den Zähnen; Zahnfleisch und Pulpa werden stärker durchblutet. Die Zähne bleiben gesund. *Regelmäßige Zahnpflege*, namentlich abends, und regelmäßige zahnärztliche Untersuchung vermögen die Karies bereits in ihrem Beginn aufzuhalten.

Mundspeicheldrüsen. Der Speichel ist eine von den Speicheldrüsen abgesonderte wäßrige, schwach fadenziehende Flüssigkeit. Beim Kauen werden in einer Stunde etwa 500 bis 700 cm³ abgesondert. Am Tage können bis zu 1,5 Liter gebildet werden. Die drei Paar Speicheldrüsen liegen unter der Mundschleimhaut, sie sind also in der Mundhöhle nicht zu sehen. Die *Ohrspeicheldrüsen* (Abb. 52) liegen rechts und links vor dem Gehörgang. Innen, an den Winkeln des Unterkiefers, befinden sich die *Unterkieferdrüsen* (Abb. 52) und im Mundboden die beiden *Unterzungendrüsen* (Abb. 52). 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. Sie sind von Drüsenzellen ausgekleidete langgestreckte Schläuche mit zahlreichen Ausstülpungen. Die einzelnen Drüsenschläuche sind von Bindegewebe umgeben, in dem Blutgefäße verlaufen. Die Ausscheidungen von Drüsen bezeichnet man als *Sekrete* (z. B. Speichel). Abfallprodukte des Stoffwechsels, die aus dem Körper ausgeschieden werden, nennt man *Exkrete* (z. B. Harn).

Rachenhöhle. In der Rachenhöhle überkreuzen sich Atem- und Speiseweg. Beim Schlucken drückt der erhobene Zungenrücken gegen die Gaumenbögen und ver-

legt 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 einen Knorpel, den Kehldeckel (Abb. 56 b), 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. 56 a). Wenn sich ein Bissen oder eine Flüssigkeit (z. B. Speichel) in der Mundhöhle befindet, kann der Schluckakt willkürlich eingeleitet werden; dann aber läuft er unwillkürlich reflektorisch ab.

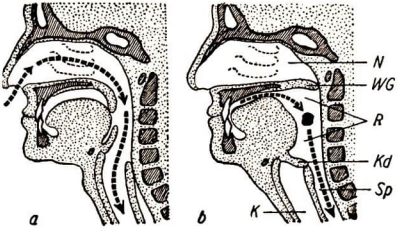


Abb. 56. Luft- und Speiseweg; *a* Atmung, *b* Schlucken.
N Nasenhöhle, *WG* Gaumensegel (weicher Gaumen), *R* Rachenhöhle, *Kd* Kehldeckel, *Sp* Speiseröhre, *K* Kehlkopf

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 Schleimhaut aus einem *mehrschichtigen Plattenepithel* 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 (Abb. 57). 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 diesen Vorgang *Peristaltik*. Feste Stoffe durchlaufen die Speiseröhre in 6 bis 8 Sekunden, Flüssigkeiten in 1,5 Sekunden.

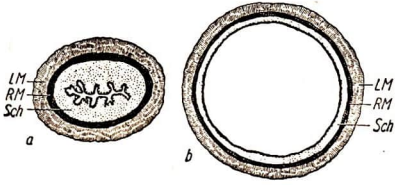


Abb. 57. Querschnitt durch die Speiseröhre; *a* in Ruhe, *b* beim Schlucken eines Bissens.
LM Längsmuskulatur, *RM* Ringmuskulatur, *Sch* Schleimhaut

Magen. Der Magen (Abb. 52) 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. Der Magen liegt zum größten Teil in der linken

Körperhälfte. Im Gegensatz zur Speiseröhre ist er mit einer Schleimhaut aus *einschichtigem Epithel* ausgekleidet. Sie enthält zahlreiche Drüsen. Die *Magenwand* besteht außerdem aus drei Muskelschichten aus ringförmig, längs und schräg verlaufenden glatten Muskelfasern. Sie sind durch eine Lage lockeren Bindegewebes voneinander getrennt. Außen ist die Magenwand vom Bauchfell, einem einschichtigen, aus dem mittleren Keimblatt entstandenen Epithelgewebe, überdeckt.

Dünndarm. Der Dünndarm (Abb. 52, S. 52) 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, weil seine Länge etwa der Breite von 12 nebeneinandergelegten Fingern entspricht. In den Zwölffingerdarm münden die *Ausführungsgänge* der Leber und der Bauchspeicheldrüse (Abb. 52). Die Schleimhaut des gesamten Dünndarms bildet ringförmige Falten (Abb. 58) und ist mit etwa 4 Millionen bis 1 mm hohen Vorstülpungen, den *Zotten* (Abb. 58, 59), bedeckt, die zum Dickdarm hin spärlicher werden. Sie vergrößern die resorbierende Oberfläche des Dünndarms. Die Zotten enthalten unter ihren Deckzellen ein dichtes Kapillarnetz und in ihrer Achse den Anfang eines feinen Lymphkanals. 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. 52, 60).

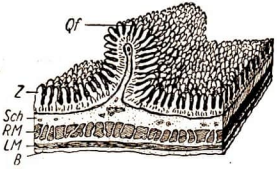


Abb. 58. Dünndarmfalte.
B Bauchfell, *LM* Längsmuskulatur, *RM* Ringmuskulatur, *Sch* Schleimhaut, *Qf* Querfalte, *Z* Zotten

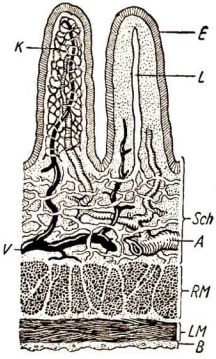


Abb. 59. Dünndarmzotten, Querschnitt; links Blutgefäßsystem, rechts Lymphgefäßsystem.
A Arterie, *B* Bauchfell, *E* Dünndarmepithel, *K* Kapillargefäße, *L* Lymphgefäß, *LM* Längsmuskulatur, *RM* Ringmuskulatur, *Sch* Schleimhaut, *V* Vene

Bauchspeicheldrüse. Die Bauchspeicheldrüse (Abb. 52) ist ein flaches, langgestrecktes Organ, das quer der hinteren Magenwand anliegt. Ihr Aufbau entspricht etwa dem einer Speicheldrüse. Durch einen verästelten Ausführungsgang, der die ganze Drüse durchzieht, gelangt das Sekret, der Bauchspeichel, in den Zwölffingerdarm. Er enthält eine Reihe spezifischer Verdauungsfermente. Im Drüsengewebe der Bauchspeicheldrüse liegen wie Inseln die *Langerhansschen Zellgruppen*. Dieser Anteil

der Drüse bildet ein Hormon, das *Insulin*, das unmittelbar in das Blut abgegeben wird (s. S. 125). Die Langerhansschen Inseln stehen mit den Ausführungsgängen der Bauchspeicheldrüse nicht in Verbindung.

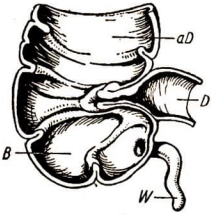
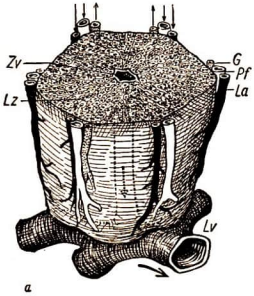
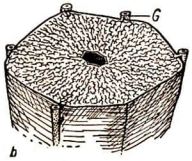


Abb. 60. Schnitt durch den Blinddarm. *B* Blinddarm, *aD* aufsteigender Dickdarm, *D* Dünndarm, *W* Wurmfortsatz

Leber. Die Leber (Abb. 52, S. 52) 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. 61) 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.





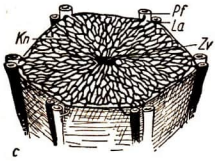


Abb. 61. Leberläppchen. Querschnitte durch ein Leberläppchen, dargestellt sind: bei *a* die Leberzellbalken, bei *b* die Gallengefäße, bei *c* die Blutgefäße.

G Gallengang, *Kn* Blutkapillarnetz, *La* Leberarterie, *Lv* Lebervene, *Lz* Leberzellbalken, *Pf* Pfortader, *Zv* Zentralvene

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 einem Ast der Aorta arterielles Blut. Die Blutkapillaren der Pfortaderäste treten in die Leberläppchen ein und umspinnen jede einzelne Leberzelle (Abb. 62). 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 die rechte Herzkammer.

Das Blut der Pfortader führt den Leberzellen die im Darm resorbierten Stoffe und die Abbauprodukte der roten Blutkörperchen aus der Milz (s. S. 95) zu. Zum größten Teil werden diese Stoffe von den Leberzellen

aufgenommen. 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. Eiweißstoffe werden in der Leber abgebaut. Fibrinogen, die Vorstufe des Fibrins (s.S.89), wird in der Leber aufgebaut. Aus Abbauprodukten des Blutfarbstoffes bilden die Leberzellen *Gallenfarbstoffe*, die sie zusammen mit anderen Stoffen als Galle in die Gallenkapillaren absondern. Die Galle fließt in den Gallenkapillaren 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 die Galle zunächst in die an der Unterseite der Leber gelegene *Gallenblase* (Abb. 52, S. 52). Hier wird sie gespeichert und bei Bedarf reflektorisch durch den Ausführungsgang der Gallenblase in den Dünndarm abgegeben. Bauchspeicheldrüse und Leber sind lebenswichtige Organe, ihr Ausfall wirkt tödlich.

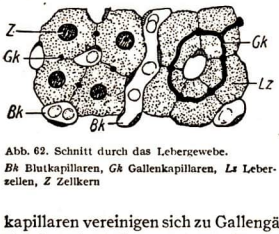


Abb. 62. Schnitt durch das Lebergewebe.
Bk Blutkapillaren, *Gk* Gallenkapillaren, *Lz* Leberzellen, *Z* Zellkern

Dickdarm. Der Dickdarm (Abb. 52, S. 52) verläuft an der rechten Seite der Bauchhöhle nach oben, biegt dann nach links um, verläuft unterhalb des Magens zur linken Körperseite, beschreibt dort eine scharfe Windung und zieht nach unten zum After. Den letzten Teil des Dickdarms bezeichnet man als *Mastdarm*, den ersten als *Grimmdarm*. 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. Um sich die Lagebeziehungen zwischen dem Bauchfell und den Organen der Bauchhöhle klarzumachen, muß man sich vorstellen, daß die Organe zwischen der hinteren Bauchwand und dem Bauchfellsack angelegt werden. Bei ihrer Entwicklung stülpen sie das Bauchfell nach der Mitte der Bauchhöhle zu ein. Dadurch faltet sich das Bauchfell und legt sich mit seiner Außenfläche den Organen an; die Organe erhalten einen Überzug von Bauchfell. Diejenigen Organe der Bauchhöhle, die den Kontakt mit der hinteren

Bauchwand völlig verlieren, werden außerdem durch aus zwei Blättern bestehende Bauchfellfalten, die Gekröse, an der Bauchwand aufgehängt. Das ist der Fall bei Leber, Milz, Eierstöcken, Eileitern, Magen, Dünndarm und dem quer verlaufenden Teil des Dickdarms. Diese Organe sind also an ihren Gekrösen frei beweglich in der Bauchhöhle aufgehängt (Abb. 63). Eine Bauchfelltasche, das sogenannte große Netz, hängt, schürzenartig vorgestülpt, vor den Dünndarmschlingen. Der aufsteigende und der absteigende Teil des Dickdarms und der Uterus (siehe S. 109) dagegen wölben den Bauchfellsack lediglich in die Bauchhöhle vor, ohne den Kontakt mit der hinteren bzw. unteren Bauchwand zu verlieren. Jene Flächen, mit denen diese Organe der Bauchwand anliegen, sind nicht vom Bauchfell überzogen. Bauchspeicheldrüse und Nieren schließlich liegen hinter der rückwärtigen Bauchfellwand außerhalb der Bauchfellhöhle, ohne das Bauchfell in die Bauchhöhle hinein vorzuwölben.

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 (s. S. 109).

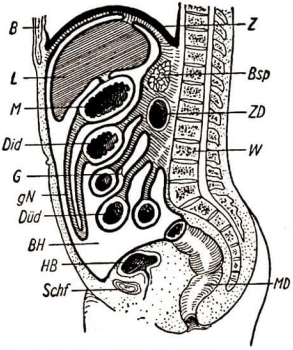


Abb. 63. Schnitt durch die Bauchhöhle.
B Brustbein, *BH* Bauchhöhle, *Bsp* Bauchspeicheldrüse, *Did* querverlaufender Dickdarm, *Düd* Dünndarm, *G* Gekröse, *HB* Harnblase, *L* Leber, *M* Magen, *MD* Mastdarm, *gN* großes Netz, *Schf* Schambeinfuge, *W* Wirbelkörper, *Z* Zwerchfell, *ZD* Zwölffingerdarm

c) Verdauungsvorgänge

Beim Kauen werden die Nahrungsmittel mechanisch zerkleinert und durch den Speichel aufgeweicht. Infolgedessen können bei den Verdauungsvorgängen die in ihnen enthaltenen Nährstoffe (Eiweißstoffe, Fette und Kohlenhydrate) herausgelöst werden. Die Nährstoffe werden aufgespalten und in einen wasserlöslichen Zustand übergeführt, so daß sie resorbierbar sind. Diese Vorgänge erfolgen durch *hydrolytische Spaltung* unter Einwirkung der Verdauungsfermente.

Fermente sind organische, katalytisch wirkende Verbindungen, deren Zusammensetzung bisher nur zu einem Teil bekannt ist. Sie bestehen aus der Trägersubstanz und einer Wirkgruppe. Die Trägersubstanz ist ein Eiweißkörper. Der Organismus bildet eine große Zahl von spezifischen Fermenten, deren jedes nur auf einen bestimmten Vorgang einwirkt. In den Verdauungssäften sind zahlreiche Verdauungsfermente enthalten.

Die Fermente werden nach ihrer Funktion unterschieden. Ihre Bezeichnung erhalten sie, indem man die Endung „ase" an den Wortstamm des durch sie ver-

änderten Stoffes anhängt. Eiweißspaltende Fermente heißen *Proteasen*, kohlenhydratspaltende sind *Amylasen*, *Saccharasen* usw., fettspaltende *Lipasen* usw.

Verdauungsvorgänge in der Mundhöhle. Die Verdauung setzt in der Mundhöhle ein, sie wird im Magen fortgesetzt und im Dünndarm beendet. Verdauungssekrete, die Fermente enthalten, sind: Mundspeichel, Magensaft, Bauchspeichel und Darmsaft. Galle enthält keine Fermente, trotzdem ist sie für die Verdauung unentbehrlich. Das wirksame Ferment des Mundspeichels, das *Ptyalin*, spaltet das große, schwerlösliche Molekül der Stärke in den leichter löslichen Malzzucker, ein Disaccharid. Da die Speisen nur kurze Zeit in der Mundhöhle bleiben, wird nur ein Teil der Stärke im Munde durch das Ptyalin zu Malzzucker aufgespalten. Der Speichel wirkt aber auch noch im Magen weiter.

Die Sekretion des Speichels läßt sich nicht willkürlich auslösen, sie wird vielmehr *reflektorisch* gesteuert. Die Nahrung reizt je nach ihrer Beschaffenheit die Sinnesorgane der Mundhöhle in der verschiedensten Weise und löst so verschiedenartige Reaktionen der Speicheldrüsen aus. Je nach der Art der Nahrung tritt die eine oder die andere Drüse mehr oder weniger in Tätigkeit. Trockene Nahrung fördert die Sekretion des dickflüssigen Verdauungsspeichels, der die Speisen gleitfähig macht. Saure oder salzige Speisen werden durch den wäßrigen Spülspeichel verdünnt. Milch veranlaßt die Sekretion von fadenziehendem, schleimreichem Speichel. Wir verdanken dem sowjetischen Forscher *I. P. Pawlow* die Klärung der reflektorischen Beeinflussung der Speicheldrüsentätigkeit. Pawlow beobachtete und maß die Absonderung der Speicheldrüsen bei Hunden, indem er durch einen operativen Eingriff den Ausführungsgang einer Speicheldrüse nach außen verlegte und durch ein Röhrchen verlängerte (Anlage einer Fistel, Abb. 64). Der Speichel wurde dann in einem Meßgefäß aufgefangen. Es zeigte sich, daß die Speicheldrüse reflektorisch Speichel absonderte, sobald der Hund zu fressen begann. Selbst wenn er ein ihm bekanntes Futter nur roch oder von weitem sah, traten die Speicheldrüsen in Tätigkeit. Dieser Speichelfluß kam zustande ohne direkte Berührung der Nahrung mit der Mundschleimhaut. Bei der Erforschung dieser Erscheinung kam Pawlow zu der Entdeckung der bedingten Reflexe (s. S. 166).

Abb. 64. Hund mit Fistel der Ohrspeicheldrüse

Verdauungsvorgänge im Magen. Mit dem Übertritt der Speise in den Magen beginnt ein neuer Abschnitt der Verdauung. Der *Magensaft* wird in einer Menge von 1 bis 2 Litern täglich von den in der Magenwand liegenden Drüsen ausgeschieden. *Pawlow* bewies, daß die Magensaftabsonderung auf *reflektorischem* Wege erzeugt wird. Zu diesem Zweck führte er an einem Hund folgende Operation aus: es wurde zuerst eine Magenfistel angebracht und dann die Speiseröhre durchschnitten. Beide neu entstandenen Enden der Speiseröhre wurden in die Halshaut eingenäht. Nach der Operation konnte die gefressene Nahrung nicht mehr in den Magen gelangen, so daß der Magensaft, der aus der Magenfistel floß, nicht mit Speise ver-

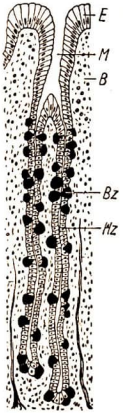


Abb. 65. Drüse der Magenschleimhaut.
B Bindegewebe der Schleimhaut, *Bz* Belegzellen, *E* Epithel, *Hz* Hauptzellen, *M* Magengrübchen

mengt war. Damit der Hund nicht verhungerte, wurde nach den Versuchen Nahrung durch die Fistel direkt in den Magen eingeführt.

Die Fütterungsversuche zeigten, daß einige Minuten nach der scheinbaren Fütterung, bei welcher die Nahrung durch die Öffnung der durchschnittenen Speiseröhre nach außen quoll, reiner Magensaft aus dem leeren Magen abgesondert wurde. Die Absonderung dauerte zwei bis drei Stunden. Wurden die zum Magen führenden Zweige des Nervus vagus durchschnitten, so rief die Scheinfütterung keine Speichelabsonderung hervor. Das beweist, daß die Arbeit der Magendrüsen durch das Nervensystem reguliert wird.

Zu weiteren Versuchen trennte Pawlow einen Teil des Magens als blinden Sack ab und ließ aus diesem den Magensaft durch eine Fistel nach außen abfließen. Da der Nebenmagen wie der große Magen arbeitete, konnte so die Tätigkeit des Magens während der Verdauung bei normaler Fütterung durch die nicht unterbrochene Speiseröhre untersucht werden.

Der Magensaft enthält freie Salzsäure und das eiweißspaltende Pepsin. Die *Salzsäure* führt die von den Magendrüsen (Abb. 65) abgesonderte unwirksame Vorstufe des Pepsins in dessen aktive Form über. Unter dem Einfluß der Salzsäure gerinnt das Eiweiß der Milch. Weiterhin bringt sie die Eiweißkörper zum Quellen, so daß diese leichter von dem Pepsin angegriffen werden können. Außerdem hemmt die Salzsäure das Bakterienwachstum und gewährt somit einen gewissen Schutz gegen bestimmte Bakterien, die mit der Nahrung aufgenommen werden.

Durch das *Pepsin* wird die Eiweißspaltung eingeleitet. Der größere Teil der Eiweißkörper wird bereits durch das Pepsin in die löslichen Polypeptide umgewandelt. Der Magen des Säuglings produziert noch keine Salzsäure, dagegen besitzt er ein besonderes Ferment, das *Labferment*, das das Eiweiß der Milch zum Gerinnen bringt. Die Speisen werden im Magen nicht sofort durchmischt. Sie werden zunächst so geschichtet, daß die zuletzt ankommenden Speisen in der Mitte liegen (Abb. 66). Dadurch wirkt

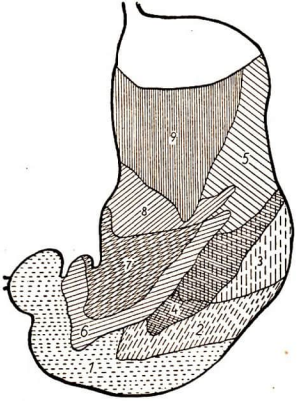


Abb. 66. Schichtung des Mageninhalts

die Salzsäure vor allem auf die Speisen, die schon länger im Magen liegen. Das Ptyalin des Mundspeichels, das durch die Salzsäure gehemmt wird, kann also in den inneren Schichten im Magen noch nachwirken.
Als Ergebnis der Magenverdauung entsteht ein dünner, sauer reagierender Speisebrei. Durch den alkalischen Verdauungssaft des Dünndarms wird der sauer reagierende Speisebrei im Dünndarm allmählich alkalisch. Sobald er dort seine saure Reaktion verloren hat, öffnet sich der Pförtner durch einen *Reflex*, der durch den chemischen Reiz des alkalischen Nahrungsbreies im Dünndarm ausgelöst wird. Dadurch tritt der nächste Schub des sauren Speisebreies in den Dünndarm über. Diese rhythmische Tätigkeit des Pförtners dauert fort, bis der Magen vollständig entleert ist. Die verschiedenen Speisen bleiben verschieden lange im Magen. Milch verweilt dort nur ein bis zwei Stunden, eine normale Mittagsmahlzeit etwa vier Stunden, sehr fette Speisen verweilen über fünf Stunden. In dieser Zeit reizt der Speisebrei die Magenwand unmittelbar zur Sekretion.
Pawlow stellte mit der Fistelmethode fest, daß die Absonderung des Magensaftes schon bei der Nahrungsaufnahme beginnt; durch verschiedene chemische Stoffe in der Nahrung (z. B. Gewürze) wird sie stark gefördert. Aber auch Geruchsreize und der Anblick der Speise wirken fördernd oder hemmend auf die Sekretion des Magensaftes.

Verdauungsvorgänge im Dünndarm. Der aus dem Magen kommende saure Speisebrei enthält neben dem unverdauten Fett auch noch Teile unverdauter Kohlenhydrate und Eiweißstoffe sowie deren erste Abbaustufen. Im *Zwölffingerdarm* münden dicht nebeneinander die Ausführungsgänge für den *Bauchspeichel* und für die *Galle*. Bauchspeichel und Galle mischen sich mit dem von den Darmdrüsen ausgeschiedenen Darmsaft. Der in einer Menge bis zu 1500 cm^3 täglich gebildete Bauchspeichel enthält kohlenhydratspaltende, fettspaltende und eiweißspaltende Fermente.
Die *Bauchspeichelamylase* spaltet die noch nicht von Ptyalin angegriffene Stärke zu Malzzucker (Maltose) auf. Ein zweites kohlenhydratspaltendes Ferment der Bauchspeicheldrüse, eine *Maltase*, spaltet ein Molekül des Disaccharids Maltose in zwei Monosaccharidmoleküle. Das fettspaltende Ferment des Bauchspeichels ist das *Steapsin*. Durch das Steapsin werden die Fette in Glycerin und Fettsäuren zerlegt. Der eiweißspaltende Anteil des Bauchspeichels ist ein Fermentgemisch, das *Trypsin*. Es wird als inaktive Vorstufe von der Bauchspeicheldrüse abgesondert und im Darm durch ein von den Darmwandzellen abgesondertes Ferment *(Enterokinase)* aktiviert. Von den Dünndarmzellen wird das *Erepsin* abgesondert. Trypsin und Erepsin bewirken zusammen die Aufspaltung der Eiweißkörper bis zu den Aminosäuren.
Die Leber sondert täglich etwa 1 Liter gelblichbraunen *Gallensaft* ab. Dieser wird in der Gallenblase gespeichert und dort durch Resorption von Wasser auf etwa ein Zehntel seiner Menge eingedickt. Aus der Gallenblase erfolgt die Ausscheidung in den Darm, je nach Bedarf in wechselnder Menge. Die Galle enthält die durch den Abbau des Blutfarbstoffes entstehenden *Gallenfarbstoffe*. Sie durch-

mischen sich mit dem Darminhalt und bewirken die Kotfarbe. Die in der Galle enthaltenen *Gallensäuren* fördern die Fettverdauung, indem sie die wasserunlöslichen Fette zu einer aus feinsten Tröpfchen bestehenden Emulsion zerteilen. Diese Emulsion kann vom Steapsin leicht angegriffen werden. Weiterhin ist in der Galle *Cholesterin* enthalten. Zusammen mit den Gallensäuren ermöglicht es die Resorption der bei der Fettverdauung entstehenden Fettsäuren.
Die von Leber und Bauchspeicheldrüse abgegebenen Säfte wirken über den Zwölffingerdarm weiter hinaus, ihre Wirksamkeit nimmt jedoch ständig ab.
Pawlow stellte fest, daß der Reiz, den der aus dem Magen kommende sauer reagierende Speisebrei auf den Zwölffingerdarm ausübt, eine reichliche Absonderung der Bauchspeicheldrüse hervorruft. Auch die künstliche Einführung von reinem Magensaft oder von Salzsäure in den Zwölffingerdarm regt die Tätigkeit der Bauchspeicheldrüse an. Die mit der Schleimhaut des Darmes in Berührung kommende Säure ruft in der Darmwand unter Beteiligung des Nervensystems die Bildung eines hormonartigen Stoffes, des *Sekretins*, hervor. Das Sekretin gelangt auf dem Blutwege zur Bauchspeicheldrüse und bewirkt dort die Absonderung von Bauchspeichel. Die Absonderung der Dünndarmdrüsen setzt ein, sobald der Speisebrei mit der Wand des Dünndarms in Berührung kommt und diese mechanisch und chemisch reizt.
In den auf den Zwölffingerdarm folgenden Abschnitten des Dünndarms wird die Aufspaltung der Nährstoffe fortgesetzt. Die in der Wand des gesamten Dünndarms zwischen den Schleimhautzotten gelegenen 1 bis 2 mm langen Darmsaftdrüsen sondern den Darmsaft ab. Er enthält außer der Enterokinase und dem Erepsin noch fett- und kohlenhydratspaltende Fermente. Die *Lipase* des Darmsaftes unterstützt die Lipase der Bauchspeicheldrüse. Die Disaccharide werden durch die *Disaccharasen* des Darmsaftes bis zu Monosaccharide aufgespalten.
Der Darmsaft wird im leeren Darm spärlich, während der Verdauung reichlich abgesondert.

Funktion des Dickdarms. Die aufgespaltenen Nährstoffe werden im Dünndarm zum größten Teil resorbiert. Der in den Dickdarm übertretende Speisebrei enthält wenig, oft sogar keine verdaulichen Stoffe mehr. Es gelangen in den Dickdarm also nur unverdauliche und einige unverdaute Nahrungsreste sowie Schleim und Wasser. Im Gegensatz zum Magen und oberen Dünndarmteil enthält der Dickdarm viele Bakterien. Durch *Bakterien* werden die Reste der Kohlenhydrate *vergärt* und die Reste der Eiweißstoffe zu Fäulnissubstanzen *zersetzt*. Die Zellulose wird durch die Gärung nur zum Teil aufgeschlossen, alle anderen Kohlenhydratreste werden durch die Gärung in Wasser, Kohlendioxyd und Sumpfgas (Methan) zerlegt. Durch die Fäulnis der schwefel- und stickstoffhaltigen Eiweißstoffe entstehen unangenehm riechende Gase und andere Abbauprodukte. Zum Teil werden diese in das Blut aufgenommen und in der Leber unschädlich gemacht. Der andere Teil der Gärungs- und Fäulnisabbauprodukte wird im Kot ausgeschieden. Die Dickdarmwand resorbiert Wasser und dickt dadurch den anfangs wäßrigen Brei ein. Im Endabschnitt des Dickdarms wird der Kot geformt. Die festen Bestandteile des Kotes bestehen zu einem großen Teil aus Bakterien und abgestorbenen Darmepithelien.

Eine Übersicht über die Leistung der Fermente und die Aufspaltung der Nahrungsstoffe gibt die folgende Tabelle.

Verdauungsvorgänge

Saft	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
		Steapsin	Fett	Glycerin und Fettsäuren
Darmsaft	alkalisch	Disaccharasen,	Disaccharide	Monosaccharide
		Erepsin	Poly- und Dipeptide	Aminosäuren
		Lipase	Fett	Glycerin und Fettsäuren

Abstimmung in der Tätigkeit der Verdauungsorgane. Alle Verdauungsorgane sind in ihrer Funktion aufeinander abgestimmt. Außerdem passen sich die Verdauungsorgane in ihrer Funktion der Zusammensetzung der aufgenommenen Speise an. Man darf aber nicht denken, daß die Tätigkeit des Verdauungskanals in allen Fällen zweckmäßig ist. In bestimmten Fällen entsprechen Menge und Gehalt der Verdauungssäfte nicht der Qualität der Nahrung. Verzehrt man beispielsweise ein Eidotter, so wird Speichel mit einer großen Menge Ptyalin abgesondert. Eidotter enthält jedoch keine Stärke, das ausgeschiedene Ptyalin ist in diesem Falle überflüssig. Es gibt noch eine Reihe von Beispielen für eine nicht zweckdienliche Tätigkeit der Organe.

Idealistische Wissenschaftler behaupteten, daß jedes Organ für einen bestimmten Zweck geschaffen wurde und jeder Lebensvorgang ebenfalls zweckdienlich ist. Die Zweckmäßigkeit im Bau und in der Funktion der Organe ist jedoch erst allmählich im Laufe der Stammesgeschichte als Anpassung an bestimmte Lebensbedingungen entstanden.

d) Aufnahme der Nährstoffe in Blut und Lymphe und ihre Umwandlung im Körper

Die Aufnahme der wasserlöslich gemachten, verdauten Nahrungsstoffe durch die Darmwand in Blut und Lymphe, die *Resorption*, erfolgt hauptsächlich im Dünndarm. Durch die Ausbildung von Zotten hat sich die innere Oberfläche der Darm-

wand so vergrößert, daß sie für diese Funktion besonders geeignet ist. Die Resorption ist kein einfaches Durchsickern der Verdauungsprodukte durch die Wandung der Zotten, sondern das Ergebnis einer aktiven Tätigkeit ihrer Epithelzellen.
Die Kohlenhydrate werden als *Monosaccharide*, meist in Form des Traubenzuckers, aufgenommen. Dieser ist leicht löslich; er tritt durch die Zellen der Darmzotten in die Blutgefäße über. Auf dem gleichen Wege gelangen auch die Abbaustoffe der Eiweißstoffe, die löslichen *Aminosäuren*, in die Blutgefäße der Zotten. Die Bestandteile der Fette, *Fettsäuren* und *Glycerin*, werden in den Darmepithelzellen sofort wieder zu Fett zusammengesetzt. Es gelangt als Emulsion in die Lymphgefäße der Darmzotten und wird weitergepumpt. Diese durch das feinverteilte Fett getrübte Lymphe heißt *Chylus*. Die Gefäße, die den Chylus in den Lymphstrom und schließlich in den Blutkreislauf führen, heißen *Chylusgefäße*. Sie bestehen aus Lymphbahnen im Gekröse, die sich zu einem großen Darmlymphgefäßstamm vereinigen. Dieser mündet in den Milchbrustgang. Auch ein großer Teil des mit der Nahrung oder durch die Verdauungssäfte in den Darm gelangten Wassers sowie Salze und Gase werden von den Darmzotten resorbiert.

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 durch molekularen Sauerstoff Stoffe oxydiert, die unter gewöhnlichen Bedingungen von ihm nicht angegriffen werden. Hierzu sind besondere Katalysatoren, die Zellfermente, nötig. Bei der biologischen Oxydation wird zunächst dem Substrat Wasserstoff entzogen. Die Entziehung des Wasserstoffes und seine Überführung in eine aktive atomare Form erfolgen durch die *wasserstoffübertragenden Fermente* (Dehydrasen) der Zelle. Andere Zellfermente, die Zellhämine oder *sauerstoffübertragenden 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.

Kohlenhydratumsatz. Der größte Teil des aufgenommenen Traubenzuckers 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 cm^3 Blut. Diesen Gehalt des Blutes an Traubenzucker nennt man *Blutzuckerspiegel*. Der größte Teil der Kohlenhydrate wird im Zwischenstoffwechsel der Muskelzellen unter Freisetzung von Energie verbrannt (s. S. 33). Die Endprodukte Kohlendioxyd und Wasser werden durch das Blut abtransportiert. Bei reichlicher Nahrungszufuhr an Kohlenhydraten steigt der Blutzuckerspiegel, bei Muskelarbeit sinkt er. *Hormone*

regeln die Konstanz des Blutzuckerspiegels. Das *Insulin* veranlaßt ein Absinken des Blutzuckerspiegels; es fördert den Aufbau von Glykogen aus Blutzucker in den Leberzellen. *Adrenalin* dagegen, das Hormon des Nebennierenmarks, fördert die Aufspaltung des Glykogens zu Traubenzucker. Es hebt also den Blutzuckerspiegel. Der Traubenzucker 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 zum großen Teil ebenso wie der Traubenzucker als Energiequelle. Bei seinem Abbau durch Oxydation werden große Mengen an Energie frei. Zunächst wird das Fett in Glycerin und Fettsäuren gespalten, dann werden diese zu Wasser und Kohlensäure oxydiert. Außer als Energiespender spielt das Fett eine Rolle als Speicherfett bei der Aufspeicherung der Energie, als Wärmeschutz und als Polster. Geringe Mengen von Fett sind ein notwendiger Strukturbestandteil aller Zellen. Die Bedeutung des Fettes als Wärmeschutz und als ergiebige Energiequelle erklärt unseren höheren Fettbedarf im Winter und den besonders hohen Fettbedarf der in kalten Zonen lebenden Menschen.

Eiweißumsatz. Die im Blute kreisenden Aminosäuren liefern das Baumaterial für den Baustoffwechsel, nämlich für den Umbaustoffwechsel der Zellen und für den Aufbaustoffwechsel beim Wachstum neuer Zellen. Aminosäuren können nicht gespeichert werden. Ihr Abbau erfolgt hauptsächlich in der Leber. Dabei entstehen Ammoniak und stickstofffreie Verbindungen, die, wie die Kohlenhydrate und Fette, durch biologische Oxydation weiter abgebaut werden. Das Ammoniak, ein für die Zellen giftiger Stoff, verbindet sich in der Leber sofort mit Kohlendioxyd zu dem ungiftigen *Harnstoff*; dieser wird durch die Nieren im Harn ausgeschieden.

Wasser und Salze. Wasser und Salze werden im Verdauungsvorgang nicht verändert. Ein Teil von ihnen wird im Darm resorbiert. Das *Wasser* dient im Körper als *Quellmittel* und bewirkt den kolloidalen Zustand des Protoplasmas. Außerdem ist es das *Lösungsmittel* für viele wasserlösliche Stoffe. Unsere Körpergewebe, mit Ausnahme von Skelett und Zähnen, enthalten durchschnittlich über 50% Wasser. Besonders viel Wasser enthalten 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 bei den biologischen Oxydationen entstehende Wasser. 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* (s. Lehrbuch d. Biologie f. d. 9. Schulj., S. 10) und das Mengenverhältnis der H- und OH-Ionen zueinander konstant und regulieren die

Erregbarkeit und den Quellungszustand des Protoplasmas. Weiterhin sind sie am Aufbau lebenswichtiger Stoffe, wie des Hämoglobins und des Schilddrüsenhormons, sowie der Knochengewebe und der Bildung der Drüsensekrete beteiligt. Die physiologisch wichtigsten Salze sind Verbindungen der Elemente Natrium, Kalium, Calcium, 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).

e) Nahrungs- und Energiebedarf

Nahrungsmittel. Wir können die Nahrungsmittel in folgende Hauptgruppen zusammenfassen:

1. Fleisch, Eier, Fisch
2. Milch und Milchprodukte
3. Tierische und pflanzliche Fette
4. Gemüse, Obst, Pilze
5. Mehlprodukte
6. Hülsenfrüchte
7. Zucker und Honig

Diese Gruppen unterscheiden sich durch ihre Zusammensetzung und durch ihren Gehalt an den einzelnen Stoffen (Kohlenhydrate, Fette und Eiweißstoffe, Vitamine, Geschmacksstoffe, Ballaststoffe usw.).

Fleisch und *Fisch* sind besonders eiweißreich. Sie enthalten gewöhnlich 15 bis 20 % Eiweißstoffe. Der Anteil an Kohlenhydraten ist unbedeutend (bis 0,5 %); der Fettgehalt ist unterschiedlich. Mageres Rindfleisch enthält 3 bis 5 % Fett, sehr fettes bis zu 25 % und mehr. Verhältnismäßig wenig fetthaltig sind mageres Kalbfleisch, Dorsch, Karpfen u. a.; viel Fett ist dagegen in Schweinefleisch, Hering, Lachs, Hammelfleisch und in den meisten Wurstsorten enthalten.

Eier sind reich an Eiweiß (14 %), fettähnlichen Substanzen und Lipoiden; der Gehalt an Kohlenhydraten ist gering. Der Dotter enthält außerdem eine Reihe anderer für den Organismus wichtiger Stoffe.

Kuhmilch besteht zu über 80 % aus Wasser. Auf den Anteil der Nährsubstanzen bei Kuhmilch entfallen etwa je 3,5 % Eiweißstoffe und Fette sowie 5 % Kohlenhydrate. Die aus der Milch hergestellte Butter enthält etwa 84 % Fett, 1 % Eiweißstoffe und kleinere Mengen Kohlenhydrate und Salze. In Fettkäse sind etwa 25 % Eiweißstoffe, 30 % Fett und 2 % Kohlenhydrate enthalten, in Magerkäse dagegen etwa 40 % Eiweißstoffe, 2 % Fett und 3 % Kohlenhydrate.

Tierische und pflanzliche *Fette* (z. B. Butter, Schweinefett, Rindertalg, Fischfett, Olivenöl, Leinöl, Nußöl, Rapsöl, Palmöl) enthalten kaum Kohlenhydrate und nur wenig Eiweißstoffe.

Gemüse, *Obst* und *Pilze* enthalten ebenso wie die Milch sehr viel Wasser (Steinpilze 87 %, Gurken 97 %). Die Menge der Kohlenhydrate schwankt etwa zwischen 20 % (Kartoffeln) und 1 bis 2 % (Gurken, Salat). An Eiweißstoffen sind selten mehr als 1 bis 2 % enthalten (beim Steinpilz 5 %); der Fettgehalt ist unbedeutend.
Mehl und *Grieß* enthalten wenig Wasser, etwa 70 % Stärke und 10 % Eiweiß. Der Fettgehalt ist sehr gering.
Hülsenfrüchte (getrocknete Erbsen, Bohnen, Linsen) sind besonders reich an Eiweißstoffen (über 20 %) und Kohlenhydraten (etwa 50 %). Die Sojabohne enthält viel Fett und besonders viel Eiweiß.
Zucker und *Honig* enthalten fast ausschließlich Kohlenhydrate und nur wenig andere Stoffe.
In einer vollwertigen Nahrung müssen Eiweißstoffe, Fette und Kohlenhydrate in richtiger Zusammensetzung und ausreichender Menge sowie Vitamine, Mineralstoffe und Ballaststoffe vorhanden sein. Die Geschmacksstoffe der Nahrung regen die Sekretion der Verdauungsdrüsen an und bedingen dadurch eine bessere Ausnutzung der zugeführten Nährstoffe.
Bei reichlicher Nahrungszufuhr wird der Überschuß an aufgesaugten Nährstoffen zum Teil sehr rasch zerstört und aus dem Organismus ausgeschieden, zum anderen Teil lagert er sich in Gestalt von Fettvorräten ab: das Körpergewicht nimmt zu.
Übermäßiger Fettansatz, der nicht selten bei zu reichlicher Ernährung und ungenügender körperlicher Leistung eintritt, ist schädlich. Er belastet Herz und Kreislauf und erschwert die Tätigkeit anderer wichtiger Organe. Oftmals ist eine Fettsucht jedoch die Folge einer Gehirnerkrankung oder einer hormonalen Störung (Hypophyse, Keimdrüsen, Schilddrüse).

Nahrungsbedarf. Im Kindesalter benötigt der Mensch verhältnismäßig viel Nährstoffe zum Aufbau seines Körpers. Der Erwachsene verliert ständig mit der Absonderung der Sekretstoffe, mit den abgestorbenen Blutkörperchen, mit den abgeschilferten Darmepithelien, mit den sich ablösenden Schichten der Oberhaut, mit dem Ausfall von Haaren, dem Wachstum der Nägel und dem Umbau der Gewebe körpereigene Substanzen. Diese Stoffe werden laufend ersetzt.

Energiebedarf. Der Energiebedarf unseres Körpers läßt sich mit der physikalischen Einheit der Wärmemenge, der *Kalorie*, messen. Auch für den menschlichen Körper gilt das mechanische Wärmeäquivalent, wonach eine mechanische Arbeit von 427 kpm (Kilopondmeter) einer Wärmemenge von 1 kcal (Kilokalorie) entspricht. Bei der Atmung, beim Herzschlag und bei der Bildung von Körperwärme verbraucht auch der ruhende Körper ständig Energie. Diesen Mindestverbrauch an Energie nennt man *Grundumsatz*. Er beträgt im Durchschnitt für den menschlichen Körper je kp etwa 30 kcal täglich. Jede zusätzliche Betätigung, schon das Sitzen oder die Verdauungsarbeit, erhöht den Umsatz um einen *Leistungszuwachs*. Der Leistungszuwachs und damit der aus Grundumsatz und Leistungszuwachs bestehende *Gesamtumsatz* unterliegen je nach der körperlichen Leistung großen Schwankungen. Bei durchschnittlichem Körpergewicht und durchschnittlicher Arbeitsleistung verbrauchen in etwa 24 Stunden:

Berufsbezeichnung	Kilokalorien
Buchhalter	2500
Näherin und Schneider (Handarbeit)	2700
Stenotypistin (Maschinenschreiberin)	2800
Wäscherin	3400
Metallarbeiter, Maler, Traktorist	3500
Schmied	4100
Maurer	4500
Holzfäller	über 6000

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. Natürlich geht auch die sportliche Betätigung mit erhöhten Umsätzen einher. Im intensiven Training werden sogar die höchsten Umsatzgrößen, etwa 8000 Kalorien, gemessen. Deshalb ist reichliche und gut zusammengesetzte Nahrung beim Sport, besonders im Training, äußerst wichtig.
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 aber ist nur eine Seite des Arbeitsprozesses, das heißt der gesellschaftlich nützlichen Tätigkeit des Menschen. Diese wirkliche Leistung eines Menschen in Kalorien auszudrücken ist unmöglich.

Das Gesetz von der Erhaltung der Materie und der Energie. Im lebenden Organismus wie auch in der Natur können Materie und Energie nicht aus nichts entstehen oder verschwinden. Sie bleiben erhalten, unterliegen aber ständig Umwandlungen. Die Stoff- und Energiequelle im tierischen Organismus ist die Nahrung und die in dieser enthaltene Energie.
Man kann mit großer Genauigkeit die Menge der aufgenommenen Nährstoffe und die in ihnen enthaltene Energie bestimmen. Mit gleicher Genauigkeit läßt sich feststellen, wie groß die Menge der ausgeschiedenen Stoffe und der bei den Lebensprozessen freigewordenen Energie ist.
Zahlreiche Versuche an Tieren und Menschen zeigen, daß bei gleichbleibendem Körpergewicht die Menge der ausgeschiedenen Stoffe ebenso groß ist wie die Menge der aufgenommenen Stoffe, und daß der Energieverbrauch ebenso groß ist wie die in den aufgenommenen Nährstoffen enthaltene Energie.
Daraus muß man den Schluß ziehen, daß das Gesetz von der Erhaltung von Materie und Energie nicht nur in der leblosen, sondern auch in der lebenden Natur Gültigkeit hat.

Kostmaß. Gleiche Mengen verschiedener Nährstoffe liefern bei ihrem Abbau verschieden große Mengen von Energie.

1 kg Kohlenhydrate	gibt bei vollständiger Verbrennung	4100 kcal
	gibt bei Abbau im Körper	4100 ,,
1 kg Fett	gibt bei vollständiger Verbrennung	9300 kcal
	gibt bei Abbau im Körper	9300 ,,
1 kg Eiweiß	gibt bei vollständiger Verbrennung	5500 kcal
	gibt bei Abbau im Körper	4100 ,,

Die Eiweißstoffe ergeben bei ihrem Abbau im Organismus weniger Kalorien als bei ihrer vollständigen Verbrennung, weil nur ein Teil ihrer Abbauprodukte Wasser und Kohlendioxyd, ein anderer Teil aber Endprodukte von erheblichem Energiegehalt sind. Der Harnstoff, eines der Endprodukte des Eiweißstoffwechsels, enthält beispielsweise noch 2500 kcal je Kilogramm.
Vergleicht man die *Nahrungsstoffe* nach ihrem Kaloriengehalt, so ergibt 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 vertreten. 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 Eiweißstoffe müssen in einer bestimmten Mindestmenge aufgenommen werden, da der menschliche Körper nur einen Teil der lebensnotwendigen Aminosäuren selbst aufbauen kann (s. S. 51). Ein gesunder Mensch braucht täglich etwa 1 g Eiweiß je kg Körpergewicht; der Fettbedarf schwankt zwischen 0,3 bis 0,6 g je kg Körpergewicht.

f) Vitamine

Die Vitamine sind wie die *Fermente* und *Hormone* Wirkstoffe. Sie sind für den Ablauf bestimmter Wachstums- und Lebensvorgänge in den Zellen unbedingt notwendig. Für einige Vitamine ist nachgewiesen, daß sie Bestandteile von Fermenten sind und zu deren Aufbau benötigt werden. Im Gegensatz zu den Hormonen werden die Vitamine mit der Nahrung aufgenommen. Fehlen Vitamine in der Nahrung, so treten Mangelkrankheiten auf *(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 Salze benötigt, sondern auch noch andere, bis dahin unbekannte Substanzen. Man nennt sie *Vitamine* und bezeichnet sie mit den Buchstaben A, B, C usw.

Vitamin C. Das Vitamin C kommt vor allem im lebenden, pflanzlichen Gewebe, so im Gemüse, in Kartoffeln und im frischen Obst, vor. Auch Kiefern- und Fichten-

nadeln sind reich an Vitamin C. Durch einen Mangel an Vitamin C entsteht der *Skorbut*. Es ist bekannt, daß die Bevölkerung Sibiriens schon im 18. Jahrhundert Aufgüsse aus Kiefern- und Fichtennadeln trank, so daß der Skorbut dort nicht auftrat. Vitamin C ist wenig widerstandsfähig, da es leicht durch den Sauerstoff der Luft oxydiert wird. Durch längeres Kochen und durch Schwermetalle, die als Katalysatoren die Oxydation des Vitamins beschleunigen, wird es zerstört. Der Skorbut tritt deshalb vor allem bei einseitiger Ernährung mit Konserven auf. Anzeichen des Skorbuts sind *Zahnausfall* und *Blutungen* in der Haut, im Zahnfleisch, in der Muskulatur und anderen Organen. Die Blutungen sind die Folge einer mangelhaften Bildung von Zwischenzellsubstanz in den Gefäßwänden. In schweren Fällen kann der Tod eintreten. Die sogenannte *Frühjahrsmüdigkeit* wird durch eine unzulängliche Zufuhr von Vitamin C verursacht.
In früheren Jahrhunderten war der Skorbut eine gefürchtete Krankheit der Seefahrer, deren Nahrung hauptsächlich aus Schiffszwieback, Konserven und Pökelfleisch bestand. An Land besserte sich diese Mangelkrankheit nach dem Genuß von frischem Obst und Gemüse in kurzer Zeit. Seitdem die Ursachen dieser Avitaminose erkannt sind und die Seefahrer mit vitaminhaltigen Nahrungsmitteln oder Vitamin-C-Tabletten versorgt werden, tritt der Skorbut nicht mehr auf.

Vitamin B. Seitdem in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts das Schälen des Reises eine einträgliche Geldquelle für kapitalistische Unternehmer wurde, trat in den Reisländern Ost- und Südostasiens die *Beriberi-Krankheit* auf. Sie beruht auf einem Mangel an *Vitamin* B_1, das in dem Silberhäutchen der Reisschale enthalten ist. Die Krankheit äußert sich in schweren *Nervenentzündungen* und Ödemen und führt oft unter Herzschwäche zum Tode. Sie befällt vor allem Menschen, die sich ausschließlich von geschältem Reis ernähren. Ein Zusatz von Reiskleie zur Nahrung heilt die Krankheit.
Außer dem Vitamin B_1 kennt man heute noch andere zur Gruppe der B-Vitamine gehörende Stoffe, die man als *Vitamin* B_2, B_3 usw. bezeichnet. Stoffe der Vitamin-B-Gruppe spielen als Bestandteile einer Reihe von Fermenten und als ärztliche Heilmittel bei verschiedenen Krankheiten eine große Rolle.

Vitamin D. Fehlt Vitamin D, so entsteht die *Rachitis*. Man nannte sie auch „englische Krankheit", weil sie infolge der schlechten Wohnverhältnisse der englischen Industriearbeiter in England außerordentlich stark verbreitet war. Bei der Rachitis kommt es zu einer mangelhaften Ablagerung von Kalksalzen in den Knochen (s. S. 26). Verkrümmungen der Beine, der Wirbelsäule sowie Veränderungen anderer Knochen sind die Folge (Abb. 35, S. 26). Das Ergosterin, ein in der Haut abgelagerter Stoff, wird durch Einwirkung von ultravioletten Strahlen (Sonnenlicht, Höhensonne) zum Vitamin D umgebildet. Durch Sonnenbäder oder Höhensonnenbestrahlung läßt sich daher die Rachitis weitgehend verhüten und heilen. Noch wirksamer ist die Zufuhr von reinem Vitamin D, das heute in großem Maßstabe industriell hergestellt wird. Da beim Kleinkind der Bedarf an Vitamin D besonders groß ist, gibt man den Kindern heute allgemein vorbeugend

Vitamin-D-Präparate (Dekristol). Auch der Lebertran ist besonders reich an Vitamin D. In Eidotter, Milch und Butter ist Vitamin D ebenfalls enthalten.

Vitamin A. Mangel an *Vitamin A* führt zu Hauterkrankungen und erhöht die Anfälligkeit für Infektionskrankheiten. Auch die Nachtblindheit kann auf einem Mangel an Vitamin A beruhen, das beim Aufbau des Sehpurpurs eine wichtige Rolle spielt.
Das Provitamin *Karotin* kommt in Gemüsen und Früchten vor. Es wird in dieser Form mit der Nahrung aufgenommen. Im menschlichen Körper wird das Karotin in der Leber in Vitamin A umgewandelt und dort gespeichert.

Vitamin K. Für die Blutgerinnung (s. S. 89) ist das Vitamin K wichtig. Unter der Mitwirkung dieses Vitamins wird in der Leber das *Prothrombin*, die Vorstufe des Gerinnungsferments Thrombin, gebildet und dann in das Blut abgegeben. Menschen, denen Vitamin K fehlt, neigen zu *Blutungen*. Vitamin K wird von den Darmbakterien im Dickdarm gebildet. Auf dem Blutwege wird es zur Leber gebracht und dort gespeichert.

Es gibt außer den genannten noch eine Anzahl weiterer Vitamine. Der Mensch braucht täglich nur wenige Milligramm der verschiedenen Vitamine. Beispielsweise beträgt der tägliche Bedarf an Vitamin C beim gesunden Menschen 50 mg. Wie die Tabelle zeigt, sind die Vitamine in einer gemischten Nahrung in ausreichender Menge vorhanden. Man muß aber daran denken, daß der Vitaminbedarf unter bestimmten Umständen erhöht ist, wie z. B. im Wachstumsalter, in der Schwangerschaft, bei großen sportlichen Anstrengungen, besonders aber bei Infektionskrankheiten.

Übersicht über einige der wichtigsten Vitamine

Vitamin	verhindert	enthalten in	Löslichkeit, Herstellung
A wenig hitzeempfindlich	Anfälligkeit gegen Infektionen, Epithelschäden, Nachtblindheit	Hering, Leber (insbesondere von Fischen), Lebertran, Eigelb, Butter, Milch; als Vorstufe in Grünkohl, Spinat, Mohrrüben, Petersilie	fettlöslich; Gewinnung aus Fischölen
B_1 hitzeempfindlich	Beriberi, Störungen des Stoffwechsels und der Nerventätigkeit	vielen Pflanzenteilen (z. B. in Hefe und Hülsenfrüchten), Vollkornbrot, Schweinefleisch, Leber	wasserlöslich; wird synthetisch hergestellt
B_2-Gruppe hitzeunempfindlich, lichtempfindlich	verschiedenartige Störungen	Getreidekeimlingen, Vollkornbrot, Hefe, Fischen, Bohnen, Erbsen, Pilzen, Leber, Milch	wasserlöslich; werden z. T. synthetisch hergestellt

(Fortsetzung)

Vitamin	verhindert	enthalten in	Löslichkeit, Herstellung
C hitzeempfindlich, leicht oxydierbar	Skorbut, Geschwüre, Blutungen der Mundschleimhaut, allgemeine Körperschwäche	frischen Fruchtsäften, vor allem in Hagebutten, Zitronen, Tomaten, in Spinat, Kartoffeln, Kohl	wasserlöslich; wird synthetisch hergestellt (z. B. Ascorvit)
D hitze-unempfindlich	Rachitis, Störungen der Knochenbildung, mangelhafte Ablagerung von Kalk	Lebertran, Hering, Eigelb, Butter, Milch; als Vorstufe in der Haut	fettlöslich; wird industriell hergestellt (Dekristol)
K lichtempfindlich, sonst wenig empfindlich	Blutungen	Grünkohl, Blumenkohl, Spinat, Leber, Krauskohl, Erbsen, im Darm durch Kolibakterien gebildet	fettlöslich; wird synthetisch hergestellt

g) Krankheiten des Magen- und Darm-Kanals

Eine **erhöhte Magensaftproduktion** und insbesondere eine Erhöhung des Säuregehaltes des Magensaftes entsteht durch eine Reizung der Magenschleimhaut (beispielsweise bei einer Magenentzündung 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 Magenentzündung (Gastritis) oder durch Durchblutungsstörungen in der Magenwand zustande kommen. Magenentzündungen entstehen beispielsweise durch chronische 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 Magenwandungen mit Blut versorgen. Gefäßkrämpfe in der Magenwand werden häufig durch starken Nikotingenuß hervorgerufen. Die Störungen, die durch Alkohol und Nikotin allein schon am Magen-Darm-Kanal hervorgerufen werden, machen es ratsam, den Genuß von Alkohol und Nikotin einzuschränken oder ganz zu unterlassen.

Gallensteine. Bei einer fehlerhaften Zusammensetzung der Galle, bei Gallenstauungen oder einer Infektion der Gallenwege fallen aus der Galle Niederschläge von Cholesterin, Kalk und Abbauprodukten 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 die Galle in die Leber zurück, zerreißt hier die Wandungen der Blutkapillaren und dringt dadurch in den Blutkreislauf ein. Der Gallegehalt des Blutes führt zu einer gelblichen Verfärbung der Haut, 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 lassen sich in den Gefahrengebieten die bakteriellen Darmkrankheiten durch Abkochen von Nahrung und Getränken eindämmen. Unreinlichkeit, Übertragung durch Fliegen sowie unhygienische Aborte begünstigen die Infektionen. Durch Isolierung der Erkrankten sowie durch Desinfektion ihrer Ausscheidungen kann die Ausbreitung einer Seuche verhindert werden. Außerdem läßt sich durch eine aktive Immunisierung (s. S. 92) gegen alle bakteriellen Darmkrankheiten ein wirksamer Impfschutz erzielen.

Typhus. Der Typhus wird durch das Typhusbakterium hervorgerufen. Es siedelt sich vor allem im Dünndarm an, dringt durch die Darmschleimhaut in die Blutbahn und wird auf dem Blutwege im Körper verbreitet. Durch die Ansiedlung der Bakterien im Darm entstehen meist Durchfälle; späterhin kommt es zur Ausbildung von Geschwüren im Darm. Die Verbreitung der Bakterien im Körper führt zu hohem Fieber, Benommenheit, Hautausschlägen und zu einer Schädigung des Kreislaufzentrums. Diese kann so schwer werden, daß der Tod eintritt. Nach Überstehen der Erkrankung scheiden ungefähr 3% aller Erkrankten noch weiterhin Typhusbakterien im Stuhl und Harn aus. Um die Verbreitung von Typhusbakterien zu verhindern, müssen die Ausscheidungen dieser Menschen sorgfältig desinfiziert werden.

Paratyphus. Eine dem Typhus ähnliche Erkrankung, der Paratyphus, wird durch die Paratyphusbakterien hervorgerufen. Sie sind den Typhusbakterien nahe verwandt. Der Paratyphus verläuft leichter als der eigentliche Typhus.

Ruhr. Im Gegensatz zu den Typhusbakterien siedeln sich die Erreger der Ruhr, die Ruhrbakterien, vorwiegend im Dickdarm des Menschen an und durchwandern

dessen Schleimhaut nicht. Bei der Ruhr erfolgt infolgedessen auch keine Verbreitung der Bakterien auf dem Blutwege. Lediglich die von den Ruhrbakterien ausgeschiedenen Giftstoffe werden von der Darmschleimhaut resorbiert. Die Ruhr beginnt mit häufigem, quälendem Stuhldrang, wobei bald nur noch kleine Mengen blutig-eitrigen Schleims entleert werden. Durch die Resorption von Giftstoffen der Bakterien kommt es zu Fieber und Erbrechen. Es gibt verschiedene Typen von Ruhrbakterien, von denen nur eine Art eine schwere, die anderen lediglich leichtere Erkrankungen hervorrufen. Durch Sulfonamide werden die Ruhrbakterien abgetötet, und die Krankheit wird geheilt.

II. Atmung

Der lebende Organismus nimmt neben der festen Nahrung und dem Wasser auch molekularen *Sauerstoff* auf. Dieser ermöglicht die im Organismus vor sich gehenden biologischen Oxydationen (s. S. 65). Eines der Oxydationsprodukte ist das *Kohlendioxyd*, das als Abbauprodukt ausgeschieden wird. Die Aufnahme des Sauerstoffs und die Abgabe des Kohlendioxyds vollziehen sich in einem einheitlichen Vorgang, den wir Atmung nennen. Die Atmungsorgane sind die oberen Atemwege (Nasenhöhle, Kehlkopf und Luftröhre) und die Lungen (Abb. 67). Man unterscheidet zwischen äußerer Atmung und innerer Atmung. Als *äußere Atmung* bezeichnet man den Luftwechsel in den Lungen, den Gasaustausch in den Lungenbläschen und den Transport der Gase im Blut. Der Gasaustausch im Gewebe und die biologischen Oxydationen in den Zellen werden als *innere Atmung* bezeichnet. Diese innere Atmung findet auch bei Einzellern und primitiven Vielzellern, die keine besonderen Atmungsorgane haben, sowie in den Pflanzenzellen statt.

Ein Teil der wirbellosen Tiere besitzt besondere Atmungsorgane; bei einem anderen Teil (z. B. bei vielen wirbellosen Wassertieren) dringt der im Wasser gelöste Sauerstoff durch die *Haut* in das Körperinnere, während das im Körper gebildete Kohlendioxyd auf demselben Weg nach außen geleitet wird. Bei den im Wasser lebenden niederen Wirbeltieren erfolgt der Gasaustausch im wesentlichen durch die mit zahlreichen Blutgefäßen versehenen *Kiemen*. Mit dem Übergang vom Wasser- zum Landleben entwickelte sich homolog zur Schwimmblase die *Lunge*. Bei den Lungenfischen, die auch Kiemen besitzen, ist die teils paarige Schwimmblase wie eine Lunge gebaut und dient zeitweilig als Atmungsorgan. Bei Kriechtieren, Vögeln und Säugetieren sind die Lungen die einzigen Atmungsorgane (s. Lehrbuch d. Biologie f. d. 10. Schuljahr, S. 105).

Atemwege. Bei geschlossenem Munde atmet der Mensch durch die Nase. Sie ist durch eine teils knorpelige, teils knöcherne Scheidewand in zwei *Nasenhöhlen* geteilt (Abb. 34, S. 25). Durch ihre hintere Öffnung, die Choanen, münden sie in die Rachenhöhle. Von den Seitenwänden der Nasenhöhlen springen drei von Schleimhaut überzogene Knochenplatten, die *Nasenmuscheln*, in die Nasenhöhlen vor. Die Nasenschleimhaut trägt einen feinen Flimmerbelag (Flimmerepithel); sie besitzt

viele Schleimdrüsen und Blutgefäße. Dadurch ist sie immer feucht und warm. In den Nasenhöhlen wird die Luft angefeuchtet und vorgewärmt (Abb. 68). Beim Einatmen bleibt in den engen Nasenwegen der Staub am Schleim hängen und wird im allgemeinen mit ihm vom Flimmerstrom (Abb. 69) in den Rachen befördert. Die

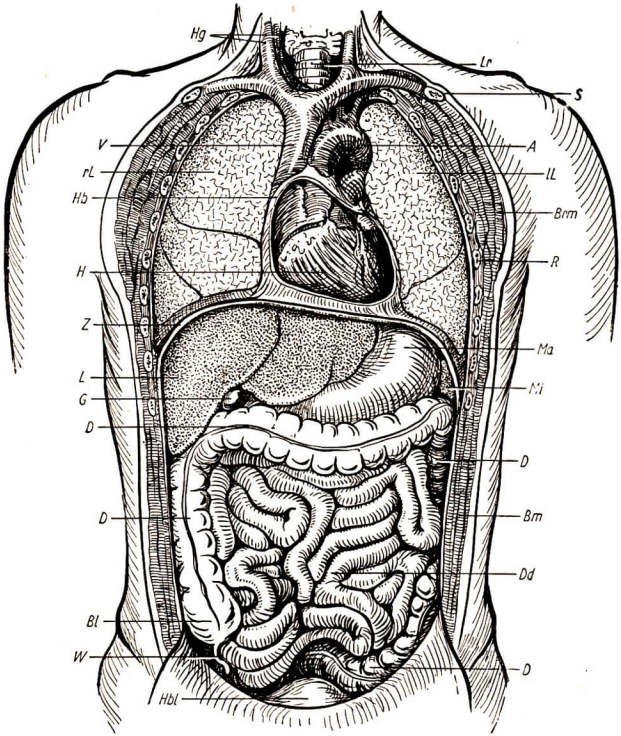


Abb. 67. Lage der Brust- und Baucheingeweide; das Große Netz ist abpräpariert.

A Aorta, *Bl* Blinddarm, *Bm* Bauchmuskulatur, durchschnitten, *Brm* Brustmuskulatur, durchschnitten, *D* Dickdarm, *Dd* Dünndarm, *G* Gallenblase, *H* Herz, *Hb* Herzbeutel, *Hbl* Harnblase, *Hg* Halsgefäße, *L* Leber, *lL* linke Lunge, *rL* rechte Lunge, *Lr* Luftröhre, *Ma* Magen, *Mi* Milz, *R* Rippen, durchschnitten, *S* Schlüsselbein, angeschnitten, *V* obere Hohlvene, *W* Wurmfortsatz, *Z* Zwerchfell

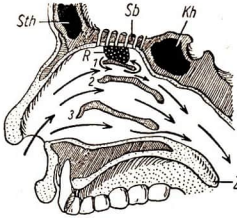


Abb. 68. Nasenhöhle.
Kh Keilbeinhöhle, *R* Riechschleimhaut, *Sb* Siebbein, *Sth* Stirnhöhle, *Z* Zäpfchen, *1, 2, 3* obere, mittlere und untere Nasenmuschel

Luft gelangt aus den Nasenhöhlen in den *Rachenraum*. In seinem oberen Abschnitt liegt die *Rachenmandel*.

Den Eingang zur Luftröhre bildet der von Flimmerepithel ausgekleidete *Kehlkopf* (Abb. 70), das Organ für die Stimmbildung. Er besteht aus mehreren Knorpeln, die durch Gelenke, Bänder und Muskeln beweglich miteinander verbunden sind. Der größte Knorpel ist der *Schildknorpel*, der vorn am Halse zu fühlen und dessen Lage beim Manne auch zu sehen ist. An seinem oberen Rand ist der *Kehldeckel* befestigt (Abb. 70). Den unteren Teil des Kehlkopfes bildet der *Ringknorpel*. Er ist vorn schmal und nach hinten wie ein Siegelring zu einer Platte verbreitert. Auf dem oberen Rand der Platte ruhen die beiden kleinen dreiseitigen *Stellknorpel*.

Von jedem Stellknorpel ziehen ein Muskel und ein elastisches Band, das *Stimmband*, zum Schildknorpel. Diese Muskeln und die Stimmbänder bilden die Grundlage der beiden mit Schleimhaut überkleideten *Stimmlippen*. Die Stimmlippen lassen zwischen sich einen Spalt, die *Stimmritze*, frei. Oberhalb der Stimmlippen liegen die beiden durch Schleimhautfalten gebildeten *Taschenfalten*.

Durch Muskeln, die im wesentlichen an den Stellknorpeln, am Schildknorpel und am Ringknorpel ansetzen, können die Stimmlippen verkürzt und verlängert, gespannt und entspannt werden. Dadurch wird die Stimmritze geschlossen und halb oder ganz geöffnet (Abb. 71). Beim Atmen ist die Stimmritze weit geöffnet, beim Singen und Sprechen ist sie mehr oder weniger fest geschlossen. Wird durch die angespannten Stimmlippen Luft hin-

Abb. 69. Flimmerbewegung

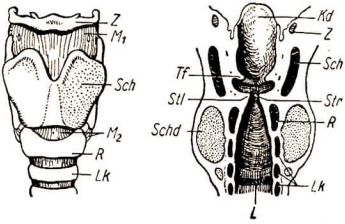


Abb. 70. Kehlkopf, links von vorn, rechts im Durchschnitt.
Kd Kehldeckel, *L* Luftröhre, *Lk* Luftröhrenknorpel, M_1 Membran zwischen Zungenbein und Schildknorpel, M_2 Membran zwischen Schildknorpel und Ringknorpel, *R* Ringknorpel, *Sch* Schildknorpel, *Schd* Schilddrüse, *Stl* Stimmlippe, *Str* Stimmritze, *Tf* Taschenfalte, *Z* Zungenbein

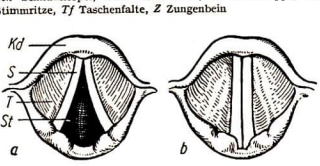


Abb. 71. Kehlkopf im Spiegelbild; *a* Stimmritze geöffnet (Atmungsstellung), *b* Stimmritze geschlossen (Sprachstellung).
Kd Kehldeckel, *S* Stimmlippen, *St* Stimmritze, *T* Taschenfalten

durchgepreßt, so geraten sie selbst und die hindurchstreichende Luft in Schwingungen und erzeugen Töne. Je kürzer die Stimmbänder und je stärker ihre Spannung, um so größer ist die Schwingungszahl und um so höher der Ton. Die Stimmbänder sind bei der Frau etwa 15 mm und beim Manne etwa 25 mm lang. Deshalb haben Männer tiefere Stimmen als Frauen und Kinder. Der *Stimmwechsel* tritt etwa im 12. bis 14. Jahre ein. Er ist bei Knaben besonders auffallend, weil ihr Kehlkopf in dieser Zeit stark wächst. Rachen-, Mund- und Nasenraum wirken gemeinsam als *Resonanzraum*, der die Stimme verstärkt. In den Resonanzräumen entstehen Oberschwingungen (Obertöne), die der Stimme die ihr eigene Klangfarbe geben und die Vokale und stimmhaften Konsonanten erzeugen.

Die *Luftröhre* ist etwa 12 cm lang. Ihre Wand besteht aus etwa sechzehn bis zwanzig hufeisenförmigen Knorpelspangen, deren Bögen nach vorn gerichtet sind. Die Hinterwand wird durch eine bindegewebig-muskulöse Membran gebildet. Die Luftröhre ist mit Schleimhaut ausgekleidet. Die Knorpel verhindern, daß die Luftröhre zusammengedrückt wird. In ihrer Schleimhaut sitzen Flimmerzellen, deren feine Härchen durch Flimmerbewegung eingedrungene Staubteilchen nach oben befördern.

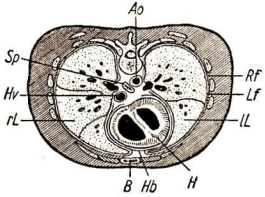


Abb. 72. Querschnitt durch den Brustkorb.
Ao Aorta, *B* Brustbein, *H* Herz, *Hb* Herzbeutel, *Hv* untere Hohlvene, *lL* linke Lunge, *rL* rechte Lunge, *Lf* Lungenfell, *Rf* Rippenfell, *Sp* Speiseröhre

Lungen. Den größten Teil des Brustraumes nehmen die Lungen ein. Sie liegen rechts und links vom Herzen (Abb. 72, 67). Beide Lungen ruhen breit auf dem Zwerchfell und reichen mit den Spitzen bis zu den Schlüsselbeinen. Die linke Lunge besteht aus zwei, die rechte aus drei Lungenlappen. Eine spiegelglatte, stets feuchte Haut, das *Brustfell*, überzieht mit ihrem inneren Blatt die Lungen *(Lungenfell)* und mit ihrem äußeren Blatt die Innenwand des Brustkorbes *(Rippenfell)*, das Zwerchfell und den Herzbeutel (Abb. 73). Der Raum zwischen dem inneren und dem äußeren Blatt des Brustfells *(Brustfellhöhle)* ist durch eine geringe Menge seröser Flüssigkeit immer feucht. Das Brustfell und die seröse Flüssigkeit ermöglichen, daß die Lungen bei der Atmung reibungslos an der Innenwand des Brustkorbes entlanggleiten.

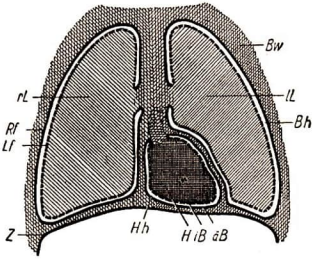


Abb. 73. Brustfell und Herzbeutel;
äB äußeres Blatt des Herzbeutels, *iB* inneres Blatt des Herzbeutels, *Bh* Brustfellhöhle, *Bw* Brustwand, *H* Herz, *Hh* Herzbeutelhöhle, *lL* linke Lunge, *rL* rechte Lunge, *Lf* Lungenfell, *Rf* Rippenfell, *Z* Zwerchfell

Die Luftröhre gabelt sich in Höhe des vierten Brustwirbels in zwei Äste, die *Hauptbronchien*, die in die rechte und die linke Lunge ziehen. Dort verästeln sie sich in immer kleinere *Bronchien*, die sich ihrerseits wieder vielfach verzweigen (Abb. 74). Die Bronchien sind bis zu einem Durchmesser von etwa 1 mm durch Knorpelringe versteift und mit Schleimzellen und Flimmerzellen versehen. Ihre Endabschnitte besitzen nur eine dünne Wand aus elastischem Gewebe und feinsten Muskelfasern. Sie enden in rund 400 Millionen mikroskopisch kleinen Träubchen, deren halbkugelige Ausbuchtungen wir *Lungenbläschen* nennen (Abb. 75).

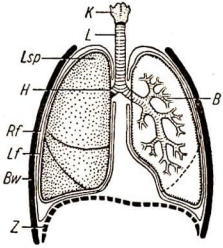


Abb. 74. Lunge.

B Bronchien, *Bw* Brustwand, *H* Hilus, *K* Kehlkopf, *L* Luftröhre, *Lf* Lungenfell, *Lsp* Lungenspitze, *Rf* Rippenfell, *Z* Zwerchfell

Atembewegungen. Der Luftwechsel in den Lungen erfolgt durch die Atembewegungen (s. S. 36). Dabei wird der Brustraum in regelmäßiger Folge erweitert (Einatmungsphase) und verengt (Ausatmungspause). Bei der Erweiterung des Brustkorbes entsteht in der Brustfellhöhle ein Unterdruck gegenüber dem mit der Außenluft in Verbindung stehenden Innenraum der Lungenbläschen. Mißt man diesen Druckunterschied mit einem Manometer (Abb. 76a, b), so findet man je nach der Atemphase Werte von 3 bis 30 mm Hg unter Atmosphärendruck. Der Atmosphärendruck der in der Lunge befindlichen Luft verhindert, daß bei der Erweiterung des Brustkorbes während der Einatmung ein Vakuum in der Brustfellhöhle entsteht: atmosphärische Luft strömt durch die oberen Luftwege in die Lungen nach und erweitert sie. Wird durch einen ärztlichen Eingriff ein *Pneumothorax* angelegt, das heißt in den Brustfellraum Luft eingelassen, so zieht sich die betreffende Lunge infolge ihrer Elastizität zusammen, da der Druck im Brustfellraum dann gleich dem Druck der in den Lungenbläschen befindlichen atmosphärischen Luft ist (Abb. 77). So läßt sich eine Lunge stillegen und damit die Ausheilung von tuberkulösen Prozessen fördern.

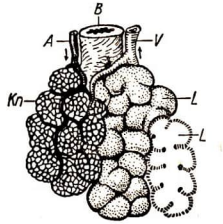


Abb. 75. Lungenbläschen.

A Arterie, *B* Bronchus, *Kn* Kapillarnetz, *L* Lungenbläschen, *V* Vene

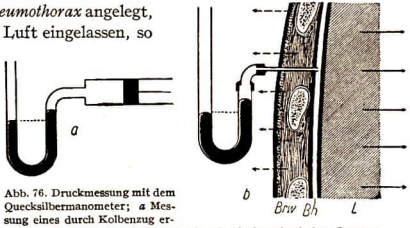


Abb. 76. Druckmessung mit dem Quecksilbermanometer; *a* Messung eines durch Kolbenzug erzeugten Unterdruckes, *b* Messung des durch den elastischen Lungenzug erzeugten Unterdruckes im Brustfellraum.

Bh Brustfellhöhle, *Brw* Brustwand, *L* Lunge

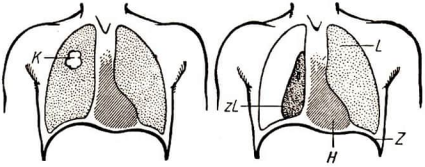


Abb. 77. Wirkung des Pneumothorax auf die Lunge.
H Herz, *K* Kaverne, *L* gesunde Lunge, *zL* zusammengesunkene Lunge nach Anlegen eines rechtsseitigen Pneumothorax, *Z* Zwerchfell

Die Atembewegungen werden von Ganglienzellen im verlängerten Mark, dem *Atemzentrum*, gesteuert. Von diesem Zentrum gehen über das Rückenmark und die Atmungsnerven Erregungen zu den Atemmuskeln. Die Erregung des Atemzentrums und damit die Häufigkeit und Tiefe der Atembewegungen wird durch den *Kohlensäuregehalt des Blutes* gesteuert. Sammelt sich beispielsweise bei anstrengender Arbeit Kohlensäure im Blut an, so wird das Atemzentrum stärker erregt, und die Atembewegungen werden häufiger und tiefer. Bei niedrigem Kohlensäuregehalt des Blutes verringert sich die Erregung des Atemzentrums; die Atembewegungen werden seltener und schwächer. Im Schlafe atmen wir etwa zwölfmal in der Minute, im Sitzen etwas häufiger, im Gehen etwa zwanzigmal und bei stärkerer Anstrengung vierzig- bis achtzigmal je Minute. Neben dem Kohlensäuregehalt des Blutes wirken auch *sensible Erregungen*, die von den Lungen zum Atemzentrum gelangen, als Reize auf dieses ein. Sie bedingen die rhythmische Abwechslung von Ein- und Ausatmung. Außerdem kann das Atemzentrum auch durch sensible Erregungen beeinflußt werden, die beispielsweise von der Haut zu ihm gelangen. Durch einen derartigen von der Haut ausgehenden Reflex erhöht sich zum Beispiel die Zahl und Tiefe der Atemzüge bei plötzlichem Eintauchen des Körpers in kaltes Wasser.

Bei ruhiger Atmung wird mit jedem Atemzug nur ein verhältnismäßig kleiner Teil (etwa 500 cm³) der sich in den Lungen befindenden Luft ausgetauscht. Diesen Teil der Luft bezeichnet man als *Atemluft*. Bei sehr tiefer Einatmung können weitere 1500 cm³ Luft *(Ergänzungsluft)* zusätzlich eingeatmet werden. Nach ruhiger Ausatmung können weitere 1500 cm³ Luft *(Vorratsluft)* aus den Lungen ausgepreßt werden. Bei stärkster Ein- und Ausatmung werden demnach fast 4000 cm³ Luft gewechselt. Die Größe dieser Luftmenge, die sogenannte Vitalkapazität, schwankt bei den einzelnen Menschen nach Körperbau und Übung. So haben zum Beispiel trainierte Sportler, besonders Ruderer, Vitalkapazitäten von 5000 bis 6000 cm³. Stets aber bleibt auch bei stärkster Ausatmung in der Lunge ein Rest von etwa 1200 cm³ Luft *(Restluft)* zurück.

Gasaustausch. Von der eingeatmeten Luft sind etwa 78 % des Volumens Stickstoff, 21 % Sauerstoff und 0,03 % Kohlendioxyd. Die ausgeatmete Luft besteht zu etwa 16 % aus Sauerstoff und zu 4 % aus Kohlensäure, der Rest ist im wesentlichen Stickstoff. In der Lunge werden der Atemluft also durchschnittlich 5 % Sauerstoff entzogen. Da sich ein Teil des Sauerstoffes im Körper mit Wasserstoff verbindet,

entspricht das Volumen des ausgeatmeten Kohlendioxyds nicht dem des eingeatmeten Sauerstoffs.

Der Sauerstoff tritt aus den Lungenbläschen durch deren dünne Wandung hindurch in die Blutkapillaren über, während das Kohlendioxyd aus dem Blut in die Lungenbläschen abgegeben wird. Dieser Gasaustausch beruht auf der *Diffusion der Gase*. Jedes Gas übt einen Druck aus. Der Gesamtdruck eines Gasgemisches setzt sich aus den Teildrücken der verschiedenen in ihm enthaltenen Gase zusammen. Die Diffusion ist eine Folge des Druckausgleiches bei verschiedenen Teildrücken innerhalb der sich austauschenden Gasmengen. Eine Diffusion von Gasen kann auch in Flüssigkeiten hinein erfolgen oder, wenn Gas in einer Flüssigkeit gelöst ist, aus der Flüssigkeit heraus in das umgebende Gas (Beispiel: gefüllte Seltersflasche bei Öffnung ihres Verschlusses).

Das den Lungen zuströmende Blut hat einen höheren Kohlensäuredruck und einen niedrigeren Sauerstoffdruck als die Lungenluft. Deshalb diffundiert der Sauerstoff aus den Lungenbläschen in das Blut, während die Kohlensäure aus dem Blut in die Lungenbläschen abgegeben wird. Ebenso wie die anderen Gase diffundiert auch der Stickstoff gemäß den Diffusionsgesetzen in das Blut. Da er im Organismus nicht verbraucht wird, bleibt der Stickstoffgehalt des Blutes jedoch nahezu gleich.

Der größere Teil des in das Lungenblut diffundierten Sauerstoffes geht sofort eine reversible chemische Bindung mit dem *Hämoglobin* der roten Blutkörperchen ein. Dadurch entsteht aus dem Hämoglobin das *Oxyhämoglobin*. Nur ein kleiner Teil des Sauerstoffes bleibt in der Blutflüssigkeit physikalisch gelöst. Daher kommt es, daß das Blut weitaus mehr Sauerstoff enthält, als wenn sich der Sauerstoff nur gasförmig in der Blutflüssigkeit löste. Der im Oxyhämoglobin gebundene Sauerstoff wird vom Blut in alle Teile des Körpers transportiert.

In den Zellen der *Gewebe* wird bei den Oxydationsvorgängen Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxyd gebildet. Der Sauerstoffdruck in den Geweben ist daher kleiner als der im sauerstoffgesättigten Blute, umgekehrt ist der Kohlendioxyddruck in den Geweben größer. Deshalb gibt nach den Diffusionsgesetzen das sauerstoffgesättigte Blut Sauerstoff an die Gewebe ab. Dabei wird das Oxyhämoglobin wieder zu Hämoglobin reduziert. Das Kohlendioxyd diffundiert in umgekehrter Richtung aus den Geweben in das Blut. Hier wird es zum Teil in den roten Blutkörperchen, zum anderen Teil im Blutplasma gebunden. Das nunmehr sauerstoffarme, kohlendioxydreiche Blut gelangt mit dem Blutkreislauf wieder in die Lungen.

Erstickung. Als Erstickung bezeichnet man das Aufhören der Lebensvorgänge infolge Sauerstoffmangels der Gewebe. Der Sauerstoffmangel kann verschiedene Ursachen haben: Mangel an Sauerstoff in der Atemluft, Verengung beziehungsweise Verschluß der Atemwege, Störung der Fähigkeit des Blutes, Sauerstoff zu transportieren, Vergiftung des sauerstoffübertragenden Atmungsferments der Zellen u. a.

Eine häufiger vorkommende Art der Erstickung ist die *Kohlenmonoxydvergiftung*. Das Kohlenmonoxyd (CO) entsteht durch unvollkommene Verbrennung orga-

nischer Stoffe. Es kommt im Leuchtgas und in Abgasen von Öfen und Verbrennungsmotoren vor. Kohlenmonoxyd verbindet sich etwa 300mal stärker mit dem Hämoglobin als der Sauerstoff. Die entstehende Verbindung, das Kohlenmonoxydhämoglobin, kann keinen Sauerstoff mehr aufnehmen. Dadurch leidet die Transportfunktion des Blutes für Sauerstoff; der Mensch erstickt.
Im Haushalt kann es zu einer Kohlenmonoxydvergiftung kommen, wenn am Ofen der Rauchabzug zu früh geschlossen wird oder durch Ruß verstopft ist oder wenn Leuchtgas unverbrannt ausströmt. Kohlenmonoxyd ist geruchlos und daher besonders gefährlich. (Der Geruch des Leuchtgases ist durch Schwefelverbindungen bedingt.) Die ersten Anzeichen einer Kohlenmonoxydvergiftung bestehen in Kopfschmerzen, Schwindelgefühl, Atemnot und Übelkeit. In schweren Fällen führt sie unter Bewußtlosigkeit und mitunter Krämpfen zum Tode. Als *erste Hilfe* sorgt man für Zufuhr frischer Luft und beginnt mit der Wiederbelebung durch künstliche Atmung. Dabei muß man jede Abkühlung des Verunglückten vermeiden.

Künstliche Atmung. Die künstliche Atmung wird angewandt, wenn die Atmung aufgehört hat, der Herzschlag aber noch nicht erloschen ist, also bei Erstickungen, Unfällen beim Baden, durch Starkstrom usw. Das Prinzip der künstlichen Atmung besteht darin, den Brustkorb durch äußere Kraftanwendung abwechselnd zu erweitern und zusammenzudrücken. Man kniet hinter dem Kopf des Verunglückten nieder und führt dessen gestreckte Arme seitlich am Kopf vorbei so weit wie möglich nach oben (Abb. 78). Dabei heben sich die Rippen, der Brustkorb dehnt sich aus, und es erfolgt eine Einatmung. Danach werden die Arme des Verunglückten in den Ellbogen im spitzen Winkel gebeugt und an den Brustkorb gepreßt (Abb. 78). Dadurch senken sich die Rippen, der Brustkorbraum verkleinert sich, und es erfolgt eine Ausatmung. Der Rhythmus der künstlichen Atmung soll dem *natürlichen Atemrhythmus* entsprechen, nämlich 16 Atembewegungen in der Minute. Die künstliche Atmung ist ohne Unterbrechung durchzuführen, bis der Arzt zur Stelle ist. In einigen Fällen ist es gelungen, auf diese Weise Menschen noch Stunden nach Aufhören der natürlichen Atmung wieder zum Atmen zu bringen.

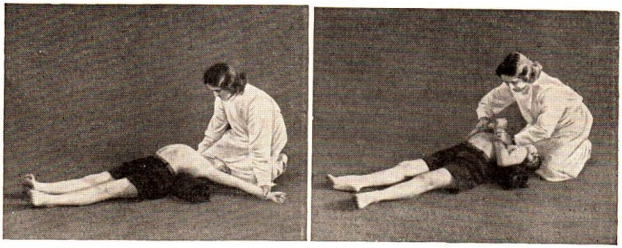


Abb. 78. Künstliche Atmung; links Einatmungsstellung, rechts Ausatmungsstellung.

Erkrankungen der Atmungsorgane. Die häufigste Erkältungskrankheit ist der *Schnupfen* oder Nasenkatarrh. Er wird durch ein Virus hervorgerufen. Der Schnupfen tritt besonders in einem durch Erkältung geschwächten Organismus auf. Dann schwillt die Nasenschleimhaut stark an und sondert in verstärktem Maße Sekret ab. Dadurch sind Nasenatmung und Geruchsvermögen behindert. Häufig bestehen Kopfschmerz und Mattigkeit, bisweilen auch leichte Temperaturerhöhungen.

Auch die verschiedenen Formen der Entzündungen des Schlundringes und der Rachenmandeln *(Angina)* sind häufig die Folge von Erkältungen. Sie werden jeweils von besonderen Erregern hervorgerufen. Bei der gewöhnlichen Angina sind die Mandeln vergrößert und gerötet, bisweilen auch vereitert. Es treten Schluckschmerzen und Fieber auf. Diese Anginen werden meist durch Viren oder kettenförmig aneinanderliegende rundliche Bakterien (Streptokokken) hervorgerufen. Die einfachen *Streptokokken- und Virusanginen* heilen bei Bettruhe, Schwitzen und feuchtwarmen Halswickeln oft innerhalb weniger Tage.

Eine andere Erkrankung der oberen Luftwege ist die *Diphtherie*. Sie wird durch das Diphtheriebakterium hervorgerufen. Das Diphtheriebakterium wird durch Tröpfcheninfektion übertragen und siedelt sich auf der Schleimhaut von Rachen und Schlundring an. Die giftigen Stoffwechselprodukte dieser Bakterien werden vom Körper resorbiert und mit dem Blutstrom im Körper verbreitet. Sie können den Herzmuskel, die Nieren und das Nervensystem schädigen. Die Diphtherie beginnt mit Mattigkeit, Fieber und Schluckschmerzen. Auf den geröteten und schmerzhaft geschwollenen Gaumenmandeln bildet sich ein weißlicher, festhaftender Belag, der aus Fibrin (s. S. 89), weißen Blutkörperchen und Bakterien besteht. Durch rechtzeitige Injektion von *Diphtherieserum* (s. S. 92), das heißt durch eine passive Immunisierung, fällt das Fieber oft in ein bis zwei Tagen, der Belag stößt sich ab, und die Mandelschwellung bildet sich zurück. Da der Krankheitsverlauf nur durch frühzeitige Anwendung von Diphtherieserum günstig beeinflußt werden kann, ist beim geringsten Verdacht auf eine Diphtherie sofort ärztliche Hilfe in Anspruch zu nehmen. Durch die Diphtherieschutzimpfung lassen sich die Ausbreitung der Diphtherie einschränken und ihr Verlauf mildern. Wegen der großen Ansteckungsgefahr müssen Diphtheriekranke streng isoliert werden.

Entzündungen von Luftröhre, Bronchien und Lunge werden vorwiegend durch bestimmte Bakterienarten oder Viren hervorgerufen. Oft sind bestimmte Formen kugeliger Bakterien, die *Pneumokokken*, die Erreger von *Lungenentzündungen*. Sie bewirken den Austritt seröser Flüssigkeit aus den Kapillaren in die Lungenbläschen. Die giftigen Stoffwechselprodukte der Erreger schädigen Herz und Kreislauf. Durch die Sulfonamide (s. Lehrbuch der Biologie f. d. 7. Schuljahr, S. 118) ist es möglich geworden, Lungenentzündungen wirksam zu bekämpfen. Werden diese Heilmittel bei Beginn der Erkrankung verabreicht, so geht die Lungenentzündung meist nach einigen Tagen zurück. Je später die Sulfonamide zur Anwendung kommen, desto geringer ist ihr Einfluß auf den Verlauf der Erkrankung. In allen Fällen von Lungenentzündung ist es notwendig, einen Arzt hinzuzuziehen und strenge Bettruhe einzuhalten.

An entzündliche Erkrankungen der Lunge schließt sich bisweilen eine *Brustfellentzündung* an; Brustfellentzündungen können aber auch durch Erkältung und andere Ursachen verursacht werden.

Lungentuberkulose. Nahezu jeder Mensch macht im Laufe seines Lebens eine Infektion mit Tuberkelbakterien durch, meist im Kindesalter. Die Tuberkelbakterien sind kleine, schlanke Stäbchen, die im Jahre 1882 von *Robert Koch* zum erstenmal durch das Mikroskop gesehen wurden. Bei den meisten Menschen bilden sich durch die erste Infektion mit Tuberkelbakterien so starke Abwehrkräfte im Körper aus, daß diese Infektion abheilt und der Körper gegen weitere Infektionen widerstandsfähiger wird.
Meist erfolgt die Infektion durch Einatmung der Tuberkelbakterien. Sie siedeln sich dann zunächst in der Lunge und in deren *Lymphknoten* an. Seltener werden sie mit der Nahrung aufgenommen und dringen zunächst in die Lymphknoten des Darmes ein. Von der Lunge oder von den Lymphknoten des Darmes aus können sie, unter Umständen noch nach vielen Jahren, auf dem Lymph- oder Blutwege auch andere Organe des Körpers befallen (Knochen, Gelenke, Augen, Haut usw.).
Die häufigste Tuberkuloseform ist daher die *Lungentuberkulose*. Im Lungengewebe bilden sich zunächst kleine Knötchen (Tuberkeln). Diese tuberkulösen Herde in der Lunge können durch Bindegewebe abgekapselt werden und heilen, ohne daß der Erkrankte etwas davon merkt. Bei ungenügenden Abwehrkräften des Körpers dagegen schmelzen die Tuberkelknötchen ein, das abgestorbene Gewebe wird resorbiert, und es entsteht ein Hohlraum, eine *Kaverne*.
Bricht ein tuberkulöser Herd in einen Bronchus ein, so werden Bakterien und abgestorbenes Gewebe ausgehustet. Es ist eine *offene Tuberkulose* entstanden. Kranke mit offener Lungentuberkulose gefährden durch ihren bakterienhaltigen Auswurf ihre Umgebung. Sind die Krankheitsherde abgekapselt, so handelt es sich um eine *geschlossene Tuberkulose*.
Die Widerstandsfähigkeit gegen Tuberkelbakterien kann durch *Kräftigung des Körpers* erhöht werden. Ausreichende Ernährung und ausreichender Schlaf, Bewegung in Sonne und frischer Luft sowie gesunde Wohnverhältnisse, vor allem aber der Sport lassen den Körper die Infektionen, denen jeder Mensch ausgesetzt ist, überwinden. In Kriegszeiten fehlen diese Bedingungen. Deshalb steigt in diesen Zeiten die Zahl der Erkrankungen an Tuberkulose sprunghaft an.
In unserer Deutschen Demokratischen Republik, in der von Jahr zu Jahr bessere und gesündere Lebensbedingungen für alle Menschen geschaffen werden, geht die Zahl der Erkrankungen an Tuberkulose ständig zurück. Durch frühzeitige *Impfung* mit Tuberkelbakterien, die durch besondere Züchtungsverfahren ihre Bösartigkeit verloren haben, wird der Körper zur Gegengiftbildung angeregt. Die zur Impfung verwandte Abart des Tuberkelbakteriums wird nach den beiden Bakteriologen, die ihn gezüchtet haben, **B**acterium **C**almette-**G**uérin genannt (BCG-Schutzimpfung). In der Deutschen Demokratischen Republik führt man bei noch nicht mit Tuberkelbakterien infizierten Kindern eine solche Impfung durch.

Die Heilungsaussichten einer Tuberkulose sind um so günstiger, je eher die Erkrankung erkannt wird. Bei der Erkennung von Tuberkuloseherden leistet die Durchleuchtung des Körpers mit Röntgenstrahlen wertvolle Dienste. Deshalb werden in der Deutschen Demokratischen Republik in großem Umfange *Reihenuntersuchungen* (Röntgendurchleuchtung bzw. Tuberkulinproben) durchgeführt.
Ist ein Mensch an Tuberkulose erkrankt, so gibt es heute viele Möglichkeiten, ihm zu helfen. Ein längerer *Sanatoriumsaufenthalt* in günstigem Klima, mit Liegekuren und zweckmäßiger Verpflegung schafft die Voraussetzung für einen guten Heilungsverlauf. Durch bestimmte *Medikamente* können die verschiedenen Formen der Tuberkulose geheilt oder zumindest günstig beeinflußt werden. Durch einen *Pneumothorax* (s. S. 79) oder durch *operative Eingriffe* kann man eine Lunge ruhigstellen und dadurch die Heilung einleiten. Das Gesundheitsministerium der Deutschen Demokratischen Republik verwendet besondere Sorgfalt darauf, Gesunde vor Ansteckung zu schützen. Deshalb werden Menschen, die viel mit Kindern zu tun haben (Lehrer, Pionierleiter, Kindergärtnerinnen), in bestimmten Zeitabständen einer Untersuchung unterzogen. Ebenso werden Arbeiter in der Lebensmittelindustrie und im Lebensmittelhandel regelmäßig untersucht.

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 Kohlendioxyd, 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, findet man beispielsweise bei Tuberkulose, Grippe, Diphtherie, Keuchhusten, Masern und Scharlach.
Frische Luft übt eine belebende Wirkung auf den Organismus aus. 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. Um den Staub in Schulen, Verwaltungsgebäuden u. a. zu binden, wird Holzfußboden oft geölt. 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. Das regelmäßige Sprengen

und Säubern gepflasterter Straßen verhindert, daß Staub angesammelt und aufgewirbelt wird. Durch die Anlage von Grünflächen und die Bepflanzung der Straßen mit Bäumen wird der Sauerstoffgehalt der Luft erhöht.

III. Blut- und Lymphkreislauf

Wie bei allen Wirbeltieren erfolgt auch beim Menschen der Transport der im Darm aufgenommenen Nährstoffe und des in den Atmungsorganen aufgenommenen Sauerstoffes durch *Blut* und *Lymphe*. Außerdem werden die Abbauprodukte des Stoffwechsels durch Blut und Lymphe zu den Ausscheidungsorganen transportiert. Blut und Lymphe strömen, angetrieben durch das Herz, in den Blut- und Lymphgefäßen.

a) Blut

Abb. 79. Blutkörperchen (300fach vergr.).
Bp Blutplättchen, E_1 Erythrozyt von der Fläche, E_2 zusammengeballte Erythrozyten von der Kante gesehen, *G* Granulozyten, *L* Lymphozyt

Die normale *Blutmenge* beträgt beim Erwachsenen ungefähr $\frac{1}{12}$ seines Körpergewichts, das sind bei einem Gewicht von 75 kg etwa 6 Liter. Bei starker Vergrößerung unter dem Mikroskop erkennt man, daß die Farbe des Blutes durch viele kleine *Blutkörperchen* entsteht, die in einer fast farblosen Flüssigkeit schwimmen. Das Blut besteht zu etwa 45% aus geformten Bestandteilen und zu 55% aus Flüssigkeit. Die geformten Bestandteile sind die roten und die weißen Blutkörperchen und die Blutplättchen (Abb. 79); die *Blutflüssigkeit* (Blutplasma) besteht aus Wasser und einer großen Zahl darin gelöster Stoffe.

Erythrozyten. Die *roten Blutkörperchen* (Erythrozyten) sind kleine rundliche, bikonkave Scheibchen mit eingedellter heller Mitte. Ein rotes Blutkörperchen hat einen Durchmesser von etwa 0,008 mm und am Rand eine Dicke von etwa 0,002 mm. Die Zahl der Erythrozyten in einem Kubikmillimeter Blut beträgt 4,5 bis 5 Millionen. Im Blut des Menschen sind also insgesamt 25 bis 30 Billionen roter Blutkörperchen enthalten.

Die Erythrozyten der Amphibien besitzen einen großen Kern. Die Kerne der Erythrozyten von Kriechtieren und Vögeln sind verhältnismäßig klein. Bei den Säugetieren und den Menschen besitzen nur die Vorstufen der Erythrozyten *(Erythroblasten)* einen Kern. Die Erythroblasten entwickeln sich aus Zellen bindegewebiger Herkunft im roten Knochenmark (s. S. 12). Im Laufe ihrer Reifung zu Erythrozyten verlieren sie ihren Kern und werden dann in das strömende Blut abgegeben. Die vergleichend-anatomischen und ontogenetischen Tatsachen beweisen, daß die Erythrozyten ihre Kerne im Laufe der phylogenetischen Entwicklung der Wirbeltiere verloren haben. Dies ist ein Anpassungsvorgang an das erhöhte Sauerstoffbedürfnis der Säugetiere. Der sonst vom Kern eingenommene Raum wird bei den kernlosen Zellen ebenfalls mit dem sauerstoff-

bindenden Hämoglobin ausgefüllt. Die Erythrozyten haben eine Lebensdauer von einigen Wochen. Das bedeutet, daß in jeder Sekunde mehrere Millionen Erythrozyten vom roten Knochenmark in die Blutbahn abgegeben und ebenso viele zerstört werden.

Die Farbe der Erythrozyten ist bedingt durch einen eisenhaltigen Farbstoff, das *Hämoglobin*. Es ist eine Eiweißverbindung von kompliziertem Aufbau. Hämoglobin hat die Eigenschaft, rasch große Mengen Sauerstoff binden und wieder abgeben zu können (s. S. 81). Hämoglobin hat eine dunkelrote Farbe; Oxyhämoglobin ist hellrot. Das Blut eines Erwachsenen enthält etwa 600 bis 800 g Hämoglobin. Es kann ungefähr einen Liter Sauerstoff binden. Im gesamten Blutplasma dagegen sind kaum 30 cm^3 Sauerstoff gelöst.

Für die schnelle Aufnahme und Abgabe des Sauerstoffs ist die große *Gesamtoberfläche* aller Erythrozyten von Bedeutung. Bei den Säugetieren sind die Erythrozyten wesentlich kleiner als bei Fischen, Amphibien, Reptilien und Vögeln. Dadurch besitzen sie im Verhältnis zu ihrem Rauminhalt eine relativ größere Oberfläche als die roten Blutkörperchen anderer Tiere. Außerdem liegt in den kleinen Erythrozyten jedes Hämoglobinmolekül der Oberfläche näher und kann dadurch leichter Sauerstoff aufnehmen und abgeben. Auch die Scheibenform der menschlichen Erythrozyten (bikonkave Scheibe) vergrößert die Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Rauminhalt. Auf diese Weise gewähren Größe und Form der menschlichen Erythrozyten die vollkommenste und schnellste Bindung des Sauerstoffs. In 1 mm^3 Blut beträgt die Oberfläche der Erythrozyten etwa 5 cm^2, im gesamten Blut 3000 m^2. Der Abbau der Erythrozyten erfolgt in Milz und Leber. Die dabei frei werdenden Abbauprodukte des Hämoglobins werden in der Leber in Gallenfarbstoffe umgewandelt (s. S. 58) und mit der Galle in den Darm ausgeschieden.

Leukozyten. *Die weißen Blutkörperchen* (Leukozyten) treten im Blute nur in einer Zahl von etwa 5000 bis 8000 in 1 mm^3 auf. Sie sind farblos, meist rundlich und enthalten einen Kern. Ihre Lebensdauer beträgt oft nur Tage oder Stunden. Wir können verschiedene Arten weißer Blutkörperchen unterscheiden. Drei Viertel aller weißen Blutkörperchen, die *Granulozyten* (Abb. 79), erscheinen unter dem Mikroskop doppelt so groß wie die roten Blutkörperchen und haben einen unregelmäßig gelappten Kern. Auch sie entstehen im roten Knochenmark. Die kleineren weißen Blutkörperchen *(Lymphozyten,* Abb. 79*)* haben einen runden Kern. Sie werden in den Lymphknoten und in der Milz gebildet und finden sich daher in großer Zahl auch in der Lymphe.

Alle weißen Blutkörperchen können nach Art der Amöben ihre Gestalt ändern und wie diese langsam wandern. Die Granulozyten können mit Scheinfüßchen feste Stoffe in ihr Plasma aufnehmen und „verdauen". Der große russische Biologe *Ilja Iljitsch Metschnikow* hat deshalb derartige Zellen *Phagozyten*, das heißt Freßzellen, genannt. Die weißen Blutkörperchen werden durch eitererregende Bakterien (Kokken) und deren Stoffwechselprodukte chemotaktisch angezogen. Wenn Kokken in den Körper eingedrungen sind, setzen sich die Phagozyten von allen Seiten in Richtung auf den Infektionsherd in Bewegung. Sie wandern am Infektionsherd

aus den gelockerten Gefäßwänden aus, nehmen zum Teil die Bakterien und ihre Stoffwechselprodukte, zum Teil Zellreste auf und riegeln den Herd der Entzündung ab. Dabei zerfallen sie und bilden zusammen mit Zellresten und Bakterien den *Eiter*. Bei erhöhtem Bedarf werden rasch große Mengen neuer weißer Blutkörperchen gebildet, so daß sich das Zahlenverhältnis der Blutkörperchen im Blut ändert. Man nennt das Zahlenverhältnis der Blutkörperchen das *Blutbild*. Aus der Veränderung des Blutbildes kann der Arzt Rückschlüsse auf die Art und den Verlauf einer Erkrankung ziehen.

Thrombozyten. Eine dritte Art von geformten Elementen im Blut sind die *Blutplättchen* (Thrombozyten). Da sie außerhalb der Gefäße sofort zerfallen oder verkleben, sind sie schwer zu beobachten. Man schätzt ihre Zahl auf 200000 bis 800000 in 1 mm³ Blut. Sie haben eine wichtige Funktion bei der Blutgerinnung (s. S. 89).

Blutplasma. Das Blutplasma ist eine wäßrige Lösung sehr verschiedenartiger Stoffe. *Wasser, Eiweißkörper, Fette, fettähnliche Stoffe (Lipoide)* und verschiedene *Salze* sind notwendige Bestandteile des Blutplasmas und bilden die Grundlage für seine spezifischen Funktionen. Andere Stoffe werden im Blutplasma lediglich zu den Stätten ihres Verbrauches beziehungsweise ihrer Ausscheidung transportiert. Das Blutplasma besteht zu 90% aus Wasser. Da in ihm viele Stoffe gelöst sind, hat es eine Gefrierpunkterniedrigung von 0,56° C. Durch verschiedenartige Regulationsmechanismen bleiben sowohl die Gefrierpunkterniedrigung, der osmotische Druck wie auch das Verhältnis von H- und OH-Ionen des Blutes annähernd konstant. Bei der Regelung dieser Konstanz spielen die Eiweißkörper eine wesentliche Rolle. Ihr Anteil am Blutplasma beträgt etwa 7 bis 9%. Durch ihre Quellfähigkeit binden sie einen Teil des Plasmawassers und verhindern damit dessen Austritt in die Gewebe. Eine ernährende Funktion haben sie nicht. Die *Eiweißkörper* des Blutplasmas sind artspezifisch. Spritzt man einem Menschen mehrmals Tierserum ein, so reagiert der Körper nach einiger Zeit mit schweren Vergiftungserscheinungen, die sich durch Fieber, Gelenkschwellungen und Hautausschläge bemerkbar machen (Serumkrankheit). Ein Teil der Eiweißkörper ist Träger von Abwehrstoffen des Körpers gegen eingedrungene Bakterien, ein anderer Teil spielt eine wichtige Rolle bei der Blutgerinnung.
Im Blutplasma sind Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumsalze als Chloride oder Phosphate in bestimmten Mengenverhältnissen gelöst. Sie verleihen dem Blut einen osmotischen Druck von etwa 7 Atmosphären. Dieser osmotische Druck entspricht dem einer Lösung von etwa 0,9% NaCl. Da die verschiedenen Ionen spezifische physiologische Wirkungen haben, ist die Konstanz der Ionenverhältnisse im Blut von großer Bedeutung für den normalen Ablauf der Lebensvorgänge.

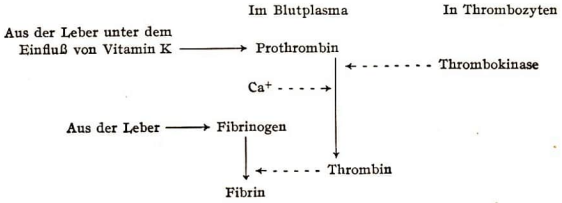
Blutkörperchensenkung. Läßt man ungerinnbar gemachtes Blut längere Zeit in einem Röhrchen stehen, so sinken die roten Blutkörperchen der Schwere nach zu Boden. Über ihnen setzt sich klares Blutplasma ab. Bei allen gesunden Menschen

ist die Senkungsgeschwindigkeit der roten Blutkörperchen annähernd gleich groß. Die Schnelligkeit, mit der die Erythrozyten zu Boden sinken, ist vor allem von den Eiweißkörpern des Blutplasmas abhängig. Durch einige Eiweißstoffe, die bei krankhaften Prozessen im Körper vermehrt auftreten, wird die Senkungsgeschwindigkeit der Erythrozyten erhöht. Daraus kann der Arzt wichtige Schlüsse auf die Art und den Verlauf einer Krankheit ziehen.

Blutgerinnung. Entnimmt man dem Blutgefäßsystem Blut und läßt es in einem Glasgefäß stehen, so gerinnt es nach wenigen Minuten. Es bildet sich ein festes Gerinnsel, der Blutkuchen. Im Verlauf der nächsten Stunden zieht sich der Blutkuchen zusammen und preßt dabei eine gelbliche Flüssigkeit, das Blutserum, aus. Der Blutkuchen besteht dann aus dem feinmaschigen Gerüst eines Eiweißkörpers, dem *Fibrin*, in dessen Maschen die Blutkörperchen liegen. Das Fibrin stammt aus dem Blutplasma; das Blutserum ist Blutplasma, dem das Fibrin entzogen wurde.

Die Ausfällung des Fibrins aus dem Blutplasma erfolgt durch eine Reihe komplizierter Vorgänge. Im Blutplasma ist nicht das Fibrin, sondern seine Vorstufe, das *Fibrinogen*, gelöst. Das Fibrinogen wird durch ein Ferment, das *Thrombin*, in Fibrin übergeführt. Das Thrombin liegt im Blutplasma in einer inaktiven Form als *Prothrombin* (oder Thrombogen) vor. Es ist ein Eiweißkörper, der unter dem Einfluß von Vitamin K in der Leber gebildet wird. Die Aktivierung des Prothrombins erfolgt durch das Ferment *Thrombokinase* in Gegenwart von *Calciumionen*. Die Thrombokinase ist in den Körpergeweben und in den Blutplättchen enthalten und wird bei deren Zerfall frei. Der Zerfall der Blutplättchen erfolgt, sobald sie die Blutbahn verlassen oder rauhe Oberflächen, zum Beispiel verletzte Gefäßinnenwände, berühren.

Der gesamte Vorgang der Blutgerinnung vollzieht sich also in *drei Stufen*. In der *ersten* Stufe zerfallen die Blutplättchen und setzen Thrombokinase frei. Diese überführt bei Anwesenheit von Calciumionen das im Plasma gelöste Prothrombin in Thrombin. In der *zweiten* Stufe der Blutgerinnung wirkt das Thrombin auf das Fibrinogen ein und wandelt es zu Fibrin um. Die *dritte* Stufe der Blutgerinnung besteht darin, daß die Fasern des geronnenen, nunmehr unlöslichen Fibrins sich verkürzen und dabei das Serum aus dem Blutkuchen auspressen. Bei der Gerinnung des Blutes in einer Wunde entspricht dem Blutkuchen der Blutschorf.



Blutgruppen und Blutübertragung. Die schon im 17. Jahrhundert einsetzenden Versuche, schwere Blutverluste durch Übertragung von *Tierblut* zu ersetzen, endeten meist tödlich. Durch Übertragung von Tierblut werden die roten Blutkörperchen des Menschen zusammengeballt (agglutiniert). Dabei tritt meist der Tod ein. Auch die Übertragungen von *Menschenblut*, die man im 19. Jahrhundert versuchte, führten in einzelnen Fällen zu schweren Krankheitserscheinungen durch Zusammenballung der Blutkörperchen. Seit dem Jahre 1901 weiß man, daß es bei den Menschen vier verschiedene *Blutgruppen* gibt. Nur innerhalb bestimmter Gruppen ist die Übertragung gefahrlos.

Die Zusammenballung der roten Blutkörperchen durch Blut einer anderen Blutgruppe beruht auf dem Vorhandensein beziehungsweise dem Nichtvorhandensein zweier Substanzen an der Oberfläche der *roten Blutkörperchen*. Diese Substanzen, die man mit den Buchstaben A und B bezeichnet, bestimmen die Blutgruppe. Die Blutkörperchen der Gruppe AB besitzen beide Substanzen, die Blutkörperchen der Gruppe 0 keine. Im *Serum* der Blutgruppe A befinden sich Stoffe, die die Blutkörperchen der Gruppe B zusammenballen; man bezeichnet sie mit dem griechischen Buchstaben β. Umgekehrt sind im Serum der Blutgruppe B Stoffe vorhanden, die die Blutkörperchen der Gruppe A zusammenballen; man bezeichnet sie mit α. Das Serum der Blutgruppe 0 besitzt α- und β-Stoffe, die Blutgruppe AB enthält in ihrem Serum keine zusammenballenden Stoffe, also weder α- noch β-Stoffe.

Bei der Blutübertragung spielen vor allen Dingen die Eigenschaften der roten Blutkörperchen des übertragenen Blutes eine Rolle. Die relativ geringe Menge des übertragenen Blutserums wird im Blut des Empfängers derart verdünnt, daß die in ihm enthaltenen zusammenballenden Stoffe keine wesentliche Wirkung entfalten können. Aus diesem Grunde kann Blut der Gruppe 0 auf Menschen mit anderen Blutgruppen übertragen werden. Umgekehrt kann auf Menschen mit der Gruppe AB Blut von Menschen aller anderen Blutgruppen übertragen werden.

Am sichersten wird eine Zusammenballung vermieden, wenn Spender und Empfänger die gleiche Blutgruppe haben. Vor jeder Übertragung muß deshalb die Blutgruppe von Spender und Empfänger festgestellt werden.

In Deutschland beträgt die Häufigkeit der Blutgruppen für A etwa 45%, für B etwa 15%, für AB etwa 5% und für 0 etwa 35%.

Blutgruppe	Substanz der roten Blutkörperchen	Zusammenballender Stoff im Serum	Die Blutkörperchen werden geballt	Das Serum wirkt ballend auf Blutkörperchen
A	A	β	nur von α	der Gruppe B u. AB
B	B	α	nur von β	der Gruppe A u. AB
AB	A und B	keiner	von α und β	keiner Gruppe
0	keine	α und β	weder von α noch von β	aller Gruppen außer 0

Außer den genannten Blutgruppen sind in neuerer Zeit noch weitere (M, N, Rh u. a.) entdeckt worden. Von ihnen kommt bei der Blutübertragung dem Rh-Faktor des Blutes besondere Bedeutung zu.

Schutzwirkungen 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 *Antikörper*. 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 befinden sich zum Beispiel im Blutserum eines Menschen, der Unterleibstyphus durchgemacht hat, Antikörper, die die Typhusbakterien zusammenballen, während sie auf andere Krankheitserreger keine Wirkung haben. Die unschädlich gemachten Krankheitserreger werden von den Phagozyten (s. S. 87) aufgenommen.

Als *Immunität* bezeichnet man die Widerstandsfähigkeit 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 Antikörper 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 Einspritzung 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* 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 im Körper der Kühe 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 er nur eine leichte Entzündung an der geimpften Körperstelle durch. In seinem Organismus bilden sich aber genügend Antikörper, die ihn gegen eine weitere Infektion mit dem Pockenvirus immun machen. 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 in Rom 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 usw.) entwickelt worden. Bei allen 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 Schutzimpfungen zeigt, wie die Menschen die Furcht vor Krankheiten und die abergläubischen Vorstellungen von deren Entstehungsweise überwanden und wie sie durch wissenschaftliche Erforschung der Krankheitsvorgänge Mittel fanden, um der gefürchteten Seuchen Herr zu werden. Der Mensch steht also der Natur nicht machtlos gegenüber, sondern vermag sie in steigendem Maße zu beherrschen.

Ist bereits eine Infektionskrankheit ausgebrochen, so läßt sie sich in vielen Fällen durch Injektion von Seren heilen, die spezifische Antikörper enthalten. Diese Seren gewinnt man aus dem Blut von Tieren, die aktiv immunisiert worden sind. Wenn man zum Beispiel gesunden Haustieren, meist Pferden oder Rindern, in Abständen kleine Dosen des Diphtheriebakteriums einspritzt, bilden sich in ihrem Organismus die spezifischen Antikörper gegen den Diphtheriebazillus. Injiziert man das Serum dieser Tiere einem an Diphtherie erkrankten Menschen, so wirken die Antikörper auch im Menschen und vermehren die Abwehrstoffe in seinem Blut. Je früher die Injektion erfolgt, desto sicherer und durchgreifender ist die Wirkung. Auch vorbeugend kann man bei drohender Infektion (Diphtherie, Wundstarrkrampf) dem Körper eine vorübergehende Immunität verleihen, indem man ihm derartige Heilseren injiziert. 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. Unsere volkseigene Arzneimittelindustrie (Asidserumwerke Berlin-Weißensee und Dresden) stellt Heilseren von hoher Wirksamkeit her.

Die Abwehrkräfte des Organismus, insbesondere seine Fähigkeit zur Bildung von Antikörpern, sind von seiner körperlichen Verfassung sowie von den Lebensbedingungen abhängig. Unterernährung, Überanstrengung, Depressionen usw. 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. Die Ausbeutung der Arbeiter in den kapitalistischen Ländern verringert ihren Lebensstandard, verbraucht ihre Kräfte und führt zu Erschöpfung und Depressionen. Daher liegt in den kapitalistischen Ländern die Erkrankungs- und Sterblichkeitsziffer des Proletariats wesentlich höher als die der herrschenden Klassen.

Die niedrigen Erkrankungs- und Sterblichkeitsziffern in der Sowjetunion sind durch die Gesellschaftsordnung bedingt. In der Sowjetunion ist die Klasse der Ausbeuter beseitigt. Mit jedem Jahr verbessern sich die sozialen Verhältnisse, daher sind Erkrankungs- und Sterblichkeitsziffern im Vergleich zur Zeit vor der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution stark gesunken. Ähnlich verläuft die Entwicklung in den Volksdemokratien und in der Deutschen Demokratischen Republik.

Das Blut als Organ. Die Bestandteile des Blutes stehen in mannigfacher Wechselwirkung und bilden ein zusammenhängendes Ganzes. Da das Blut sowohl in morphologischer als auch in funktioneller Hinsicht eine *Einheit* bildet, kann man es als ein Organ des Körpers betrachten, obwohl es als Flüssigkeit keine feste Gestalt besitzt. Außer der *Transportfunktion* für Sauerstoff, Nähr- und Abbaustoffe, der *Abwehrfunktion* und der Fähigkeit zu *gerinnen*, hat das Blut noch weitere wichtige Funktionen innerhalb des Organismus. Infolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit innerhalb der Gewebe würde es an den Orten gesteigerten Stoffwechsels (z. B. den Muskeln) zur Übererwärmung, an anderen Stellen zur Unterkühlung kommen. Da das Blut in Form seiner Eigenwärme erhebliche Mengen von Wärmeenergie befördert, dient es dem *Wärmeausgleich* innerhalb des Organismus. Durch den *Transport der Hormone* wird das Blut zu einem Mittler zwischen den einzelnen Organsystemen und verknüpft so gemeinsam mit dem übergeordneten Nervensystem die Lebensvorgänge zu einem geordneten Ganzen.

Blutkrankheiten. 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 entweder durch mangelhafte Hämoglobin- oder Erythrozytenbildung oder durch große Blutverluste beziehungsweise gesteigerten Hämoglobinabbau. Eine mangelhafte Hämoglobin- oder Erythrozytenbildung kann verschiedene Ursachen haben. Da im Hämoglobinmolekül Eisen gebunden ist, führt unter anderem *Eisenmangel* im Organismus zur Anämie. Diese Form von Anämie kann durch Zufuhr von Eisenpräparaten geheilt werden. Eine andere Form, die sogenannte *perniziöse Anämie*, beruht auf dem Fehlen eines für die Erythrozytenbildung notwendigen Stoffes, des Vitamins B_{12}. Durch ständige Zufuhr frischer Leber, in der große Mengen von Vitamin B_{12} enthalten sind, oder durch dauernde Anwendung von Leberpräparaten beziehungsweise 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 Blut-

körperchen *(Leukozytose)*. Die Leukozyten spielen für die Abwehr der in den Organismus eingedrungenen Krankheitserreger eine wesentliche Rolle (s. S. 87). 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 bestimmte Medikamente führen zu einer Schädigung der wuchernden Zellen und wirken günstig auf den Krankheitsverlauf.

Der normale Gerinnungsvorgang ist bei verschiedenen Blutkrankheiten *(z. B. der 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 und den Thrombosen vorbeugen.

b) Lymphe und Lymphgefäßsystem

Die *Lymphe* entsteht aus Blutplasma, das durch die dünnen Wände der Kapillaren hindurch zwischen die Zellen der Gewebe gelangt. Die aus den Zellzwischenräumen austretende Lymphe wird entweder unmittelbar von Haargefäßen wieder aufgenommen oder sammelt sich in den *Gewebespalten*. 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 abfließende 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 liegt vor der Wirbelsäule und mündet in Zuflußvenen der oberen Hohlvene. In 24 Stunden durchfließen ihn etwa 2 Liter Lymphe. Die gesamte Lymphmenge ist größer als die des Blutes, aber ihr Strom ist träger.

Die Fortbewegung der Lymphe erfolgt 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 z. B. am Halse, im Gekröse, in den Achselhöhlen, an den Lungenwurzeln und in der Leistengegend (Abb. 80). 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 Schwellung und in Schmerzhaftigkeit der Lymphknoten äußert. In den Lymphdrüsen werden die Lymphozyten gebildet und in die Lymphe abgegeben. Sie gelangen durch den Milchbrustgang in das Blut.

Auch in der *Milz* werden ebenso wie in den Lymphknoten Fremdkörper und Bakterien aufgefangen und Lymphozyten gebildet. In der Milz werden auch rote Blutkörperchen abgebaut. Sie ist wie die Leber ein Blutspeicherorgan.

Unter krankhaften Bedingungen kann es zur Ansammlung von Lymphflüssigkeit in den Zwischenzellräumen kommen *(Ödem)*. Dabei schwillt das Gewebe an. Je nach der Ursache des Ödems kann der Arzt durch entsprechende Maßnahmen die Resorption der Lymphe in den Blutkreislauf und ihre Ausschwemmung aus dem Körper fördern.

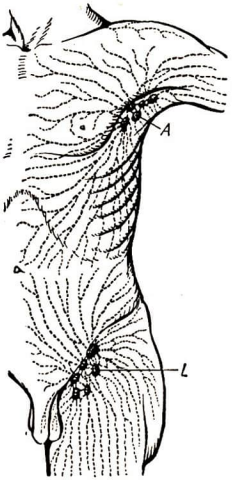


Abb. 80. Oberflächliche Lymphgefäße und Lymphknoten.
A Lymphknoten in der Achselhöhle, *L* Lymphknoten in der Leistenbeuge

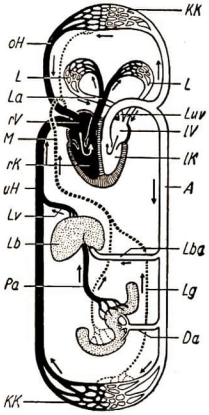


Abb. 81. Schema des Blutkreislaufes.
A Aorta, *Da* Darmarterie, *uH* untere Hohlvene, *KK* Körperkapillaren, *lK* linke Herzkammer, *rK* rechte Herzkammer, *L* Lungenkapillaren, *La* Lungenarterie, *Lb* Leber, *Lba* Leberarterie, *Lg* Lymphgefäße, *Luv* Lungenvene, *Lv* Lebervene, *M* Milchbrustgang, *oH* obere Hohlvene, *Pa* Pfortader, *lV* linker Vorhof, *rV* rechter Vorhof

c) Blutkreislauf

Bei vielen Wirbellosen, z. B. bei Gliederfüßern und Weichtieren, münden die Schlagadern zu den Gewebespalten hin offen. Bei den Wirbeltieren und beim Menschen bilden die Blutgefäße ein in sich *geschlossenes Gefäßsystem* (Abb. 81).

Blutgefäße. Die Blutgefäße unterscheidet man nach der Richtung des in ihnen strömenden Blutes. Die Schlagadern oder *Arterien* leiten das Blut vom Herzen zu den Organen; die *Venen* führen das Blut von den Organen zum Herzen zurück. Die feinen Endverzweigungen von Arterien und Venen sind in den Organen durch Haargefäße (Kapillaren) miteinander verbunden.

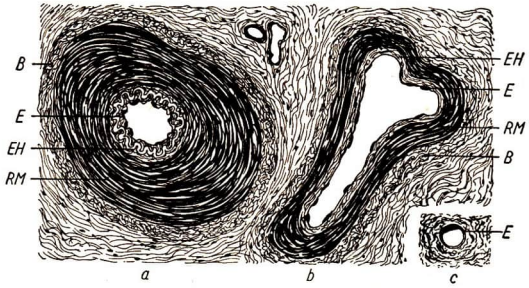


Abb. 82. Gefäße im Querschnitt. *a* Arterie, *b* Vene, *c* Kapillare.
B Bindegewebe, *E* Endothel, *EH* elastische Hülle, *RM* Ringmuskulatur

Die Wand der Arterien und Venen setzt sich im wesentlichen aus drei Schichten zusammen (Abb. 82). Die *Innenschicht* (Endothel) besteht aus glatten Zellen, an denen das Blut wenig Reibungswiderstand findet. Die *mittlere Schicht* setzt sich aus ringförmig angeordneten glatten Muskelfasern und Bindegewebsfasern zusammen. Sie ist bei den Arterien kräftig, bei den Venen nur schwach entwickelt. Die *äußere Schicht* der Blutgefäße ist derbes Bindegewebe, dessen Fasern in der Längsrichtung der Gefäße verlaufen. Die Veneninnenwand trägt taschenartige, nach dem Herzen zu offene Klappen (Abb. 83), die ein Rückströmen des Blutes verhindern. Die Wand der Kapillaren ist *einschichtig*. Stellenweise liegen ihr einzelne verzweigte Zellen, die sogenannten Perizyten, auf, die sich zusammenziehen und dadurch die Kapillaren zusammenschnüren können.

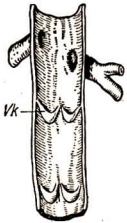


Abb. 83. Vene im Längsschnitt.
Vk Venenklappen

Herz. Das Herz ist ein *Hohlmuskel*. Die Größe ist abhängig vom Alter, vom Geschlecht und von der Arbeit, die das Herz leisten muß. Das Herz ist, ähnlich wie die Lunge, von einer aus zwei Blättern bestehenden sackartigen Hülle, dem *Herzbeutel*, umgeben. Das innere Blatt liegt dem Herzen unmittelbar auf. Zwischen beiden Blättern befindet sich stets eine geringe Menge seröser Flüssigkeit, so daß

sich das Herz ohne große Reibungswiderstände gegen das äußere Blatt des Herzbeutels bewegen kann.

Die Herzmuskulatur besteht aus netzartig miteinander verbundenen, plasmareichen Muskelfasern (Abb. 42, S. 31). Die Herzmuskelzellen nehmen in ihrem Bau eine Mittelstellung zwischen glatter und quergestreifter Muskulatur ein, ihr Zellkern liegt jeweils in der Mitte der Zelle, ihre Fibrillen aber weisen eine Querstreifung auf. Eine weitere Besonderheit der Herzmuskelzellen besteht darin, daß sie voneinander nicht durch Zellgrenzen getrennt sind. Stellenweise sind sie von Scheiben, den sogenannten Glanzstreifen, quer durchsetzt. Über die Funktion der Glanzstreifen besteht bisher noch keine Klarheit.

Jede Herzhälfte besteht aus einer *Herzkammer* und einem *Vorhof* (Abb. 84). Linke und rechte Herzkammer werden durch die dicke Kammerscheidewand, linker und rechter Vorhof durch die dünnere Vorhofscheidewand voneinander getrennt. Da die Widerstände im Körperkreislauf größer sind als im Lungenkreislauf, hat sich die Muskulatur der linken Herzhälfte stärker entwickelt. Vorhöfe und Kammern sind von der *Herzinnenhaut* ausgekleidet. In die Vorhöfe münden die großen Venen. Die Öffnung zwischen rechtem Vorhof und rechter Kammer wird durch eine dreizipfelige, die Öffnung zwischen linkem Vorhof und linker Kammer durch eine zweizipfelige Klappe ventilartig verschlossen. Die Klappen werden durch Vorstülpungen der Herzinnenhaut gebildet. Da ihre Zipfel in geöffnetem Zustand wie Segel in die Kammer hineinhängen, bezeichnet man sie als *Segelklappen*. Von ihrem freien Rand ziehen dünne, sehnige Fäden zu Muskelvorsprüngen der Kammerwand. Diese Sehnenfäden verhindern, daß die Segelklappen in den Vorhof zurückschlagen.

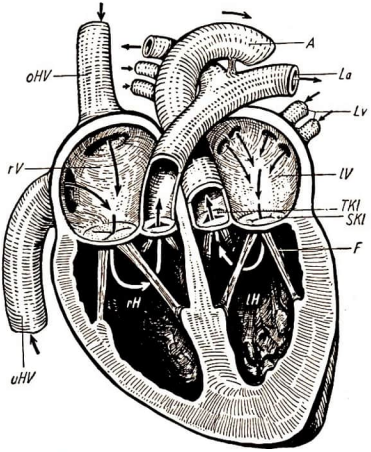


Abb. 84. Herz im Längsschnitt.

A Aorta, *F* Sehnenfäden, *lH* linke Herzkammer, *rH* rechte Herzkammer, *oHV* obere Hohlvene, *uHV* untere Hohlvene, *La* Lungenarterie, *Lv* Lungenvene, *SKl* Segelklappe, *TKl* Taschenklappe, *lV* linker Vorhof, *rV* rechter Vorhof

Die Bewegungen der Segelklappen erfolgen passiv durch den Blutstrom. Wird das Blut des Vorhofes durch dessen Zusammenziehung in die Kammer gepreßt, so werden die Segelklappen geöffnet. Ist die Herzkammer gefüllt, und zieht sich ihre Wand zusammen, so werden die Segelklappen durch den Druck des Blutes in ihre Verschlußstellung zurückgepreßt.

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.* Ähnlich wie die Segelklappen schließen sie Herzkammer und Arterie ventilartig voneinander ab.

Wie jeder Muskel wird auch das Herz durch besondere Arterien mit Blut versorgt. Die großen Gefäße des Herzens heißen *Herzkranzgefäße.* Die beiden Herzkranzarterien entspringen aus der Aorta unmittelbar nach deren Austritt aus der linken Herzkammer und ziehen sich mit Verästelungen an der vorderen und hinteren Wand des Herzens bis nahe an die Herzspitze hin. Die Herzkranzvenen vereinigen sich zu einem einzigen großen Gefäß. Diese *große Herzvene* mündet in den rechten Vorhof.

Im Gegensatz zu den Skelettmuskeln besitzt das Herz ein eigenes, aus modifiziertem Muskelgewebe bestehendes *Reizbildungszentrum,* das in der rechten Vorkammer an der Einmündung der großen Hohlvene liegt. In diesem Reizbildungszentrum entstehen etwa 60- bis 80mal in der Minute Erregungen, die auf dem Wege des sogenannten *Reizleitungssystems* zunächst den Vorhöfen und weiterhin den Kammern zugeleitet werden. Das Reizleitungssystem besteht aus sehr plasmareichen, fibrillenarmen Muskelzellen, die das Herzmuskelgewebe durchziehen. Das Herz arbeitet *automatisch,* solange es von Blut durchströmt wird. Werden herauspräparierte Frosch- oder Kaninchenherzen mit Blut oder 0,9 %iger Kochsalzlösung durchströmt, so können sie außerhalb des Körpers noch stundenlang schlagen.

Obgleich also das Herz automatisch schlägt, kann die Schnelligkeit des Herzschlages durch *nervöse Reize* beeinflußt und geregelt werden. Das Herz wird von Ästen des aus dem Gehirn kommenden *Vagusnervs* und von sympathischen Nerven, die aus dem Grenzstrang des *Sympathikus* stammen, versorgt. Vagus und Sympathicus gehören zum vegetativen Nervensystem (s. S. 155). Die Bedeutung dieser Nerven läßt sich an Tierversuchen feststellen. Reizt man bei einem Kaninchen oder einem Frosch den Vagusnerv, so wird der Herzschlag langsamer und schwächer, bei starker Reizung setzt er ganz aus. Dieser Versuch zeigt, daß der Vagusnerv die Herztätigkeit hemmt. Reizt man dagegen die sympathischen Nerven, so wird der Herzschlag schneller und kräftiger. Vagusnerv und sympathische Nerven wirken also entgegengesetzt auf den Herzschlag ein. Der Herzschlag wird außerdem noch durch Hormone beeinflußt.

Die durch das Reizleitungssystem der Herzmuskulatur zugeleiteten Erregungen bewirken eine Zusammenziehung, die wellenartig von den Vorhöfen über die Kammern zur Herzspitze fortschreitet. Wenn sich die Herzkammern zusammenziehen, so wird dabei die Scheidewand zwischen Vorhöfen und Herzkammern gegen die Herzspitze herabgezogen. In die dadurch erweiterten Vorhöfe strömt aus den Venen Blut ein. Sobald die Vorhöfe mit Blut gefüllt sind, ziehen sie sich zusammen. Diese Kontraktion erfolgt auf Grund einer Erregung, die im Reizbildungszentrum gebildet und bis zur Muskulatur der Vorkammern weitergeleitet worden ist. Die Drucksteigerung in den Vorhöfen treibt das Blut durch die sich öffnenden Segelklappen in die erschlafften Herzkammern hinein. Inzwischen ist die Erregung bis in die Muskulatur der Herzkammern weitergelangt, so daß sich diese ihrerseits zusammenziehen. Der Druckanstieg in den Kammern läßt die Segelklappen in ihre Ausgangsstellung zurückschlagen und öffnet die Taschenklappen. Das Blut wird aus

der linken Herzkammer in die sich elastisch dehnende Aorta und aus der rechten Herzkammer in die Lungenschlagader gepreßt. Läßt die Zusammenziehung der Kammern nach, so ist der Druck in den großen Arterien höher als in den Kammern. Dadurch schließen sich die Taschenklappen, so daß dem Blut der Rückweg in die Kammern versperrt wird.

Bei der Zusammenziehung der Kammer entsteht der erste *Herzton*, beim Zusammenschlagen der Taschenklappen der zweite. Der Beginn zweier aufeinanderfolgender Kontraktionen liegt beim Erwachsenen durchschnittlich 0,8 sec auseinander. Die Kontraktion der Vorkammern dauert 0,1 sec, die der Herzkammern 0,3 sec. In der restlichen Zeit von 0,4 sec, der sogenannten *Herzpause*, ruhen sowohl Vorkammern als auch Herzkammern. Die Ruhepause der Kammern (0,4 sec + 0,1 sec) ist also beinahe doppelt, die der Vorkammern (0,4 + 0,3 sec) siebenmal so lang wie die Kontraktionszeit.

Das Herz stellt während des ganzen Lebens seine Tätigkeit niemals ein. Die Herzpause reicht aus, um den Herzmuskel bei der nächsten Kontraktion mit gleicher Kraft schlagen zu lassen. Die Zahl der Herzschläge beträgt beim erwachsenen Menschen durchschnittlich 60 bis 80 in der Minute. Sie kann jedoch bei ein und demselben Menschen stark wechseln (anstrengende Arbeit, sportliche Betätigung, seelische Erregung, größerer Blutverlust). Bei jedem Herzschlag werden von jeder Kammer 50 bis 70 cm^3 Blut in die Adern gepumpt, das sind in der Minute 3 bis 5 Liter. Bei jedem Schlag leistet das Herz ungefähr eine Arbeit von 0,2 mkp, je Tag also etwa 20000 bis 24000 mkp.

Die Zusammenziehung des Herzens können wir als feine Erschütterung der Brustwand fühlen. Dieser Herzspitzenstoß kommt dadurch zustande, daß das Herz bei der Zusammenziehung seine Form und Lage im Brustkorb ändert und dabei mit der Spitzengegend an die vordere Brustwand stößt.

Wie jeder andere Muskel des Körpers kann der Herzmuskel seine Leistungsfähigkeit durch systematische Übung steigern. Die beste systematische Übung des Herzens ist regelmäßig betriebener Sport. Besonders Übungen, die Kraft, Schnelligkeit und Dauer zugleich erfordern, also den Gesamtstoffwechsel erheblich erhöhen (z. B. Laufen, Rudern, Schwimmen, Boxen, Skilaufen), kräftigen bei systematischer, langsamer Leistungssteigerung das Herz.

Die größere Leistungsfähigkeit des Herzens zeigt sich praktisch in besseren sportlichen Ergebnissen, anatomisch in einer Zunahme des Herzgewichts und physiologisch in niedrigerer Herzfrequenz bei größerem Schlagvolumen.

Höchste, allerdings nur vorübergehende Leistungsfähigkeit des Herzens zu erreichen, ist eine Hauptaufgabe des sportlichen Trainings.

Gefäßsystem. Die Fische haben einen *einfachen Kreislauf*. Das kohlendioxydreiche Blut wird von einem einkammerigen Herzen durch die Kiemen und von dort durch die Arterien in die Kapillaren der Organe gepumpt. Durch die Venen läuft das Blut von den Organen zum Herzen zurück.

Bei allen Landwirbeltieren, bei denen die ursprünglich einheitliche Herzkammer in zunehmendem Maße durch Ausbildung einer Scheidewand zweigeteilt wird,

bilden sich ein gesonderter *Lungen- und Körperkreislauf* aus (s. Lehrbuch d. Biologie f. d. 10. Schulj., S. 106f).

Beim Menschen strömt das Blut wie bei allen Wirbeltieren in einem geschlossenen Kreislauf. Aus der linken Herzkammer gelangt das Blut beim Menschen und allen Warmblütern im sogenannten Körperkreislauf über die Kapillaren des Körpers zum rechten Vorhof. Von der rechten Herzkammer strömt es im sogenannten Lungenkreislauf durch die Kapillaren der Lunge in den linken Vorhof.

Das aus der Lunge kommende sauerstoffreiche Blut (s. S. 80) wird von der linken Herzkammer in die *Aorta* (Abb. 85) gepumpt. Diese verläuft als aufsteigende Aorta von der linken Herzkammer bogenartig nach links oben und hinten, krümmt sich dann im sogenannten Aortenbogen abwärts und zieht als absteigende Aorta vor der Wirbelsäule durch die Brusthöhle. Durch das Zwerchfell hindurch gelangt sie in die Bauchhöhle. Als erste Äste der Aorta entspringen aus ihrem Anfangsteil die beiden Kranzarterien. Vom Aortenbogen gehen die großen Arterienäste für Arme und Kopf ab (Abb. 85); von der absteigenden Aorta führen Arterien zu den Lungen. In der Bauchhöhle zweigen sich von der Aorta Arterien zum Magen, zum Darm, zur Leber, zur Milz, zu den Nieren und den anderen Bauchorganen ab. Etwa in Höhe des vierten Lendenwirbels gabelt sich die Aorta in die beiden *großen Hüftschlagadern* (Abb. 85). Die Hüftschlagadern teilen sich nochmals

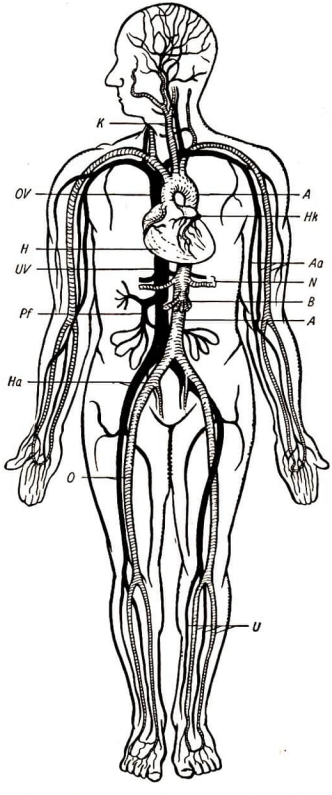


Abb. 85. Das Gefäßsystem des Menschen, Arterien schraffiert, Venen schwarz.

A Aorta, *Aa* Armarterien und -venen, *B* Bauchartarien, *H* Herz, *Ha* Hüftarterie und -vene, *Hk* Herzkranzgefäße, *K* Kopfarterie und -vene, *N* Nierenarterie und -vene, *O* Oberschenkelarterie und -vene, *OV* obere Hohlvene, *Pf* Pfortader, *U* Unterschenkelarterie und -vene, *UV* untere Hohlvene

in die *äußeren* und die *inneren Hüftschlagadern*. Die äußeren Hüftschlagadern verlaufen zu den Beinen, die inneren Hüftschlagadern versorgen die Beckenorgane.

Die Arterien verzweigen sich in den Organen zu immer feineren Ästen und schließlich bis zu den haarfeinen *Kapillargefäßen*. Diese umspinnen die Zellen und versorgen sie mit Blut. In den Geweben gibt das arterielle Blut seinen Sauerstoff ab und belädt sich mit Kohlendioxyd (s. S. 81). Das kohlendioxydreiche Blut sammelt sich in kleinen Venen, die sich zu immer größeren Venen zusammenschließen. Das venöse Blut des Kopfes, des Halses, der Arme und der Brust sammelt sich in der *oberen Hohlvene* (Abb. 85). Aus den Beinen und dem Bauch fließt das venöse Blut in die *untere Hohlvene*. Die untere Hohlvene verläuft fast parallel neben der Bauchaorta. Das Blut in ihr strömt in entgegengesetzter Richtung. Die obere und die untere Hohlvene münden in die rechte Vorkammer. Von hier wird das venöse Blut des gesamten Körpers in die rechte Kammer und weiter durch die Lungenarterie in den Lungenkreislauf gepumpt. Die *Lungenarterie* führt also venöses, kohlendioxydreiches Blut. Sie teilt sich in zwei Äste, die zur linken beziehungsweise rechten Lunge ziehen. Jeder Ast verzweigt sich in immer feinere Arterien und schließlich in Kapillargefäße, die die Lungenbläschen umspinnen. Hier vollzieht sich der Gasaustausch (s. S. 81). Das kohlendioxydarme, sauerstoffbeladene Blut strömt in den *Lungenvenen* zusammen. Diese führen also arterielles Blut. Sie münden in den linken Vorhof. Von hier gelangt das Blut wieder in den Körperkreislauf.

In den Körperkreislauf ist der *Pfortaderkreislauf* als Nebenschluß eingeschaltet. Die Venen aus dem Kapillarnetz des Magen-Darm-Kanals und der Milz münden nicht unmittelbar in die untere Hohlvene, sondern vereinigen sich zunächst zur *Pfortader*, die zur Leber führt. Hier strömt das Blut nochmals durch ein Kapillargefäßsystem, wobei es in enge Berührung mit den Leberzellen kommt. Dabei wird ein großer Teil der Nährstoffe, die im Magen-Darm-Kanal resorbiert wurden, von den Leberzellen aufgenommen und weiterverarbeitet. Die Leberkapillaren vereinigen sich zu kleinen Venen und diese schließlich zur großen *Lebervene*, die in die untere Hohlvene mündet.

Das Blut besitzt keine Elastizität. Dagegen sind die Wände der Blutgefäße *elastisch*. Wenn das Blut stoßweise vom Herzen in die Aorta gepreßt wird, nimmt diese die harten mechanischen Stöße des einströmenden Blutes unter Ausdehnung ihrer Wand elastisch auf. Dabei wird die kinetische Energie des einströmenden Blutes in potentielle Energie der elastisch gedehnten Aortenwand umgesetzt. Nach dem Schließen der Aortenklappen zieht sich die Aortenwand zusammen, drückt das Blut in das Gefäßsystem weiter und setzt dadurch ihre potentielle Energie wieder in Bewegungsenergie um. Die Wandelastizität erfüllt also eine ähnliche Funktion wie der Windkessel einer Kolbenpumpe. Man spricht deshalb von der *Windkesselfunktion* der großen Arterien. Durch die Windkesselfunktion kommt das Blut auch während der Herzpause nicht zum Stillstand; der zunächst rhythmische Fluß wird dadurch annähernd gleichmäßig. Ohne die Windkesselfunktion der Aorta müßte die gesamte Masse des Blutes bei jeder Zusammenziehung des

Herzens erneut in Bewegung gesetzt werden. Durch die Windkesselfunktion ist jeweils nur eine relativ kleine Zusatzbeschleunigung erforderlich, um den Blutstrom ständig aufrechtzuerhalten.

Auch für die Entstehung des *Pulsschlages* ist die Elastizität des Gefäßsystems eine notwendige Voraussetzung. Der durch die Zusammenziehung des Herzens entstehende plötzliche Druckanstieg pflanzt sich als eine Druckwelle in der Blutflüssigkeit fort. Die Druckwelle dehnt die Gefäßwand in Form einer über das ganze Gefäßsystem hinlaufenden Pulswelle. Sie wird dabei allmählich schwächer. Der Puls beruht also auf einer momentanen Drucksteigerung in einem Gefäßabschnitt. Er entspricht nicht dem eigentlichen Strömen des Blutes. Die Druckwelle des Pulses läuft vielmehr mit hoher Geschwindigkeit (in der Aorta mit etwa 4 bis 5 m in der Sekunde) über die viel langsamer strömende Blutflüssigkeit (in der Aorta 0,2 bis 0,6 m in der Sekunde) hinweg. An allen Stellen, an denen Arterien nahe der Körperoberfläche verlaufen, läßt sich der Pulsschlag durch den tastenden Finger feststellen (Speichenschlagader oberhalb des Handgelenkes, Halsschlagader vor dem Kopfnickermuskel, Schläfenschlagader an der Schläfe vor der Ohrmuschel u. a.).

Infolge der durch den Herzschlag hervorgerufenen Druckerhöhung wechselt der *Blutdruck* in den Arterien rhythmisch, in der Aorta beispielsweise zwischen einem Überdruck von 160 mm Hg und 110 mm Hg, in der Oberarmarterie zwischen 120 mm Hg und 80 mm Hg. Deshalb spritzt bei einer Arterienverletzung das Blut rhythmisch in starken Strahlen aus dem Gefäß. In den Kapillaren fällt der Druck ab, weil das Gefäßsystem sich in kleinere, aber sehr zahlreiche Gefäße verzweigt und dadurch einen immer größeren Gesamtquerschnitt erhält. Der Blutdruck in den Kapillargefäßen beträgt nur noch 20 bis 25 mm Hg. Deshalb fließt aus einer Wunde, bei der nur Kapillaren verletzt sind, das Blut nur noch tropfenweise. In den Venen sinkt der Blutdruck von einem Überdruck von 20 mm Hg bis auf 0 mm Hg ab. Nahe dem Herzen kann durch Saugwirkung der rechten Vorkammer sogar ein Unterdruck entstehen.

Unter dem Einfluß der Lebenstätigkeiten ändert sich der Blutdruck in den Gefäßen. So wird beispielsweise durch Muskelarbeit, in geringerem Maße auch durch geistige Arbeit, der Blutdruck erhöht. In tätigen Organen sind die meisten Kapillaren geöffnet; in ruhenden Organen ist der größte Teil der Kapillaren durch Zusammenziehung der Perizyten verschlossen, so daß die Organe von nur wenig Blut durchströmt werden.

Die Durchströmung von Kapillargefäßgebieten wird durch verschließbare Querverbindungen zwischen kleinen Arterien und Venen, die *arterio-venösen Kurzschlüsse*, geregelt. Ihre Weite wird durch Nervenreize und Hormone gesteuert. Sind die arterio-venösen Kurzschlüsse geöffnet, so kann das Blut aus den kleinen Arterien unter Umgehung der Kapillaren direkt in die kleinen Venen strömen. Auf diese Weise wird ein untätiges Organ von weniger Blut durchströmt als ein tätiges.

Ein beträchtlicher Teil des Blutes wird für gewöhnlich in Blutspeichern, vor allem in Leber und Milz, zurückgehalten und erst bei Bedarf in den Kreislauf abgegeben.

d) Gefäß-, Herz- und Kreislaufkrankheiten

Im höheren Lebensalter tritt bei manchen Menschen die *Arteriosklerose*, eine Krankheit der Arterien, auf. Die Gefäßinnenhaut verdickt sich durch Vermehrung des Bindegewebes; außerdem lagern sich in ihr fettähnliche Substanzen (Lipoide) und bisweilen Kalk ab. Dadurch wird die Gefäßwand unelastisch und brüchig, die Gefäßlichtung enger. In den geschädigten Gefäßen kann es unter Umständen zu Verstopfungen (*Thrombosen*, s. S. 94) oder bei plötzlichem Blutdruckanstieg zu einer Zerreißung der Gefäßwand kommen. Zerreißt eine Gehirnarterie, so tritt eine Blutung in das Gehirn, ein *Schlaganfall*, ein. Durch die arteriosklerotische Verdickung der Gefäßwand wird die Blutströmung beeinträchtigt. Dadurch können die von der betreffenden Arterie mit Blut versorgten Organe und Gewebe in ihrer Lebensfähigkeit geschädigt werden.
Bei Stauungen des Blutabflusses können sich die Venen stark erweitern. Dadurch werden ihre dünnen, muskelschwachen Wandungen noch mehr verdünnt. Es entstehen die sogenannten *Krampfadern*. Am häufigsten finden sich solche Erweiterungen in den Venen der Beine, weil hier das Blut durch seine Schwere am stärksten auf die Wand der Venen drückt. Erweitern sich die Venen im Bereich des Mastdarms und Afters, so spricht man von *Hämorrhoiden*. Sie können platzen und zu Blutungen führen. Wenn die Venenwand sich entzündet, verursachen Krampfadern und Hämorrhoiden starke Schmerzen. Durch ärztliche Maßnahmen, notfalls durch einen operativen Eingriff, lassen sich Krampfadern und Hämorrhoiden beseitigen.
Die *Herzklappenfehler* entstehen meist durch Entzündung der Herzinnenhaut. Dabei verwachsen beziehungsweise schrumpfen die Herzklappen, so daß sie sich nicht mehr vollständig öffnen beziehungsweise schließen können. Das Herz muß zusätzliche Arbeit leisten, um den Blutkreislauf aufrechtzuerhalten. Statt der normalen Herztöne hört man bei Herzklappenfehlern krankhafte Herzgeräusche an der Brustwand.
Eine arteriosklerotische Verengung der Kranzgefäße kann eine mangelhafte Durchblutung des Herzens zur Folge haben. Dadurch wird das Herz in seiner Leistungsfähigkeit geschädigt. Die mangelhafte Durchblutung des Herzmuskels macht sich durch heftige Schmerzen in der Herzgegend und Angstzustände bemerkbar. Dieses Krankheitsbild wird als *Angina pectoris* bezeichnet. Ähnliche Beschwerden können auch durch eine auf nervöse Reize hin erfolgende Verengung der Kranzgefäße entstehen, ohne daß es zu deutlichen anatomischen Veränderungen kommt. Diese Durchblutungsstörungen des Herzens lassen sich durch gefäßerweiternde Mittel bessern.
Durch krankhafte Prozesse im Reizbildungszentrum oder im Reizleitungssystem des Herzens kann sich die Schlagfolge krankhaft verändern. In schweren Fällen schlägt das Herz völlig unregelmäßig. Durch medikamentöse Behandlung gelingt es häufig, wieder einen normalen Herzschlag zu erzielen.
Die elektrischen Potentialschwankungen, die beim Ablauf der Erregung im Reizleitungssystem des Herzens auftreten, lassen sich durch ein empfindliches

Galvanometer nachweisen und graphisch registrieren. Man braucht zu diesem Zweck die Elektroden nicht an den Herzmuskel anzulegen. Das Potential der Herzbasis teilt sich mehr der rechten oberen Körperhälfte, das der Herzspitze mehr der linken unteren mit, daher legt man die Elektroden entweder an beiden Armen beziehungsweise an einem Arm und einem Bein an. Bei normalem Erregungsablauf entsteht durch die Ableitung der elektrischen Potentialschwankungen eine charakteristische Kurve, das *Elektrokardiogramm* (EKG). Bei krankhaften Veränderungen der Erregungsbildung oder Erregungsleitung weicht das Bild des Elektrokardiogramms von der normalen Kurve ab. Daraus kann der Arzt wertvolle Schlüsse auf bestimmte Erkrankungen des Herzens ziehen.

Sehr verschiedenartige Ursachen können zu einer dauernden Erhöhung des Blutdrucks, der sogenannten *Hochdruckkrankheit*, führen. In einigen Fällen beruht der Hochdruck auf Nierenerkrankungen, in anderen auf einer Verengung kleinerer Arterien. Bei einem Hochdruck hat das Herz ständig einen abnorm erhöhten Widerstand zu überwinden. Es kann deshalb bei hochdruckkranken Menschen leicht ein Versagen des Herzens eintreten. Eine weitere Gefahr des Hochdrucks besteht darin, daß die durch die dauernde Belastung geschädigten Arterien zerreißen können und es zu einem Schlaganfall oder einem Herzschlag kommen kann. Eine Besserung der Hochdruckkrankheit läßt sich vor allem durch Ruhe und salz- und wasserarme Kost erreichen. Dadurch wird das Herz in seiner Arbeit entlastet. Diese Maßnahmen können durch eine Behandlung mit blutdrucksenkenden Medikamenten unterstützt werden.

E. DAS UROGENITALSYSTEM

Das Urogenitalsystem besteht aus den Ausscheidungs- und den Geschlechtsorganen. Beide entstehen entwicklungsgeschichtlich im wesentlichen aus dem mittleren Keimblatt und aus zum Teil gleichen Anlagen. Beide Organe stehen auch im ausgebildeten Zustand in engem anatomischem Zusammenhang. Aus diesen Gründen werden sie unter der Bezeichnung Urogenitalsystem zusammengefaßt.

I. Harnorgane

Die Harnorgane bestehen aus den paarigen Nieren, den paarigen Harnleitern, der Harnblase und Harnröhre (Abb. 86).

Nieren. Beide Nieren liegen in der Lendengegend, neben der Wirbelsäule außerhalb der Bauchfellhöhle.

Die einzelne Niere ist etwas über 10 cm lang und wiegt bis 200 g. Ihrem oberen Ende liegt die Nebenniere (s. S. 126) auf.

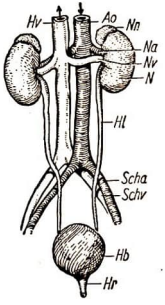


Abb. 86. Harnorgane.
Ao Aorta, *Hb* Harnblase, *Hl* Harnleiter, *Hr* Harnröhre, *Hv* untere Hohlvene, *N* Niere, *Na* Nierenarterie, *Nn* Nebenniere, *Nv* Nierenvene, *Scha* Schenkelarterie, *Schv* Schenkelvene

An einem Längsschnitt durch die Nieren kann man mit bloßem Auge eine *Rindenschicht* und eine *Markschicht* erkennen (Abb. 87). Die Rindenschicht umgibt die Markschicht. Die Markschicht besteht nicht aus einer zusammenhängenden Schicht, sondern setzt sich aus 10 bis 15 in das *Nierenbecken* vorspringenden *Nierenpyramiden* zusammen. Auf der Spitze jeder Nierenpyramide münden etwa 30 Sammelröhren, die durch den Zusammenschluß feiner *Harnkanälchen* entstehen. Diese entspringen in der Rindenschicht aus den *Nierenkörperchen* (Abb. 88). Ein Nierenkörperchen besteht aus einem Knäuel von Blutkapillaren, das von einer doppelwandigen Kapsel umgeben ist. Die Kapillarschlingen des Nierenkörperchens werden von einer kleinen zuführenden Arterie gespeist. Nach dem Durchfließen des Kapillarnetzes sammelt sich das weiterhin sauerstoffreiche Blut in einem kleinen abführenden Gefäß. Das Gefäß zeigt den Bau einer Arterie und teilt sich in ein Kapillarnetz auf, das ein Harnkanälchen umspinnt. Gegenüber dem Ein- und Austrittspunkt des zuführenden und des abführenden Gefäßes entspringt aus der Kapsel des Nierenkörperchens ein Harnkanälchen. Das Harnkanälchen (Abb. 89) verläuft zunächst gewunden in der Rinde, dann in gerader Richtung auf die nächstgelegene Pyramidenspitze zu und kehrt in einer Haarnadelschleife in die Nähe des Nierenkörperchens zurück. Hier beschreibt es noch einige Windungen und mündet dann in eine der Sammelröhren ein. Das Mark der Nieren besteht also aus den gerade verlaufenden Abschnitten der Harnkanälchen und aus den Sammelröhren, die Rinde aus den Nierenkörperchen und den gewundenen Teilen der Harnkanälchen.

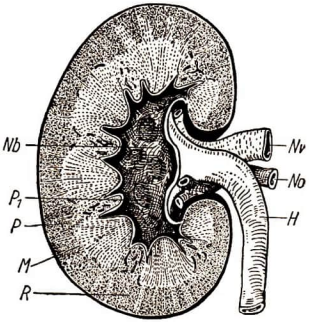


Abb. 87. Niere im Längsschnitt.
H Harnleiter, *M* Markschicht, *Na* Nierenarterie, *Nb* Nierenbecken, *Nv* Nierenvene, *P* Nierenpyramide, P_1 Nierenpyramide von oben gesehen, *R* Rindenschicht

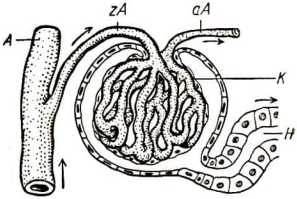


Abb. 88. Nierenkörperchen.
A Arterie, *aA* abführende Arterie, *zA* zuführende Arterie, *H* Harnkanälchen, *K* Kapillargefäßknäuel

Harn. Unsere gesamte Blutmenge fließt täglich etwa 300mal 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

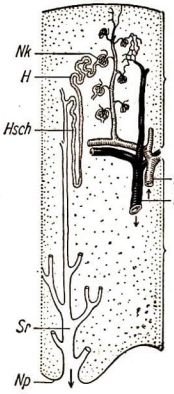


Abb. 89. Übersicht über ein Nierenkörperchen und Harnkanälchen.
A Arterie, *H* Harnkanälchen, *Hsch* Haarnadelschleife, *Nk* Nierenkörperchen, *Np* Nierenpapille, *Sr* Sammelröhre, *V* Vene

im Blutplasma echt gelösten Stoffen (z. B. Traubenzucker, Kochsalz) besteht. Die kolloidal gelösten Stoffe (z. B. Eiweiß) werden dagegen 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, z. T. auch Kochsalz) aus dem Filtrat, während sie andere Substanzen in das Filtrat abscheiden. So entsteht aus dem Filtrat der Nierenkörperchen allmählich der Harn.

Täglich werden etwa 1 bis 1,5 Liter 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 gebildet. Da Eiweiß im Körper nicht wie Kohlenhydrate und Fett 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 und Phosphate und geringe Mengen vieler anderer Stoffe. Die Farbe des Harns wird durch verschiedene, zum Teil aus Gallenfarbstoffen entstehende Verbindungen bedingt.

Alle im Harn gelösten Stoffe sind auch schon im Blut enthalten, aber in anderen Mengenverhältnissen. Die Konzentration des Harnstoffs ist im Harn 60mal so groß, die Konzentration der Salze doppelt so groß wie im Blut. Im Gegensatz zum Blut enthält der Harn des gesunden Menschen keine Eiweißstoffe und keinen Zucker.

Harnableitende Organe. Der Harn gelangt aus den Sammelröhren zum Nierenbecken (Abb. 87). Das Nierenbecken verjüngt sich zum Harnleiter, der in die Harnblase mündet. Peristaltische Bewegungen der Harnleiter befördern den Harn tropfenweise in die Blase. In der Harnblase wird der Harn gesammelt. Ein Schließmuskel aus quergestreifter und einer aus glatter Muskulatur schließen die Harnblase zur Harnröhre hin ab.

Erkrankungen der Nieren. Die meist ohne große Schmerzen verlaufende *Nierenentzündung* verrät 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 zu einer sogenannten Schrumpfniere kommen.

Durch Ausfällung von im Harn gelösten Salzen können sich in den harnleitenden 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. Nierenbecken- und Blasensteine können operativ entfernt werden.

II. Geschlechtsorgane

a) Weibliche Geschlechtsorgane

Zu den weiblichen Geschlechtsorganen gehören die paarigen Eierstöcke (Ovarien), die ebenfalls paarigen Eileiter und die Gebärmutter (Uterus).

Die weiblichen Keimdrüsen, die *Ovarien (Eierstöcke*, Abb. 90*)*, sind ovale, graubraune Organe von etwa 4 cm Länge, 2 cm Breite und 1 cm Dicke. Sie liegen der Beckenwand an und sind durch eine Bauchfellfalte an der Bauchwand befestigt.

Auf einem Querschnitt erkennt man eine bindegewebige Markschicht, in der zahlreiche Gefäße verlaufen, und eine ebenfalls bindegewebige Rindenschicht, in der die weiblichen Keimzellen, die Eizellen, liegen.

Die *Eizellen* machen während der Individualentwicklung eine Reifung durch. Im Ovar eines jungen weiblichen Embryos sind sie lediglich von einem einschichtigen Epithel – dem Follikelepithel – umgeben. Die mit einschichtigem Follikelepithel umgebenen Eizellen bezeichnet man als *Primärfollikel*.

Schon während der Embryonalentwicklung und der Kindheit, in stärkerem Maße während der Geschlechtsreife, beginnt sich bei einem Teil der Primärfollikel das Follikelepithel zu vermehren. Die Zellen werden zylindrisch und umgeben die

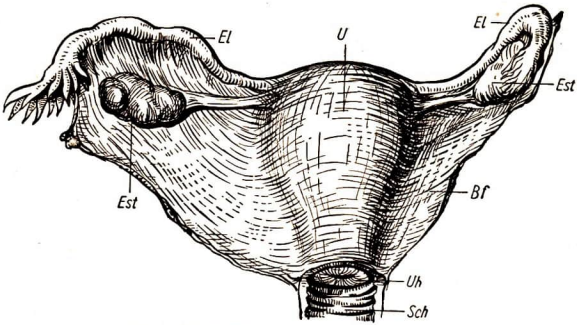


Abb. 90. Innere weibliche Geschlechtsorgane.
Bf Bauchfellfalte, *El* Eileiter, *Est* Eierstock, *Sch* Scheide, *U* Uteruskörper, *Uh* Uterushals

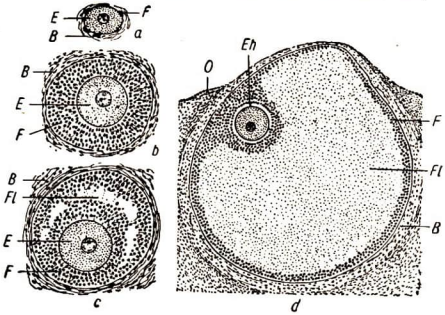


Abb. 91. Entwicklungsstufen eines Follikels;
a Primärfollikel, *b* Sekundärfollikel, *c* Tertiärfollikel, *d* sprungreifer Tertiärfollikel, *a*, *b*, *c* bei stärkerer Vergrößerung, *d* bei schwächerer Vergrößerung.
B Bindegewebszellen, *E* Eizellen, *Eh* Eihügel, *F* Follikelepithel, *Fl* Flüssigkeit in der Follikelhöhle, *O* Oberfläche eines Eierstocks

Eizelle schließlich in mehreren Schichten. Damit ist aus dem Primärfollikel ein *Sekundärfollikel* geworden (Abb. 91 b). Während der Geschlechtsreife entwickelt sich ein Teil der Sekundärfollikel zu *Tertiärfollikeln (Graafscher Follikel)* weiter (Abb. 91 c). Um den Tertiärfollikel bildet sich eine bindegewebige Hülle. Im Follikelepithel entsteht ein Hohlraum, der von Flüssigkeit erfüllt ist. Das Ei liegt, nur von wenigen Lagen des Follikelepithels umgeben, an der Innenwand dieses Hohlraums. Die Eizelle selbst ist inzwischen ebenfalls weitergewachsen. Man kann in ihr nunmehr Plasma, einen größeren Kern und das Kernkörperchen deutlich erkennen. Der Durchmesser eines reifen Tertiärfollikels beträgt bis 20 mm. Er liegt direkt unter der Oberfläche des Ovars und wölbt dieses vor. Die Tertiärfollikel bilden ein Hormon, das *Follikelhormon*, das die Wachstumsphase der Uterusschleimhaut steuert. Ein Teil der Tertiärfollikel bildet sich zurück. Von den über 100000 angelegten Follikeln gelangen nur etwa 400 zur vollen Reife.

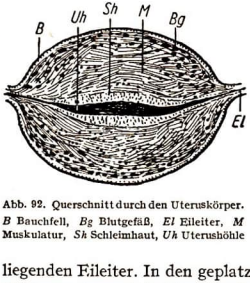


Abb. 92. Querschnitt durch den Uteruskörper.
B Bauchfell, *Bg* Blutgefäß, *El* Eileiter, *M* Muskulatur, *Sh* Schleimhaut, *Uh* Uterushöhle

Etwa alle vier Wochen platzt in einem der Eierstöcke der jeweils reifste der Tertiärfollikel, wobei das Follikelepithel und die Bindegewebsschicht zerrissen werden *(Follikelsprung)*. Die unter hohem Druck stehende Flüssigkeit spült das von wenigen Follikelepithelzellen umgebene Ei hinaus in den anliegenden Eileiter. In den geplatzten Follikel hinein wuchern Follikelepithelzellen, Bindegewebe und Gefäße. Das Follikelepithel belädt sich mit einem gelben Farbstoff. Dadurch ist der geplatzte Follikel zum *Gelbkörper* geworden. Er bildet ein Hormon, das *Gelbkörperhormon*, das die Sekretionsphase der Uterusschleimhaut steuert. Wird das ausgestoßene Ei nicht befruchtet, so bildet sich der Gelbkörper etwa 12 Tage nach dem Follikelsprung durch Schrumpfung und Verfettung all-

mählich zurück. Wird das Ei dagegen befruchtet, so bleibt der Gelbkörper bis in die zweite Hälfte der Schwangerschaft hinein erhalten. Das Gelbkörperhormon verhindert, daß sprungreife Follikel heranreifen und daß der wachsende Embryo ausgestoßen wird.

Die *Eileiter* sind etwa 10 bis 12 cm lange schlauchförmige Organe. Ein Ende ragt frei in die Bauchhöhle, das andere Ende führt in den Hohlraum des Uterus (Abb. 90 und 92). Jeder Eileiter ist durch eine Bauchfellfalte an der Bauchwand befestigt. Das in die Bauchhöhle hineinragende Ende der Eileiter ist gelappt. Zur Zeit des Follikelsprungs legen sich diese Lappen trichterartig auf das Ovar, so daß das ausgestoßene Ei statt in die Bauchfellhöhle direkt in den Eileiter gelangt (Abb. 90 rechts).

Das Innere der Eileiter ist mit *Flimmerepithel* ausgekleidet. Durch den Flimmerstrom und peristaltische Bewegungen des Eileiters wird das Ei zum *Uterus* weitergeleitet.

Das dicke obere Ende des Uterus bezeichnet man als Uteruskörper, das dünnere untere Ende als den Uterushals. Der Uterushals ragt in die Vagina (Scheide) hinein.

Vom Beginn der Geschlechtsreife bis zum Alter von etwa 45 Jahren macht die Schleimhaut des Uterus periodische Veränderungen durch. Jede dieser Perioden besteht aus drei Abschnitten: dem Abstoßungsstadium, dem Wachstumsstadium und dem Sekretionsstadium. Wird das vom Ovar abgegebene Ei nicht befruchtet, so stoßen sich etwa 14 Tage nach dem Follikelsprung die oberflächlichen Schichten der Uterusschleimhaut ab *(Abstoßungsstadium*, Abb. 93*)*. Dadurch entsteht eine Blutung. Das mit Stücken der Schleimhaut vermischte Blut gerinnt nicht, sondern fließt durch den Uterushalskanal in die Scheide ab. Diesen Vorgang

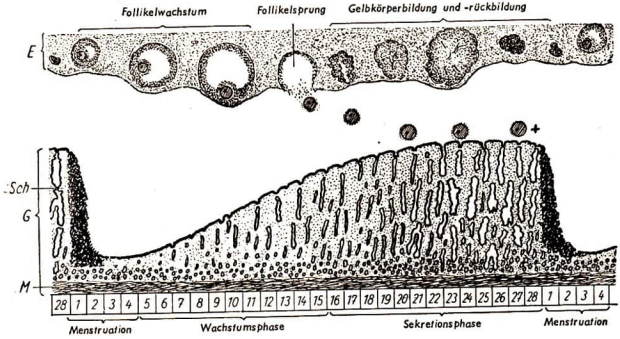


Abb. 93. Menstruationszyklus. Veränderungen im Eierstock (oben) und an der Uterusschleimhaut. *E* Eierstock, *G* Gebärmutterwand, *M* Muskulatur, *Sch* Schleimhaut

bezeichnet man als Menstruation oder Periode. Die *Menstruation* dauert etwa 3 bis 5 Tage, dann wächst die Schleimhaut unter dem Einfluß des Follikelhormons wieder zu ihrer ursprünglichen Dicke heran *(Wachstumsstadium)*. Die Bildung des Follikelhormons wird durch ein Hormon der Hypophyse (Hirnanhangdrüse) gesteuert. Nach dem Follikelsprung, der jeweils etwa in die Mitte zwischen zwei Menstruationen fällt, bildet sich der Gelbkörper (s. S. 126), und die Uterusschleimhaut steht nunmehr unter dem Einfluß des Gelbkörperhormons. Das geschieht also etwa 14 Tage nach Beginn der Menstruation. Unter dem Einfluß des Gelbkörperhormons, dessen Bildung ebenfalls durch ein Hormon der Hypophyse gesteuert wird, füllt sich die Uterusschleimhaut mit Nahrungsstoffen und Blut und wird dadurch zur Aufnahme eines befruchteten Eies bereit. Die Drüsen in der Uterusschleimhaut beginnen ein Sekret abzusondern *(Sekretionsstadium)*. Wird das Ei befruchtet, so kann es sich in die im Sekretionsstadium befindliche Schleimhaut einbetten. Bleibt das Ei dagegen unbefruchtet, so stößt sich die Schleimhaut nach weiteren 14 Tagen wieder ab, der Gelbkörper wird rückgebildet, und die periodischen Veränderungen der Schleimhaut beginnen von neuem. Die erste Menstruation zeigt den Eintritt der Geschlechtsreife an. Sie tritt zwischen dem 12. und 15. Lebensjahr ein.

b) Männliche Geschlechtsorgane

Zu den männlichen Geschlechtsorganen gehören die paarigen Hoden und Nebenhoden, die ebenfalls paarigen Samenleiter und Bläschendrüsen sowie die Vorsteherdrüse. Die *Hoden*, die männlichen Keimdrüsen (Abb. 94), sind Organe von etwa 3 bis 5 cm Länge, die durch eine bindegewebige Scheidewand voneinander getrennt im Hodensack liegen. Die Hoden bestehen aus einem bindegewebigen Gerüst, in

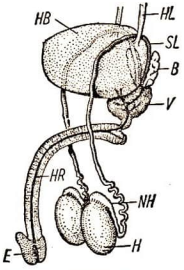


Abb. 94. Männliche Harn- und Geschlechtsorgane.
B Bläschendrüse, *E* Eichel, *H* Hoden, *HB* Harnblase, *HL* Harnleiter, *HR* Harn- und Samenröhre, *NH* Nebenhoden, *SL* Samenleiter, *V* Vorsteherdrüse

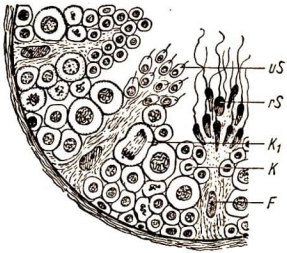


Abb. 95. Schnitt durch die Wand eines Hodenkanälchens.
F Fußzelle, *K* Keimzelle, K_1 Keimzelle in Teilung, *rS* reifer Samenfaden, *uS* unreifer Samenfaden

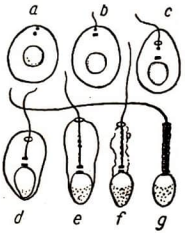


Abb. 96. Entwicklung einer Samenzelle zum Samenfaden

dem eine große Menge kleiner, gewundener Hodenkanälchen verlaufen. In der Wand der *Hodenkanälchen* findet man zweierlei Arten von Zellen, die *Samenzellen* und die *Fußzellen* (Abb. 95). Von der Geschlechtsreife an bildet sich dauernd ein Teil der Samenzellen zu *Samenfäden* (Abb. 96) um. Die Samenfäden werden in die Lichtung des Hodenkanälchens hinein abgestoßen. Die Fußzellen dienen wahrscheinlich der Ernährung der reifenden Samenzellen und der Produktion der männlichen Geschlechtshormone. Die Hodenkanälchen vereinigen sich im *Nebenhoden*, einem dem Hoden unmittelbar anliegenden kleinen Organ, zum Nebenhodengang. Der Nebenhodengang setzt sich in den *Samenleiter* (Abb. 94) fort. Die Samenleiter ziehen durch den rechten und den linken Leistenkanal in das kleine Becken (s. S. 20) und münden hier unterhalb der Blase in die Harnröhre. An der Einmündungsstelle der Samenleiter liegt die *Vorsteherdrüse* (Prostata, Abb. 94), durch die die Samenleiter in ihrem letzten Abschnitt hindurchziehen. Sie hat etwa die Form und Größe einer Kastanie und besteht aus 30 bis 50 kleinen Einzeldrüsen, die ein flüssiges Sekret absondern. Die Ausführungsgänge der Einzeldrüsen münden in die hintere Wand der Harnröhre. Der Vorsteherdrüse liegen noch zwei kleine Drüsen, die Bläschendrüsen (Abb. 94), unmittelbar an. Sie münden in den letzten Abschnitt des Samenleiters. Die Bläschendrüsen sondern ähnlich wie die Vorsteherdrüse ein flüssiges Sekret ab.

Der *Samen (Sperma)* besteht aus Samenflüssigkeit und *Samenfäden (Spermien)*. Die Samenflüssigkeit entsteht durch Mischung der Sekrete von Nebenhoden, Bläschendrüsen und Vorsteherdrüse. Die Samenfäden entwickeln sich aus den Samenzellen. Diese sind diploid, das heißt, sie besitzen zwei Chromosomensätze. Beim Menschen besteht jeder Chromosomensatz aus 24 Chromosomen. Durch zwei aufeinanderfolgende Reifeteilungen entstehen vier Samenfäden. Diese sind haploid, das heißt, sie besitzen nur einen Chromosomensatz. Die Samenfäden (Abb. 97) sind eigenbewegliche Zellen von 0,06 mm Länge. Man kann an ihnen Kopf, Mittelstück und Schwanz unterscheiden. Der Kopf besteht aus dem Kern und einem Teil des Plasmas der umgebildeten Keimzelle. Im Mittelstück befinden sich die Zentralkörperchen. Durch schlängelnde Bewegung des Schwanzes bewegen sich die Samenfäden vorwärts. Der Samen wird durch die Harnröhre entleert. Die Harnröhre ist zu ihrem größeren Teil beim Manne also zugleich der Endabschnitt der samenleitenden Wege.

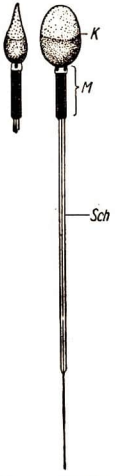


Abb. 97. Reifer Samenfaden, links von der Kante, rechts von der Fläche
K Kopf, *M* Mittelstück, *Sch* Schwanz

c) Die Geschlechtskrankheiten

Als Geschlechtskrankheiten bezeichnet man eine Gruppe sehr verschiedenartiger Infektionskrankheiten, die lediglich darin übereinstimmen, daß sie meist durch den Geschlechtsverkehr übertragen werden. Die wichtigsten Geschlechtskrankheiten sind die Gonorrhoe und die Syphilis.

Gonorrhoe. Die Gonorrhoe wird durch die zu den Kugelbakterien gehörenden *Gonokokken* hervorgerufen. Diese wurden im Jahre 1879 von Albert Neißer entdeckt. Gelangen die Gonokokken auf die Schleimhaut der Harnröhre oder des Uterushalses, so rufen sie hier nach einer Inkubationszeit (Entwicklungszeit einer Krankheit von der Ansteckung bis zu ihrem Ausbruch) von ein bis drei Tagen eine Entzündung hervor. Die Entzündung der Harnröhre macht sich durch eitrigen Ausfluß aus der Harnröhre und brennende Schmerzen beim Harnlassen bemerkbar. Da durch die Fortschritte der modernen Medizin die Gonorrhoe bei frühzeitiger Behandlung in verhältnismäßig kurzer Zeit sicher zur Ausheilung gebracht werden kann, soll beim geringsten Verdacht auf eine Erkrankung sofort der Arzt aufgesucht werden. Dadurch lassen sich die früher so häufigen *Komplikationen* der Gonorrhoe des Mannes (Nebenhodenentzündung und als deren Folge dauernde Unfruchtbarkeit, Vorsteherdrüsenentzündung, Gelenkentzündungen, Herzinnenhautentzündung usw.) heute meist vermeiden.

Bei der Frau ist die akute Gonorrhoe des Uterushalses nicht schmerzhaft. Der nach der Ansteckung auftretende gelblich-eitrige Ausfluß bleibt häufig für längere Zeit das einzige Symptom und wird nicht immer genügend beachtet. Nur wenn auch die weibliche Harnröhre befallen ist, treten wie beim Mann brennende Schmerzen beim Harnlassen auf. Ohne Behandlung kommt es jedoch meist nach einiger Zeit vom infizierten Uterushals aus zu einer Verbreitung der Gonokokken in die Uterushöhle, in die Eileiter und seltener auch in die Eierstöcke. Die gonorrhoischen Entzündungen von Uterus, Eileiter und Eierstöcken führen zu erheblichen Schmerzen, oftmals auch zu Fieber. Da die Eileiter sich in die freie Bauchhöhle hinein öffnen (s. S. 109), kann es weiterhin von den Eileitern aus zu einer Entzündung des Bauchfells kommen. Auch bei einer ausgedehnten gonorrhoischen Entzündung ist mit den modernen Mitteln der Medizin (insbesondere mit Penicillin) die Entzündung zum Abklingen zu bringen. Oftmals bleiben jedoch nicht wieder rückgängig zu machende *Veränderungen* zurück. Die Lichtung der Eileiter kann durch die Entzündung verkleben und zur Unfruchtbarkeit führen. Durch die Bauchfellentzündung kann es zu Verwachsungen zwischen den Darmschlingen kommen, die starke Schmerzen im Leib verursachen. Um derartige Folgen zu verhüten, sollte bei jedem verdächtigen Ausfluß sofort ein Arzt zu Rate gezogen werden.

Syphilis. Der Erreger der Syphilis *(Spirochaeta pallida)* wurde im Jahre 1905 von Fritz Schaudinn und Erich Hoffmann entdeckt. Die Spirochaeten sind etwa 0,01 mm lange, vielfach spiralig gewundene und sich lebhaft bewegende kernlose Lebewesen. Sie können durch mikroskopisch kleine Verletzungen der Haut und durch Schleimhäute in den Körper eindringen. An der Eintrittspforte entwickelt sich im allgemeinen nach etwa zwei bis vier Wochen ein linsen- bis pfenniggroßes

hartes Knötchen von rundlicher oder ovaler Gestalt und braunroter Farbe. Die oberste Schicht des Knötchens kann zerfallen, so daß ein Geschwür entsteht, aus dem eine stark spirochaetenhaltige wäßrige Flüssigkeit abgesondert wird. Dieses Knötchen beziehungsweise das Geschwür bezeichnet man als den *Primäraffekt.* Mit dem Auftreten des Primäraffektes schwellen die Lymphdrüsen der betreffenden Körperregionen an. Die Spirochaeten veranlassen den Körper zur Bildung von spezifischen Antikörpern, deren Vorhandensein man etwa fünf bis sechs Wochen nach der Infektion im Blut durch die Wassermannsche Reaktion und andere Untersuchungsmethoden feststellen kann. Nach einiger Zeit heilt zwar der Primäraffekt auch ohne Behandlung wieder ab, die Spirochaeten haben sich jedoch im Körper ausgebreitet und vermehrt. Da der Primäraffekt sowohl beim Mann als auch bei der Frau schmerzlos verläuft, besteht die Gefahr, daß er übersehen oder nicht beachtet wird. Gerade im ersten Stadium sind jedoch die Aussichten für eine schnelle und sichere Heilung am günstigsten.
Die Behandlung erfolgt heute mit Neo-Arsoluin, Wismut und Penicillin. Neo-Arsoluin ist eine Weiterentwicklung des Salvarsans, einer Arsenverbindung, die im Jahre 1910 von Paul Ehrlich dargestellt wurde. Salvarsan war das erste Heilmittel gegen Syphilis, das zugleich verhältnismäßig ungefährlich und sehr wirksam war. Seine Einführung ließ die Heilungserfolge bei Syphilis sprunghaft ansteigen. Durch Wismut wird die Wirkung des Neo-Arsoluins unterstützt. Setzt die Behandlung der Syphilis nicht schon in ihrem ersten Stadium, dem Stadium des Primäraffekts, ein, so entwickeln sich noch ein *zweites* und ein *drittes Stadium* der syphilitischen Infektion.
Das zweite Stadium ist vor allem durch allgemeines Krankheitsgefühl, Fieber und krankhafte Veränderungen an der Haut und den Schleimhäuten gekennzeichnet. Es kommt zu einem Hautausschlag in Form von Flecken, Knötchen oder Bläschen. Selten treten schon im zweiten Stadium Erkrankungen der inneren Organe auf. Diese finden sich vielmehr neben ausgedehnten Geschwürbildungen der Haut vor allem im dritten Stadium der Syphilis. Zwischen dem zweiten und dritten Stadium der Syphilis vergehen mehrere Jahre ohne syphilitische Erscheinungen. Der Kranke ist während dieser Zeit scheinbar gesund. Als Spätform der Syphilis kann auch das Nervensystem in Form der *Tabes,* einer Rückenmarkskrankheit, oder der *Paralyse,* einer Gehirnkrankheit, syphilitisch erkranken.

Weicher Schanker. Der weiche Schanker ist eine sehr viel seltenere Geschlechtskrankheit als die Gonorrhoe und die Syphilis. Er wird durch eine stabförmige Bakterienart hervorgerufen. An der Eintrittsstelle der Bakterien in den Körper entstehen nach etwa zwei bis drei Tagen schmerzhafte, entzündlich gerötete Geschwüre. Im Gegensatz zur Syphilis kommt es häufig zu eitriger Einschmelzung der regionären Lymphknoten, dagegen niemals zu einer allgemeinen Infektion des Körpers. Der weiche Schanker ist durch Sulfonamide oder Penicillin sicher heilbar.

Neben der Tuberkulose gehören besonders die Geschlechtskrankheiten zu den sozial bedingten Krankheiten. Für ihre Ausbreitung sind die gesellschaft-

lichen Verhältnisse ausschlaggebend. So sahen wir in Deutschland ein starkes Ansteigen der Geschlechtskrankheiten während des ersten und des zweiten Weltkrieges.

Kennzeichnend für die gesellschaftliche Bedingtheit der Geschlechtskrankheiten ist das Absinken der Zahl der Erkrankungen nach dem zweiten Weltkrieg in der Deutschen Demokratischen Republik. Durch die sich ständig verbessernden sozialen Verhältnisse und die vom Staat organisierte Bekämpfung lag die Zahl der Erkrankungen bereits 1950 unter der der Vorkriegszeit. Die Gründe dafür sind in der sozialen Ordnung der Deutschen Demokratischen Republik zu finden, die jedem Menschen eine gesicherte Existenz bietet.

F. ONTOGENETISCHE ENTWICKLUNG DES MENSCHEN

I. Befruchtung und erste Entwicklung des Keimes

Befruchtung. Die Entwicklung eines neuen Lebewesens beginnt beim Menschen ebenso wie bei allen sich zweigeschlechtig vermehrenden Tieren und Pflanzen im Anschluß an die Befruchtung, das heißt an die Vereinigung der männlichen Samenzelle mit der weiblichen Eizelle. Die Befruchtung des menschlichen Eies ist noch nicht beobachtet worden. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß sie in ähnlicher Weise erfolgt, wie man es bei Säugetiereiern beobachtet hat. Die Befruchtung findet meist im Eileiter statt. Dorthin gelangt das noch von einigen Follikelzellen umgebene Ei nach dem Follikelsprung (s. S. 108). Die Spermien wandern durch schlängelnde Bewegung ihres Schwanzes aktiv durch den Uterus in die Eileiter. Durch die alkalischen Sekrete des Uterushalses wird die Eigenbeweglichkeit der Spermien gesteigert.

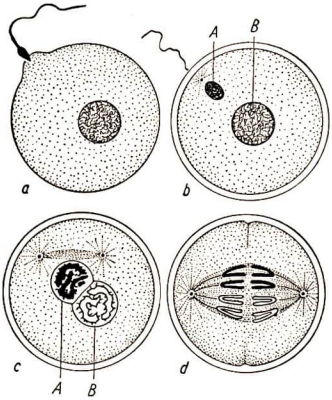


Abb. 98. Schema der Befruchtung. *a* Auftreffen des Samenfadens auf das Ei, *b* Eindringen von Kopf und Zwischenstück des Samenfadens und Aufquellung des Kopfes, *c* Beginn der Verschmelzung, *d* erste Teilung des befruchteten Eies.

A Kopf des Samenfadens, *B* Kern der Eizelle.

Der erste sich der Eizelle nähernde Samenfaden durchdringt deren Schutzhülle (Abb. 98a). Kopf und Mittelstück des Samenfadens gelangen in das Innere der Eizelle, der Schwanz wird meist abgestoßen (Abb. 98b). Der haploide Kern im Kopf der Samenzelle und der haploide Kern der Eizelle verschmel-

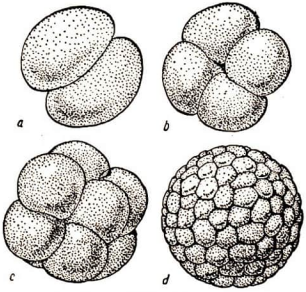


Abb. 99. Furchung der befruchteten Eizelle.
a Zweizellenstadium, *b* Vierzellenstadium, *c* Achtzellenstadium, *d* Morula

zen miteinander zum diploiden Kern der befruchteten Eizelle (Abb. 98c). Auch das Plasma von Ei- und Samenzelle vereinigt sich. An die Befruchtung schließt sich unmittelbar eine Zellteilung an, welche die Keimesentwicklung einleitet (Abb. 98d).

Furchung. Durch die Teilungen der Eizelle, die äußerlich als Furchung des Eies in Erscheinung treten, entsteht ein Zellhaufen, den man wegen seiner Ähnlichkeit mit einer Maulbeere *Morula* genannt hat (Abb. 99d). Die bei jeder Teilung entstehenden Tochterzellen sind nur halb so groß wie die Ausgangszellen, so daß die Morula nicht größer als die befruchtete Eizelle ist.

Zwillinge. Bei Beginn der Entwicklung der befruchteten Eizelle können sich eine oder mehrere Zellen von den anderen Zellen absondern. Dadurch entstehen zwei Zellen beziehungsweise zwei Zellhaufen, die sich zu zwei gesonderten Keimlingen weiterentwickeln können. Da die beiden Keimlinge ursprünglich aus einem Ei hervorgegangen sind, be-

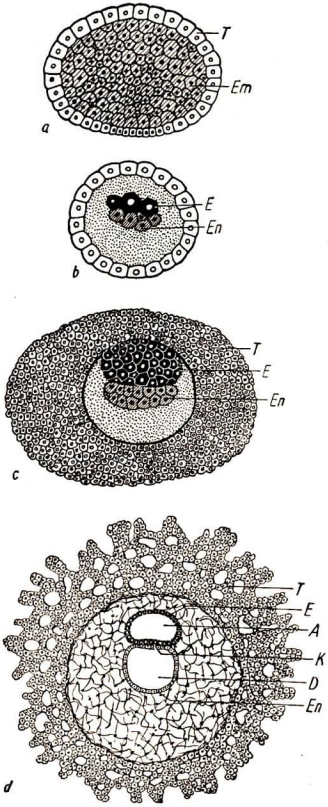


Abb. 100. Schnitte durch junge menschliche Keimlinge (schematisch). *a* Differenzierung von Trophoblasten und Embryoblasten, *b* Differenzierung von Entoderm und Ektoderm, *c* Wucherung der Trophoblastschicht, *d* Bildung von Amnionhöhle und Dottersackhöhle.
A Amnionhöhle, *D* Dottersackhöhle, *E* Ektoderm, *En* Entoderm, *Em* Embryoblast, *K* Keimschild, *T* Trophoblast

zeichnet man sie als eineiige Zwillinge. Zwillinge können jedoch auch auf eine andere Art entstehen. In seltenen Fällen können im Eierstock der Mutter zur gleichen Zeit zwei Tertiärfollikel reifen und springen. Werden die beiden ausgestoßenen Eizellen befruchtet, so entwickeln sich aus ihnen zwei Keimlinge. Da sie aus zwei verschiedenen Eiern hervorgegangen sind, bezeichnet man sie als zweieiige Zwillinge.
Nach umfassenden statistischen Untersuchungen kommt ungefähr auf je 80 Geburten eine Zwillingsgeburt.

Gastrulation und Bildung der Eihäute. Die Zellen der Morula entwickeln sich in unterschiedlicher Weise weiter. Es entsteht eine äußere epithelartige Zellschicht, *der Trophoblast*, und ein innerer Zellhaufen, *der Embryoblast* (Abb. 100a). Der Raum zwischen beiden füllt sich mit locker angeordneten Zellen an. Diese Differenzierung entspricht nicht der Gastrulation; die verschiedenen Keimblätter entwickeln sich erst später aus den Zellen des Embryoblasten.
Während des Furchungsvorganges wird die Eizelle vom Flimmerepithel des Eileiters in die Uterushöhle befördert. Wenn sich Trophoblast und Embryoblast gebildet haben, etwa 10 Tage nach der Befruchtung, nistet sich das Ei in die Uterusschleimhaut ein (Abb. 101a). Die Einnistung erfolgt durch vom Trophoblasten ausgeschiedene eiweißspaltende Fermente, die die Uterusschleimhaut an einer Stelle auflösen. Die Morula liegt schließlich vollständig in der Schleimhaut des Uterus. Der Keimling entwickelt sich jetzt sehr rasch weiter; die Zellen des Embryoblasten differenzieren sich in Ektoderm- und Entodermzellen (Abb. 100b); der Trophoblast wird mehrschichtig (Abb. 100c). Im Ektoderm bildet sich ein Hohlraum, den man als *Amnionhöhle* (Abb. 100d) bezeichnet. Aus dem Dach der Amnionhöhle entwickelt sich die innere Eihaut, das *Amnion*. Das Entoderm bildet ebenfalls eine Höhle, den *Dottersack*. Er ist mit dem Dotter gefüllt, der bei der weiteren Entwicklung des Keimlings aufgebraucht wird. Der Boden der Amnionhöhle und zugleich das Dach des Dottersackes werden von einer doppelten Lage von Epithelzellen, *dem Keimschild*, gebildet. Der Keimschild ist die eigentliche Anlage des Keimlings. Am Keimschild wird schon frühzeitig eine Gliederung erkennbar. Im Mittelbezirk verdickt sich der Keimschild und treibt eine schlauchförmige Wucherung nach vorn zwischen die beiden Epithellagen. Diese Bildung heißt *Kopffortsatz*. Er liefert die Chordaanlage und das Mesoderm.
Die Bildung der Keimblätter nennt man Gastrulation. Sie weicht beim Menschen und bei den Säugetieren stark von dem Gastrulationsvorgang der niederen Tiere ab (s. Lehrbuch der Biologie f. d. 10. Schulj., S. 123 bis 124). In der menschlichen Keimesentwicklung tritt weder ein Blasen- noch ein deutlicher Becherkeim auf. Dennoch finden wir auch beim menschlichen Keimling viele Formen (Einzelzelle, Morula, Differenzierung von zwei, später von drei Keimblättern), die sich in ähnlicher Weise bei der Keimesentwicklung aller Tiere finden.
Aus dem Trophoblasten entwickelt sich die äußere Eihaut, das *Chorion*, sowie die Plazenta (Abb. 101b). Die *Plazenta* entsteht dadurch, daß das Chorionepithel

auf der der Uterusschleimhaut zugekehrten Seite zu wuchern beginnt und sich in Form von Zotten in die Uteruswand einsenkt (Abb. 101 b). Dabei werden Gefäße der Uterusschleimhaut eröffnet; ihr Blut strömt in die zwischen den

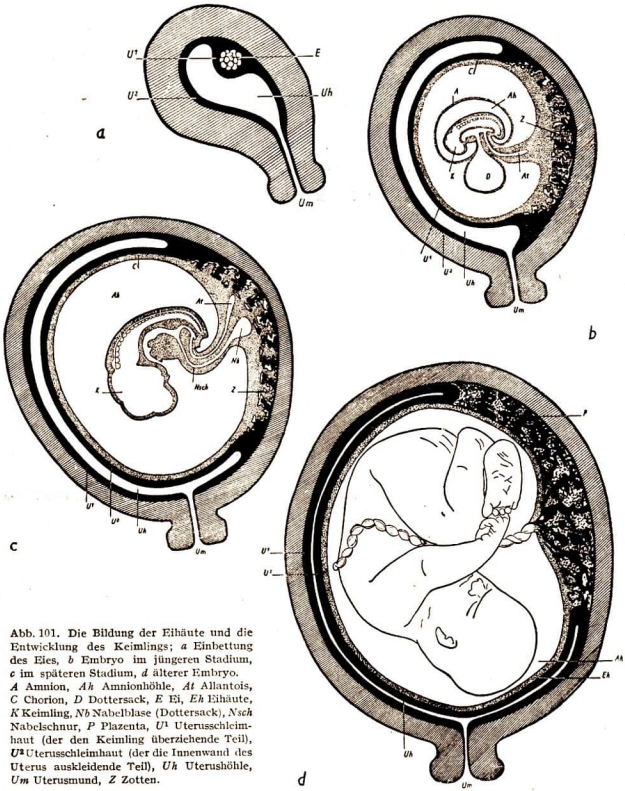


Abb. 101. Die Bildung der Eihäute und die Entwicklung des Keimlings; *a* Einbettung des Eies, *b* Embryo im jüngeren Stadium, *c* im späteren Stadium, *d* älterer Embryo. *A* Amnion, *Ah* Amnionhöhle, *At* Allantois, *C* Chorion, *D* Dottersack, *E* Ei, *Eh* Eihäute, *K* Keimling, *Nb* Nabelblase (Dottersack), *Nsch* Nabelschnur, *P* Plazenta, U^1 Uterusschleimhaut (der den Keimling überziehende Teil), U^2 Uterusschleimhaut (der die Innenwand des Uterus auskleidende Teil), *Uh* Uterushöhle, *Um* Uterusmund, *Z* Zotten.

Zotten gelegenen Räume aus. Durch die Wand der Zotten hindurch erfolgt der Austausch von Nährstoffen, Sauerstoff, Schlackenstoffen und Kohlendioxyd.

Die Amnionhöhle vergrößert sich immer mehr und umschließt schließlich allseitig den Keimling (Abb. 101 c). Nur an derjenigen Stelle des Chorions, von der aus sich die Plazenta entwickelt, bleibt eine Verbindung des Keimlings mit dem Chorion, der *Haftstiel*, bestehen. In den Haftstiel ist eine blasenförmige Ausstülpung des Entoderms, der embryonale Harnsack *(Allantois)* hineingewachsen. Der Hohlraum der Amnionhöhle füllt sich mit Flüssigkeit, dem Fruchtwasser, das den Embryo von allen Seiten während seiner weiteren Entwicklung umgibt (Abb. 101 d). Der Keimling wird dadurch gegen Druck und Stoß geschützt.

Der Inhalt des Dottersacks ist inzwischen aufgebraucht. Die Wände des Dottersacks werden zu Teilen des Haftstieles, der sich nunmehr zur *Nabelschnur* weiterentwickelt.

Im Ektoderm des Keimschilds bildet sich die *Neuralplatte* (Abb. 102 a). Sie senkt sich als Neuralrinne (Abb. 102 b) ein und schließt sich später zum Neuralrohr (Abb. 102 c). Aus dem übrigen Epithel des Ektoderms entsteht die Epidermis der Haut. Aus dem Mesoderm bilden sich hintereinanderliegende Säckchen aus Zellanhäufungen, die Ursegmente, aus denen Zellen zur Bildung von mesodermalen Organen auswandern (Abbildung 102). Aus dem Entoderm entwickelt sich das Epithel des Magen-Darm-Kanals.

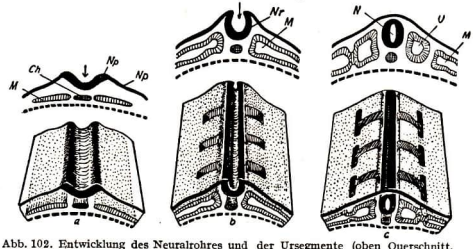


Abb. 102. Entwicklung des Neuralrohres und der Ursegmente (oben Querschnitt, unten Schrägaufsicht);
a Stadium der Neuralplatte, *b* Stadium der Neuralrinne, *c* Stadium des Neuralrohrs. *Ch* Chorda dorsalis, *M* Mesoderm, *N* Neuralrohr, *Np* Neuralplatte, *Nr* Neuralrinne, *U* Ursegmente

II. Entwicklung des Keimlings nach Ausbildung der Keimblätter

Am Kopfteil des Embryos sind schon in der dritten Woche der Entwicklung seitlich blasenartige Vorwölbungen erkennbar, die Anlagen der Augen. Hinter dem Kopf sind, ähnlich wie bei den Embryonen aller Wirbeltiere, Kiemenbögen angelegt. Bei den Fischen entwickeln sie sich zu den knorpeligen oder knöchernen Kiemenbögen, beim Menschen und den luftatmenden Wirbeltieren bilden sie sich zurück. Die sich bei allen Wirbeltieren entwickelnden Kiemenanlagen deuten auf einen gemeinsamen stammesgeschichtlichen Ursprung aller Wirbeltiere hin. Am Hinterende des Keimlings hat sich ein Schwanz ausgebildet.

Die Chorda dorsalis bildet die Achse des sich in der fünften Woche entwickelnden reinen Knorpelskeletts. Es wird erst allmählich durch ein knöchernes Skelett ersetzt.
Im Verlauf des zweiten Entwicklungsmonats bilden sich die Anlagen der Gliedmaßen. Im dritten Monat rücken die Augen gegen die Nasenwurzel und stellen sich dadurch parallel zueinander. Der Schwanz bildet sich zurück.
Im vierten Entwicklungsmonat sind die Geschlechtsunterschiede deutlich ausgeprägt. Die bis dahin durch einen Epithelpfropf verschlossenen Nasenlöcher öffnen sich. Der Embryo hat zu dieser Zeit eine Länge von etwa 16 cm und ein Gewicht von etwa 100 g. Im fünften und sechsten Schwangerschaftsmonat wächst der Keimling stark. Dabei wächst der Körper stärker als der zuerst relativ große Kopf. Der Körper des Embryos wird von einem zarten Haarflaum überzogen, dessen Reste bisweilen noch bei der Geburt vorhanden sind. Die Muskeln haben sich zu einer solchen Stärke entwickelt, daß die Bewegungen des Kindes von der Mutter gespürt werden. Vom Ende des fünften Monats an sind die Herztöne durch die Bauchdecke der Mutter hindurch hörbar.
Im siebenten, achten und neunten Monat erfolgt die weitere Ausreifung der Organe. Am Ende des neunten Schwangerschaftsmonats ist das Kind etwa 50 cm groß und 3000 bis 3500 g schwer.
In den verschiedenen Stadien der Entwicklung des menschlichen Embryos treten Merkmale auf, die sich in ähnlicher Weise in der Entwicklung anderer Wirbeltiere finden. Die Anlagen des Schwanzes, des knorpeligen Skeletts, der Kiemen und Kiemenbögen sowie des über den ganzen Körper ziehenden Haarflaums weisen auf die Abstammung des Menschen von tierischen Vorfahren hin. Die Zusammenhänge zwischen Keimesentwicklung und stammesgeschichtlicher Entwicklung hat der deutsche Zoologe Ernst Haeckel als erster formuliert: „Die Keimesgeschichte eines jeden Lebewesens ist eine kurze Wiederholung seiner stammesgeschichtlichen Entwicklung."

III. Bildung der Organe

Da das Epithelgewebe die anatomischen und funktionellen Besonderheiten vieler Organe bedingt, rechnet man entwicklungsgeschichtlich die Organe zu demjenigen Keimblatt, von dem ihre Epithelanlage abstammt. So entwickeln sich aus dem *Ektoderm* die Haut 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 mesodermaler Herkunft sind Knochen, Knorpel, glatte und quergestreifte Muskulatur, Blutzellen, Milz und das Urogenitalsystem. Aus dem *Entoderm* entwickeln sich die Verdauungs- und die Atmungsorgane.
Die *Epidermis* der Haut bildet sich aus dem Ektoderm. Im zweiten Monat wird die Epidermis zweischichtig, später mehrschichtig; vom fünften Monat an beginnt die Verhornung der äußeren Zellschichten. Die ersten Haarbildungen treten be-

reits im dritten Monat auf. Der Haarflaum, der später den ganzen Embryo überzieht, beginnt sich im vierten Monat auszubilden.

Die Entwicklung des *Nervensystems* beginnt bereits im ersten Keimlingsmonat mit der Bildung der Neuralplatte und später des Neuralrohres im Ektoderm. Am Vorderende des Neuralrohres entstehen fünf blasige Erweiterungen, die sich zu Abschnitten des *Gehirns* (Vorder-, Zwischen-, Mittel-, Hinter- und Nachhirn) ausbilden (Abb. 103). Aus dem Vorderhirnbläschen gehen das Riechhirn und die Großhirnrinde hervor. Aus dem Zwischenhirnbläschen stülpen sich die Anlagen der Augen, die *Augenbläschen*, aus. Aus jedem Augenbläschen entwickeln sich die Netzhaut mit ihrem Pigmentepithel und der Glaskörper. Durch die Augenblasenstiele, die Anlagen der Sehnerven, stehen die Augenanlagen mit dem Zwischenhirnbläschen in Verbindung. Die Anlagen der Augen und der Sehnerven sind also Ausstülpungen des Gehirns. An der Stelle, an der die Augenblase dem äußeren Keimblatt anliegt, bildet sich als Einstülpung des Ektoderms das Linsenbläschen. Es löst sich vom Ektoderm ab und entwickelt sich zur Linse. Die übrigen Teile des Auges stammen im wesentlichen vom mittleren Keimblatt ab.

Abb. 103. Anlage des Gehirns von einem jungen menschlichen Embryo.

A Augenbecherstiel, *E* Anlage der Epiphyse, *G* Anlage der Großhirnhemisphäre, *GN* Anlage von Gehirnnerven, *H* Anlage des Hinterhirns, *M* Anlage des Mittelhirns, *N* Anlage des Nachhirns, *R* Anlage des Rückenmarks, *Z* Anlage des Zwischenhirns

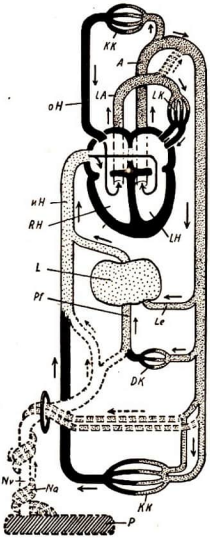
Ähnlich wie die Augen bilden sich auch die anderen Sinnesorgane aus einem ektodermalen und einem mesodermalen Anteil. Beim *Innenohr* ist das häutige Labyrinth mit den Sinnesepithelien ektodermalen Ursprungs, die anderen Teile entstammen dem Mesoderm. Die Gehörknöchelchen gehen aus dem Bindegewebe des 1. und 2. Kiemenbogens hervor. Die Fische, bei denen die Kiemenbögen zeitlebens bestehenbleiben, haben kein gesondert entwickeltes Gehörorgan und keine derartigen Gehörknöchelchen. — Der hintere Abschnitt des Neuralrohres entwickelt sich zum *Rückenmark*. Der Hohlraum des Neuralrohres wird zu den Gehirnkammern und dem Zentralkanal des Rückenmarks.

Die erste Anlage des *Skeletts*, die Chorda, bildet sich aus dem Kopffortsatz des Embryonalschildes. Bindegewebe aus den Ursegmenten, die sich durch seitliche Abschnürungen vom Mesodermgewebe gebildet haben, umgibt die Chorda und bildet die Wirbel. Seitlich von der Wirbelsäule entwickeln sich Rippen aus Zellmaterial, das ebenfalls aus den Ursegmenten stammt. Aus den Ursegmenten entwickelt sich weiterhin die quergestreifte und glatte *Muskulatur*. Das Skelett der Gliedmaßen, die Lederhaut, das Bindegewebe des Körpers, die Blutgefäße und das Brust- und Bauchfell entstehen aus dem übrigen Mesodermgewebe.

Auch die *Harn- und Geschlechtsorgane* entstehen aus dem mittleren Keimblatt. Die Entwicklung der Harnorgane weist insofern eine Besonderheit auf, als sich beim Embryo nacheinander drei verschiedene jeweils paarige Nierenanlagen entwickeln: *Vorniere*, *Urniere* und *Nachniere*. Die Vorniere bildet sich bei männlichen und weiblichen Keimlingen wieder vollständig zurück. Die nach der Vorniere entstehende Urniere gewinnt Anschluß an den Ausführungsgang der Vor-

niere, der dadurch zum Urnierengang wird. Aus der Urniere geht beim Mann der Nebenhoden hervor, bei der Frau wird sie rudimentär. Aus dem Ausführungsgang der Urniere entstehen beim männlichen Embryo der Nebenhodengang, die Samenleiter und die Bläschendrüse. Aus einer Wucherung des Urnierenganges entwickeln sich die ableitenden Harnwege (Nierenbecken und Harnleiter). Neben dem Urnierengang entsteht ein zweiter Gang, der sich bei männlichen Keimlingen wieder völlig rückbildet. Bei weiblichen Keimlingen dagegen entstehen aus ihm die Eileiter, der Uterus und die Vagina. Aus der Nachniere entwickelt sich die bleibende Niere. Der größte Teil der Hoden beziehungsweise die Eierstöcke entwickeln sich unmittelbar aus mesodermalen Geweben.

Schon im Alter von zwölf Tagen setzt die Bildung von Blutgefäßen ein, zuerst im Chorion und im Haftstiel, wenig später auch im Keimschild. Die ersten Blutgefäßanlagen sind Zellstränge, die *Blutinseln*. Die äußeren Zellen der Blutinseln werden zur Gefäßwand. Die Zellen der Blutinseln sondern nach innen Flüssigkeit ab. Die inneren Zellen verlieren dadurch ihren Zusammenhang und schwimmen als primitive Blutzellen in der Flüssigkeit. Bei der weiteren Entwicklung verschmelzen mehrere solcher Blutinseln zu einem Blutgefäß. Schließlich vereinigen sich alle Blutgefäße zu einem primitiven Kreislauf. Ähnlich wie die Blutgefäße wird auch das Herz angelegt. Zu beiden Seiten der Darmanlage bildet sich je ein *Herzschlauch*. Beide Herzschläuche verschmelzen miteinander zu einem einheitlichen Gebilde, dem unpaaren Herzschlauch. In ihm bilden sich die Scheidewände und Segelklappen und damit Vorhöfe und Herzkammern aus. Die beiden Vorhöfe sind aber nicht von Beginn der Entwicklung an völlig getrennt, sondern lassen zunächst zwischen sich ein von Falten der Herzinnenhaut umgebenes Loch frei. Bei etwa einem Drittel aller Menschen bleibt das Loch, lediglich durch eine Falte verschlossen, zeitlebens bestehen; bei zwei Drittel der Menschen dagegen wächst es zwei bis vier Wochen nach der Geburt zu.



In den letzten Monaten vor der Geburt verläuft der Blutkreislauf des Embryos folgendermaßen (Abb. 104): das Blut des Embryos fließt durch die Nabelarterie in die Plazenta. Dort findet ein Stoffaustausch statt. Dann fließt es mit Sauerstoff und Nährstoffen beladen durch die Nabelvene zurück und wird teils direkt in die untere Hohlvene, teils in die Pfortader geleitet. In der unteren Hohlvene

Abb. 104. Der Blutkreislauf des Embryos (schematisch)

A Aorta, *DK* Darmkapillaren, *oH* obere Hohlvene, *uH* untere Hohlvene, *KK* Körperkapillaren, *L* Leber, *LA* Lungenarterie, *Le* Leberarterie, *LH* linke Herzkammer, *LK* Lungenkapillaren, *Na* Nabelarterien, *Nv* Nabelvene, *P* Plazenta, *Pf* Pfortader, *RH* rechte Herzkammer

und in der Pfortader mischt sich dieses arterielle Blut mit dem venösen Blut des Embryos. Durch die untere Hohlvene, in die auch das Blut aus der Pfortader gelangt, fließt das Mischblut in den rechten Vorhof. Hier mischt es sich auch mit dem venösen Blut der oberen Hohlvene. Der größere Teil des gemischten Blutes fließt durch das Loch zwischen beiden Vorhöfen in den linken Vorhof und weiter in die linke Herzkammer und den Körperkreislauf. Ein kleinerer Teil strömt in die rechte Herzkammer und von dort zum Teil durch eine nur während der embryonalen Entwicklung bestehende Gefäßverbindung (Ductus Botalli) in die Aorta, zum Teil in die Lungen. Da die Lungen noch nicht arbeiten, strömt das Blut aus ihnen ohne Anreicherung mit Sauerstoff durch die Lungenvenen in den linken Vorhof.

Aus dem Entoderm entwickeln sich das Epithel des Verdauungskanals und der Atemwege. Lediglich das vordere und hintere Ende des *Verdauungskanals*, das heißt das Epithel der Mundhöhle und des letzten Darmabschnittes, werden von Zellen des Ektoderms gebildet. Die glatte Muskulatur des Magens und des Darmes stammt aus dem Mesoderm.

Die *Atemwege* und die *Lungen* spalten sich vom vorderen Teil des Darmrohres ab. Das Epithel dieses Darmabschnittes bildet auf der Vorderseite eine Rinne (Lungenrinne) aus. Sie schnürt sich röhrenförmig ab und bildet die Anlage von Luftröhre und Kehlkopf. Am unteren Ende der Lungenrinne bilden sich zwei seitliche Aussackungen, die Lungenbläschen, aus denen sich die beiden Hauptbronchien und die Lungen entwickeln.

IV. Geburt

Im Verlauf der Schwangerschaft erzeugt die Plazenta Follikelhormon und Gelbkörperhormon in sehr beträchtlichen Mengen. Beide veranlassen die Milchdrüsen der Mutter zu stärkerer Ausbildung. Gegen Ende der Schwangerschaft sinkt der Gelbkörperhormonspiegel ab, während der Hormonspiegel des Follikelhormons im Blute ansteigt. Dadurch wird die Empfindlichkeit der Uterusmuskulatur gegen die verschiedenartigen Reize heraufgesetzt. Durch geringe Erregungen kommt es meistens in der 40. Schwangerschaftswoche, vielleicht unter dem Einfluß eines im Hypophysenhinterlappen gebildeten Hormons, zu Zusammenziehungen der Uterusmuskulatur, die von der Mutter als Wehen empfunden werden. Durch den Druck der Wehen zerreißen die Eihäute, und das Fruchtwasser der Amnionhöhle läuft aus. Durch weitere Wehen wird das Kind durch die sich langsam dehnenden Geburtswege, Uterushals und Vagina, ausgestoßen.

Während der ganzen Zeit 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 Neugeborenen trocknet innerhalb der ersten Lebenswoche nach der Geburt ein und wird abgestoßen. Die nach der Geburt des Kindes auftretenden Wehen lösen im Verlauf einiger Minuten die Plazenta und die Eihäute von der Uteruswand und treiben sie als Nachgeburt durch die Geburtswege nach außen.

Sofort nach der Geburt erfolgt der Gaswechsel in der Plazenta nur noch ungenügend. Im Blute des Kindes reichert sich Kohlendioxyd an; dadurch wird das Atem-

zentrum (s. S. 159) gereizt, und reflektorisch werden die ersten Atembewegungen des Kindes ausgelöst. Das macht sich durch einen ersten Schrei bemerkbar. Gleichzeitig mit dem ersten Schrei vollzieht sich auch eine Veränderung der Blutzirkulation. Die Lungen haben bei ihrer Dehnung eine große Blutmenge durch die Lungenarterien angesaugt. Dieses Blut gelangt über die Lungenvene in den linken Vorhof und erhöht den Blutdruck in ihm. Infolge dieser Blutdruckerhöhung werden die Falten der Herzinnenhaut auf die Öffnung zwischen rechter und linker Vorkammer (s. S. 121) gepreßt; die Öffnung wird dadurch verschlossen. Von nun an sind rechter und linker Vorhof und damit auch Körper- und Lungenkreislauf vollständig getrennt. Nabelarterie und -vene sowie die Arterienverbindung zwischen Lungenarterien und Aorta bilden sich im Laufe der ersten vier Wochen zurück.

Das Milchabsonderungshormon (Prolaktin) aus dem Hypophysenvorderlappen veranlaßt die Milchdrüsen zur Sekretion. Während der Schwangerschaft wird die Wirkung dieses Hormons durch die Mengen an Follikelhormon und Gelbkörperhormon gehemmt, die von der Plazenta gebildet werden. Infolge der Ausstoßung der Plazenta bei der Nachgeburt fällt diese Hemmung weg; das Milchabsonderungshormon kann dann seine Wirksamkeit voll entfalten.

Von dem Augenblick der Geburt an tritt das Kind in unmittelbare Beziehung zur Außenwelt. Es atmet, nimmt Nahrung zu sich und scheidet Abfallstoffe aus. Bei der Geburt wiegt das Kind etwa 3,3 kg, nach fünf Monaten hat es sein Gewicht verdoppelt, am Ende des ersten Lebensjahres verdreifacht. Es ist selbstverständlich, daß bei einem derartig schnellen Wachstum des Säuglings der Stoffwechsel außerordentlich hoch sein muß. Der Kalorienbedarf je Kilogramm Körpergewicht beim Säugling ist etwa dreimal höher als beim erwachsenen Menschen. Der hohe Stoffwechsel erfordert eine hohe Zufuhr von Nahrungsmitteln und Sauerstoff. Die Zahl der Atemzüge beträgt beim Neugeborenen etwa 40 je Minute. Sie sinkt im Laufe des ersten Jahres auf 20 bis 25. Die Zahl der Herzschläge in der Minute beträgt beim Embryo und Neugeborenen im Mittel 140. Sie vermindert sich bis zum zehnten Lebensjahre auf ungefähr 90.

G. INNERE SEKRETION

Während Virchow den Organismus als eine Summe von Zellen und Organen mit einem voneinander nahezu unabhängigen Eigenleben auffaßte, zeigten *Pawlow* und seine Schüler die Einheit des Organismus auf. Die Zellen und Organe stehen untereinander in Wechselbeziehungen, die in erster Linie durch die regulierende Tätigkeit des Nervensystems hergestellt werden. Außer durch das Nervensystem wird die Zusammenarbeit der Organe auch durch das Blut gesteuert. Jedes Organ sondert bestimmte Substanzen in das Blut ab, die für die Funktion anderer Organe wichtig sind. Wir haben bereits bei der Betrachtung des Blutkreislaufs und der Atmung die große Bedeutung des bei der Atmung entstehenden Kohlendioxyds kennengelernt. Das empfindliche Atemzentrum reagiert auf jede Veränderung des Kohlendioxydgehaltes im Blut: es wird durch chemische Reize gesteuert. Die

Darmschleimhaut bildet Sekretin (s. S. 63), das auf dem Blutwege die Tätigkeit der Bauchspeicheldrüse anregt. Die Bauchspeicheldrüse kann jedoch auch direkt durch das Nervensystem zur Sekretion veranlaßt werden.

Von besonderer Bedeutung für die Ausbildung und Funktion der Organe sind die *Hormone*. Sie werden von bestimmten Drüsen gebildet und in das Blut abgegeben (innere Sekretion). Die Drüsen mit innerer Sekretion besitzen im Gegensatz zu den Drüsen mit äußerer Sekretion keine Ausführungsgänge. Das von ihnen gebildete Sekret gelangt vielmehr aus den Drüsenzellen direkt in die Blutkapillaren. Hormone entfalten ihre Wirkung bereits in äußerst geringen Mengen. Die von der menschlichen Schilddrüse gebildete Hormonmenge beispielsweise wird auf 0,4 mg täglich geschätzt. In ihrer Wirksamkeit ähneln die Hormone zum Teil den Vitaminen. Im Gegensatz zu ihnen werden sie jedoch stets im Organismus selbst gebildet. Die Ähnlichkeit von Vitaminen und Hormonen zeigt sich auch darin, daß manche Vitamine Bausteine von Hormonen sind.

Die Wirkungsweise der einzelnen Hormone läßt sich an den Ausfallserscheinungen studieren.

Bei Tieren entfernte man experimentell hormonbildende Drüsen. Wird diesen Tieren nach der Entfernung einer Hormondrüse wieder Hormondrüsengewebe eingepflanzt, so gehen die Ausfallserscheinungen zurück. Durch Einpflanzung tierischen Drüsengewebes oder durch Verabreichung beziehungsweise durch Einspritzen von Drüsenextrakten oder chemisch dargestellten Hormonen können in vielen Fällen auch beim Menschen die Ausfallserscheinungen behoben werden.

Bei krankhaftem Wachstum von Hormondrüsen hat man Veränderungen beobachtet, die auf einer übermäßigen Produktion von Hormonen beruhen.

Zu den Drüsen mit innerer Sekretion gehören Schilddrüse, Nebenschilddrüsen, Langerhanssche Inseln in der Bauchspeicheldrüse, Nebennieren, Keimdrüsen und Hypophyse. Die Hormondrüsen beeinflussen sich wechselseitig in ihrer Tätigkeit.

Schilddrüse. Die Schilddrüse ist ein hufeisenförmiges, etwa 20 bis 30 g schweres Organ. Sie liegt vor der Luftröhre etwas unterhalb des Schildknorpels. Im Drüsengewebe findet man zahlreiche rundliche Bläschen, deren Wände von einem einschichtigen Epithel gebildet werden. Das Epithel scheidet in die Bläschen hinein eine eiweißreiche Flüssigkeit ab, in der das Hormon der Schilddrüse als *Thyreoglobulin* enthalten ist. Das Thyreoglobulin besteht aus einer Wirkgruppe, dem jodhaltigen *Thyroxin*, und einem Eiweißkörper (Globulin) als Trägersubstanz. Das Schilddrüsenhormon regt die Stoffwechselvorgänge im gesamten Organismus an. Durch die Hormonabgabe reguliert die Schilddrüse die Intensität des Stoffwechsels und paßt ihn an die jeweils gegebenen Notwendigkeiten an. Beim Fehlen des Schilddrüsenhormons durch krankhafte Schädigung der Schilddrüsenentwicklung oder nach operativer Entfernung der Schilddrüse wird der Grundumsatz gesenkt, das Wachstum und die Entwicklung des Körpers werden verlangsamt. Bei Kindern führt Mangel an Schilddrüsenhormon zu Zwergwuchs. Sie bleiben in ihrer Entwicklung auf einer kindlichen Stufe stehen (Kretinismus). Bei Erwachsenen

kommt es bei Mangel an Schilddrüsenhormon zu einer Abnahme der körperlichen und geistigen Regsamkeit, zu einer teigigen Schwellung der Haut und infolge der Herabsetzung der Verbrennungsvorgänge zu einer Gewichtszunahme. Dieses Krankheitsbild bezeichnet man als Myxödem. Durch Verabreichung von pulverisierter Schilddrüsensubstanz oder des reinen Schilddrüsenhormons lassen sich die Ausfallserscheinungen größtenteils in verhältnismäßig kurzer Zeit beseitigen.
Die Überfunktion der Schilddrüse führt zur Basedowschen Krankheit. Der Stoffumsatz ist abnorm erhöht, so daß die Kranken trotz reichlicher Nahrung abmagern. Sie befinden sich in einem ständigen Erregungszustand; Herzschlag und Atmung sind beschleunigt. Ein kennzeichnendes Symptom der Basedowschen Krankheit ist das Hervortreten der Augen. Durch operative Verminderung des Schilddrüsengewebes oder durch medikamentöse Hemmung der Hormonproduktion lassen sich die Krankheitserscheinungen beseitigen.
Die Schilddrüse kann sich aber auch krankhaft vergrößern, ohne entsprechend mehr Hormon zu bilden. Sie ist dann äußerlich als Anschwellung unter der Haut des Halses sichtbar. Diesen Krankheitszustand bezeichnet man als Kropf. Er kann durch mechanische Verdrängung der Luftröhre gefährlich werden und muß dann durch eine operative Verkleinerung der Schilddrüse beseitigt werden.

Nebenschilddrüsen. An der Hinterfläche der Schilddrüse liegen vier kleine ovale Körperchen, die Nebenschilddrüsen (Epithelkörperchen). Sie haben höchstens die Größe von Erbsen und wiegen zusammen nur etwa 0,10 bis 0,15 g. Im Gegensatz zur Schilddrüse besteht ihr Drüsengewebe aus Epithelsträngen. Die Nebenschilddrüsen bilden das *Parathormon*. Es reguliert den Kalkstoffwechsel. Beim Ausfall des Parathormons sinkt der Calciumgehalt des Blutes. Dadurch tritt eine Übererregbarkeit des gesamten Nervensystems ein, die zu lang anhaltenden Krämpfen führen kann. Durch Zufuhr von Parathormon werden die Erregbarkeitssteigerung des Nervensystems und die Neigung zu Krämpfen behoben. Da die Nebenschilddrüsen sehr klein sind und teilweise im Schilddrüsengewebe eingebettet liegen, wurden sie früher bei Kropfoperationen bisweilen mit entfernt. Erst durch die dadurch auftretenden Ausfallserscheinungen wurde man auf ihre Bedeutung aufmerksam. Heute kann man derartige Schäden vermeiden.

Bauchspeicheldrüse. In der Bauchspeicheldrüse wird außer dem Bauchspeichel auch ein Hormon, das *Insulin*, produziert. Sie ist also eine Drüse mit äußerer und mit innerer Sekretion. Die Bildungsstätten des Insulins sind die Langerhansschen Inseln (s. S. 56). Das Insulin ist an der Regulierung des Zuckerstoffwechsels beteiligt. Es bewirkt ein Absinken des Blutzuckerspiegels, da es die Bildung von Glykogen aus Blutzucker begünstigt. Sein Gegenspieler ist das Adrenalin des Nebennierenmarks (s. S. 126). Mangel an Insulin führt zu einem Ansteigen des Blutzuckerspiegels und zu einer mangelhaften Verwertung der Kohlenhydrate. Infolge des hohen Blutzuckergehalts wird dann Zucker im Harn ausgeschieden. Man bezeichnet diese Krankheit als Zuckerkrankheit (Diabetes). Sie ist durch Durst, Heißhunger, mitunter auch durch allgemeinen Juckreiz und das Auftreten von Hauterkrankungen gekennzeichnet. Durch dauernde, geregelte Zufuhr von

Insulin, das aus den Bauchspeicheldrüsen von Schlachttieren gewonnen wird, lassen sich die Symptome der Zuckerkrankheit beseitigen. Insulin ist ein Eiweißkörper von hohem Molekulargewicht und wird deshalb durch die Verdauungsfermente zerstört; es kann also nicht durch den Mund eingenommen, sondern muß unter die Haut eingespritzt werden.

Nebennieren. Die Nebennieren sind je etwa 10 bis 18 g schwere Organe, die dem oberen Nierenpol kappenförmig aufsitzen (Abb. 86, S. 104). Sie bestehen aus zwei Teilen, der Rinde und dem Mark. Diese Schichten bilden verschiedene Hormone.
Das Hormon der *Markschicht* ist das *Adrenalin*. Es erfüllt im Stoffwechsel viele Funktionen. Als Gegenspieler des Insulins erhöht es den Blutzuckerspiegel durch Abbau von Glykogen zu Traubenzucker. Die Ausschüttung des Adrenalins wird durch das Nervensystem gesteuert. Im Blutkreislauf führt Adrenalin zu Gefäßverengerung, Blutdrucksteigerung und zu einer Beschleunigung und Verstärkung des Herzschlages. Die glatte Muskulatur in den Wandungen der Bronchien und des Darmes erschlafft unter seiner Einwirkung. Die Pupillen werden durch Adrenalin erweitert. Die vielfältigen Wirkungen des Adrenalins macht man sich in der Medizin zunutze. Man verwendet es zur Anregung des Herzens und zur Steigerung eines abnorm niedrigen Blutdrucks. Bei Operationen mit lokaler Betäubung wird es dem Betäubungsmittel zugesetzt, um die Blutgefäße im Operationsgebiet zu verengern. Dadurch wird die Blutung verringert, und das Abströmen des Betäubungsmittels wird verlangsamt.
Die hormonale Substanz der *Nebennierenrinde*, das *Cortin*, besteht aus einer großen Zahl verschiedenartiger Substanzen, von denen man bisher 28 isoliert hat. Eine bestimmte Gruppe dieser Substanzen ist an der Regelung des Salz- und Wasserhaushaltes, eine andere an der des Kohlenhydratstoffwechsels beteiligt. Eine weitere Gruppe besitzt die Wirkung der männlichen Geschlechtshormone. Ein Mangel an Cortin tritt meist als Folge der verhältnismäßig seltenen Tuberkulose der Nebennierenrinde auf. Dadurch entsteht das Bild der Addisonschen Krankheit, die durch eine übermäßige Pigmentierung der Haut und Schleimhaut gekennzeichnet ist. Den vielfältigen Funktionen des Cortins entsprechend treten weiterhin Muskelschwäche, Stoffwechselstörungen und Kreislaufveränderungen auf. Durch Zufuhr von Cortin lassen sich die Symptome der Addisonschen Krankheit weitgehend beheben.

Keimdrüsen. Die Keimdrüsen bilden nicht nur die männlichen beziehungsweise weiblichen Keimzellen, sondern haben auch die Funktion von Drüsen mit innerer Sekretion: sie bilden die männlichen beziehungsweise weiblichen Geschlechtshormone. Die weiblichen *Geschlechtshormone*, das Follikelhormon und das Gelbkörperhormon, steuern die zyklischen Veränderungen der Uterusschleimhaut (s. S. 108). Außerdem wird die Ausbildung der Besonderheiten des weiblichen Körperbaus durch diese Hormone gesteuert. Das Hormon der männlichen Keimdrüsen bewirkt die Ausprägung der Merkmale des männlichen Körperbaus.

Hypophyse. Die Hypophyse (Hirnanhangdrüse) hat die Größe einer kleinen Kirsche. Sie liegt unterhalb des Zwischenhirns, mit dem sie durch einen Stiel verbunden ist. Die Hypophyse besteht aus zwei Teilen, die einen verschiedenen entwicklungs-

geschichtlichen Ursprung und verschiedene Funktionen haben. Der *Hypophysenvorderlappen* entwickelt sich als eine Ausstülpung des embryonalen Mundhöhlendaches, während der *Hinterlappen* eine Ausstülpung des Zwischenhirns ist (Abb. 105 und 106). Zwischen Vorder- und Hinterlappen liegt der beim Menschen nur schwach entwickelte *Zwischenlappen*. Man hat bisher über zwanzig verschiedene Hormone der Hypophyse isoliert. Ein großer Teil der Hormone des Hypophysenvorderlappens steuert die Sekretion der anderen Hormondrüsen. Die Entwicklung und die Hormonsekretion von Schilddrüse, Nebenschilddrüsen, Nebennierenrinde, Nebennierenmark, Langerhansschen Inseln, Bauchspeicheldrüse und Keimdrüsen werden durch Hormone des Hypophysenvorderlappens geregelt. Während der Schwangerschaft und im Wochenbett bildet der Hypophysenvorderlappen das Milchabsonderungshormon. Die Ausschüttung der Hormone des Hypophysenvorderlappens erfolgt in Wechselwirkung mit der Sekretion der anderen Hormondrüsen. Eine starke Sekretion dieser Drüsen hemmt die Ausschüttung der entsprechenden Hypophysenvorderlappenhormone, eine schwache fördert sie. Außer den genannten bildet der Hypophysenvorderlappen weitere Hormone, die in das Körperwachstum, den Fettstoffwechsel und den Kohlenhydratstoffwechsel regulierend eingreifen. Wenn sich bereits in frühem Lebensalter nur ungenügend Wachstumshormon bildet, hört das Wachstum vorzeitig auf. Bei übermäßiger Bildung von Wachstumshormon kommt es zu Riesenwuchs.

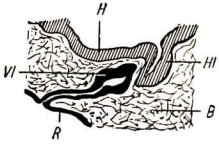


Abb. 105. Embryonale Anlage der Hypophyse.

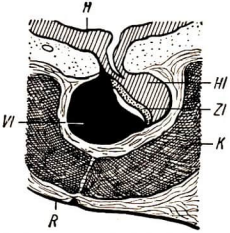


Abb. 106. Hypophyse in ausgebildetem Zustand.

B embryonales Bindegewebe, *H* Zwischenhirn, *Hl* Hinterlappen, *K* Keilbein, *R* Dach der Rachenhöhle, *Vl* Vorderlappen, *Zl* Zwischenlappen

Aus dem *Hypophysenhinterlappen* sind bisher drei Hormone isoliert worden. Das eine dieser Hormone wirkt blutdrucksteigernd, ein zweites bewirkt Kontraktionen des Uterus (s. S. 122), das dritte reguliert die Wasserausscheidung durch die Nieren.

Die Drüsen mit innerer Sekretion steuern mit ihren Hormonen nicht nur den Ablauf sehr verschiedenartiger Lebensvorgänge, sondern regulieren, wie das Beispiel der Wechselwirkung zwischen Hypophysenvorderlappen und den anderen Hormondrüsen zeigt, auch ihre Funktionen untereinander. Eine Störung in der normalen Funktion der einen Drüse wirkt sich daher auch auf die Tätigkeit der anderen aus. Gelingt dem Körper eine Anpassung an die veränderte Sekretion einer Hormondrüse nicht, so treten sehr komplizierte und vielgestaltige Störungen auf. Den entscheidenden Einfluß auf die Tätigkeit der Hypophyse, die den anderen Hormondrüsen in gewisser Weise übergeordnet ist, übt das Nervensystem aus. Das Nervensystem bildet also den wichtigsten Steuerungsmechanismus für die Hormonsekretion und damit für den Ablauf der Lebensvorgänge.

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 Erkenntnisse über die 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 Tiere beispielsweise liefern mehr Fett und sind ruhigere Arbeitstiere. Mit Hilfe von Hormonen läßt sich das Wachstum von Tieren steigern; die Eiablage und die Milcherzeugung werden erhöht, die Qualität wird verbessert. Auch die Fruchtbarkeit, die Entwicklung des Gefieders und des Felles kann man durch Zufuhr geeigneter Hormone erhöhen.

H. SINNESORGANE UND NERVENSYSTEM

Dinge und Vorgänge unserer Umgebung können als Reize auf unsere Sinnesorgane wirken. In den Sinnesorganen werden die Reize zu Erregungen umgeformt und diese durch die Nerven zum Zentralnervensystem weitergeleitet. Die zum Zentralnervensystem gelangenden Erregungen sind die unerläßlichen Voraussetzungen für die Tätigkeit des Zentralnervensystems.
Halten wir beispielsweise einen Apfel in der Hand, so sehen, fühlen und riechen wir ihn und spüren gleichzeitig sein Gewicht. Beißen wir ein Stück davon ab, so können wir seinen Geschmack feststellen. Die Sinnesempfindungen spiegeln also die Eigenschaften der Dinge, in diesem Falle die Eigenschaften des Apfels, in unserem Bewußtsein wider. Die Dinge und ihre Eigenschaften sind das Primäre, sie existieren unabhängig von unseren Empfindungen. Die Empfindungen sind das Sekundäre, sie entstehen erst dadurch, daß die Dinge auf unsere Sinnesorgane einwirken, daß von hier Erregungen in das Zentralnervensystem gelangen und dort einen physiologischen Prozeß, den Empfindungsprozeß, hervorrufen.
Als Ergebnis einer komplizierten Tätigkeit des Gehirns bilden sich auf Grund der Empfindungen Wahrnehmungen. Sie spiegeln nicht nur einzelne, unabhängig voneinander existierende Eigenschaften (Farbe, Geruch, Geschmack, Gewicht usw.), sondern den Gegenstand im ganzen in unserem Bewußtsein wider.
Die Wahrnehmungen sind die Grundlage unseres Denkens und Handelns. Die stoffliche, sinnlich wahrnehmbare Welt, zu der wir selbst gehören, ist das einzig Wirkliche. Unser Bewußtsein und Denken, so übersinnlich es scheint, ist das Erzeugnis eines stofflichen körperlichen Organs, des Gehirns. Die Materie ist nicht ein Erzeugnis des Geistes, sondern der Geist ist selbst nur das höchste Produkt der Materie.

I. Sinnesorgane

a) Allgemeine Sinnesphysiologie

Die Leistungen unserer Sinnesorgane beruhen auf ihrer *Reizbarkeit*, einer Eigenschaft, die dem Protoplasma aller Zellen zukommt. Druck, Wärme, Licht, chemische

Kräfte usw., also bestimmte Formen physikalischer und chemischer Energie, können als *Reize* wirken. Andere Energieformen, zum Beispiel elektromagnetische Wellen außerhalb des sichtbaren Teils des Spektrums und magnetische Kräfte, sind nicht als Reize wirksam.

Die einzelligen Lebewesen vereinen Reizaufnahme, Erregungsleitung und Reaktion auf den Reiz zusammen mit den übrigen Lebensvorgängen im Plasma einer einzigen Zelle. Bei den mehrzelligen Tieren ist bereits eine Funktionsteilung der Zellen und Organe eingetreten. Verschiedene Zellen haben jeweils eine besondere Empfindlichkeit für Licht-, Schall-, Druck- oder Wärmereize oder für chemische Reize entwickelt. Wir nennen sie Sinneszellen. In den höheren Sinnesorganen, in Auge und Ohr, sind sie in großer Zahl vereinigt und mit Hilfsorganen versehen, durch die ihre Leistung gesteigert wird.

Die Reize, für die ein Sinnesorgan besonders empfindlich ist, bezeichnet man als *adäquate Reize*. So sind beispielsweise die Lichtwellen für das Auge und die Schallwellen für das Gehörorgan adäquate Reize. Manche Sinnesorgane sind auch durch solche Reize erregbar, für die sie nicht besonders empfindlich sind (inadäquate Reize). *Inadäquate Reize* müssen sehr stark sein, um eine Erregung der Sinneszellen hervorzurufen. Zum Beispiel werden durch einen Schlag auf das Auge die Sehzellen mechanisch gereizt; dadurch wird in ihnen die gleiche Erregung hervorgerufen, als wenn sie durch Lichtwellen gereizt worden wären. Der Schlag auf das Auge wird als Sehen von Funken oder „Sternen" empfunden. Die Art der Empfindung wird also nicht nur durch die Art der Reize, sondern auch durch die Natur der Sinnesorgane bestimmt.

Man könnte nun annehmen, daß eine richtige Widerspiegelung der uns umgebenden Gegenstände und Erscheinungen verhindert wird, wenn gleiche Empfindungen durch verschiedenartige Reize hervorgerufen werden. Das geschieht jedoch in Wirklichkeit nicht. Der Mensch kann auf Grund seiner Erfahrungen unterscheiden, ob eine Empfindung durch adäquate oder durch inadäquate Reize hervorgerufen wird. Die inadäquaten Reize rufen nur unklare, verschwommene Empfindungen hervor. Die Lichterscheinungen beim Schlag auf das Auge werden nie für wirkliche Sterne angesehen. Ebensowenig wird Rauschen und Klingen im Ohr im allgemeinen für ein Geräusch aus der Umgebung gehalten; man könnte es höchstens mit dem Geräusch eines fernen Flugzeugmotors verwechseln. Der Anblick eines Flugzeugs würde uns jedoch jeden Zweifel über den Ursprung des Geräusches nehmen. Die durch ein Sinnesorgan vermittelten Empfindungen werden also nicht allein durch die Erinnerung, sondern auch durch die anderen Sinnesorgane ständig überprüft. Im angeführten Beispiel wird die Gehörsempfindung durch die Augen kontrolliert.

Ein Reiz bewirkt, sofern er stark genug ist, eine Änderung im Zustand des Protoplasmas der Sinneszellen, die sich ausbreitet und als Erregung (s. S. 151) bezeichnet wird. Da die Sinneszellen jeweils an eine besondere Art von Reizen angepaßt sind, besitzen sie für die adäquaten Reize eine außerordentlich hohe Empfindlichkeit. Mitunter übertrifft ihre Empfindlichkeit sogar die der genauesten physikalischen Apparate. Beispielsweise kann der Mensch schon 0,001 mg Äther in 1 Liter Luft wahrnehmen.

Zeitlich aufeinanderfolgende Einzelreize rufen nur dann einzelne, voneinander gesonderte Empfindungen hervor, wenn ein bestimmter zeitlicher Mindestabstand zwischen ihnen liegt. Bei zu rascher Folge der Reize können wir die Einzelreize nicht mehr voneinander trennen. Das Auge zum Beispiel kann nicht mehr als 18 Lichtreize je Sekunde unterscheiden. Darauf beruht es, daß im Film eine genügend schnelle Einzelbildfolge als fortlaufende Bewegung gesehen wird.

Den zeitlichen Zwischenraum, der notwendig ist, um aufeinanderfolgende Reize gesondert wahrzunehmen, nennt man die *zeitliche Unterschiedsschwelle*. Sie ist für die verschiedenen Reizarten beim Menschen nahezu gleich ($\frac{1}{18}$ Sekunde). Wie experimentelle Untersuchungen gezeigt haben, weicht die zeitliche Unterschiedsschwelle vieler Tiere von der menschlichen Unterschiedsschwelle ab. Sie beträgt beispielsweise bei der Weinbergschnecke $\frac{1}{4}$ Sekunde, beim Kampffisch $\frac{1}{50}$ Sekunde. Das bedeutet, daß die Schnecke in einer Sekunde nur 4, der Mensch 18, der Kampffisch aber 50 Einzelreize unterscheiden kann. Durch künstliche Verlangsamung der natürlichen Aufeinanderfolge von Reizanlässen mit Hilfe von Zeitlupenaufnahmen ist es dem Menschen gelungen, sich auch mehr als 18 Einzelreizanlässe gesondert zur Wahrnehmung zu bringen.

Zwei räumlich getrennte Reize werden nur dann gesondert empfunden, wenn ihr Abstand voneinander eine bestimmte Entfernung, die *Raumschwelle*, nicht unterschreitet. Die Größe der Raumschwelle wird durch die Dichte der Sinneszellen in einem Sinnesorgan und durch dessen Hilfseinrichtungen bedingt. Je dichter die Sinneszellen beieinanderliegen, desto kleiner wird die Raumschwelle. Zum Beispiel werden zwei Druckreize an den Fingerspitzen, in denen die Sinneszellen besonders dicht liegen, noch in einem Abstand von 2 mm gesondert empfunden. Auf dem Rücken dagegen, wo sie weiter auseinanderliegen, werden zwei räumlich getrennte Reize erst bei einem Abstand von 6 bis 7 cm als getrennte Reize wahrgenommen.

Die geringste Reizstärke, die eben noch eine Erregung der Sinnesorgane auslöst, bezeichnet man als *Reizschwelle*.

Ständige Einwirkung gleicher Reize führt zu *Gewöhnungen*, das heißt zu einer Erhöhung der Reizschwelle und damit zu einer Abnahme der Empfindlichkeit. So überhören wir das regelmäßige Geräusch einer Uhr, Pflegepersonal und Patienten im Krankenhaus merken nichts mehr vom Geruch der Desinfektionsmittel.

Den kleinsten Unterschied in der Reizstärke, der eben noch wahrgenommen wird, bezeichnet man als *Unterschiedsschwelle*. Sie hängt von der Stärke des Anfangsreizes ab. Je höher der Anfangsreiz ist, desto höher ist auch die Unterschiedsschwelle. Für Druckreize beispielsweise gilt, daß auf dem Handrücken eine Anfangsbelastung von

10 g um 0,7 g
50 g um 3,5 g
100 g um 7 g
usw.

erhöht werden muß, um eine wahrnehmbare Steigerung der Druckempfindung hervorzurufen.

b) Hautsinnesorgane

Die Haut, die den Körper bedeckt und ihn gegen die Umwelt abschließt, wird von Reizen physikalischer und chemischer Art getroffen. In Anpassung daran haben sich aus dem Epithel die einzelnen Sinnesorgane als Aufnahmeapparate *(Rezeptoren)* für die verschiedenen Reizarten entwickelt.

Bei Einzellern, zum Beispiel bei der Amöbe, finden wir ursprünglich in der reizempfindlichen äußeren Plasmaschicht keine differenzierten Reizaufnahmestellen. Infolgedessen rufen alle Reize, die das Tier treffen (chemische, mechanische und Lichtreize), dieselbe Reaktion hervor, ein Zurückweichen (Fluchtreaktion) oder ein Hinbewegen.

Eine Differenzierung der Reizaufnahme und demzufolge auch der Reaktion zeigt sich bei den niederen Vielzellern, zum Beispiel bei den Hohltieren. Allerdings ist die Differenzierung der aufnehmenden Sinneszellen noch nicht in allen Fällen anatomisch erkennbar.

Bei allen höheren Wirbeltieren mit Einschluß des Menschen sind in der Haut durch Zusammentreten von Sinneszellen und bindegewebigen Stützzellen sehr verschieden gestaltete *Sinneskörperchen* entstanden. Sie liegen zumeist in der Lederhaut. Daneben verteilen sich aber über die ganze Haut (und viele innere Organe) zahlreiche *freie Nervenendigungen* ohne Sinneszellen, die bis in die Epithelschicht reichen. Eine weitere Art von Hautsinnesorganen sind die aus geflechtartig verzweigten Nervenenden bestehenden *Nervenkränze*; sie umgeben den unteren Teil der Haarbälge. Bei jeder Berührung des Haares werden die Nervenendigungen gereizt. So kommt es zu einer großen Empfindlichkeit. Welche Sinnesempfindungen den verschiedenartigen Rezeptoren der Haut zuzuordnen sind, ist noch nicht endgültig geklärt.

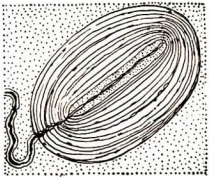


Abb. 107. Lamellenkörperchen

Die größten Sinneskörperchen sind die *Lamellenkörperchen* (Abb. 107), die nach ihren beiden Entdeckern auch als *Vater-Pacinische Körperchen* bezeichnet werden. Es sind mit bloßem Auge sichtbare, 0,5 bis 4,5 mm lange, rundlich-spindelförmige Organe, die aus konzentrischen Bindegewebslamellen gebildet werden. An einem Pol des Körperchens tritt ein sensibler Nerv ein. Er spaltet sich unter dem anderen Ende in ein Fibrillennetz auf. Die Lamellenkörperchen finden sich im Unterhautgewebe, besonders der Hand und des Fußes. Außerdem kommen sie an den Gelenken, Sehnen, der Knochenhaut, am Herzbeutel, in der Aortenwand, dem Bauchfell usw. vor. Man nimmt an, daß die Lamellenkörperchen die Empfindung von Spannungsänderungen der Haut vermitteln, wie sie beispielsweise bei Bewegungen der Gliedmaßen und bei Druckeinwirkungen auf die Haut eintreten (Abb. 108).

Die *Tastkörperchen* oder *Meißnerschen Körperchen* sind mikroskopisch klein, länglich-eiförmig, und liegen an den Spitzen der Lederhautpapillen unmittelbar unter

dem Epithel (Abb. 109). Eine Nervenfaser dringt in das Tastkörperchen ein und spaltet sich in feine Fibrillennetze auf. Am zahlreichsten sind die Tastkörperchen an den Endgliedern der Finger und Zehen. Hier findet man 100 bis 200 auf einer Hautfläche von 1 cm². An der Vorderseite des Unterschenkels liegen dagegen nur etwa 10 auf 1 cm², auf dem Rücken noch weniger (s. Lehrbuch der Biologie f. d. 8. Schuljahr, S. 12).

Abb. 108. Spannungsänderungen der Haut; links bei Bewegungen, rechts bei Druck

Die rundlichen oder länglichen *Krauseschen Endkolben* sind ähnlich gebaut wie die Lamellenkörperchen, besitzen aber weniger Lamellen. Sie vermitteln offenbar die Kälteempfindung. Die Wärmeempfindung wird wahrscheinlich durch große spindelförmige Endorgane vermittelt, die in der Lederhaut liegen. Sie werden nach ihrem Entdecker als *Ruffinische Körperchen* bezeichnet. Die Ruffinischen Körperchen weisen ebenso wie die Krauseschen Endkolben eine sehr verschiedene Dichte in den verschiedenen Regionen der Haut auf.

Außer den genannten Arten von Rezeptoren sind in der Haut noch andere nachgewiesen worden.

Durch die Rezeptoren der Haut werden verschiedene Empfindungen vermittelt. Wir unterscheiden: 1. Druck- und Berührungsempfindung, 2. Kälteempfindung, 3. Wärmeempfindung, 4. Schmerzempfindung. Beim Betasten eines Gegenstandes werden die verschiedenen Rezeptoren gleichzeitig gereizt. Sie vermitteln uns eine einheitliche Wahrnehmung des betasteten Gegenstandes. Erst nachträglich können wir in unserem Bewußtsein die Empfindungen der Form, der Oberflächenbeschaffenheit und der Temperatur trennen. Oftmals ist es sogar recht schwierig, die an einer Wahrnehmung beteiligten Empfindungen zu sondern.

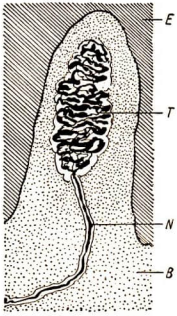


Abb. 109. Meißnersches Tastkörperchen.
B Bindegewebe, *E* Epidermis, *N* Nervenfaser, *T* Tastkörperchen

Als Tastsinn bezeichnet man die Gesamtheit der Druck- oder Berührungsempfindungen ohne Rücksicht auf die sie vermittelnden Rezeptoren. Man prüft die Feinheit dieses Sinnes durch eine Reizborste, das ist eine Borste, die an einem Stiel befestigt ist. Beim Aufsetzen der Borste auf die Haut hat man an den Stellen, unter denen sich ein entsprechender Rezeptor befindet, eine deutliche Druckempfindung. Man nennt solche Stellen *Berührungs- oder Druckpunkte*. Je dichter in einem Hautteil die Druckpunkte liegen, desto feiner ist der Tastsinn.

Die Haut spricht nicht an allen Stellen, sondern nur an bestimmten Kälte- beziehungsweise Wärmepunkten auf Temperaturreize an. Es gibt mehr Kältepunkte als Wärmepunkte. Man schätzt die Zahl der *Kältepunkte* auf der gesamten Körper-

oberfläche auf 250000, die der *Wärmepunkte* auf 30000. Durch die Temperaturempfindung können wir nicht absolute Temperaturen, sondern nur Temperaturveränderungen der Haut feststellen. Daher kommt es auch, daß durch Kleider bedeckte Körperstellen und die freie Gesichtshaut uns gleich warm erscheinen, obgleich die Temperatur der Haut unter den Kleidern beträchtlich höher ist als die der Gesichtshaut. Taucht man zum Beispiel die linke Hand in warmes Wasser (40° C), die rechte in kaltes Wasser (10° C) und darauf beide Hände zugleich in lauwarmes Wasser (25 bis 30° C), so hat man beim Eintauchen in der linken Hand die Empfindung kühl, in der rechten die Empfindung warm. Es erscheint uns also das als warm, was unserem Körper Wärme zuführt, und das als kalt, was ihm Wärme entzieht.

Temperaturen, die über 70° C und unter −10° C liegen, werden nicht mehr als Temperaturen, sondern als *Schmerz* empfunden. Ebenso lösen starke Druck- und Zugreize Schmerzempfindungen aus. Auf jeden über eine bestimmte Grenze hinausgehenden Reiz sprechen nicht nur die entsprechenden Rezeptoren, sondern auch die *freien Nervenendigungen* in der Haut an. Durch feine Stachelborsten, mit denen man, vorsichtig stechend, die Haut abtastet, können die Schmerzpunkte der Haut festgestellt werden. Sie liegen bedeutend dichter als die Tast- und Temperaturpunkte; es sind zum Beispiel am Arm 72 auf 1 cm² festgestellt worden, an anderen Stellen bis 100 und mehr auf 1 cm². Auch bestimmte innere Organe sind reich an Schmerzpunkten, besonders Knochenhaut, Bauchfell, Brustfell, Sehnen und Gelenke.

Die Schmerzempfindung gibt uns Kenntnis von Schädigungen und Krankheiten innerer Organe. Bestimmte Krankheiten allerdings, wie beispielsweise Lungentuberkulose und auch Krebs im Anfangsstadium, verlaufen ohne Schmerzen.

Beim Heben einer Last empfinden wir in Muskeln und Gelenken eine dem Gewicht des Gegenstandes entsprechende Spannung. Durch den Grad dieser *Spannungsempfindung* können wir das Gewicht des Gegenstandes ziemlich genau abschätzen. Die Rezeptoren des *Muskelsinnes* sind besondere Sinneskörperchen in Muskeln, Sehnen und Gelenkkapseln (Muskel-, Sehnen- und Gelenkspindeln). Sie bestehen aus spindelförmig aufgerollten Nervenendigungen und werden durch Dehnung gereizt. Der Muskelsinn spielt zum Beispiel eine große Rolle bei der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts, beim Stehen, Gehen usw. Durch kleine Schwankungen unseres Körpers beim Stehen werden die Sinneskörperchen in den Sehnen gereizt. Die dadurch entstehende Erregung wird reflektorisch den Muskeln zugeleitet, deren Kontraktion die Schwankung ausgleicht.

c) Organe der chemischen Sinne

Alle Tiere reagieren auf chemische Reize. Aber nur bei Insekten und Wirbeltieren unterscheiden wir zwischen echten Geruchs- und Geschmacksorganen. Bei den Fischen sind Geruchs- und Geschmackssinn schwer zu trennen. Bei den luftatmenden Wirbeltieren kann deutlich Geruchs- und Geschmacksvermögen voneinander unterschieden werden. Die Geruchsorgane reagieren auf bestimmte Atomgruppen gasförmiger Stoffe. Die Geschmacksorgane des Menschen und der Landtiere reagieren auf Reize von flüssigen oder gelösten Stoffen.

1. Geruchsorgane

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 (Abb. 68, S. 77). 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* zusammengesetzt sind. Diese Geruchsqualitäten sind wahrscheinlich durch die chemische Struktur der Atomgruppen, die eine Geruchsempfindung auslösen, bedingt. Bei synthetischer Herstellung eines Riechstoffes läßt sich aus seiner Struktur bis zu einem gewissen Grade die ihm eigene Geruchsqualität voraussagen. Diese Tatsache spielt bei der Herstellung künstlicher Duftstoffe eine große Rolle. Geruchsqualitäten sind: würzig, blumig, fruchtig, harzig, brenzlig, faulig; aus ihnen setzen sich die Mischgerüche zusammen. 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.

Von manchen Stoffen genügen kleinste Mengen, um Geruchsempfindungen auszulösen. So genügt oft schon $\frac{1}{250}$ der Menge, die nötig ist, um einen Stoff mit dem sehr empfindlichen Spektroskop nachzuweisen.

2. Geschmacksorgane

Die Geschmacksorgane befinden sich bei den Säugetieren und dem Menschen in der Schleimhaut der Mund- und Rachenhöhle, vor allem auf der Zunge, dazu am weichen Gaumen und auf dem Kehldeckel.

Die Zunge ist mit verschieden geformten warzenartigen Erhebungen, *Papillen*, bedeckt. Man unterscheidet große, umwallte Papillen am Zungengrunde (Abb. 110), kleine, pilz- oder keulenförmige Papillen auf der Zungenoberfläche und blattförmige Papillen am Zungenrande (Abb. 111). Zwischen den größeren Papillen stehen feine, fadenförmige Papillen.

Die *Sinneszellen* liegen, zu tonnen- oder knospenförmigen Gebilden, den *Geschmacksknospen* (Abb. 112), vereinigt, im Epithel der Papillen. Über jeder Geschmacksknospe ist im Epithel der Papillen eine kleine Öffnung vorhanden, durch die die geschmackserregenden Stoffe an die Sinneszellen gelangen. Die Geschmacksknospe setzt sich zusammen aus langgestreckten, spindelförmigen Sinneszellen, die wie die Teile einer Apfelsine angeordnet sind. Jede dieser Sinneszellen endet

zur Oberfläche hin in einem Geschmacksstiftchen. Zwischen den Sinneszellen liegen Stützzellen. Die Fasern der Geschmacksnerven, die von unten in die Geschmacksknospe eindringen, verzweigen sich und umspinnen die Sinneszellen.

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

Mit den Geschmacksorganen nehmen wir vier verschiedene *Geschmacksqualitäten* wahr: bitter, salzig, süß und sauer. Die Geschmacksknospen an der Zungenspitze sind am empfindlichsten für süß, die des Zungengrundes im Bezirk der umwallten Papillen für bitter, die der Zungenränder für sauer. Über die chemische Struktur, die ein Stoff haben muß, um eine bestimmte Geschmacksqualität hervorzurufen, weiß man bisher wenig; grundverschieden gebaute Moleküle, wie die von Zucker, Saccharin und Chloroformdämpfen, rufen die gleiche Geschmacksempfindung, nämlich süß, hervor. Die Empfindung sauer wird dagegen stets durch freie Wasserstoffionen erzeugt.

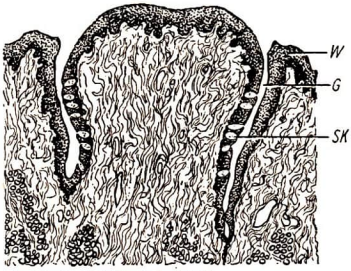


Abb. 110. Umwallte Papille im Schnitt.
G Papillengraben, *SK* Geschmacksknospe, *W* Papillenwall

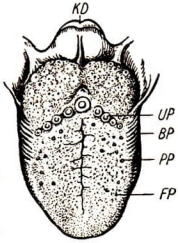


Abb. 111. Zunge, von oben gesehen.
KD Kehldeckel, *UP* umwallte Papillen, *BP* blätterförmige Papillen, *PP* pilzförmige Papillen, *FP* fadenförmige Papillen

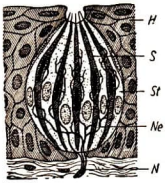


Abb. 112. Geschmacksknospe.
H Hautzellen, *N* Nerv, *Ne* Nervenendigungen, *S* Sinneszellen, *St* Stützzellen

Bei der Nahrungsaufnahme und beim Kauen werden Stoffe frei, die in die Nasenhöhle aufsteigen und dort eine Geruchsempfindung hervorrufen. Deshalb steht der Geschmackssinn in enger Beziehung zum Geruchssinn. Beim Schnupfen wird durch die starke Schleimabsonderung die Lösung gasförmiger Stoffe in der Flüssigkeitsschicht der Nasenschleimhaut vermindert, wir „schmecken" nichts mehr. Tatsächlich aber bleibt der Geschmackssinn bei einem Schnupfen unverändert, nur die Geruchsempfindung ist gestört. Ein sogenannter aromatischer Geschmack, wie beispielsweise der Geschmack des Weines, ist eine kombinierte Geschmacks- und Geruchsempfindung. Halten wir die Nase zu, so bleibt beim Weintrinken nur die Geschmacksempfindung süß oder sauer.

Außerdem ist die Geschmacksempfindung ebenso

wie die Geruchsempfindung oft mit Berührungs-, Temperatur- und leichten Schmerzempfindungen kombiniert, wie sie zum Beispiel durch scharfe Stoffe (Pfeffer, Meerrettich) hervorgerufen werden.

d) Das Lichtsinnesorgan: das Auge

1. Bau des menschlichen Auges

Bei niederen Tieren kann die Haut lichtempfindlich sein. Weiterhin können sich besondere *Lichtsinneszellen* ausbilden. Aus diesen entwickelten sich nach Bau und Leistungshöhe sehr verschiedene Lichtsinnesorgane (s. Lehrbuch der Biologie f. d. 10. Schulj., S. 109). Sobald die Lichtsinneszellen zu Lichtsinnesorganen zusammentreten, spricht man von *Augen*. Je nach ihrer Entwicklungshöhe dienen die Augen der Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden, der Wahrnehmung der Richtung des einfallenden Lichtes, dem Bewegungs- und Bildsehen.

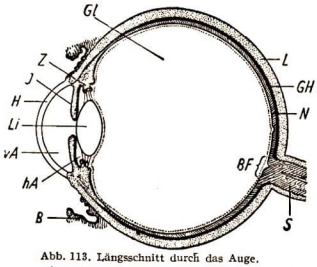


Abb. 113. Längsschnitt durch das Auge.
vA vordere, *hA* hintere Augenkammer, *B* Bindehaut, *BF* blinder Fleck, *GH* Gefäßhaut (Aderhaut), *Gl* Glaskörper, *H* Hornhaut, *J* Iris, *L* Lederhaut, *Li* Linse, *N* Netzhaut, *S* Sehnerv, *Z* Ziliarfortsatz

Der Bau des menschlichen Auges stimmt im wesentlichen mit dem der Affen und der anderen Säugetiere überein. Das Auge besteht aus dem Augapfel und den Schutz- und Bewegungsorganen.

Augapfel. Der Augapfel (Abb. 113) hat annähernd kugelförmige Gestalt. Sein Durchmesser beträgt etwa 24 mm. Die Wandung des Augapfels wird aus drei konzentrisch übereinanderliegenden Häuten gebildet. Die *äußere Augenhaut* ist die weiße Lederhaut; sie besteht aus straffem Bindegewebe. An der Vorderseite des Augapfels geht sie in die durchsichtige, uhrglasförmig vorgewölbte Hornhaut über. Die *mittlere Augenhaut* besteht aus der *Aderhaut*, dem Strahlenkörper *(Ziliarkörper)* und der Regenbogenhaut *(Iris)*. Die Aderhaut ist reich an Pigmentzellen und Blutgefäßen, durch die die Gewebe des Augapfels ernährt werden. Im Bezirk um die Linse befindet sich der Strahlenkörper, an dessen fingerförmigen Fortsätzen die Linse durch Aufhängebänder befestigt ist. Im Ziliarkörper liegt der ringförmige *Akkommodationsmuskel*, der die Akkommodation der Linse bewirkt (s. S. 140). Als Fortsetzung des Ziliarkörpers biegt der vordere

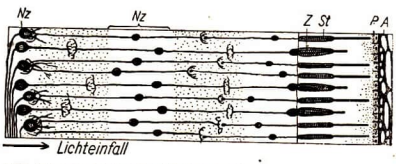


Abb. 114. Bau der Netzhaut (schematisch).
Nz Nervenzellschichten, *Z* Zapfen, *St* Stäbchen, *P* Pigment-Epithelschicht, *A* Aderhaut

Teil der mittleren Augenhaut, die *Iris* oder *Regenbogenhaut*, fast rechtwinklig gegen die Augenachse zu ab. Die Iris läßt in der Mitte ein Loch frei, die *Pupille*. Durch einen etwa 1 mm breiten Ringmuskel kann die Pupille reflektorisch verengert, durch ein System radial angeordneter glatter Muskelfasern erweitert werden. Die Iris enthält einen dunklen Farbstoff, dessen verschiedene Dichte zusammen mit der verschiedenen Dicke des Gewebes die Färbung der Iris hervorruft. Fehlt das Pigment, so ist die Iris durchscheinend und hat eine rötliche Farbe (besonders ausgeprägt bei Albinos). Enthält nur die hintere Wandschicht der Iris Pigment, so erscheint diese blau oder grau, enthalten auch die vorderen Schichten Pigment, so ist sie braun oder schwarz. Der Raum zwischen Linse und Netzhaut ist mit einer durchsichtigen gallertartigen Substanz, dem *Glaskörper*, gefüllt. Die Funktion des Glaskörpers besteht vor allem darin, die Netzhaut, die an der Hinterwand des Auges der Aderhaut nur lose aufliegt, an die äußeren Schichten des Augapfels zu drücken und dem Augapfel einen gewissen Innendruck zu geben. Die Iris teilt den Raum zwischen durchsichtiger Hornhaut und Glaskörper in zwei Kammern, die *vordere* und die *hintere Augenkammer*. Diese sind mit einer wasserklaren Flüssigkeit, dem Kammerwasser, angefüllt.

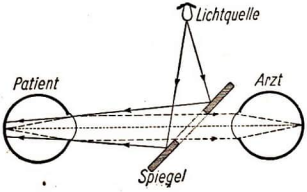


Abb. 115. Strahlengang bei Betrachtung des Augeninnern mit dem Augenspiegel

Die *innere Augenhaut* besteht aus zwei Blättern, der *Pigmentschicht*, die der Aderhaut unmittelbar aufliegt, und der lichtempfindlichen Netzhaut oder Retina. Die *Netzhaut* (Abb. 114) ist eine sehr zarte Haut von kompliziertem Bau. Die innere, dem Glaskörper anliegende Schicht der Netzhaut besteht aus Nervenfasern. Diese entspringen aus Ganglienzellen, die eine unter der Nervenfaserschicht liegende Ganglienzellenschicht bilden. Die Ganglienzellen dieser Schicht sind mit einer zweiten, weiter außen liegenden Schicht von Ganglienzellen verbunden. Erst die Fortsätze von den Ganglienzellen dieser zweiten Schicht enden an den eigentlichen Sehzellen. Bei den Sehzellen lassen sich zwei verschiedene Arten unterscheiden: die *Stäbchenzellen* und die *Zapfenzellen*. Die längeren Stäbchen sind in größerer Zahl vorhanden als die kürzeren und meist dickeren Zapfen. Die Zahl der Zapfen in der Retina eines menschlichen Auges wird auf 7 Millionen, die der Stäbchen auf 130 Millionen

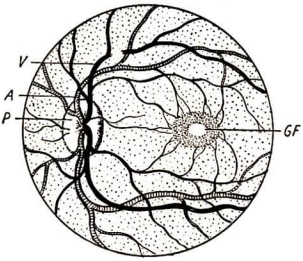


Abb. 116. Augenhintergrund.
A Arterien, *GF* gelber Fleck, *P* Eintrittstelle des Sehnervs in die Netzhaut (blinder Fleck), *V* Venen

geschätzt. Die Stäbchen vermitteln nur Helligkeitsempfindungen, die Zapfen Farbempfindungen und deutliches Sehen.

Im Jahre 1850 entwickelte der deutsche Physiker Hermann v. Helmholtz den Augenspiegel. Mit dem Augenspiegel kann man das Augeninnere betrachten. Durch diese Entdeckung nahm die Augenheilkunde einen gewaltigen Aufschwung. Betrachtet man durch einen Augenspiegel den Augenhintergrund (Abb. 115), so fällt hier ein runder, weißer Fleck auf, von dem rötliche, sich verzweigende Blutgefäße ausgehen (Abb. 116). Es ist die Stelle des Augenhintergrundes, an der der Sehnerv und die ihn begleitenden Gefäße in die Wand des Augapfels eintreten. Sie enthält weder Stäbchen noch Zapfen; deshalb können wir Gegenstände der Umwelt, die sich auf dieser Stelle abbilden, nicht wahrnehmen. Es ist der sogenannte *blinde Fleck*. Beim beidäugigen Sehen bemerken wir von dem blinden Fleck nichts, weil er in jedem der beiden Augen einer anderen Stelle des Gesichtsfeldes entspricht. Dagegen läßt er sich bei einäugigem Sehen nachweisen (Abb. 117).

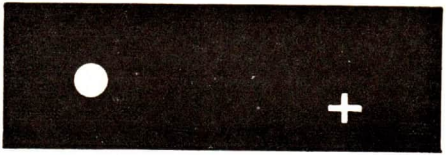


Abb. 117. Nachweis des blinden Flecks: Schließe das linke Auge und blicke mit dem rechten auf den weißen Kreis, dann nähere das Buch den Augen, bis in einer Entfernung von etwa 15 cm das weiße Kreuz verschwindet

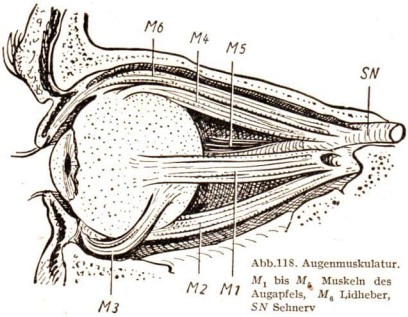


Abb. 118. Augenmuskulatur. M_1 bis M_6 Muskeln des Augapfels, M_6 Lidheber, *SN* Sehnerv

Seitlich vom blinden Fleck, genau gegenüber der Pupille, liegt auf der Netzhaut eine ovale, im allgemeinen gelblich erscheinende Stelle, der *gelbe Fleck*. In diesem Fleck liegen keine Stäbchen, sondern nur außerordentlich dicht gestellte und besonders schmale Zapfen; es ist die Stelle des schärfsten Sehens. Von hier aus nimmt nach allen Richtungen die Zahl der Zapfen ab. Deshalb sehen wir einen von der Seite in das Gesichtsfeld eintretenden Gegenstand zunächst verschwommen; je mehr er sich der Mitte des Gesichtsfeldes nähert, desto deutlicher nehmen wir ihn wahr.

Die *Linse* ist ein farbloser, elastischer, bikonvexer Körper. Sie ist wesentlich an der Brechung der in das Auge fallenden Lichtstrahlen beteiligt. Ihre Brechkraft ist

sehr beträchtlich, sie beträgt bei einem normalen auf die Ferne eingestellten Auge etwa 19 Dioptrien.

Augenmuskulatur. Der Augapfel wird durch sechs Muskeln bewegt (Abb. 118). Vier verlaufen in gerader Richtung vom hinteren Ende der Augenhöhle zur vorderen Hälfte des Augapfels, wo sie in geringer Entfernung vom Hornhautrand ansetzen (gerade Augenmuskeln), zwei verlaufen schräg (schräge Augenmuskeln). Das Zusammenspiel der Augenmuskeln beider Augen ist außerordentlich fein abgestimmt und verhindert, daß es zu Doppelbildern der Außenwelt kommt.

Schutzorgane des Auges. Die knöcherne Augenhöhle, in der das Auge liegt, gewährt ihm einen weitgehenden Schutz. Die *Augenbrauen* leiten herabrinnenden Schweiß seitlich ab. Die *Augenlider* sind Falten der Gesichtshaut, die auf ihrer Innenseite von einer Schleimhaut, der *Bindehaut*, bedeckt sind. Die Lider können durch Ringmuskeln über das Auge gezogen werden. Sie schließen es während des Schlafes von Lichtreizen ab. Die Bindehaut setzt sich auf den vorderen Teil der weißen Augenhaut fort; sie endet am Hornhautrand. Das Sekret der Talgdrüsen an den Lidrändern fettet diese ein und verhindert ein Überlaufen der Tränenflüssigkeit. Die *Tränendrüsen* (Abb. 119) im oberen äußeren Augenwinkel sondern eine wäßrige, die Entwicklung von Bakterien hemmende Flüssigkeit in die Lidspalte ab. Durch den Lidschlag wird die Tränenflüssigkeit ständig über die vordere Augenoberfläche verteilt. Durch den *Tränenkanal* fließt sie in die Nasenhöhle ab. Bei gesteigerter Sekretion der Tränendrüsen (Weinen) oder bei Verschluß des Tränenkanals kann die Tränenflüssigkeit nicht schnell genug abgeleitet werden und fließt über die Lidränder.

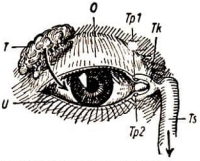


Abb. 119. Tränendrüse und tränenableitende Wege.
O Oberlid, *T* Tränendrüse, *Tk* Tränenkanal, Tp_1 oberes Tränenpünktchen, Tp_2 unteres Tränenpünktchen, *Ts* Tränensack und Tränengang, *U* Unterlid

2. Vorgang des Sehens

Die von einem leuchtenden Gegenstand ausgehenden oder von einem beleuchteten Gegenstand reflektierten Lichtstrahlen werden durch Hornhaut und Linse nach den Gesetzen der geometrischen Optik gebrochen. Die Brechkraft des Auges beträgt bei Einstellung auf die Ferne etwa 59–60 Dioptrien. Es entsteht, ähnlich wie auf dem Film in der photographischen Kamera, auf der Netzhaut ein umgekehrtes, reelles, verkleinertes Bild. Lichtwellen von unterschiedlicher Wellenlänge üben auf die getroffenen Zapfen einen spezifischen Reiz aus.
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 Welt zum Bewußtsein.

Akkommodation. Nach den Brechungsgesetzen entstehen scharfe Bilder von verschieden weit entfernten Gegenständen nur in bestimmten unterschiedlichen Ent-

fernungen vom Linsenmittelpunkt. Dieser Tatsache kann man bei der photographischen Kamera dadurch Rechnung tragen, daß man die Entfernung zwischen Film und Objektiv ändert. In ähnlicher Weise wird bei manchen Tieren die Entfernung der Linse von der Netzhaut geändert. Beim menschlichen Auge dagegen wird die scharfe Abbildung verschieden weit entfernter Gegenstände durch eine Veränderung der Brechkraft der Linse erreicht. Um nahe Gegenstände scharf auf der Netzhaut abzubilden, wird die Linse stärker gewölbt und dadurch ihre Brechkraft erhöht; bei der Betrachtung entfernter Objekte ist es umgekehrt (Abb. 120). Die Veränderung der Wölbung der Augenlinse, die Akkommodation, wird durch den ringförmigen Akkommodationsmuskel beziehungsweise die Eigenelastizität der Linse bewirkt. In der Ruhelage des Akkommodationsmuskels übt dieser durch die Aufhängebänder der Linse einen Zug auf die Linse aus, wodurch sie abgeflacht wird. In diesem Zustand werden entfernte Gegenstände auf der Netzhaut scharf abgebildet. Bei der Betrachtung naher Gegenstände zieht sich der Akkommodationsmuskel reflektorisch zusammen, der Zug der Aufhängebänder läßt nach, und die Linse kann sich ihrer Elastizität entsprechend wölben. Dadurch werden nun nahe Gegenstände auf der Netzhaut scharf abgebildet. Das Nahsehen erfordert also eine dauernde Anspannung des Akkommodationsmuskels. Um einer Überbelastung des Akkommodationsmuskels vorzubeugen, soll man deshalb anhaltende Naharbeit durch kurzes Sehen in die Ferne unterbrechen.

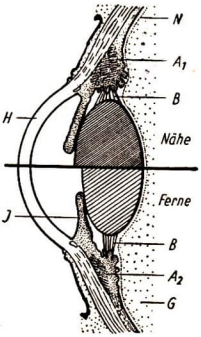


Abb. 120. Längsschnitt durch den vorderen Augenabschnitt, oberer Teil bei akkommodierter Linse, unterer Teil bei nicht akkommodierter Linse.
A_1 Akkommodationsmuskel, kontrahiert, A_2 entspannt, *B* Aufhängebändchen der Linse, *G* Glaskörper, *H* Hornhaut, *J* Iris, *N* Netzhaut

Pupillenreaktion. Die Pupillen sind normalerweise auf beiden Augen gleich groß und rund. Je nach der Helligkeit erweitern oder verengern sie sich und regulieren dadurch die Menge des in das Auge einfallenden Lichtes. Dieser Vorgang vollzieht sich unabhängig von unserem Willen.
Die *Pupillenreaktion* läßt sich leicht beobachten, wenn man bei hellem Licht die Augen mit den Händen bedeckt und dann die Hände wegzieht. Bei hellem Licht zieht sich der Ringmuskel der Iris zusammen und verengt die Pupille. Im Dunkeln dagegen ziehen sich die radiären Muskelfasern der Iris zusammen und erweitern die Pupille. Die Pupille, die sich im Dunkeln weit geöffnet hatte, wird im Hellen schnell kleiner *(Pupillenreflex)*. Durch diesen Vorgang wird, wie durch die Änderung der Blende an einer Kamera, die Menge des einfallenden Lichts innerhalb gewisser Grenzen geändert.

Adaptation. Die Anpassung der Netzhaut an die sich ändernde Lichtintensität bezeichnet man als *Adaptation*. Treten wir aus hellem Sonnenschein in ein dunkles Zimmer, so sehen wir zunächst fast nichts. Erst allmählich nimmt die Licht-

empfindlichkeit der Sehzellen zu, und wir können die Gegenstände erkennen. Nach einer halben Stunde ist die Lichtempfindlichkeit der Sehzellen über 5000mal größer als im Tageslicht. Treten wir wieder ins Helle, so werden wir geblendet. Aber schon nach wenigen Minuten haben sich die Sehzellen wieder dem Tageslicht angepaßt. Die Adaptation an helles Licht erfolgt also schneller als die Adaptation an Dämmerlicht.

Man unterscheidet zwischen Hell- und Dunkeladaptation. Die Helladaptation wird durch die Zapfen, die Dunkeladaptation durch die Stäbchen bewirkt. Im dunkeladaptierten Auge sind die Zapfen ausgeschaltet. Die Stäbchen sind viel lichtempfindlicher als die Zapfen, nehmen aber die Farben nicht auf. Im Zustand der Dunkeladaptation kann man also keine Farben unterscheiden, sondern nur Helligkeitsunterschiede wahrnehmen. Kleine Gegenstände, die sich genau im gelben Fleck abbilden, wo nur Zapfen vorhanden sind, sieht man dann überhaupt nicht. Eine wesentliche Rolle bei der Adaptation spielt die Bildung und Zerstörung des *Sehpurpurs* in den Stäbchen. Der Sehpurpur ist eine hochmolekulare Eiweißverbindung von roter Farbe. Er wird im Licht zerstört und dadurch ausgebleicht. Im Dunkeln wird er wieder aufgebaut, die rote Farbe kehrt zurück. Die Stäbchen werden durch den Sehpurpur gegen Lichtreize empfindlich gemacht (sensibilisiert). Die Bildung des Sehpurpurs erfolgt zum Teil aus Stoffen, die dem Blut und dem Pigmentepithel der Netzhaut entstammen. Bei diesen Vorgängen ist das Vitamin A von entscheidender Bedeutung. Vitamin-A-Mangel führt zu einer Beeinträchtigung des Dämmerungssehens (Nachtblindheit).

Körperliches Sehen. Auf der Netzhaut entsteht ein flächenhaftes, zweidimensionales Bild. Unsere Gesichtswahrnehmungen dagegen sind körperlich, dreidimensional. Beim körperlichen Sehen wirken verschiedene Faktoren zusammen. Am wesentlichsten 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 also 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 Farbenintensitäten dieser Gegenstände in verschiedener Stärke abnehmen. Das *perspektivische* Sehen entsteht dadurch, daß ein weiter entfernter Gegenstand eine kleinere Abbildung auf der Netzhaut erfährt als ein naheliegender. Auf Grund unserer Erfahrung 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.

3. Sehstörungen und Augenkrankheiten

Bei manchen 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. 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 (Abb. 121). Die im jugendlichen Alter auftretende *Übersichtigkeit* beruht auf abnormer Kürze des Augapfels. Die Lichtstrahlen würden sich dabei erst hinter der Netzhaut zu einem scharfen Bild vereinigen können. Im Alter läßt die Elastizität der Linse nach, so daß sie sich bei der Betrachtung naher Gegenstände nicht mehr ausreichend wölben kann. Dadurch würden sich die von nahen Gegenständen kommenden Strahlen auch bei normaler Länge des Augapfels erst hinter der Netzhaut zu einem scharfen Bild vereinigen können *(Alterssichtigkeit)*. Die Korrektur von Übersichtigkeit und Alterssichtigkeit erfolgt durch Konvexgläser (Sammellinsen).

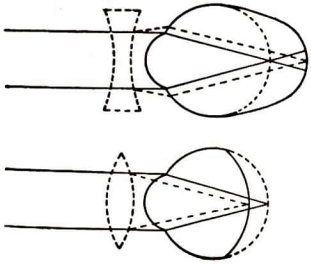


Abb. 121. Oben: Strahlengang im kurzsichtigen Auge (ausgezogene Linie) und Korrektur der Kurzsichtigkeit durch ein Zerstreuungsglas (gestrichelte Linie).
Unten: Strahlengang im übersichtigen Auge (ausgezogene Linie) und Korrektur der Übersichtigkeit durch ein Sammelglas (gestrichelte Linie)

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 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 ein Teil der Hornhaut durch eine Operation entfernt und durch eine gesunde ersetzt werden. Der sowjetische Gelehrte Prof. *Filatow* hat für diese Operation eine neue Methode entwickelt, die in den meisten Fällen eine erfolgreiche Durchführung der Operation gewährleistet und es möglich macht, sie in weitaus größerem Maßstab als bisher auszuführen.

Sehr viele innere und Nervenkrankheiten, insbesondere auch ansteckende Krankheiten können das Auge in Mitleidenschaft ziehen. Dies gilt besonders für die Tuberkulose, die Zuckerkrankheit und 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* (Tra-

chom), die durch ein Virus hervorgerufen wird. Sie greift oft auf die Hornhaut über und kann zu schweren Sehstörungen führen.
Die *Farbenblindheit* beruht wahrscheinlich auf Funktionsstörung der Zapfen. 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 sind mit Nachtblindheit verbunden. Eine seltene Form der Nachtblindheit entsteht durch Mangel an Vitamin A in der Nahrung.
Das *Schielen* entsteht durch Überwiegen eines Augenmuskels über seinen Gegenspieler oder durch Lähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln.
Eine harmlose, aber bisweilen sehr hartnäckige Erkrankung sind die *Gerstenkörner*, die durch Entzündung von Talgdrüsen am Lidrand entstehen.
Sind *Fremdkörper* in das Auge gedrungen, so darf man auf keinen Fall am Auge reiben. Dadurch können Entzündungen entstehen. Sitzt der Fremdkörper unter dem oberen Augenlid, so zieht man das obere Augenlid über das untere und bewegt den Augapfel. Dadurch wird der Fremdkörper von den Wimpern des Unterlides abgewischt. Sitzt der Fremdkörper unter dem unteren Augenlid, so genügt es, das Augenlid abwärts zu ziehen und ihn mit dem Zipfel eines Taschentuches zu entfernen. Gelingt die Entfernung nicht ohne weiteres, so muß umgehend ein Arzt aufgesucht werden.

Schutz der Augen. Zur Erhaltung der normalen Funktionsfähigkeit des Auges ist es wichtig, die Regeln der Augenhygiene zu beachten. Für jede einzelne Arbeit müssen die Bedingungen der besten Beleuchtung und optischen Hilfsmittel besonders festgestellt werden. Als ausreichend kann man eine Beleuchtung dann ansehen, wenn ein Mensch mit normaler Sehkraft die kleine Schrift in einem Buch in einer Entfernung von 50 cm 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. Lampen müssen so angebracht sein, daß sie die Augen nicht direkt beleuchten und den Arbeitsplatz gut erhellen. Schweißer, Schleifer u. a. tragen Schutzbrillen. Richtige Beleuchtung erleichtert die Arbeit und vermindert die allgemeinen Ermüdungserscheinungen. Durch häufige oder länger dauernde Überanstrengung der Augen wird die Sehkraft geschwächt. Bei allen ernsteren Augenerkrankungen muß die Hilfe eines Augenarztes in Anspruch genommen werden.

e) Sinnesorgane des Ohres

Im Ohr liegen mechanische Sinnesorgane, das Gehörorgan und die Organe der Lage- und Bewegungsempfindungen. Die adäquaten Reize für das *Gehörorgan* sind periodische Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, die Schallwellen.

Es vermittelt die Wahrnehmung von Tönen und Geräuschen. Die *Organe der Lage- und Bewegungsempfindungen* werden durch Kopfbewegungen gereizt. Sie unterrichten uns über Bewegungen des Kopfes und seine Lage im Schwerefeld der Erde.

Das Ohr (Abb. 122) gliedert sich in drei Abschnitte: 1. äußeres Ohr, 2. Mittelohr, 3. inneres Ohr.

Das äußere Ohr und das Mittelohr dienen ausschließlich der Schalleitung. Das innere Ohr enthält, voneinander getrennt, die Rezeptoren für das Gehörorgan und für die Organe der Lage- und Bewegungsempfindungen.

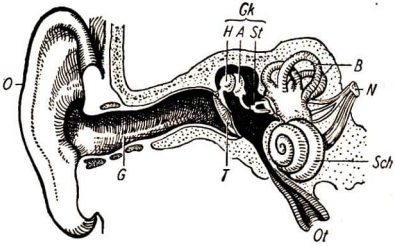


Abb. 122. Schnitt durch das menschliche Ohr.
O Ohrmuschel, *G* Gehörgang, *T* Trommelfell, *Gk* Gehörknöchelchen, *H* Hammer, *A* Amboß und *St* Steigbügel, *B* Bogengänge, *N* Gehörnerv, *Sch* Schnecke, *Ot* Ohrtrompete

1. Gehörorgan

Das Gehörorgan hat sich im Laufe der Stammesgeschichte aus dem Lagesinnesorgan der niederen Wirbeltiere entwickelt.

Äußeres Ohr. Als äußeres Ohr faßt man Ohrmuschel und Gehörgang bis zum Trommelfell zusammen. Die *Ohrmuschel* ist eine von elastischem Knorpel gestützte Hautfalte. Nur ihr unterer Teil, das Ohrläppchen, ist frei von Knorpel. Form und Größe der Ohrmuschel sind bei den Menschen individuell verschieden. Während bei den meisten Säugetieren die Ohrmuscheln durch gut ausgebildete Muskeln bewegt werden können, sind die Ohrmuskeln beim Menschen nur noch rudimentär.

Durch die verschiedenen Windungen und Knorpelvorsprünge der Ohrmuschel werden die Schallwellen in den Gehörgang reflektiert. Dabei gelangen Schallwellen, die vor beziehungsweise hinter der Ohrmuschel ihren Ursprung haben, mit verschiedener Stärke in den Gehörgang. Das spielt eine Rolle bei der Bestimmung der Richtung, aus der der Schallreiz kommt.

Der äußere *Gehörgang* besteht aus einem äußeren, lediglich durch knorpelige Weichteile gebildeten Abschnitt und einem inneren, dessen Grundlage ein knöcherner Kanal im Schläfenbein ist.

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

Das *Trommelfell*, eine etwa $\frac{1}{10}$ mm dicke, nahezu kreisförmige Membran von etwa 1 cm Durchmesser, schließt den Gehörgang gegen das Mittelohr ab. Es wird durch die auftreffenden Schallwellen in Schwingungen versetzt.

Mittelohr. An das Trommelfell schließt sich das Mittelohr an, das aus der Paukenhöhle, den Gehörknöchelchen und der Ohrtrompete besteht. Die *Paukenhöhle* ist ein von Schleimhaut ausgekleideter Hohlraum am Schläfenbein. Sie ist mit Luft gefüllt und hat durch die *Ohrtrompete* (Eustachische Röhre) eine Verbindung mit dem Nasen- und Rachenraum. In der Wand, die die Paukenhöhle zum inneren Ohr hin abschließt, befinden sich zwei kleine, durch Membranen verschlossene Öffnungen, das *ovale* und das *runde Fenster*.
Die Wände der Ohrtrompete liegen im allgemeinen aufeinander, öffnen sich aber beim Schlucken. Dadurch wird der Luftdruck in der Paukenhöhle bei jedem Schlucken dem der atmosphärischen Luft angeglichen. Das Trommelfell steht also von beiden Seiten unter demselben Luftdruck. Dieser Umstand ermöglicht seine Schwingungen.
Die *Gehörknöchelchen*, Hammer, Amboß und Steigbügel, leiten die Schwingungen des Trommelfells zum inneren Ohr weiter. Der Hammer liegt dem Trommelfell an. Die Grundplatte des Steigbügels sitzt dem ovalen Fenster auf. Der Amboß verbindet Hammer und Steigbügel miteinander.
Die Bewegungsmöglichkeiten der Gehörknöchelchen werden durch zwei sehr kleine Muskeln reguliert. Der Steigbügelmuskel ist der kleinste Muskel des menschlichen Körpers.
Die durch das Trommelfell aufgenommene Energie der Schallwellen wird im vollen Umfange auf das ovale Fenster übertragen, weil der Leitungsweg durch die Kette der Gehörknöchelchen gebildet wird. Ohne sie würde sich die Energie in der Paukenhöhle nach allen Seiten gleichmäßig verteilen; nur ein kleiner Bruchteil, der Größe des ovalen Fensters entsprechend, käme für den Hörvorgang zur Wirkung.

Inneres Ohr. Das innere Ohr oder Labyrinth liegt in verschieden geformten, miteinander verbundenen Hohlräumen des Schläfenbeins. Seine knöchernen Wandungen bezeichnet man als das *knöcherne Labyrinth*. In ihm liegt das *häutige Labyrinth* (Abb. 123).
Das knöcherne Labyrinth besteht aus dem Vorhof, der Schnecke und den Bogengängen. Der *Vorhof* ist der mittlere Teil des Labyrinths. In ihn münden die drei Bogengänge und die Schnecke ein. Die Bogengänge sind in drei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen angeordnet. Die *Schnecke* (Abb. 124) bildet den vorderen Abschnitt des Labyrinths. Sie enthält den Schneckengang mit dem eigentlichen Gehörorgan. Der Schneckengang umzieht in etwa $2\frac{1}{2}$ Windungen die Achse der knöchernen Schnecke, die *Schneckenspindel*. Von der Schnecken-

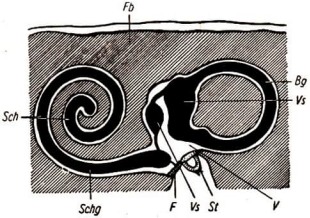


Abb. 123. Schema des häutigen (schwarz) und des knöchernen (weiß) Labyrinths; (schraffiert: Knochen).
Bg Bogengang, *F* Fenster, *Fb* Felsenbein, *Sch* Schnecke, *Schg* Schneckengang, *St* Steigbügel, *V* Vorhof, *Vs* Vorhofsäckchen

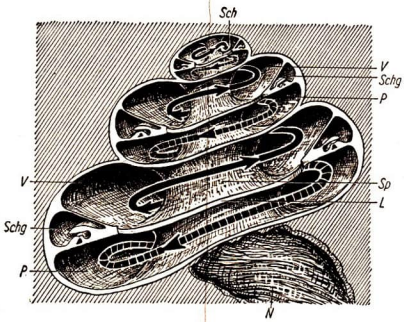


Abb. 124. Längsschnitt durch die Schnecke, glatter Pfeil aufsteigende, gestrichelter Pfeil absteigende Bewegung der Außenlymphe.

Sch Schneckenloch, *V* Vorhoftreppe, *Schg* Schneckengang mit Cortischem Organ, *P* Paukentreppe, *Sp* Spindel, *L* Knochenlamelle, *N* Gehörnerv

spindel ragt eine Knochenlamelle quer bis ungefähr zur Mitte in die Schneckenhöhlung hinein. Diese Knochenlamelle zieht um die Spindel herum spiralig aufsteigend bis nahe an deren Spitze. Ihr frei in das Schneckeninnere ragender Rand wird durch zwei im spitzen Winkel auseinanderweichende Häute mit der äußeren Wand der Schnecke verbunden. Die untere der beiden Häute bezeichnet man als *Grundmembran*. Diese Häute bilden zwischen sich einen Gang, den *Schneckengang*. Sein Querschnitt hat angenähert die Form eines rechtwinkligen Dreiecks. Durch die Knochenlamelle und den Schneckengang wird die Höhlung der Schnecke in zwei Kanäle geteilt, die oben gelegene *Vorhoftreppe* und die unten gelegene *Paukentreppe*. An der Spitze der Spindel, wo die Knochenlamelle aufhört, stehen beide durch das *Schneckenloch* miteinander in Verbindung. Das untere, breite Ende der Vorhoftreppe wird durch das ovale Fenster gegen die Paukenhöhle hin abgeschlossen. Am Ende der Paukentreppe liegt das runde Fenster. Schneckengang, Vorhoftreppe und Paukentreppe sind mit lymphatischer Flüssigkeit gefüllt. Im Schneckengang befindet sich die *Innenlymphe*, in Vorhof- und Paukentreppe die *Außenlymphe*.

Das eigentliche Gehörorgan, das nach seinem Entdecker Corti benannte *Cortische Organ* (Abb. 125), liegt der Grundmembran des Schneckenganges auf. In ihm be-

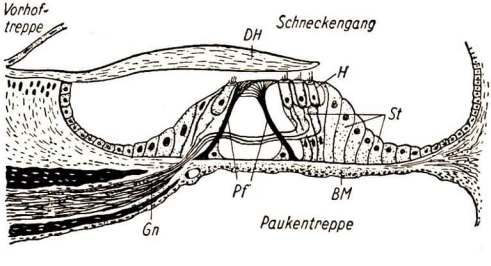


Abb. 125. Querschnitt durch das Cortische Organ.

BM Grundmembran, *DH* Deckmembran, *Gn* Gehörnerv, *H* Hörzellen, *Pf* Pfeilerzellen, *St* Stützzellen

findet sich das aus Hörzellen und Stützzellen verschiedener Bauart bestehende Sinnesepithel. Die durch Stützzellen mit der Grundmembran verbundenen Hörzellen tragen am oberen Ende Hörhaare, welche in die Schleimhaut der darübersitzenden Deckmembran hineinragen. Durch die Auf- und Abbewegungen der Grundmembran werden die Hörhaare gegen die Deckmembran bewegt. Dies wirkt als Reiz auf die Sinneszellen. Von den Sinneszellen aus werden die Erregungen durch den Hörnerv zum Gehirn weitergeleitet.

Nach der Spitze zu nimmt die Querschnittsgröße des Schneckenganges ab, während die Breite der Grundmembran zunimmt. Die Grundmembran besteht aus einer großen Anzahl quergestellter Fasern, die, ähnlich wie die Saiten eines Flügels, an Länge und Stärke zunehmen. Die kürzesten Fasern liegen am unteren Ende der Schnecke, die längsten an der Spitze. Dadurch entstehen für verschiedene Schwingungsfrequenzen eng begrenzte Resonanzzonen. Töne unterschiedlicher Höhe reizen also jeweils andere Nervenfasern. Dies ist von großer Bedeutung für die Unterscheidung der Töne.

Die Empfindungen der tiefen Töne werden von der Grundmembran der obersten, die Empfindungen der hohen Töne von der Grundmembran der untersten Schneckenwindung und die Empfindungen der Töne mit mittlerer Schwingungszahl von dem mittleren Abschnitt der Grundmembran vermittelt.

Die Schwingungen der Steigbügelplatte werden durch das ovale Fenster auf die Außenlymphe der Vorhoftreppe übertragen. Durch das Schneckenloch pflanzen sich die Schwingungen der Außenlymphe fort und gelangen durch die Paukentreppe bis zum runden Fenster, dessen elastische Membran die Schwingungen auffängt. Da die Außenlymphe unelastisch ist, könnten in der Vorhof- und der Paukentreppe ohne die Elastizität der Membran des runden Fensters keine Druckschwankungen auftreten. Die Druckschwankungen in der Paukentreppe treffen auf die Grundmembran des Cortischen Organs und bringen deren Fasern durch Resonanz zum Mitschwingen. Ihre Schwingungen wirken als Reiz auf die Hörzellen. Die von den Hörzellen ausgehenden Erregungen werden durch den Hörnerv in das verlängerte Mark und von dort aus weiter in die Großhirnrinde geleitet.

Der Mensch ist fähig, Töne von etwa 20 bis 20000 Schwingungen in der Sekunde wahrzunehmen. Im Alter läßt die Empfindungsfähigkeit für hohe Töne nach. Tiere haben oft ein feineres Unterscheidungsvermögen für die Tonhöhen als Menschen. Diese Tatsache hat I. P. Pawlow als erster experimentell nachgewiesen. Durch die Ausbildung eines bedingten Reflexes erzielte er bei seinen Versuchshunden Speichelfluß, sobald sie einen Ton von 800 Schwingungen hörten. Schon bei einem Ton von 812 Schwingungen blieb jedoch bei diesen Hunden der Speichelfluß aus.

Schallwellen von einer Frequenz über 20000 Schwingungen in der Sekunde bezeichnet man als *Ultraschall*. Sie werden vom Menschen nicht mehr wahrgenommen. Die Gehörorgane mancher Tiere (z. B. Hunde, Fledermäuse) werden dagegen durch Ultraschall noch gereizt. Ultraschall von hoher Frequenz wird neuerdings in der Medizin zur Heilung verschiedener Krankheiten (Nervenschmerzen, Wirbelsäulenversteifung u. a.) angewandt.

2. Organe der Lage- und Bewegungsempfindungen

Die Organe der Lage- und Bewegungsempfindungen liegen in jenen Abschnitten des *häutigen Labyrinths*, die sich im knöchernen Vorhof und in den knöchernen Bogengängen befinden. Im knöchernen Vorhof liegen zwei miteinander und mit den Bogengängen verbundene häutige Säckchen (Vorhofsäckchen). Aus dem kleineren dieser Säckchen entspringt der Schneckengang des Gehörorgans, aus dem größeren entspringen die drei *häutigen Bogengänge*. Sie sind wie in Abb. 126 b angeordnet. Die Vorhofsäckchen und die häutigen Bogengänge sind ebenso wie der Schneckengang mit Innenlymphe gefüllt. Das häutige Labyrinth liegt dem knöchernen nicht an allen Stellen an. Der Zwischenraum zwischen häutigem und knöchernem Labyrinth ist mit der Außenlymphe gefüllt. Jeder häutige Bogengang besitzt an einem unteren Ende eine sackartige Erweiterung, die Ampulle (Abb. 126a).

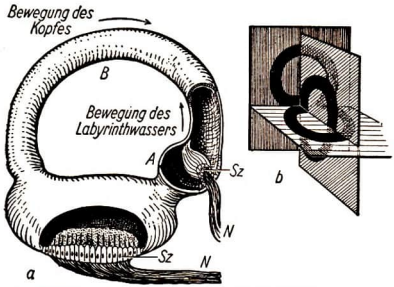


Abb. 126. Lage- und Bewegungssinnesorgane des Menschen.
a Bogengang mit Ampulle (halbschematisch); *A* Ampulle, *B* Bogengang, *N* Nerven, *Sz* Sinneszellen; *b* Anordnung der Bogengänge in drei senkrecht aufeinanderstehenden Ebenen

Die *Sinnesepithelien* für die Lage- und Bewegungsempfindungen befinden sich in den Vorhofsäckchen und in den Ampullen. Sie bestehen aus Sinneszellen und Stützzellen. In den *Vorhofsäckchen* liegt um die Sinneshärchen der Sinneszellen eine dünne Schicht einer gallertartigen Masse, in die kleine Kalkkörnchen eingelagert sind. Durch ihre bei verschiedenen Körperlagen unterschiedliche Druckrichtung rufen sie die Lageempfindungen hervor. In den *Ampullen* tragen die Sinneszellen lange Sinneshaare, die zu Büscheln verklebt sind. Bei plötzlicher Bewegung des Kopfes macht das Labyrinthwasser auf Grund seiner Trägheit die Bewegung nicht in gleicher Weise mit wie die Bogengänge. Dadurch wird das Labyrinthwasser relativ zu den Wandungen der Bogengänge verschoben; die Haarbüschel werden abgebogen und die Sinneszellen gereizt. Diese Reizung kommt uns als Bewegung nach den entsprechenden Richtungen zum Bewußtsein.

Nach mehrfacher schneller Umdrehung 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 ruft das fortgesetzte Schwanken eines Schiffes auf See durch eine dauernd wechselnde übermäßige Reizung des Organs der Lage- und Bewegungsempfindung Schwindelgefühl hervor.

3. Ohrerkrankungen

Durch Verhärtung von Ohrenschmalz kann es zu Verstopfungen des Gehörganges und damit zu vorübergehender Schwerhörigkeit kommen. Der äußere Gehörgang darf nicht mit spitzen Gegenständen gereinigt werden, da dadurch Beschädigungen des Gehörganges und des Trommelfells eintreten können. Die *Mittelohrentzündung* entsteht im allgemeinen durch Bakterien, die meist von der Rachenhöhle durch die Ohrtrompete ins Mittelohr eindringen. In einigen Fällen entsteht dadurch in der Paukenhöhle eine Eiterung; ohne rechtzeitige Behandlung kann sie schwere Folgen (Taubheit, Gehirnhautentzündung, Gehirnabszeß usw.) haben. Darum muß bei jeder Erkrankung der Ohren sofort der Arzt zu Rate gezogen werden. Dauernde Taubheit beruht entweder auf Erkrankungen des Mittelohres oder des inneren Ohres.

Übersicht über die Sinnesorgane

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

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

II. Nervensystem

Am Nervensystem des Menschen lassen sich drei Teile unterscheiden:

1. das aus Gehirn und Rückenmark bestehende *Zentralnervensystem*,
2. die vom Zentralnervensystem ausgehenden Nerven, das *periphere Nervensystem*,

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

Alle Teile des Nervensystems stehen in engem Zusammenhang miteinander. Deshalb lassen sie sich weder ihrem Bau noch ihrer Funktion nach scharf gegeneinander abgrenzen.

a) Nervengewebe

Im Nervensystem finden wir zwei verschiedene Arten von Zellen: die Nervenzellen und die Gliazellen. Die Funktion der Nervenzellen besteht in der Aufnahme und Leitung nervöser Erregungen. Die *Gliazellen* bilden das Stützgewebe des Nervensystems. Sie dienen der Ernährung und gegenseitigen Isolierung der Nervenzellen. Dagegen sind sie an der Erregungsleitung wahrscheinlich nicht beteiligt. Nervenzellen und Gliazellen entwickeln sich aus dem Ektoderm. Das Gliagewebe ist das einzige Stützgewebe ektodermaler Herkunft.

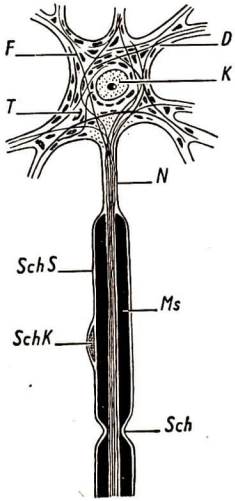


Abb. 127. Nervenzelle mit Neurit.
D Dendrit, *F* Fibrillen, *K* Kern, *Ms* Markscheide, *N* Neurit, *Sch* Schnürring, *SchK* Kern der Schwannschen Scheide, *SchS* Schwannsche Scheide, *T* Tigroidschollen

Die *Nervenzellen* bestehen aus dem Zelleib, von dem ein oder mehrere Fortsätze (Abb. 127) abgehen. Im Protoplasma des Zelleibs lassen sich feine Fäserchen nachweisen, die *Neurofibrillen*. Sie durchziehen die Zelle in verschiedenen Richtungen und treten in die Fortsätze ein. Mit bestimmten Färbemethoden lassen sich außerdem im Zelleib stark färbbare Substanzen, die Tigroidschollen, darstellen. Wahrscheinlich bestehen sie aus Reservestoffen. Zahl und Form der vom Zelleib ausgehenden Fortsätze sind sehr verschieden.

Die meisten Nervenzellen besitzen einen langen sich nicht verzweigenden Fortsatz, den *Nervenfortsatz (Neurit*, Abb. 127*)*. Die Neuriten können bis etwa 1 m lang werden. Sie sind bei den meisten Ganglienzellen von einer Markscheide umgeben. Die Markscheide besteht im wesentlichen aus einer fettähnlichen Substanz. Sie erscheint in bestimmten Abständen wie eingeschnürt. Man bezeichnet diese Stellen deshalb auch als Schnürringe. Die Markscheide kann ihrerseits von einem feinen Häutchen, der Schwannschen Scheide, umgeben sein, das zwischen je zwei Schnürringen einen Zellkern besitzt. Außer den Neuriten besitzen die meisten Nervenzellen noch andere, kürzere und sich verzweigende Fortsätze, die *Dendriten*. Eine Nervenzelle mit allen ihren Fortsätzen, dem Neuriten und den Dendriten, bezeichnet man als ein *Neuron*. Die nervöse Erregung verläuft über Ketten von hintereinandergeschalteten Neuronen.

Die Neuriten der Nervenzellen gruppieren sich zu dünneren oder dickeren von Bindegewebshüllen umgebenen Bündeln, den Nerven (Abb. 128). Sie leiten Erregungen vom Zentralnervensystem zu den verschiedenen Organen (zentrifugal) oder in umgekehrter Richtung von den Sinnesorganen zum Zentralnervensystem (zentripetal).
Der Nerv selbst enthält niemals Nervenzellen. Diese liegen in den Nervenzentren oder in den Sinnesorganen. Der Nerv ist also kein selbständiges Organ.

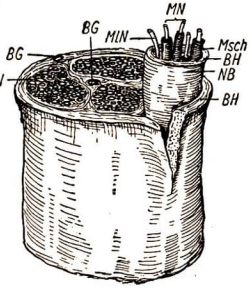


Abb. 128. Schnitt durch einen Nerv. *BG* Gefäß, *BH* Bindegewebshülle, *MLN* markscheidenloser Neurit, *MN* Neurit mit Markscheide, *Msch* Markscheide, *N* Neurit, *NB* Neuritenbündel

b) Allgemeine Nervenphysiologie

Jeder Reiz bewirkt, sofern er stark genug ist, eine sich ausbreitende Änderung im Zustand des Protoplasmas, die als *Erregung* bezeichnet wird. Ein Reiz läuft also vom Sinnesorgan nicht in Form von Schall, Wärme usw. weiter. Er liefert auch nicht die Energie für die Erregung, sondern löst lediglich die Umwandlung von potentieller Energie, die in den Sinneszellen und Nervenfasern gespeichert ist, zu aktueller Energie aus.
Bei den Erregungsvorgängen handelt es sich um sehr rasch verlaufende Stoffwechselprozesse, bei denen, wenn auch in sehr geringem Maße, Sauerstoff verbraucht wird und Kohlendioxyd und Wärme gebildet werden. Jede erregte Stelle einer Nervenfaser verhält sich den nicht erregten Stellen gegenüber elektrisch negativ. So entsteht eine schwache elektrische Spannung zwischen erregten und nicht erregten Stellen einer Nervenfaser. Auf dieser Spannung beruhen die *Aktionsströme der Nerven*, die alle Erregungsvorgänge in ihnen begleiten. Die Aktionsströme in erregten Nerven lassen sich ableiten und mit einem Galvanometer nachweisen. Die negative Ladung wandert gleichzeitig mit der Erregung die Nerven entlang. Die Geschwindigkeit der Erregungsleitung ist für einzelne Nervenfasern verschieden. Sie beträgt beim Menschen je nach Art der Nervenfaser etwa 1 bis 120 m je Sekunde. Im allgemeinen ist sie von der Temperatur abhängig und folgt annähernd der van t'Hoffschen Regel, das heißt, bei einer Temperaturerhöhung um etwa 10° C verdoppelt sich die Geschwindigkeit. Es vergeht also zwischen Reiz und Reaktion eine geringe, aber meßbare Zeit. Diese Reaktionszeit ist bedeutungsvoll für schnelle Reaktionen, zum Beispiel für das Bremsen eines Kraftwagens bei plötzlich auftretenden Hindernissen (Schrecksekunde). Aus der Tatsache, daß die Geschwindigkeit der Erregungsleitung in einem Nerv der van t'Hoffschen Regel folgt, und aus dem Sauerstoffverbrauch bei der Erregungsleitung kann man schließen, daß die Erregung nicht wie ein elektrischer Strom in einem metallischen Leiter fortgeleitet wird, sondern auf chemischen Vorgängen beruht. Ein Nerv erholt sich nach der Erregungswelle in einer Zeit, die bei gewissen Nerven kürzer als $\frac{1}{100}$ sec sein kann. Daher erscheint er nahezu unermüdbar, ein

Beispiel dafür sind lang andauernde Zahnschmerzen. Ständig verlaufen Erregungen von den freien Nervenendigungen in der Zahnpulpa zum Zentralnervensystem und lösen hier eine dauernde Schmerzempfindung aus. Eine Ermüdung des Nervs tritt ein, wenn er gänzlich von Sauerstoff abgeschlossen ist, also auch nach Abdrosselung der ihn ernährenden Arterien.

c) Rückenmark

Die Wirbelbögen umschließen in ihrer Gesamtheit den Wirbelkanal (s. S. 16), in dem das Rückenmark mit seinen Hüllen liegt. Das Rückenmark ist ein etwa 40 bis 45 cm langer Strang, der an seiner vorderen Seite eine Längsfurche aufweist. Aus ihm zweigen seitlich 31 Paar *Rückenmarksnerven* ab, die durch Öffnungen zwischen den Wirbelbögen aus dem Wirbelkanal austreten. Jeder dieser Rückenmarksnerven entsteht durch die Vereinigung zweier Wurzeln, von denen die eine vorn, die andere hinten vom Rückenmark abzweigt.

An dem Rückenmarksquerschnitt (Abb. 129) können wir erkennen, daß eine *graue Substanz* in Form eines Schmetterlings in eine *weiße Substanz* eingebettet ist. Die nach vorn liegenden Fortsätze der grauen Substanz sind die *Vorderhörner*, die nach hinten liegenden die *Hinterhörner*. In der Mitte der grauen Substanz befindet sich ein enger Kanal, der *Zentralkanal*. Er steht mit den Hirnkammern in Verbindung und ist wie diese mit Liquor gefüllt (s. S. 159). Der Zentralkanal ist ein Rest der Lichtung des embryonalen Neuralrohres. Die graue Substanz wird von Nervenzellen, die weiße Substanz von markhaltigen Nervenfasern (Neuriten) gebildet. Die Neuriten, die von den in den Vorderhörnern liegenden Nervenzellen ausgehen, leiten Erregungen zu den Muskeln. Deshalb bezeichnet man diese Nervenzellen als *motorische Nervenzellen*, ihre Neuriten als *motorische Nervenfasern*. Die motorischen Nervenfasern treten jeweils an der Vorderseite des Rückenmarks aus und bilden dort die vordere Wurzel des Rückenmarknervs. An den Nervenzellen der Hinterhörner endigen Nervenfasern, die Erregungen von den Sinnesorganen zum Rückenmark leiten. Diese Nervenfasern werden deshalb als *sensible Nervenfasern*, die Nervenzellen im Hinterhorn als *sensible Nervenzellen* bezeichnet. Die sensiblen Nervenfasern treten jeweils an der Hinterseite in das Rückenmark ein und bilden dort die hintere Wurzel der Rückenmarksnerven. Kurz vor der Vereinigung von vorderer und hinterer Wurzel zu dem gemeinsamen Stamm des Rückenmarknervs ist in die hintere Wurzel eine Gruppe von Nervenzellen eingeschaltet. Derartige in den Verlauf eines Nervs eingeschaltete Nervenzellgruppen bezeichnet man als Ganglien

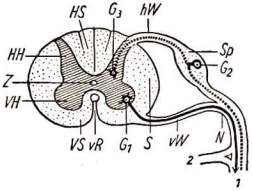


Abb. 129. Rückenmarksquerschnitt, Vorder- und Hinterwurzel (nur auf einer Seite eingezeichnet).

G_1 motorische Vorderhornzelle, G_2 sensible Nervenzelle im Spinalganglion, G_3 sensible Hinterhornzelle, *HH* Hinterhorn, *HS* Hinterstrang, *N* gemischter Nerv, *vR* vordere Rinne, S Seitenstrang, *Sp* spinales Ganglion, *VH* Vorderhorn, *VS* Vorderstrang, *hW* hintere Wurzel, *vW* vordere Wurzel, *Z* Zentralkanal; *1* Rückenmarksnerv, *2* Verbindung zum Grenzstrang des Sympathikus

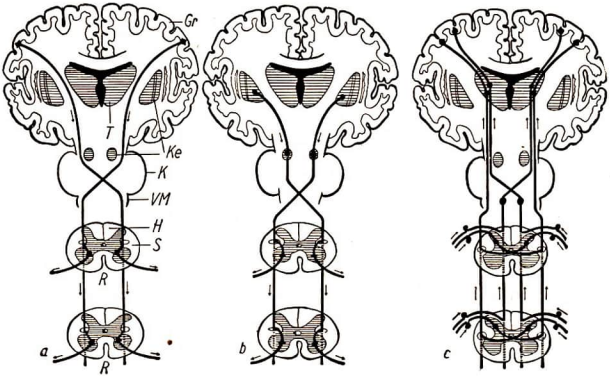


Abb. 130. Die wichtigsten Bahnen des Rückenmarks; *a* Pyramidenbahn, *b* extrapyramidale Bahnen, *c* sensible Bahnen.

Gr Großhirnrinde, *H* Hinterstrang, *K* Kleinhirn, *Ke* Kern im Zwischen- und Mittelhirn, *R* Rückenmark, *S* Seitenstrang, *T* Thalamus, *VM* verlängertes Mark

oder Ganglienknoten. Die in den Hinterwurzeln liegenden Ganglien sind die sensiblen Rückenmarksganglien (Spinalganglien).

An den Dendriten der motorischen Nervenzellen des Vorderhorns enden Nervenfasern, 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 zu den Nervenzellen in der grauen Substanz des Rückenmarks ziehen oder von ihnen ausgehen, bilden die weiße Substanz des Rückenmarks. Innerhalb der weißen Substanz lassen sich Bündel von Nervenfasern gleicher Funktion gegeneinander abgrenzen. Diese Bündel bezeichnet man als die *Leitungssysteme* oder Bahnen des Rückenmarks. Die wichtigsten Leitungssysteme sind:

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

Die Nervenzellen, deren Fasern das *Pyramidenbahnsystem* (Abb. 130a) bilden, liegen in der vorderen Zentralwindung der Großhirnrinde (s. S. 165). Die aus der linken und der rechten Hälfte des Großhirns entspringenden Pyramidenbahnen überkreuzen einander in Höhe des verlängerten Marks (s. S. 159) und ziehen zum größten Teil an der Vorderseite des Rückenmarks zu den motorischen Nerven-

zellen des Vorderhorns. Die Pyramidenbahn leitet die nervösen Erregungen für die willkürlichen Bewegungen der Muskeln.

Die *extrapyramidalen Bahnen* (Abb. 130b) nehmen ihren Ursprung von Ganglienzellgruppen im Zwischen- und Mittelhirn. 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 und Trauer usw.).

Das *sensible Leitungssystem* (Abb. 130c) nimmt seinen Ursprung von den sensiblen Spinalganglien. Die sensiblen Bahnen ziehen im Hinterstrang und in den Seitensträngen des Rückenmarks aufwärts. Die von diesen Bahnen geleiteten Erregungen werden auf weitere Neurone umgeschaltet und erreichen die hintere Zentralwindung der Großhirnrinde. Hier werden sie zu Empfindungen umgeformt (s. S. 165).

Außer den langen, Gehirn und Rückenmark miteinander verbindenden Leitungssystemen gibt es im Rückenmark Neurone, die Kurzschlüsse zwischen motorischen und sensiblen Nervenzellen innerhalb des Rückenmarks herstellen. Diese Art von 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:

1. das *Sinnesorgan (Rezeptor)*, das den aus der Umwelt kommenden Reiz aufnimmt und in eine nervöse Erregung umsetzt;

2. die *sensiblen Nervenfasern*, die diese Erregung vom Sinnesorgan über die Spinalganglien zu den sensiblen Hinterhornzellen des Rückenmarks weiterleiten;

3. ein oder mehrere *Schaltneurone*, die die Verbindung zwischen den sensiblen Hinterhornzellen und den motorischen Vorderhornzellen herstellen können und das Reflexzentrum bilden;

4. die *motorischen Fasern*, die die Erregung von den Vorderhornzellen zum Erfolgsorgan weiterleiten;

5. das *Erfolgsorgan (Effektor)*, das auf diese Erregung mit einer Tätigkeit reagiert,

Beim Menschen ist eine große Zahl von *Rückenmarksreflexen* bekannt. Sie haben große Bedeutung für die Erkennung von Krankheiten des Rückenmarks. Einer der wichtigsten Rückenmarksreflexe ist der sogenannte Kniesehnenreflex. Der Reflexbogen des Kniesehnenreflexes beginnt in den Muskel- und Sehnenspindeln des vierköpfigen Schenkelstreckmuskels (s. S. 41). Die Muskel- und Sehnenspindeln werden durch eine plötzliche Dehnung des Muskels gereizt. Bei übereinandergeschlagenen Beinen läßt sich eine solche Dehnung her-

vorrufen, indem man einen kurzen, kräftigen Schlag auf das übergeschlagene Bein unmittelbar unterhalb der Kniescheibe ausführt. Die dadurch ausgelöste Erregung läuft zu sensiblen Hinterhornzellen im Lendenteil des Rückenmarks. Hier wird sie durch Schaltneurone auf motorische Vorderhornzellen umgeschaltet, die ebenfalls im Lendenteil des Rückenmarks liegen. Von diesen Vorderhornzellen aus ziehen motorische Fasern zum vierköpfigen Schenkelstreckmuskel zurück. Die übermittelte Erregung bewirkt eine kurze, schnelle Kontraktion dieses Muskels. Das erkennt man an dem ruckartigen Strecken des übergeschlagenen Beines. Läßt sich der Kniesehnenreflex nicht auslösen, so kann der Arzt daraus erkennen, daß der Funktionsablauf des Kniesehnenreflexes durch einen Krankheitsprozeß gestört ist.

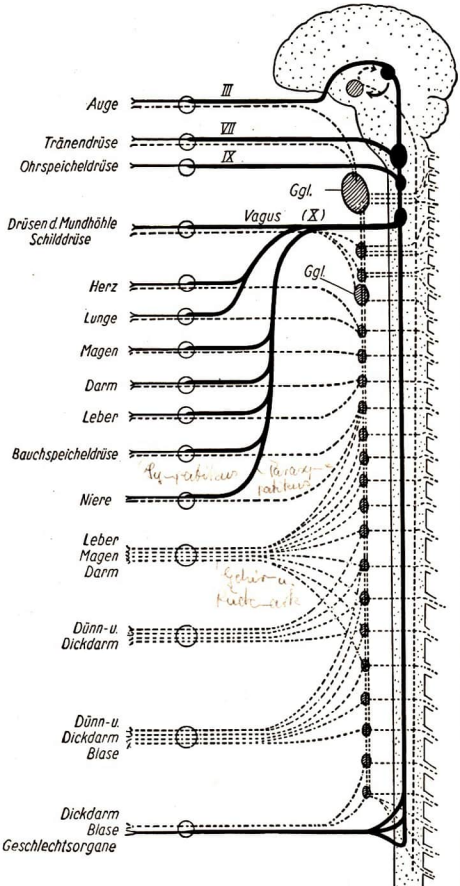
Auch der Muskeltonus (s. S. 32) wird zum Teil durch Reflexe, die lediglich über das Rückenmark verlaufen, bewirkt. Diese *Tonusreflexe* nehmen ihren Ausgang ebenfalls in den sensiblen Endorganen der Muskeln und Sehnen, verlaufen über sensible Nervenfasern zum Rückenmark und von hier wieder zurück zu den Muskeln. Unterbricht man bei Tieren im Experiment den Reflexbogen dieser Tonusreflexe, indem man die sensiblen Nervenfasern des Reflexbogens durchschneidet, so verlieren die entsprechenden Muskeln ihren Tonus, sie erschlaffen. Verlieren mehrere Muskeln einer Gliedmaße ihren Tonus, so hängt die Gliedmaße schlaff herab. Da den Muskeln über die Pyramidenbahn und die Vorderhornnervenzellen des Rückenmarks aber noch nervöse Erregungen zugeleitet werden können, kann die Gliedmaße noch 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, bei dem jede Änderung in einem Teil zu Veränderungen in anderen Teilen führt.

d) 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 usw. 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, beispielsweise Hunger, Ermüdung usw., 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 (Abb. 131).

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 miteinander verbunden sind. Jeder der sympathischen Ganglienknoten ist außerdem durch Nervenfasern mit den entsprechenden Rückenmarksnerven verbunden (s. Abb. 129). Durch diese Verbindung können Erregungen aus dem Zentralnervensystem zum vegetativen Nervensystem

Abb. 131. Schema des vegetativen Nervensystems; gestrichelt: Sympathikus, schwarz: Parasympathikus.

Ggl Ganglienknoten des Grenzstrangs des Sympathikus, *III*, *VII*, *IX*, X: Gehirnnerven III, VII, IX, *X*

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 und zu den Muskeln in 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 (Abb. 131) 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 (Abb. 131) ziehen parasympathische Fasern von anderen Gehirnnerven. Aus dem unteren Abschnitt des Rückenmarks ziehen 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 und bestimmen den Tonus der von ihnen innervierten Organe.

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

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.

Das Gehirn. Das Gehirn erreicht beim Menschen die höchste Stufe seiner Entwicklung. Oft gibt das Verhältnis des Hirngewichts zum Gesamtgewicht eines

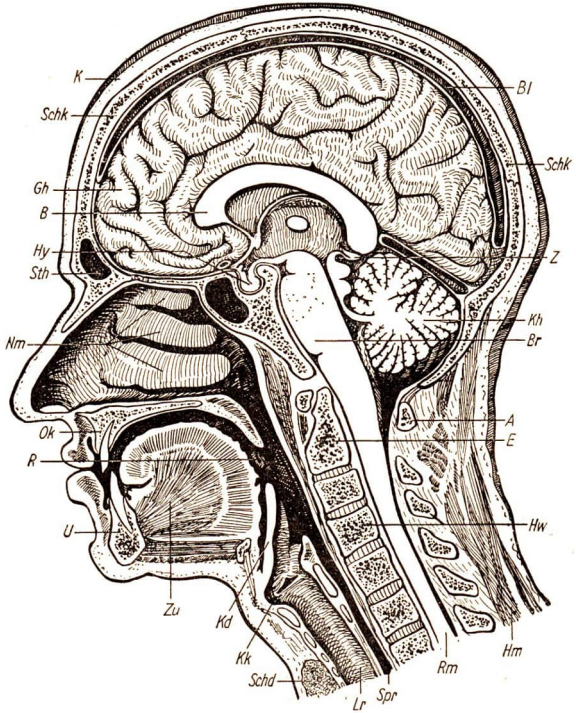


Abb. 132. Schädel im Längsschnitt.

A Atlas, *B* Balken, *Bl* Blutleiter der harten Hirnhaut, *Br* Brücke, *E* Epistropheus, *Gh* Großhirn, *Hm* Halsmuskel, *Hw* Halswirbel, *Hy* Hypophyse, *K* Kopfhaut, *Kd* Kehlkopfdeckel, *Kh* Kleinhirn, *Kk* Kehlkopf, *Lr* Luftröhre, *Nm* Nasenmuscheln, *Ok* Oberkiefer, *R* Rachenmandel, *Rm* Rückenmark, *Schd* Schilddrüse, *Schk* Schädelknochen, *Spr* Speiseröhre, *Sth* Stirnbeinhöhle, *U* Unterkiefer, *Z* Zirbeldrüse, *Zu* Zunge

Lebewesens einen ungefähren Anhalt für die Abschätzung von dessen psychischen Fähigkeiten. Ein Leonberger Hund, ein weiblicher Gorilla und ein Mensch haben annähernd das gleiche Körpergewicht; ihre Gehirne aber wiegen rund 135 g, 430 g und 1350 g. Das Hirn des Menschen ist also etwa dreimal so schwer wie das des Gorillas und zehnmal so schwer wie das des Leonberger Hundes. Das Gehirn eines

erwachsenen Menschen wiegt im allgemeinen etwa 1350 g, doch sind auch Hirngewichte unter 1100 g und über 1850 g nicht unbedingt krankhaft. Entscheidend für die Leistung sind der innere Bau und die Feinheit und Vielfalt der darin ablaufenden Vorgänge. Aus der Entwicklungsgeschichte (s. S. 120) wird verständlich, daß sich am Gehirn des Menschen fünf Abschnitte unterscheiden lassen: das Nachhirn (verlängertes Mark), das Hinterhirn (Kleinhirn), das Mittelhirn, das Zwischenhirn und das Vorderhirn (Großhirn, Abb. 132). Aus der Lichtung des embryonalen Neuralrohres entwickelten sich untereinander zusammenhängende Hohlräume (Hirnkammern) im Innern des Gehirns. Sie sind mit einer der Lymphe ähnlichen, aber eiweiß- und salzarmen, wasserklaren Flüssigkeit, dem *Liquor*, gefüllt. Je eine Hirnkammer liegt in der linken und der rechten Großhirnhemisphäre, im Zwischenhirn und im Hinterhirn. Die Hirnkammern stehen durch enge Kanäle untereinander und mit den Lymphräumen zwischen den Hirnhäuten in Verbindung.

Hirnhäute. Sowohl das Gehirn als auch das Rückenmark werden von drei bindegewebigen Hüllen (Abb. 31, S. 24) umgeben, die sich aus dem mittleren Keimblatt entwickeln. Die äußere Hirnhaut ist dick und fest und wird deshalb als *harte Hirnhaut* bezeichnet. Sie liegt dem Periost der Schädelknochen beziehungsweise Wirbelbögen unmittelbar an. Unter der harten Hirnhaut liegt, durch einen schmalen Spaltraum von ihr getrennt, die mittlere Hirnhaut, die *Spinnwebenhaut*. Die Spinnwebenhaut wiederum umgibt die innere der drei Hirnhäute, die *weiche Hirnhaut*. Diese dringt in alle Furchen und Vertiefungen des Gehirns ein. Im Gegensatz zur Spinnwebenhaut verlaufen in ihr zahlreiche Gefäße. Zwischen Spinnwebenhaut und weicher Hirnhaut liegt ein Spaltraum, der durch zahlreiche feine Bindegewebsbälkchen überbrückt wird. Die Bindegewebsbälkchen lassen zwischen sich Gewebsspalten frei, in denen sich Liquor befindet. Die Hirnhäute und der sich zwischen ihnen befindliche Liquor schützen Gehirn und Rückenmark weitgehend gegen Verletzungen durch Druck und Stoß.

Verlängertes Mark. An das Rückenmark schließt sich nach oben unmittelbar das verlängerte Mark an. Es ist keulenförmig und etwas dicker als das Rückenmark. Durch das verlängerte Mark (Abb. 133) ziehen die Pyramidenbahnen und die extrapyramidalen Bahnen hindurch. Die sensiblen, vom Rückenmark aufsteigenden Bahnen werden in ihm auf neue Neuronen umgeschaltet, deren Ganglienzellen im verlängerten Mark liegen. Außerdem befinden sich im verlängerten Mark Gruppen von Nervenzellen (Kerne), die den Ursprung der motorischen beziehungsweise den Endpunkt der sensiblen Nervenfasern der Gehirnnerven V bis XII (s. S. 162) bilden.

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 des 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 der Kohlendioxyddruck des Blutes steigt, desto stärker

wird das Atemzentrum gereizt. Die Reizung des Atemzentrums führt zu einer vertieften Atmung und damit zu einer verstärkten Ausatmung von Kohlendioxyd. 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 Kohlendioxyddruck des Blutes den adäquaten Reiz dar. Eine Reizung des Atemzentrums ist meist auch mit einer Reizung des Kreislaufzentrums verbunden. Durch eine Erhöhung des Kohlendioxyddruckes im Blut werden die Gefäße verengt; bei einer Abnahme des Kohlendioxydgehaltes kommt es zu einer allgemeinen Gefäßerweiterung. Außer dem Kohlendioxyddruck des Blutes wirken jedoch auf beide Zentren noch andere 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 zum Herzen. Sie regulieren die Schnelligkeit und Stärke des Herzschlages.

Hinterhirn. An das verlängerte Mark schließt sich die *Brücke* (Abb. 132, 133) an. Durch die Brücke ziehen die motorischen und sensiblen Bahnen. In dem Winkel zwischen der Brücke, dem verlängerten Mark und den hinteren Bezirken der beiden Großhirnhemisphären liegt das Kleinhirn. Brücke und Kleinhirn bilden zusammen das Hinterhirn.
Das *Kleinhirn* besteht aus den beiden Kleinhirnhemisphären (Abb. 133), die durch einen Mittelteil, den Kleinhirnwurm, miteinander verbunden sind. An einem Schnitt durch das Kleinhirn können wir erkennen, daß es aus einer grauen Rinde besteht, die die weiße Substanz, das Mark, vollständig umschließt. Durch drei Paar Kleinhirnstiele wird das Kleinhirn mit den benachbarten Hirnteilen (dem verlängerten Mark, der Brücke und dem Mittelhirn) verbunden.
Das Kleinhirn ist ein großes Reflexzentrum, über das ein Teil der Reflexe, die den Muskeltonus bedingen, verläuft. 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 wird das Maschineschreiben und das Klavierspielen unmöglich.

Mittelhirn. Das Mittelhirn liegt zwischen Brücke und Zwischenhirn. Das Mittelhirn besteht im wesentlichen aus zwei Teilen, dem oben gelegenen Mittelhirndach und den beiden unter dem Mittelhirndach gelegenen Hirnschenkeln. Im Mittelhirndach liegen 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 nehmen der III. und IV. Gehirnnerv ihren Ursprung. 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 Großhirnhemisphären 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. Am Thalamus endet auch ein Teil der Fasern des Sehnervs. 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 (und damit der osmotische Druck von Blut und Lymphe) sowie die Kreislaufregulation werden durch das Zwischenhirn beeinflußt. Außerdem liegt im Zwischenhirn ein Zentrum, das die Abwehrvorgänge im Organismus, insbesondere die Bildung von Antikörpern, steuert. Durch den Hypophysenstiel gehen der Hypophyse vom Zwischenhirn nervöse Erregungen zu, die die Tätigkeit der Hypophyse steuern. In neuerer Zeit hat man festgestellt, daß im Zwischenhirn auch Hormone gebildet werden, die auf die Funktion der Hypophyse einwirken.
Das Zwischenhirn wird seinerseits durch die Hormone der verschiedenen Drüsen mit innerer Sekretion beeinflußt. Dadurch entsteht ein Funktionskreis zwischen Zwischenhirn, Hypophyse und Drüsen mit innerer Sekretion.
Am rückwärtigen Teil des Zwischenhirns liegt ein kleines unpaariges Organ, die Zirbeldrüse *(Epiphyse)*. Über ihre Funktion ist noch nichts Sicheres bekannt; sie steht wahrscheinlich in Beziehung zur Ausbildung der Geschlechtsreife.

Gehirnnerven. Vom Gehirn nehmen 12 Paar Gehirnnerven ihren Ursprung (Abb. 133). 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 Sehnervs 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 Pupillenverengerungsmuskel und den Akkommodationsmuskel (s. S. 140). Die Kerne des III. und IV. Gehirnnervs liegen im Mittelhirn, die des VI. Gehirnnervs im verlängerten Mark (s. S. 159).

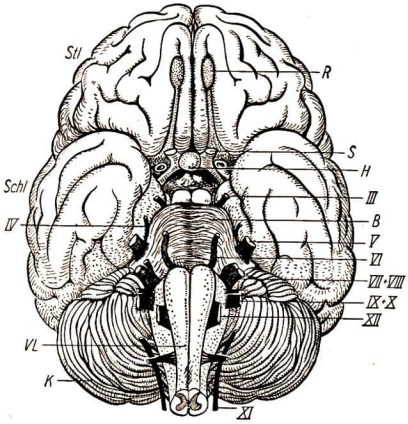


Abb. 133. Unterseite des menschlichen Gehirns mit Gehirnnerven. *B* Brücke, *H* Hypophyse, *K* Kleinhirnhemisphäre, *R* Riechnerven, *S* Sehnerv, *Schl* Schläfenlappen, *Stl* Stirnlappen, *VL* verlängertes Mark, *III* bis *XII*: Gehirnnerven III bis XII

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 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 in das Gebiet der Brücke.

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

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 (Cortisches Organ und Organe des Lage- und Bewegungssinnes) zu Kernen im verlängerten Mark. 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 enthält der IX. Gehirnnerv Fasern für die Ohrspeicheldrüse.

Der X. Gehirnnerv ist der Vagusnerv, der wichtigste Eingeweidenerv des Parasympathikus. Er zieht zu Herz, Lunge, Magen, Darm, Leber, Niere usw. (s. S. 157). Seine motorischen Fasern versorgen die Kehlkopfmuskulatur; die sensiblen Fasern leiten Erregungen von der Schleimhaut des Kehldeckels und des Kehlkopfs.

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

Vorderhirn. Das Vorderhirn des Menschen besteht aus dem stammesgeschichtlich älteren Riechhirn, in dem die Riechnerven enden, und dem Großhirn, das sich erst beim Menschen zu seiner überragenden Größe entwickelt hat. Die Entwicklung

des menschlichen Großhirns erfolgte in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Arbeit und der Sprache. „Arbeit zuerst", sagt Engels, „nach und dann mit ihr die Sprache — das sind die beiden wesentlichsten Antriebe, unter deren Einfluß das Gehirn eines Affen in das bei aller Ähnlichkeit weit größere und vollkommenere eines Menschen allmählich übergegangen ist."

Die Psyche des Menschen (das heißt seine Empfindungen, sein Denken, seine Gefühle, seine Wünsche usw.) ist von der der Tiere qualitativ verschieden. Kennzeichnend für die bewußte Tätigkeit des Menschen ist die Zielstrebigkeit seiner Handlungen. Der Mensch setzt sich ein Ziel und sucht und findet Wege, dieses Ziel zu erreichen. Karl Marx hat diese Tatsache klar formuliert: „Eine Spinne verrichtet Operationen, die denen des Webers ähneln, 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 als 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 sagt 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."

Die materielle Grundlage des Bewußtseins ist die menschliche Großhirnrinde. Allen Bewußtseinsvorgängen liegen Prozesse in der Großhirnrinde zugrunde. Deshalb ist es unwissenschaftlich und falsch, das Bewußtsein als von der Funktion der Großhirnrinde unabhängig aufzufassen.

Das Großhirn ist der Masse nach der größte Abschnitt des menschlichen Gehirns, der alle anderen Abschnitte wie ein Dach überlagert. Es besteht aus zwei Hälften (Hemisphären), die durch eine tiefe, längs verlaufende Furche voneinander getrennt sind. Die Oberfläche jeder Hemisphäre wiederum wird durch weniger tiefe, stets in bestimmter Anordnung auftretende Furchen in Lappen und Windungen geteilt. An jeder Hemisphäre können wir Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptslappen unterscheiden. In der Seitenansicht des Gehirns (Abb. 134) fällt eine schräg von vorn nach hinten aufsteigende Furche, die *Sylvische Spalte*, auf. Sie trennt den *Schläfenlappen* vom *Stirnlappen*. Vom Scheitel zieht sich jederseits die *Zentralfurche* schräg nach unten und vorn. Sie trennt *Stirnlappen* und *Scheitellappen*. Eine hintere Querfurche grenzt den *Hinterhauptslappen* ab.

Ein Schnitt durch die Großhirnhemisphären (Abb. 135) zeigt, daß sie wie das Rückenmark aus einer grauen und einer weißen Substanz bestehen. Im Gegensatz zum Rückenmark liegt jedoch die graue Substanz außen und bildet die Rinde,

während die weiße Substanz innen liegt und das Marklager bildet. Die *Rinde* ist etwa 1,5 bis 5 mm dick und besteht vor allem aus Nervenzellen. Man schätzt deren Zahl auf etwa 10 Milliarden. Dadurch hat die Großhirnrinde des Menschen eine weitaus höhere Ausbildung als die aller anderen Lebewesen erreicht. Das *Marklager* wird durch Nervenbahnen gebildet.

Nach ihrer Funktion können wir innerhalb des Gehirns drei Gruppen von Nervenbahnen unterscheiden.

1. Die *Assoziationsfasern* verbinden einzelne Teile der Rinde einer Hemisphäre untereinander.
2. Die *Kommissurfasern* verbinden die Rinde der rechten und linken Großhirnhemisphäre miteinander und verlaufen in ihrer Mehrzahl durch den sogenannten *Balken* (Abb. 132, 135).
3. Die *Projektionsfasern* leiten von der Rinde der Großhirnhemisphären in tiefere Abschnitte des Zentralnervensystems (Kleinhirn, verlängertes Mark, Rückenmark).

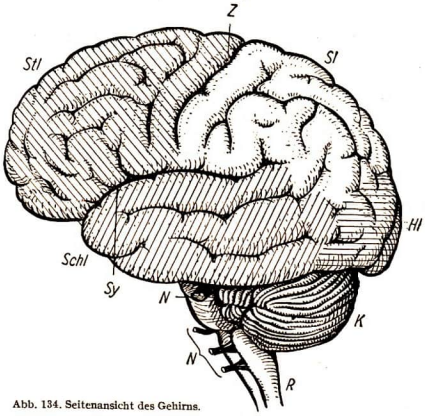


Abb. 134. Seitenansicht des Gehirns.
Hl Hinterhauptslappen, *K* Kleinhirn, *N* Hirnnerven, *R* Rückenmark, *Schl* Schläfenlappen, *Sl* Scheitellappen, *Stl* Stirnlappen, *Sy* Sylvische Spalte, *Z* Zentralfurche

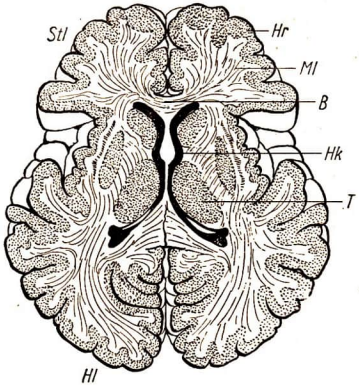


Abb. 135. Flachschnitt durch das Großhirn.
B Balken, *Hk* Hirnkammerwand, *Hl* Hinterhauptslappen, *Hr* Hirnrinde, *Ml* Marklager, *Stl* Stirnlappen, *T* Thalamus

Nicht nur die einzelnen Lappen der Großhirnrinde, sondern auch noch deren Teile unterscheiden sich in ihrem Bau und ihren Funktionen voneinander. Durch eine Funktionsteilung innerhalb der Nervenzellen der Großhirnrinde haben sich in ihr besondere *Felder* oder *Zentren* ausgebildet, die jeweils die materielle Grundlage bestimmter psychischer Vorgänge sind. Die Lage dieser Rindenfelder ist auf zweierlei verschiedene Weise ermittelt worden: 1. durch Reizversuche, 2. durch die Beobachtung von Ausfallserscheinungen bei Zerstörung bestimmter Rindengebiete infolge Verletzung oder krankhafter Prozesse. Die elektrische Reizung der Großhirnrinde ist bei Menschen und Tieren durchgeführt worden. Beim Menschen nahm man sie bei Schädeloperationen vor. Da das Gehirn des Menschen selbst empfindungslos ist, werden derartige Operationen in örtlicher Betäubung ausgeführt. Auf diese Weise 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 elektrische Ströme gereizt, so treten je nach dem Ort der Reizung bei dem Patienten verschiedene Reaktionen ein. Bei *Reizung* motorischer Rindenfelder kommt es zu Körperbewegungen, bei Reizung sensibler Rindenfelder zu den verschiedenartigsten Empfindungen. Dabei konnte beobachtet werden, daß die Reizungen bestimmter Bezirke der Großhirnrinde stets die gleichen Bewegungen beziehungsweise Empfindungen hervorriefen. Bei *Zerstörung* von Rindenfeldern treten dagegen entweder Lähmungen oder Empfindungslosigkeit in den betreffenden Sinnen ein (z. B. Blindheit, Taubheit).

Die wichtigsten bisher abgegrenzten Felder der Großhirnrinde sind (Abb. 136):

Das *motorische Rindenfeld (Bewegungszentrum)* liegt im wesentlichen in der Windung vor der Zentralfurche. Die Fortsätze der in ihm liegenden Nervenzellen ziehen als Pyramidenbahn zu den motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks.

Das sensible Rindenfeld (Körperfühlzentrum) liegt hinter der Zentralfurche im Scheitellappen. Es ist die materielle Grundlage für die Druck- und Berührungsempfindung.

Das Sehzentrum liegt im Hinterhauptslappen. In ihm endet die zentrale Sehbahn. Wird das Sehzentrum zerstört, so tritt echte Blindheit (Rindenblindheit) auf, auch wenn Auge und Sehnerv funktionsfähig sind.

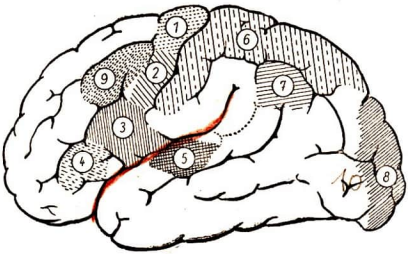


Abb. 136. Motorische und sensorische Rindenfelder der Großhirnrinde. *1* Bein, *2* Arm, *3* Mimik, *4* Sprache, *5* Hörfeld, *6* Körperfühlzentrum, *7* Lesen, *8* Sehen, *9* Schreiben

Im Schläfenlappen liegt das *Hörzentrum*, in dem die zentrale Hörbahn endet. Die Zerstörung des Hörzentrums führt zu echter Taubheit (Rindentaubheit).
Bei genauer Untersuchung haben sich innerhalb der motorischen und der sensiblen Felder noch besondere *Erinnerungsfelder* abgrenzen lassen. Die Rindenfelder nehmen die ankommenden Erregungen auf und übertragen sie auf die Erinnerungsfelder, wo sich diese Einwirkung bleibend einprägt. Daß Erinnerungsfelder vorhanden sind, konnte aus dem Studium der Ausfallserscheinung bei einigen seltenen Erkrankungen erschlossen werden. So gibt es zum Beispiel 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 aber derartige Kranke den Apfel anfassen oder an ihm riechen, so erkennen sie ihn sofort, weil die Erinnerungsfelder ihrer Fühlbeziehungsweise Riechzentren funktionsfähig sind. Bei einer Zerstörung von Erinnerungsfeldern motorischer Rindengebiete ist der Kranke zwar noch in der Lage, einzelne isolierte Bewegungen auszuführen, dagegen vermag er nicht mehr diese Einzelbewegungen zu fortlaufenden sinnvollen Handlungen zusammenzufügen.
Zu den Erinnerungszentren gehört auch das von dem französischen Anthropologen *P. Broca* entdeckte *motorische Sprachzentrum* in der unteren Stirnwindung. Ist dieses Zentrum zerstört, so kann der Kranke nicht mehr sprechen, obwohl die einzelnen am Sprechen beteiligten Muskeln voll funktionsfähig sind. Es fehlt ihm die Möglichkeit, sie in geordneter, zur Bildung von Silben und Wörtern führender Weise zu betätigen.

Funktionen des Großhirns. Schon 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 usw. 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 kann der Säugling jedoch nicht selbständig seine lebensnotwendigen Bedürfnisse befriedigen. Er ist deshalb in der ersten Zeit seiner Entwicklung auf die Hilfe seiner Umgebung angewiesen.
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 beim Säugling der Anblick der Flasche bereits Saug- und Schluckbewegungen aus. Die Flasche wirkt also gleichsam als ein Signal, auf welches hin die Saug- und Schluckbewegungen erfolgen. Deshalb bezeichnete Pawlow die Gesamtheit aller bedingten Reflexe als *erstes Signalsystem.*

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 zu dem Erfolgsorgan weiter und löst hier eine Reaktion aus. Die Reflexbögen der bedingten Reflexe verlaufen über die Großhirnrinde. Die Großhirnrinde ist also die notwendige Voraussetzung für die Ausbildung bedingter Reflexe. Wird einem Hund die Großhirnrinde entfernt, so erlöschen dadurch für immer alle bedingten Reflexe. Der Hund ist unfähig, neue bedingte Reflexe auszubilden.

Die besondere Leistung des menschlichen Großhirns gegenüber der der Tiere 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. Das 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, des Geruchs, des Glockentones oder der Lichtzeichen getreten.

Das erste Signalsystem dient der unmittelbaren Widerspiegelung der Gegenstände der Umwelt in Form von Empfindungen, Wahrnehmungen und Vorstellungen. 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. Eine innere Hemmung tritt auf, wenn ein bedingter Reiz (z. B. Glockenzeichen, dem eine Speichelsekretion folgt) oftmals wiederholt wird, ohne daß ihm der entsprechende unbedingte Reiz (Berührung der Nahrung mit der Mundschleimhaut) folgt. So erlischt beispielsweise der bedingte Reflex, der durch ein Glockenzeichen zu einer Speichelabsonderung führt, durch innere Hemmung, wenn man das Glockenzeichen mehrmals ertönen läßt, ohne dem Hunde zu fressen zu geben. Daß der bedingte Reflex nur gehemmt wird, erkennen wir daraus, daß er sich sofort wieder einstellt, sobald der bedingte Reiz von neuem von dem unbedingten Reiz gefolgt wird.
Die andauernde eintönige Erregung eines bestimmten Gebietes der Großhirnrinde führt unbedingt 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 in 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 aufge-

schreckt –, wieder völlig wach und munter 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 bewirkt.
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 träumten.
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, so bemerkt man kaum, was in der Umgebung vor sich geht. Man bemerkt nicht die Menschen, die sich im gleichen Zimmer befinden, man vernimmt nicht, was gesprochen wird. 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 dagegen zu einer 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 diese Erscheinungen 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. Wir haben gesehen, daß Leistungsfähigkeit und Frische des Menschen weitgehend von dem Zustand seines Nervensystems abhängig sind. Die Lebensweise eines Menschen hat einen starken Einfluß auf das Nervensystem und damit auf seine Leistungsfähigkeit. Der richtige Wechsel von Arbeit

und Erholung durch eine vernünftige Tageseinteilung ist eine Voraussetzung für das Wohlbefinden des Menschen.

Überanstrengungen können für das Nervensystem und damit für den gesamten Organismus schädlich werden. Um das zu vermeiden, müssen rechtzeitig Ruhepausen eingesetzt werden. Nach lang anhaltender schwerer Arbeit wird das Bedürfnis, sich hinzulegen oder ruhig hinzusetzen, sehr stark. Ein durch ausgedehnte und lang anhaltende Erregungsprozesse ermüdetes Zentralnervensystem kann nur durch den Schlaf erfrischt werden. Dagegen kann die Leistungsfähigkeit eines einseitig und umschrieben erregten Nervensystems am besten dadurch wiederhergestellt werden, daß man zu einer möglichst vollständig andersartigen Tätigkeit übergeht, daß man also Zentren in Erregung versetzt, die bisher gehemmt waren. So ist das beste Erholungsmittel nach angestrengter geistiger Arbeit 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. Sport und Gymnastik 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 großen Teil seiner Freizeit sollte man daher unbedingt für den Sport verwenden.

Bei der Tageseinteilung sollte man nach Möglichkeit stets die gleichen Zeitpunkte für den Beginn der Arbeit, des Schlafes, des Essens, für Sport und Spaziergänge festlegen. Bei einer guten Tageseinteilung bilden sich für die Funktionen der verschiedenen Organe durch die Tagesarbeit bedingte Reflexe, die zu einem gesunden Lebensrhythmus beitragen. Wenn man beispielsweise seine Mahlzeiten immer zu den gleichen Zeiten einnimmt, so beginnen sich zu dieser Zeit Verdauungssäfte abzusondern; man bekommt Appetit, und die Speisen werden besser verdaut. Geht ein Mensch täglich zur gleichen Zeit schlafen, so schläft er schneller ein. Die Funktion des gesamten Nervensystems wird dadurch erleichtert.

Ein normaler Ablauf aller 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 letzten Endes 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 einer bequemen Körperlage entspannen sich die Muskeln, so daß die Muskel- und Sehnenspindeln nicht mehr 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 Zustand des Organismus, insbesondere der Zustand 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 also zu Schlaflosigkeit führen.

Erwachsene Menschen sollten täglich acht Stunden schlafen. Die normale Schlafdauer für Jugendliche und Kinder muß um so höher sein, je jünger sie sind. Junge Menschen im Alter von 14 bis 16 Jahren benötigen mindestens neun Stunden Schlaf täglich. Da der Schlaf vor Mitternacht im allgemeinen tiefer und erfrischender ist als der Schlaf am Morgen, ist es zweckmäßig, früh schlafen zu gehen und früh wieder aufzustehen. Wichtig ist es, während des Schlafes unverbrauchte Luft zu atmen; deshalb ist es gut, die ganze Nacht bei offenem Fenster zu schlafen. Die Zimmertemperatur soll 15 bis 16° C nicht übersteigen.

I. DAS GESUNDHEITSWESEN IN DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

In einem kapitalistischen Staat stellt die gesundheitliche Betreuung der Werktätigen ein notwendiges Übel dar. Sie belastet den Profit der Kapitalisten und wird deshalb auf jenes Minimum begrenzt, das im Interesse der Herrschaft der ausbeutenden Klasse unbedingt erforderlich ist. Die Aufgabe des Gesundheitswesens besteht im Kapitalismus lediglich darin, die Ausbeutungsfähigkeit der Arbeiter und ihre Tauglichkeit für die Armee zu erhalten. Im Gegensatz dazu steht in der sozialistischen Gesellschaft die Sorge um den werktätigen Menschen und sein Wohlergehen im Mittelpunkt. Die Verbesserung des Lebensstandards ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erhaltung und Kräftigung der Gesundheit der Bevölkerung.
Der berühmte sowjetische Sozialhygieniker Professor Semaschko hat den Satz geprägt: „Die Erhaltung der Gesundheit der Werktätigen ist Sache der Werktätigen selbst." Damit brachte er zum Ausdruck, daß die besten medizinischen Maßnahmen unzulänglich bleiben, wenn sie nicht das Verständnis und die Unterstützung der breiten Massen finden. Zu diesem Zwecke betreibt das Gesundheitswesen eine breite Aufklärungsarbeit. Im Gegensatz zum Kapitalismus, der die Menschen in Unkenntnis hält, und in dem das Gesundheitswesen ausschließlich Sache der Ärzte ist, benötigt der demokratische Staat zur Festigung der Gesundheit der Werktätigen die Mitarbeit aller Menschen. Das gilt insbesondere für die Jugend, die gerade deswegen in der Schule mit diesen Fragen vertraut gemacht wird.

Die Grundlage für die ständige Aufwärtsentwicklung in unserer Deutschen Demokratischen Republik bilden die Volkswirtschaftspläne. In die planmäßige Entwicklung ist auch das Gesundheitswesen mit einbezogen. Seine Aufgabe besteht darin, die Gesundheit der Menschen zu schützen, die Arbeitskraft der Werktätigen zu erhalten und zu mehren, die Arbeitsproduktivität zu steigern und damit zur Erhöhung des Lebensstandards beizutragen.
Wir haben in unserer Deutschen Demokratischen Republik ein demokratisches Gesundheitswesen aufgebaut, das heißt ein Gesundheitswesen, das auf der Grundlage fortschrittlicher Wissenschaft und modernster Technik der ganzen Bevölkerung und insbesondere den Werktätigen die beste *medizinische Betreuung* gewährt. Es verfügt dazu über eine Vielfalt von Einrichtungen, in denen Ärzte, Zahnärzte, Apotheker und medizinisches Fachschulpersonal (Hebammen, Schwestern, Fürsorgerinnen, medizinisch-technische Assistenten usw.) tätig sind. Um die großen Aufgaben des Gesundheitswesens zu erfüllen, müssen viele neue Ärzte und Zahnärzte, Krankenschwestern und Hebammen ausgebildet werden. Deshalb werden die medizinischen Fakultäten der Universitäten, die medizinischen Akademien und die medizinischen Fachschulen weiter ausgebaut.
Eine große Bedeutung für unser Gesundheitswesen hat die *Forschungsarbeit.* Qualifizierte Wissenschaftler arbeiten daran, die Methoden der Verhütung, Er-

kennung und Behandlung von Krankheiten ständig zu verbessern. In Jena wurde das Institut für Mikrobiologie und experimentelle Therapie errichtet. Dadurch wird die Versorgung der Bevölkerung mit wertvollen Arzneimitteln verbessert. Das in Berlin-Buch errichtete Tuberkuloseforschungsinstitut befaßt sich mit der Entwicklung neuer Tuberkuloseheilmittel, aber auch mit organisatorischen Verbesserungen zur Verhinderung der Ansteckung und zur frühen Erfassung Erkrankter. Entsprechende Aufgaben erfüllen die Akademie für Sozialhygiene, Arbeitshygiene und ärztliche Fortbildung in Berlin-Lichtenberg bei der Bekämpfung der Berufskrankheiten, das Institut für Medizin und Biologie der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Berlin-Buch bei der Klärung der Krebsursachen, das Rheumaforschungsinstitut in Klotzsche bei Dresden und viele andere derartige Institute. In Deutschland wurde das erste Penicillin im Jahre 1946 von Professor Knöll in Jena hergestellt, der dafür den Nationalpreis erhielt.

Die wissenschaftliche Forschungsarbeit wird durch eine leistungsfähige Industrie ergänzt. Ihr fällt die Aufgabe zu, die vielen von Wissenschaftlern entwickelten medizinischen Apparate (Röntgenapparate, Eiserne Lungen, Grundumsatzapparate, Elektrokardiographen u. a.) herzustellen. Die pharmazeutische Industrie stellt wertvolle Medikamente in großem Maßstabe her. Die Wissenschaftler, die tagtäglich an der ständigen Verbesserung der medizinischen Geräte oder der Medikamente arbeiten, erhalten durch unsere Regierung die größtmögliche Unterstützung. Unsere Regierung stellt jährlich Millionen von Mark für Forschungszwecke zur Verfügung und ermöglicht den Wissenschaftlern selbst ein sorgenfreies Leben, damit sie sich ganz ihrer schönen und großen Aufgabe widmen können. Sie genießen die größte Achtung, und die besten von ihnen werden als „Verdienter Arzt des Volkes" und als Nationalpreisträger ausgezeichnet.

Für die Betreuung der Kranken verfügt das Gesundheitswesen über stationäre und ambulante Einrichtungen. *Stationäre Einrichtungen* sind Krankenhäuser und Sanatorien, in denen die Patienten für längere Zeit Tag und Nacht medizinische Hilfe erhalten. Der Fünfjahrplan sieht vor, daß 1955 in unseren Krankenhäusern für je 1000 Einwohner 10 Betten, in Industriebezirken sogar 11 Betten zur Verfügung stehen, ungerechnet die Betten für Tuberkulosekranke. Unsere neuen Krankenhäuser, die wir in Hennigsdorf, Fürstenberg, Rostock, Aue und in anderen Orten errichten, werden nur vorbildlich eingerichtete Krankenzimmer enthalten, in denen unsere werktätigen Menschen die besten Bedingungen für eine schnelle Genesung finden. In den bereits vorhandenen Krankenhäusern werden alte oder durch den verbrecherischen Hitlerkrieg beschädigte Krankenzimmer und -einrichtungen ausgebaut und verbessert. Im Laufe des Fünfjahrplans wird also nicht nur die Zahl der Krankenhausbetten vermehrt, sondern auch die Krankenzimmer werden wesentlich verschönert und modernisiert. Während in kapitalistischen Ländern Sanatorien und Bäder fast ausschließlich dem wohlhabenden Teil der Bevölkerung zur Verfügung stehen, werden sie bei uns vor allem von unseren Werktätigen benutzt. Besondere Bedeutung kommt den neu errichteten Kindersanatorien zu.

Die Polikliniken sind die *ambulanten Einrichtungen* des Gesundheitswesens. Sie dienen jenen Kranken, die nicht bettlägerig sind und keiner ununterbrochenen Be-

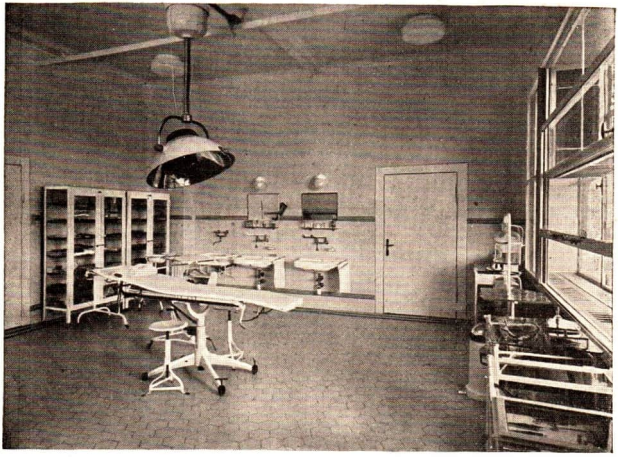


Abb. 137. Operationszimmer für kleine chirurgische Eingriffe

treuung bedürfen. Die Entwicklung der medizinischen Wissenschaft hat in den letzten Jahrzehnten so große Fortschritte gemacht, daß ein einzelner Arzt nicht mehr alle Teilgebiete der Medizin in gleicher Weise beherrschen kann. Deshalb werden die Ärzte nach Beendigung ihres Universitätsstudiums vielfach zu Spezialisten auf dem Gebiet der Inneren Medizin, der Chirurgie, der Frauenheilkunde usw. ausgebildet. Der menschliche Organismus stellt jedoch ein einheitliches zusammenhängendes Ganzes dar; jede Krankheit erfaßt immer den ganzen Menschen. Zu ihrer Erkennung und richtigen Behandlung ist deshalb die Zusammenarbeit vieler Spezialisten erforderlich. Den Spezialisten müssen alle für ihre besondere Arbeit notwendigen medizinischen Geräte zur Verfügung stehen. Diese sind oftmals so teuer, daß der einzelne Arzt sie sich nicht kaufen kann. Deshalb arbeiten die verschiedenen Spezialisten in *Polikliniken*, die über eine vollständige, vorbildliche technische Einrichtung verfügen, in Kollektiven zusammen. Dadurch wird die medizinische Betreuung der Bevölkerung wesentlich verbessert. Hier, wie in vielen anderen Fragen, haben wir aus den Erfahrungen der Sowjetunion, in der die gesundheitliche Betreuung der Werktätigen vorbildlich ist, gelernt. Durch die enge Verbindung zwischen Polikliniken und Krankenhäusern können die Ärzte der Polikliniken ihr Wissen und Können ständig verbessern und auf dem neuesten Stand der medizinischen Wissenschaft halten. Bereits 1951 verfügten wir über

8000 ambulante Einrichtungen; ihre Zahl wird bis Ende 1955 auf mehr als 10000 ansteigen.

Die Betreuung der Arbeiter in den Betrieben spielt eine besonders wichtige Rolle. Das *Betriebsgesundheitswesen* umfaßt die Betreuung in Betriebspolikliniken, Betriebsambulatorien, Sanitätsstellen, Nachtsanatorien und Frauen-Ruheräumen. Bereits Anfang 1954 besaßen wir 67 Polikliniken, 151 Ambulatorien und rund 6880 Sanitätsstellen und Gesundheitsstuben in den Betrieben. Ihre Aufgabe besteht vor allem darin, die Werktätigen vor Unfällen und Krankheiten zu schützen. Die dort tätigen Ärzte müssen sich mit dem Produktionsprozeß eingehend vertraut machen und durch engen Kontakt mit den Betriebsarbeitern deren Bedürfnisse kennen und verstehen lernen. Auch die wissenschaftliche Forschung nimmt an der Verhütung und Bekämpfung der Berufskrankheiten teil, beispielsweise an der Bekämpfung der Staublungenkrankheit (Silikose).

So ist der Arbeiter am Ort seiner Tätigkeit ständig von der medizinischen Fürsorge betreut; sie schützt ihn vor Unfällen und Berufskrankheiten. In den Nachtsanatorien wird der Werktätige nach der Arbeit gepflegt, wenn beispielsweise die häuslichen Verhältnisse die Einhaltung einer erforderlichen Krankenkost nicht zulassen. Unsere Regierung widmet auch der medizinischen Betreuung der Landbevölkerung besondere Aufmerksamkeit. Die Zahl der Landambulatorien wird bedeutend erhöht werden. Durch engste Zusammenarbeit der Landambulatorien mit den Polikliniken und durch den Einsatz fahrbarer Röntgen- und Zahnstationen wird die Landbevölkerung medizinisch ebenso sorgfältig betreut wie die Bevölkerung in den Städten.

Ein wesentlicher Bestandteil des demokratischen Gesundheitswesens ist die *Vorbeugung (Prophylaxe)*. „Vorbeugen ist besser als Heilen" lautet ein altes Sprichwort. Die Prophylaxe befaßt sich mit der Beseitigung krankmachender Umweltbedingungen. Darüber hinaus hilft sie, solche Verhältnisse zu schaffen, die einer Stärkung der Gesundheit dienlich sind. Das setzt voraus, daß Erkennung und Behandlung der Krankheit auf einem hohen wissenschaftlichen Niveau stehen. Auch in dieser Frage lernen wir sehr viel von der Medizin der Sowjetunion und der Volksdemokratien.

In Form von *Reihenuntersuchungen* werden in der Deutschen Demokratischen Republik ganze Betriebsbelegschaften auf ihren Gesundheitszustand überprüft, um Erkrankungen bereits in ihrem Entstehen zu erkennen. Durch das Schirmbildverfahren lassen sich bis zu 200 Röntgenaufnahmen in der Stunde machen. Auf Grund der Röntgenaufnahmen kann man vorher unerkannte Tuberkulosefälle entdecken und der Behandlung zuführen. Alle Schulanfänger werden vor der Zulassung zur Schule ärztlich untersucht und auch weiterhin laufend ärztlich kontrolliert. Das gilt auch für die Kontrolle der Zähne, damit durch frühzeitige Behandlung Beeinträchtigungen der Kaufunktion der Zähne vermieden werden. Kranke Zähne können zu schweren Allgemeinerkrankungen (Rheumatismus, Herzerkrankungen u. a.) führen. Regelmäßige Zahnkontrolle, aber auch regelmäßige Zahnpflege sind daher wichtige Vorbeugungsmittel.

Besonders wichtig ist die Vorbeugung auch bei der Bekämpfung des Krebses. Jede Krebserkrankung, die frühzeitig erkannt wird, ist heilbar. Ein großes

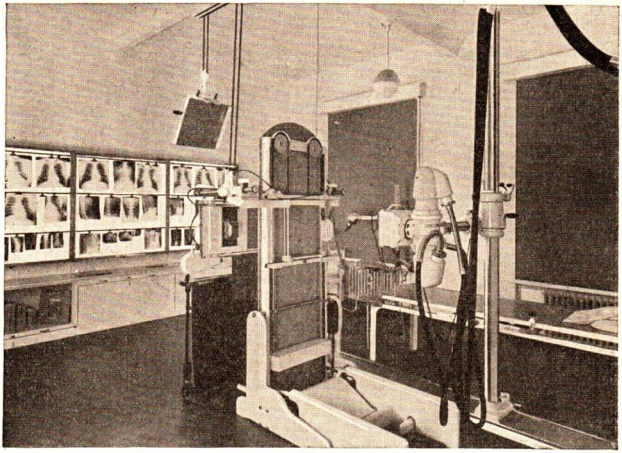


Abb. 138. Röntgenuntersuchungsraum

Netz öffentlicher Einrichtungen in Form von Polikliniken und Ambulatorien, wie es in unserer Deutschen Demokratischen Republik aufgebaut wird, vermag hierbei wesentlich größere Erfolge zu erzielen als der einzeln und isoliert arbeitende Arzt. Zur Bekämpfung der Geschlechtskrankheiten und der Tuberkulose verfügen wir über ein Netz von Spezialambulatorien, in denen Ärzte und Fürsorgerinnen sich speziell mit der Verhütung dieser Krankheiten beschäftigen. Die *Staatliche Hygiene-Inspektion* sorgt für die Verhütung und Bekämpfung von Seuchen durch regelmäßige Kontrolle des Trinkwassers und der Nahrungsmittel, durch Desinfektion verseuchter Räume und durch andere Maßnahmen. Außerdem ist es ihre Aufgabe, für die einwandfreie Hygiene in den Schulen Sorge zu tragen. Dazu ist nicht nur die Mithilfe der Lehrer, sondern auch die der Schüler nötig. Eine wichtige Rolle in der Verhütung von Krankheiten spielt die Abhärtung und Kräftigung des Körpers durch Sport. Auch hier hilft der Staat unserer Jugend durch Bereitstellung der erforderlichen Mittel zu einer gesunden Entwicklung.

Eine wichtige Aufgabe innerhalb des Gesundheitswesens haben die Sozialversicherungskassen. Bei einem monatlichen, von der Lohn- oder Gehaltshöhe abhängigen Beitragssatz ermöglichen sie es den Werktätigen, die Einrichtungen des Gesundheitswesens kostenlos in Anspruch zu nehmen. Sie stellen außerdem den Werktätigen die erforderlichen Medikamente kostenlos zur Verfügung.

Das „*Gesetz über den Schutz von Mutter und Kind und die Rechte der Frau*" gab der Frau in der Deutschen Demokratischen Republik die gleichen Rechte und die gleichen Entwicklungsmöglichkeiten auf beruflichem, gesellschaftlichem und persönlichem Gebiet wie dem Manne. Die Gleichstellung der Frau erfordert nicht nur gleichen Lohn für gleiche Arbeit, sondern eine Reihe zusätzlicher Maßnahmen für die Frau, die durch den biologischen Unterschied zwischen Mann und Frau bedingt sind. Nach dem Gesetz erhält jede Frau fünf Wochen vor und sechs Wochen nach der Entbindung zusätzlichen, bezahlten Urlaub. Für die Geburt und das Stillen des Kindes erhält die Mutter eine Beihilfe. Vom dritten Kinde an wird die Mutter vom Staate besonders unterstützt. Für die Erziehung von Kindern, deren Mütter sich dazu auf Grund persönlicher Verhältnisse nicht in der Lage fühlen, sorgt der Staat durch Einrichtung besonderer Heime. Selbstverständlich erhält die Mutter das Kind auf ihren Wunsch jederzeit zurück. Sowohl in den Betrieben als auch in den Städten und Dörfern werden neue Kinderkrippen und Kindertagesstätten errichtet, damit die Frau am Produktionsprozeß teilnehmen kann.

Für Frauen, deren gesundheitlicher Zustand schlecht ist, sind besondere Heime eingerichtet, in denen sie sich während der Schwangerschaft erholen können. In den Betrieben wird der schwangeren Frau eine leichte Arbeit gegeben, ohne daß sich ihr Lohn dadurch verringert. Durch die Beratungsstellen für schwangere Frauen wird der Gesundheitszustand der Frau laufend kontrolliert. Die Zahl der Betten in den Entbindungsheimen wird stark erhöht, um allen Frauen die Möglichkeit zu geben, ihr Kind unter ärztlichem Beistand zur Welt zu bringen. Der Gesundheitszustand der Kinder wird in den Beratungsstellen für Säuglinge und Kleinkinder ständig überwacht.

Wichtig für die Erhaltung der Arbeitskraft sind die *Ferien*. Unser Staat begnügt sich nicht damit, den Arbeitern, Angestellten, Schülern und Studenten jährlich einen Urlaub zu gewähren, sondern er sorgt auch mit Hilfe der Gewerkschaften, der volkseigenen Betriebe und der Freien Deutschen Jugend dafür, daß sich jeder während der Ferien gut erholen kann. An der Ostsee, im Thüringer Wald, im Harz und an anderen schönen Stellen unseres Vaterlandes stehen den Werktätigen Heime und Erholungsstätten zur Verfügung. Darüber hinaus soll auch der Austausch von Urlaubsplätzen für Werktätige mit den Volksdemokratien gefördert werden. Die jährlich durchgeführte Kinderferienaktion hilft Millionen Kindern, ihre Gesundheit zu festigen.

Das Gesundheitswesen in der Deutschen Demokratischen Republik hat bereits große Erfolge erzielt. Schon im Jahre 1951 war die Sterblichkeit geringer als vor dem Kriege und geringer als jetzt in dem von den anglo-amerikanischen Imperialisten besetzten Teil unseres Vaterlandes. Unser Staat stellt umfangreiche Mittel für den weiteren Ausbau unseres Gesundheitswesens zur Verfügung. Nur diese großzügige Förderung hat die großen Erfolge möglich gemacht. Wir haben von der Sowjetunion gelernt, die Wissenschaft mehr und mehr mit der praktischen Arbeit zu verbinden. Auf diesem Wege wird es uns gelingen, in ständig steigendem Maße den berechtigten Forderungen unserer Werktätigen auf ein glückliches Leben gerecht zu werden.

SACH- UND NAMENREGISTER

Adaptation 141
adäquate Reize 129
Aderhaut 95, 137
Adrenalin 66, 126
ägyptische Augenkrankheit 143
Akkommodation 140
Akkommodationsmuskel 140, 143
Albino 137
Alterssichtigkeit 142
Amboß 145
ambulante Krankenversorgung 185
Aminosäure 51, 65
Amnion 116
Amöbe 87
Anatomie 5
Anämie 93
Angina 83
Angina pectoris 103
Antagonisten 35
Aorta 38, 97, 100
Armskelett 21
Arterie 96
Arteriosklerose 103
Arzneimittelversorgung 184
Assimilation 50
Assoziationsfasern 164
Astigmatismus 142
Atemwege 75, 134
Atemzentrum 159
Atlas 17
Atmung 75, 79, 122
Atmungsorgane 6, 75, 83
Auge 118, 120, 136
Augenhygiene 143
Augenkrankheiten 142
Avitaminose 70

Bakterien 49, 63, 87, 91
Basedowsche Krankheit 125
Bauchfell 58
Bauchmuskeln 38
Bauchspeicheldrüse 6, 56, 62, 125
Beckengürtel 19
Befruchtung 114
Beinskelett 22
Beriberi 71
Betriebsgesundheitswesen 175
Bewegungsempfindung 148
Bewegungssystem 6
Bewegungszentrum 165
Bewußtsein 163, 175
Bindegewebe 7
Bindehaut 139, 143
biologische Gesetzmäßigkeiten 5
biologische Oxydation 65
Bizeps 40
Blasensteine 107
Blinddarm 56
Blut 64, 86, 93, 123
Blutbild 88
Blutdruck 102, 104
Bluterkrankheit 94
Blutgefäße 12, 96
Blutgerinnung 89
Blutgruppen 90
Blutkrankheiten 93
Blutkreislauf 86, 95
Blutkreislauf des Embryos 121
Blutplasma 88
Blutsenkung 88
Blutserum 88, 89
Blutübertragung 99
Blutzuckerspiegel 65, 125
Bogengänge im Ohr 147
Bronchien 79
Brustfell 78
Brustkorb 18
Brustmuskel 40

chemische Sinne 134
chemische Vorgänge im Muskel 33
Cholesterin 63
Chorda 7, 119, 120
Chorion 118
Chromosomen 111
Chylus 65, 94
Cortin 126
Cortisches Organ 147

Darm 56, 58
Darmbein 19
Darmzotten 54, 64
Daumen 22
Deltamuskel 38
Dendrite 153
Dentin 53
Diabetes 125
Dickdarm 63
Dipeptide 51
Diphtherie 83
Dissimilation 50
Dottersack 116
Druck- und Berührungssinn 130, 131
Drüsen, innersekretorische 54
Dünndarm 56, 62

Effektor 154
Ehrlich, P. 113
Eierstöcke 107, 109
Eingeweidemuskeln 29
Eingeweidenerven 157
Eiter 88
Eiweiß 51, 58, 61
Eiweißumsatz 66
Eizellen 114 u. f.
Ektoderm 43, 118, 119
Ekzem 48
elastisches Bindegewebe 8
Elektrokardiogramm 104
Ellbogengelenk 21
Ellipsoidgelenk 14
Embolie 94
Embryo 116
embryonales Bindegewebe 8, 120
Energiebedarf 67, 68
Energieumsatz 34
Energieumwandlung 49
Engels 50
Entoderm 118, 119
Epidermis 43, 119
Epistropheus 17
Epithel 56
Epithelgewebe 6
Erfrierung 47
Ergosterin 27, 71
Erholung 170
Erinnerungsfelder 166
Erkrankung der Atmungsorgane 83
Erkrankung der Haut 47

Ermüdung 169
Ernährung 50
Erregungsvorgang 151
Erstickung 81
Erythrozyten 86, 89
Eustachische Röhre 145
Exkrete 54
extrapyramidales System 153, 160

Farbenblindheit 143
Faszien 30
Fermente 50, 63, 65, 70, 116
Fette 50, 51, 67
Fettemulsion 51
Fettgewebe 8
Fettsäure 50, 65
Fettumsatz 66
Fibrin 51, 89
Filatow, Prof. 143
Fingerknochen 8
Flimmerepithel 107, 109
Follikel 107, 108
Forschungsarbeit 184
Fremdkörper im Auge 143
Fünfjahrplan im Gesundheitswesen 183
Funktion der Haut 65
Furunkel 48
Fußskelett 22

Galle 58, 62, 73
Ganglien 153
„Gänsehaut" 45
Gasaustausch 80
Gastritis 73
Gastrulation 116
Gaumen 52
Gaumenbein 25
Gebärmutter 107
Gebiß 53
Geburt 122
Gefäße 96, 99
Gehirn 120, **157**, 173
Gehirnnerven 161
Gehirnschädel 23
Gehör 120, **144**
Gekröse 58
Gelbkörper 108
Gelbsucht 74
Gelenke 13
Gelenkrheumatismus 27
Gerstenkörner im Auge 143
Geruchsorgane 134
Geschlechtskrankheiten 112
Geschlechtsorgane 107, 110, 120
Geschmackssinn 135
Gesichtsschädel 23, 25
gesundheitliche Betreuung 172
Gewebe 6, 81
Glaskörper 137
glatte Muskelfasern 29, 32
Gleichgewichtsorgan 148
Gliedmaßenmuskeln 40
Gliedmaßenskelett 20
Glycerin 50, 65
Glykogen 33, 50, 58, 66, 125
Gonorrhoe 112
Graafsche Follikel 108
grauer Star 142
Grimmdarm 58
Großhirn 163, 166

Haare 43, 44, 120
Haeckel, E. 119
Halsmuskeln 37
Halswirbel 17
Hammer 145
Hämoglobin 67, 81, 87
Hämorrhoiden 103
Handskelett 22
Harnblase 105
Harnleiter 104
Harnstoff 66
Haut 43, 45
Hautfunktion 46
Hauthygiene 48
Hautkrankheiten 47
Hautsinnesorgane 131
Haverssche Kanäle 10
Helmholtz, H. v. 138
Herz 6, **96**, 121
Herzklappenfehler 103
Herzkranzgefäße 98
Herztöne 99, 119
Hinterhauptsbein 24
Hinterhirn 160
Hinterstrangsystem 153
Hirnanhangdrüse 161
Hirnhaut 165
Hoden 110, 120
Höhensonne 71
Hohlfuß 23
hormonales System 6, 124
Hormone 65, 70, 123, 126
Hornhaut am Auge 137
Hörzentrum 166
Hüftbein 19
Hygiene 6
Hygiene des Nervensystems 169
Hypophyse 110, 124, **126**, 161

Immunität 74, 91
Impfung 84, 91
inadäquate Reize 129
Insulin 57, 66, 125
Iris 137

Jochbein 25

Kalorie 68, 70
Kältepunkte 133
Kapillargefäße 57, 96, 101
Karbunkel 48
Karies 54
Karotin 72
Kaumuskel 35
Kaverne 84
Kehlkopf 55, 77
Keimdrüsen 126
Keimentwicklung 114 ff.
Kleiderlaus 49
Kleinhirn 160
Kniesehnenreflex 32, 155
Knochenbrüche 27
Knochenformen 10
Knochengewebe 7, 9
Knochenhaut 11
Knochenmark 11, 12, 86, 87
Knochenverbindungen 12
Knorpelgewebe 7, 8
Koch, R. 84
Kohlendioxyd 33, 63, 75, 81, 82, 85, 122
Kohlenhydrate 50, 63, 65, 66
Kohlenmonoxydvergiftung 82
Kohlensäure 80, 81
Kollagen 10
kollagenes Bindegewebe 8
Kommissurfasern 164
kompakte Knochensubstanz 11
Kopfmuskulatur 35
körperliches Sehen 141
Krampfadern 103
Krätzmilbe 49
Krausesche Endkolben 132
Kreislauf 99, 121
Kreislaufsystem 6
Kreislaufzentrum 159
Kretinismus 124
Kreuzbein 17
Kropf 125
Kugelgelenk 13, 22
künstliche Atmung 82
Kurzsichtigkeit 142

Labferment 61
Labyrinth 146
Lageempfindung 148
Lamellenkörperchen 132
Latenzzeit 31
Leber 56, **57**
Lederhaut 44

Leitungsbahnen des Rückenmarks 152
Lendenwirbel 17
Leukämie 94
Leukozyten 87, 93
Lichtsinnesorgan 136
Lid 139
Linse im Auge 95, 138
Lipase 63
Lipoide 88
Liquor 159
Luftröhre 78
Lunge 75, **78**
Lungenarterie 97, 101
Lungenentzündung 83
Lungentuberkulose 84
Lymphe 64, 84, 86, 94, 123

Magen 6, 55, **60**
Magengeschwür 73
Marx 163
Mastdarm 58
Meißnersche Körperchen 132
Menstruation 109
Mesenchym 8
Mesoderm 7, 119
Metschnikow, I. I. 87
Milchdrüsen 45
Milchsäure 33
Milz 95
Mittelfußknochen 22
Mittelhandknochen 22
Mittelhirn 160
Mittelohr 144, 149
Morula 114
motorische Nerven 152, 162
Mundhöhle 52, 60
Mundspeicheldrüse 54
Muskelatrophie 5, 32, 42
Muskelgewebe 6, 29
Muskelkater 34
Muskelkontraktion 31
Muskelkrampf 42
Muskelsinn 133
Muskeltonus 32, 155
Myofibrillen 29

Nabelschnur 118
Nachtblindheit 143
Nägel 43, 44
Nährstoffe 50, 59
Nahrungsbedarf 68
Nahrungsmittel 67
Nahrungs- und Energiebedarf 67
Nasenbein 25
Nasenhöhle 75
Nebennieren 126
Nebenschilddrüse 125
Nervengewebe 6, 150
Nervenphysiologie 128, **151**
Nervensystem 149
Netzhaut 137
Neurit 150
Nieren 104

Oberarm 20
Oberhaut 43
Oberkiefer 25
Oberschenkel 22
Ödem 95
Ohr **144**
Ohrerkrankungen 149
Ohrspeicheldrüse 54
ovales Fenster 145

Papillen 135
Paralyse 113
parasympathische Nerven 157, 162
Parathormon 125
Parathyphus 74
Paukenhöhle 145
Pawlow, J. W. 60, 63, 123, 147
Penicillin 48, 112
Pepsin 61
Perichondrium 9
Periost 9
peripheres Nervensystem 149
Peristaltik 55
Pflugscharbein 25
Pfortader 57, 101
Pförtner 55
Phagozyten 87, 91
Phlegmone 48
Plattfuß 23
Plazenta 118, 123
Pneumokokken 83
Pneumothorax 79, 85
Pockenschutzimpfung 91
Poliklinik 185
Polypeptide 51
Projektionsfasern 164
Prophylaxe 175
Prostata 111
Provitamin 71
Psyche 163
Ptyalin 60
Pulpa 53
Pulsschlag 102
Pupille 137, 138, 140, 141
Pyramidenbahnsystem 153

quergestreifte Muskelfasern 30

Rachenhöhle 54, 75, 77
Rachitis 10, 26, 71
Radgelenk 14
Raumschwelle 130
Reflexe 32, 61, 62, 154, 166
Regenbogenhaut 137
Reihenuntersuchungen 175
Reizempfindlichkeit 129
Reizschwelle 130
Resorption 64
Retina 137
Rezeptoren 131
Rh-Faktor des Blutes 90
Rheumatismus 27
Riechnerv 161
Riechzellen 134
Rippen 18
Rippenfell 78
Röntgenbild 26, 28, 85
Rückenmark 152
Rückenmuskeln 38
Ruffinische Körperchen 132
Ruhr 74
Rumpfmuskulatur 36
rundes Fenster 145

Saccharide 50, 62
Salze 66
Salzsäure 61
Samenzellen 110
Sattelgelenk 14
Sauerstoff 75, 81, 87
Schädel 23
Schaltneuronen 154
Schambein 20
Schanker 113
Scharnergelenk 14
Schaudinn, F. 112
Scheide 121
Scheitelbein 24
Schielen 143
Schienbein 22
Schilddrüse 124
Schlaf 168
Schläfenbein 24
Schläfenlappen 163
Schlaganfall 103
Schleimhaut 44
Schlüsselbein 19
Schmarotzer 49
Schmerzempfindung 133
Schnecke 146
Schnupfen 93
Schrecksekunde 151
Schultergürtel 19, 21
Schutzorgane des Auges 139
schwammartige Knochensubstanz 11
Schwangerschaft 114 f.
Schweißdrüsen 45
Sehen 139
Sehnenscheide 31
Sehnerv 161

Sehpurpur 141
Sehstörungen 142
Sehzentrum 165
Sekret 54, 123
sensibles Nervensystem 154, 162
Siebbein 25
Signalsystem 167
Sinnesorgane 128
Sinnesorgane, Übersicht 149
Sitzbein 19
Skelett 14 f., 120
Skelettmuskeln 35
Skorbut 70
Sonnenbrand 45
Speiche 21
Speicheldrüse 54
Speiseröhre 55
Sperma 111
Spinalganglien 153
spongiöse Knochensubstanz 11
Sprache 175
Sprachzentrum 166
Spreizfuß 23
Staatliche Hygiene-Inspektion 176
Stäbchenzellen 137
Star, grauer 142
Stärke 50
Steigbügel 145
Steißbein 18
Sterblichkeit 188
stereoskopisches Sehen 141
Stimmbänder 77
Stimmwechsel 78
Stirnbein 24
Stirnlappen 163
Stoffwechsel 49
Streptokokken 83
Stützgewebe 6, 7
Sulfonamide 83
Sympathikusnerv 98, 156
Synergisten 35
Syphilis 112

Talgdrüsen 45
Tastkörperchen 132
Tetanus 27, 32
Thalamus 161
Thrombin 73, 89
Thrombose 94, 103
Thrombozyten 88
Thyreoglobulin 124
Tonus 32
Trachom 143
Tränenbein 25
Tränendrüsen 139
Trapezmuskel 40
Traubenzucker 33, 58, 66, 106
Traum 169
Trigeminusnerv 162
Trizeps 40
Trommelfell 145
Tuberkulose 84, 184
Turgor 7
Typhus 74

Übersichtigkeit 142
Ultraschall 147
Unterhaut 44
Unterkiefer 26
Unterschiedsschwelle 130
Urogenitalsystem 6, 104, 120
Uterus 59, 107, 109, 116, 121

Vagina 121
Vagusnerv 98, 162
vegetatives Nervensystem 46, 47, 150, 155
Vene 57, 96, 101
Verbrennung der Haut 47
Verdauung 51, 59
Verdauungsorgane 51, 52, 122
Verdauungsorgane, Krankheiten und Pflege 73
Verdauungssystem 6
Verdauungstabelle 64
verlängertes Mark 159
Verrenkung 29
Verstauchung 29
Virchow 123
Vitamin 26, 70, 124
Vitamin, Übersicht 72
Vorhof 146, 147
Vorsteherdrüse 111

Wadenbein 22
Wärmepunkte 133
Weber-Fechnersches Gesetz 131
Windkesselfunktion der Arterien 101
Wirbelsäule 12, 13, 16
Wundstarrkrampf 27
Wurmfortsatz 56

Zähne 26, 53
Zapfenzellen 137
Zehenknochen 22
zeitliche Unterschiedsschwelle 130
Zellulose 50
Zentralfurche 163
Zentralnervensystem 128, 149
Ziliarkörper 137
Zirbeldrüse 161
Zucker 50
Zuckerkrankheit 125
Zunge 53, 135
Zungenbein 26, 36
Zwerchfell 36
Zwillinge 115
Zwischenhirn 161
Zwischenkiefer 25
Zwischenstoffwechsel 65
Zwischenwirbelscheiben 12, 16
Zwölffingerdarm 56, 62

ABBILDUNGEN

Zeichnungen: Kurt Herschel, Leipzig

Weitere Abbildungen:

Kurt Herschel, Leipzig (Abb. 35), Elisabeth Kastner, Berlin (Abb. 101, 127), Kingreen, Röntgendiagnostik des Chirurgen, 2. Aufl. (Abb. 36, 37), Volk und Wissen, Volkseigener Verlag Berlin, Bildarchiv (Abb. 78)