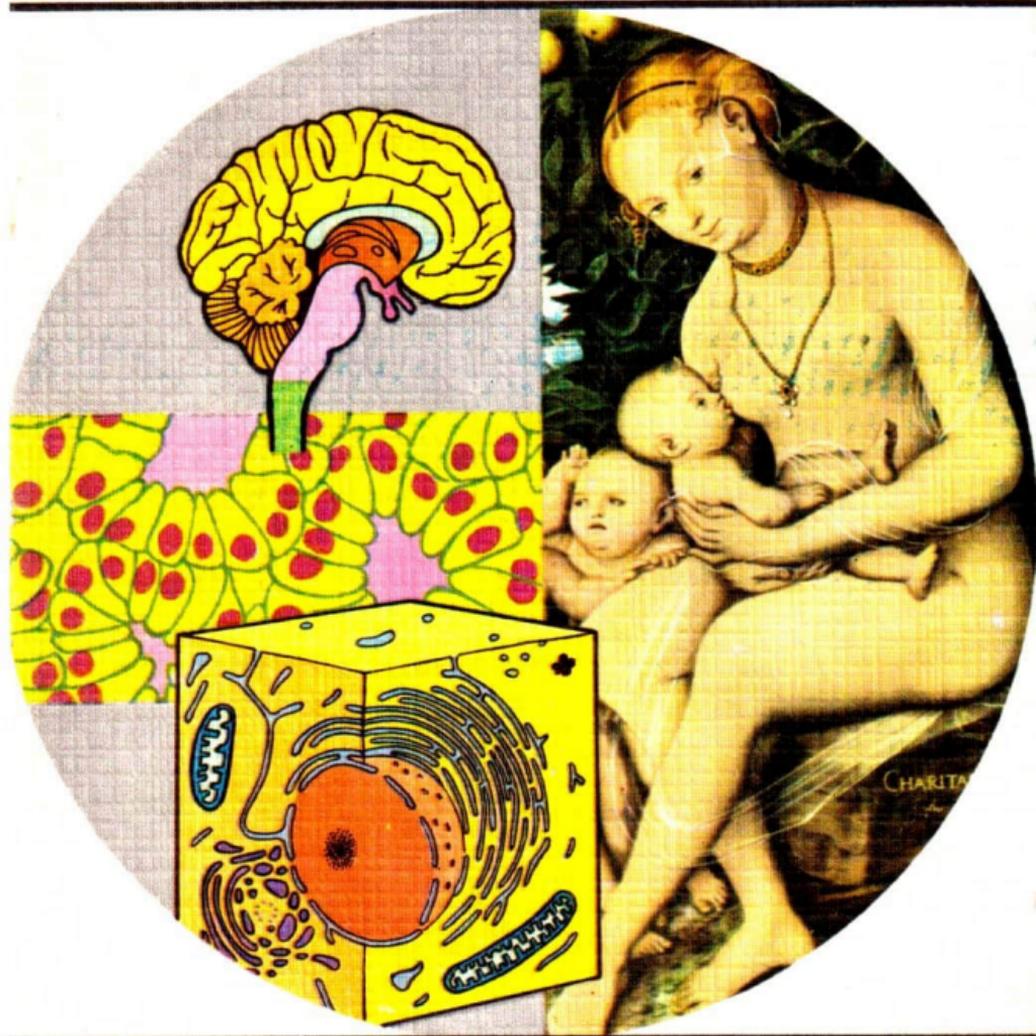


akzent

Erich Kolb

Lebens- vorgänge unter der Lupe



Erich Kolb

**Lebensvorgänge
unter der Lupe**

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

**Autor: Prof. Dr. Dr. Erich Kolb
Karl-Marx-Universität, Leipzig**

Illustrationen: Herbert Spantekow

1. Auflage

1.–20. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

© Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1979

VLN 212–475/89/79 LSV 1369

Lektoren: Ingelore Naukkarinen, Brigitte Krumbiegel

Einbandreihenentwurf: Helmut Selle

Typografie: Claus Ritter

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb

Leipzig – III/18/97

Best.-Nr.: 653 536 9

DDR 4,50 M

Inhalt

Mit der Zelle fängt das Leben an 7

Wie es zum Leben auf der Erde kam 9

Die DNS – der Träger der genetischen Information 13

Wie Eiweißstoffe in der Zelle gebildet werden 18

Die »Kraftwerke« der Zelle 19

Noch einige Zellbestandteile: Der Golgi-Apparat und die
Lysosomen 21

Die Zellerneuerung 22

Spezialisierung der Zellen und Gewebe 23

Das Nervensystem – leistungsfähiger als ein Computer 25

Vom menschlichen Verhalten 26

Die Bauelemente des Nervensystems 28

Entwicklung des Gehirns im Verlaufe des Lebens 33

Wie die Nachrichtenleitung funktioniert 34

Was das Gehirn, die Gehirnnerven und das Rückenmark
leisten 39

Stoffwechsel im Nervensystem 48

Die Sinnesorgane – »Tore« zur Umwelt 50

Vom Sehen 55

Vom Hören 61

Vom Riechen und Schmecken 65

Von den Gefühlswahrnehmungen 68

Vom Gleichgewichts- und vom Kraftsinn 70

Hormone – Regulatoren des Stoffwechsels 77

Das Zwischenhirn-Hypophysensystem 78

Einiges über Drüsenhormone 80

Von den Gewebshormonen 84

Auf die Verdauung kommt es an 85

Wie die Nahrung im Verdauungskanal verarbeitet wird 86

Von den Versorgungseinrichtungen 91

Was Herz und Gefäße leisten 92

Wichtiges vom Blut 97

Ohne Atmen geht es nicht 101

Die Nieren: Umfangreiche Filter- und Regulationsanlagen 106

Die äußere Hülle 110

Aufbau und Funktion der Hautschichten 111

Von der Bewegung und von Rekordleistungen 114

Von unserer Muskulatur 115

Wie es zur Kontraktion unserer Muskeln kommt 117

Von der Sexualität und der Entstehung neuen Lebens 121

Bildung und Eigenschaften der Spermien 122

Weibliche Fortpflanzungsvorgänge 124

Ausblick 128

Mit der Zelle fängt das Leben an

Ein Blick durch das Mikroskop zeigt uns, daß die meisten Lebewesen aus Zellen aufgebaut sind. Eine Ausnahme bilden die Viren, die aus Nukleinsäuren und Eiweiß bestehen. Sie können sich nur in lebenden Zellen vermehren und schädigen und zerstören diese dabei. Der höher entwickelte Organismus enthält eine sehr große Zahl von Zellen: Im menschlichen Körper sind etwa 500–1000 Billionen Zellen vorhanden, die auf die Erfüllung bestimmter Aufgaben spezialisiert sind. Mehr als 200 spezielle Zellarten bzw. Gewebe sind am Aufbau unseres Körpers beteiligt. Jede Zellart ist in einer großen Anzahl vertreten, wobei die Ausrüstung von der Größe der Zellen und von der Art der Funktion abhängig ist: Von den relativ großen Nervenzellen kommen in der Großhirnrinde »nur« etwa $14 \cdot 10^9$ vor, das Blut eines erwachsenen Menschen enthält dagegen etwa $30 \cdot 10^{12}$ der relativ kleinen roten Blutkörperchen und der Gesamtorganismus etwa 10^{12} weiße Blutkörperchen. Über die gewaltig große Zahl von Zellen in unserem Körper und über deren Funktion und Anpassungsfähigkeit wird in diesem Taschenbuch berichtet.

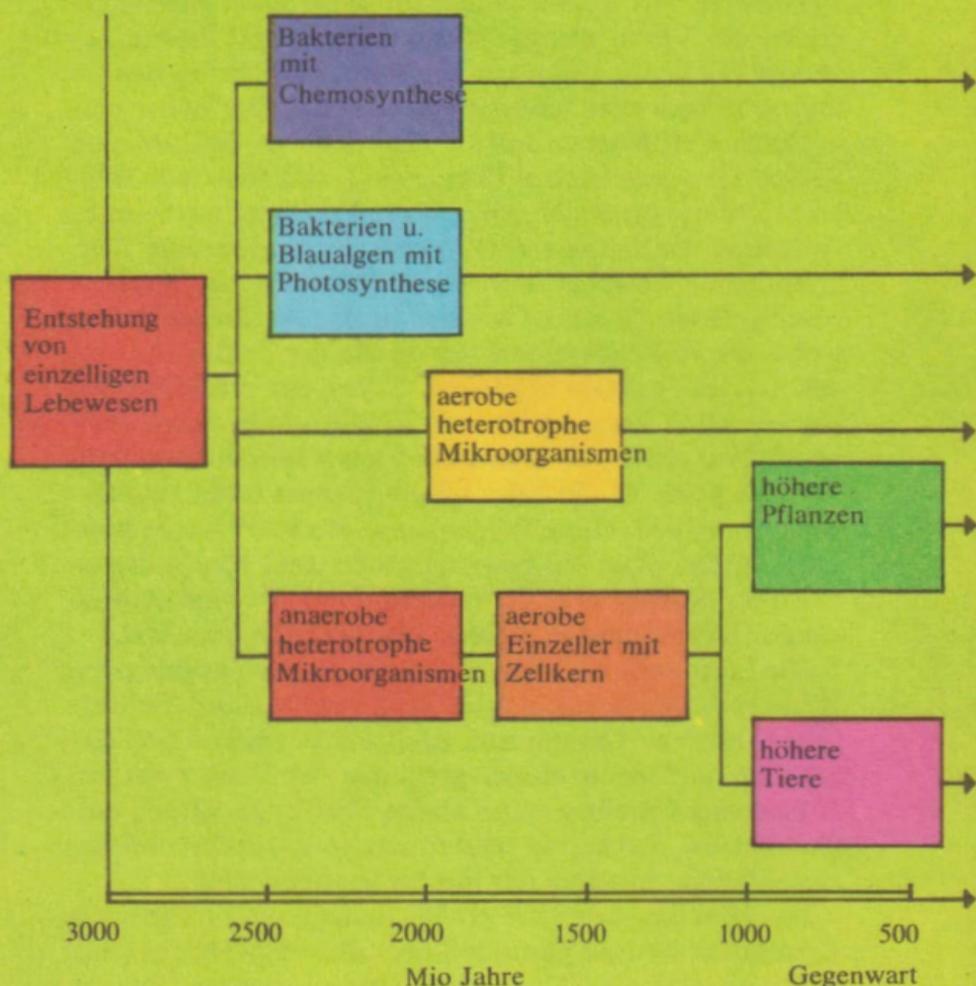
Die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit eines gesunden Körpers ist erstaunlich groß. Je besser wir den Bedürfnissen unseres Organismus nach einer vollwertigen Ernährung und nach einem gesunden Wechsel zwischen Arbeit und Erholung, eine aktive Freizeitgestaltung eingeschlossen, Rechnung tragen, um so gesünder und leistungsfähiger erhalten wir ihn bis ins hohe Alter.

Im Hinblick auf die große Bedeutung biologischer Kenntnisse für eine gesunde Lebensführung lohnt es sich, einen Blick in die Tätigkeit der Organe unseres Körpers

und in den molekularen Ablauf der Lebensvorgänge zu werfen.

Wenn wir die Eigenschaften des Menschen mit denen hochentwickelter Tierarten (z. B. anderen Primatenarten) vergleichen, so wird augenfällig, daß der Mensch – im Gegensatz zum Tier – ein in hohem Maße biosoziales Lebewesen ist. Selbstverständlich ist die enorm große Leistungsfähigkeit des Menschen auch nur aus dieser dialektischen Einheit zu begreifen. Wie der Titel des »ak-

Entstehung der ersten Lebewesen auf der Erde



zent«-Buches schon zum Ausdruck bringt, wird in vorliegender Darstellung beim Menschen im wesentlichen nur der biologische Aspekt der Lebensvorgänge dargestellt, um interessante Erkenntnisse von einigen wichtigen Körperfunktionen zu vermitteln.

Die Grundelemente der Zelle sind bei den Eukaryonten – Zellen bzw. Lebewesen mit Zellkernen – der Zellkern (Nukleus), das Zellplasma (Zytoplasma), die Mitochondrien, die Ribosomen und die Zellmembran. Pflanzliche Zellen besitzen außerdem meist Chloroplasten, die der Photosynthese dienen. Bei den Bakterien sind die Desoxyribonukleinsäuren nicht in Form eines Zellkerns, sondern ringförmig (als Nukleotide) angeordnet.

Wie es zum Leben auf der Erde kam

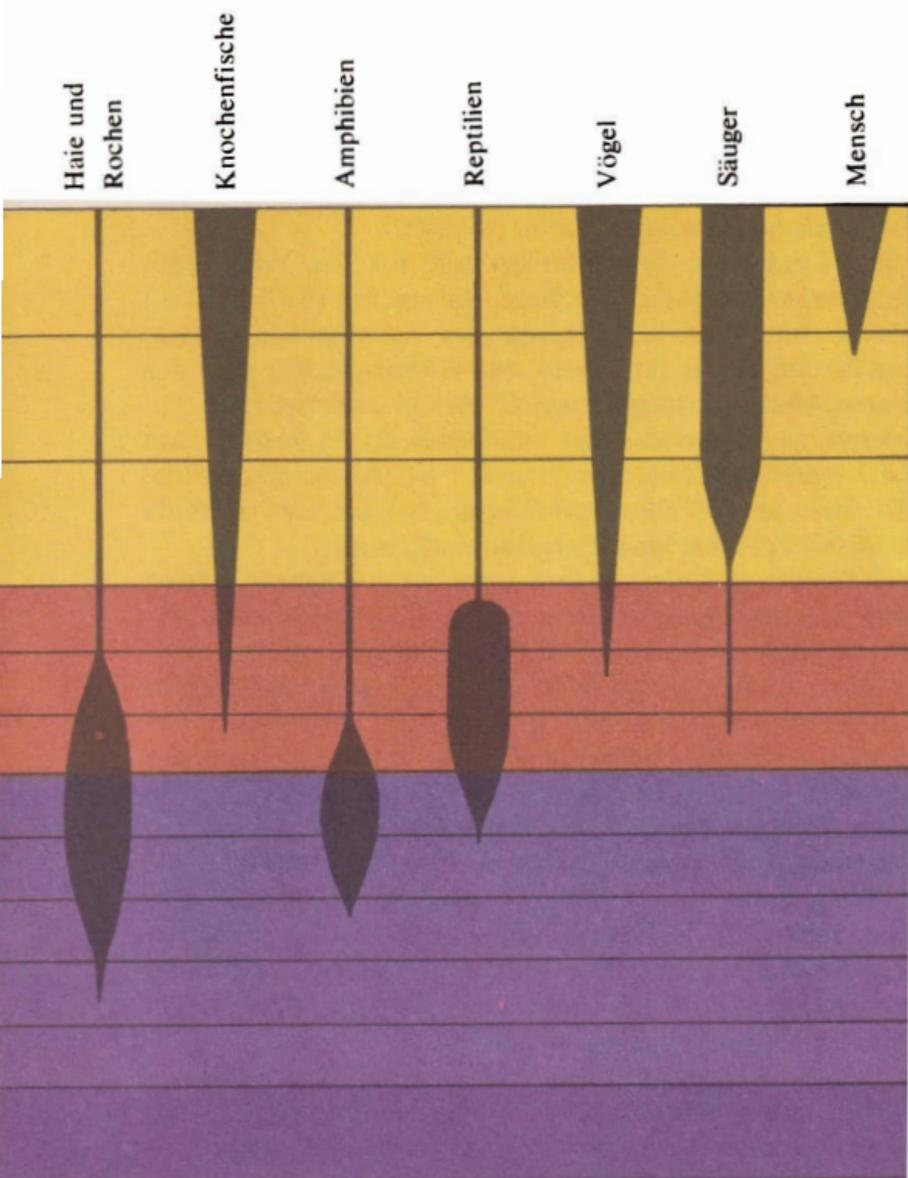
Vor mehr als drei Milliarden Jahren begann das Leben auf unserem Planeten mit Systemen, die wesentlich einfacher als die heute vorkommenden Zellen aufgebaut waren. Im Prinzip enthielten sie aber die gleichen Bausteine, nämlich Eiweißstoffe, Nukleinsäuren, Lipide, Kohlenhydrate, Mineralstoffe und Spurenelemente. Von der Entwicklung solcher Systeme mit der Fähigkeit zur Selbsterhaltung und Vermehrung können wir uns dank der großen Fortschritte auf dem Gebiet der Lehre von der Entstehung des Lebens, der Biogenetik, eine gute Vorstellung machen. Eine grundlegende Frage ist dabei, ob die Entstehung von Lebewesen rein zufällig oder notwendigerweise erfolgt ist. Diese Frage ist dahingehend zu beantworten, daß Zufall und Notwendigkeit bei der Entstehung von lebenden Systemen gleichermaßen von Bedeutung sind und eine dialektische Einheit bilden.

Über Hunderte von Millionen Jahren entwickelten sich in der Urzeit der Erde bei intensiver UV-Bestrahlung und heftigen elektrischen Entladungen unter den Bedingungen der Uratmosphäre – die aus CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2 , NH_3 und H_2S bestand – auf der Erde einfache und komplex zusammengesetzte organische Verbindungen, die zu komplizierteren Systemen zusammentraten. Waren die energetischen und physikalisch-chemischen Voraussetzungen für deren

Zeitalter	Formation	Stufe	vor Mio Jahren	Dauer (Mio Jahre)	
Känozoikum (Neuzeit)	Quartär	Holozän	1	1	
		Pleistozän			
	Tertiär	Pliozän		25	
		Miozän			
		Oligozän			35
		Eozän Paläozän			
Mesozoikum (Mittelzeit)	Kreide		60	75	
	Jura		135	60	
	Trias		195	30	
			225		
Paläozoikum (Altzeit)	Perm		285	60	
	Karbon		350	65	
	Devon		405	55	
	Silur	Gotlandium Ordovizium	500	95	
	Kambrium		570	70	
Proterozoikum		2600	2030		

Übersicht über die Entwicklung wichtiger Vertreter der Wirbeltiere

Erhaltung nicht gegeben, so zerfielen sie wieder in einfachere Verbindungen. Man hat gegen die Vorstellung von der Entwicklung lebender Systeme aus anorganischen Verbindungen über eine chemische und organische Evo-



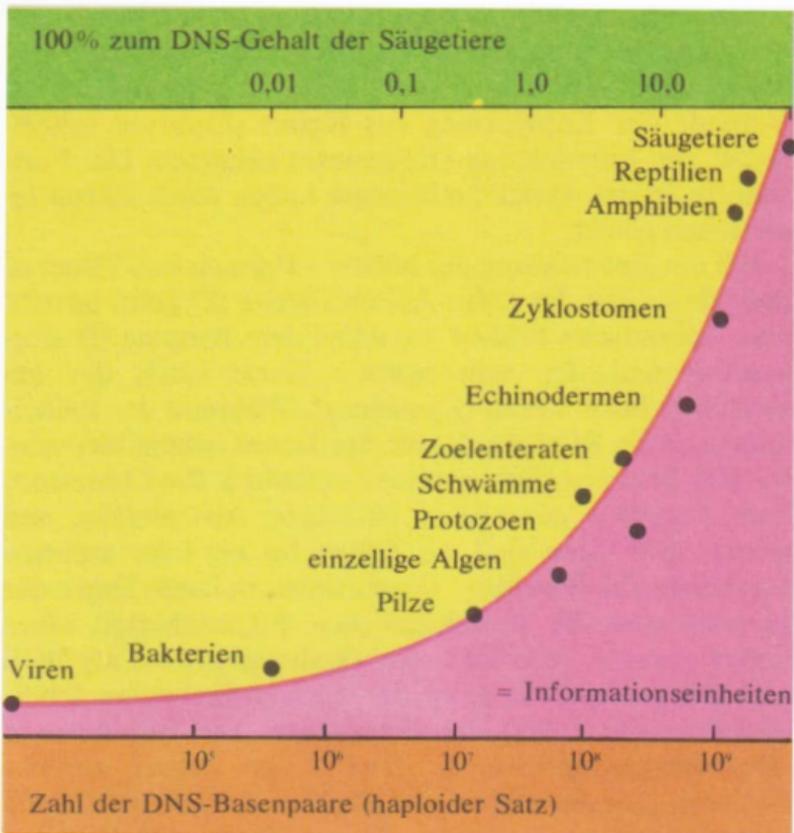
lution lange Zeit den Einwand erhoben, daß höhermolekulare Verbindungen – wie die in den Lebewesen vorkommenden Nukleinsäuren und Eiweißstoffe – von so komplizierter Struktur seien, daß ihre spontane Bildung aus einfachen Verbindungen außerordentlich unwahrscheinlich sei. Tatsächlich ist die Bildung hochmolekularer Moleküle und Systeme mit der Fähigkeit zur Speicherung

von Information und zur Selbsterhaltung in langen Zeiträumen über einfach aufgebaute Zwischenstufen erfolgt. Über die Synthese zunächst relativ einfacher Systeme haben sich schrittweise, auf dem Wege der Abänderung (Mutation) und der Auslese (Selektion), immer kompliziertere Systeme mit einem höheren Grad der Anpassungsfähigkeit und der Stabilität entwickelt.

Im Laufe der Entwicklung sind aus den einzelligen Lebewesen zunehmend höhere Formen des Pflanzen- und Tierreiches entstanden. Infolge der Veränderung der Lebensbedingungen im Laufe der Erdgeschichte und der Entwicklung leistungsfähigerer Arten sind sie zum Teil wieder ausgestorben. Die ungeheuer große Vielfalt von Lebewesen auf unserem Planeten ist daraus ersichtlich, daß mehr als 300 000 verschiedene Pflanzen- und mehr als 1 000 000 verschiedene Tierarten vorkommen!

Über einen Zeitraum von mehr als 1 Milliarde Jahren kamen in der Urzeit der Erde nur kernlose Lebewesen, die Prokaryonten (Vorläufer der kernhaltigen Zellen) vor, nämlich die Bakterien und Blaualgen, die somit die ältesten »Erbewohner« sind. Die Entwicklung kernhaltiger Organismen (Eukaryonten) setzte vor etwa 1,5 Milliarden Jahren ein. Vor etwa 570 Millionen Jahren entstanden die Schwämme, vor etwa 480 Millionen Jahren die Tintenfische und vor etwa 350 Millionen Jahren die Insekten. Als erste Vertreter der Wirbeltiere traten vor etwa 400 Millionen Jahren die Fische und vor etwa 350 Millionen Jahren die Amphibien auf. Die ersten Säugetiere sind etwa 200 Millionen Jahre alt. Vor etwa 4 Millionen Jahren haben sich die Urmenschen entwickelt.

Wie der Bau komplizierterer Maschinen immer größere Konstruktionspläne und immer mehr Bauteile voraussetzt, so nimmt auch die Ausrüstung mit DNS und mit Eiweißstoffen mit steigender Höherentwicklung der Organismen immer mehr zu. Die Speicherung von Informationen ist in den Riesenmolekülen der DNS auf kleinstem Raum möglich und erfolgt somit weitaus rationeller als in den informationsspeichernden Anlagen der Technik: Nur der sechsmilliardste Teil eines Milligramms ($6 \cdot 10^{-9}$ mg) an DNS ist notwendig, um die etwa 50 000–100 000 Erbanlagen (Gene) eines Säugetieres zu bilden!



Mit wachsender Organisationshöhe der Lebewesen steigt die Ausrüstung mit DNS (Desoxyribonukleinsäuren). Die DNS ist Träger der genetischen Information, die in Form einer spezifischen Anordnung der verschiedenen Desoxyribonukleotide in den Makromolekülen verschlüsselt ist.

Die DNS – der Träger der genetischen Information

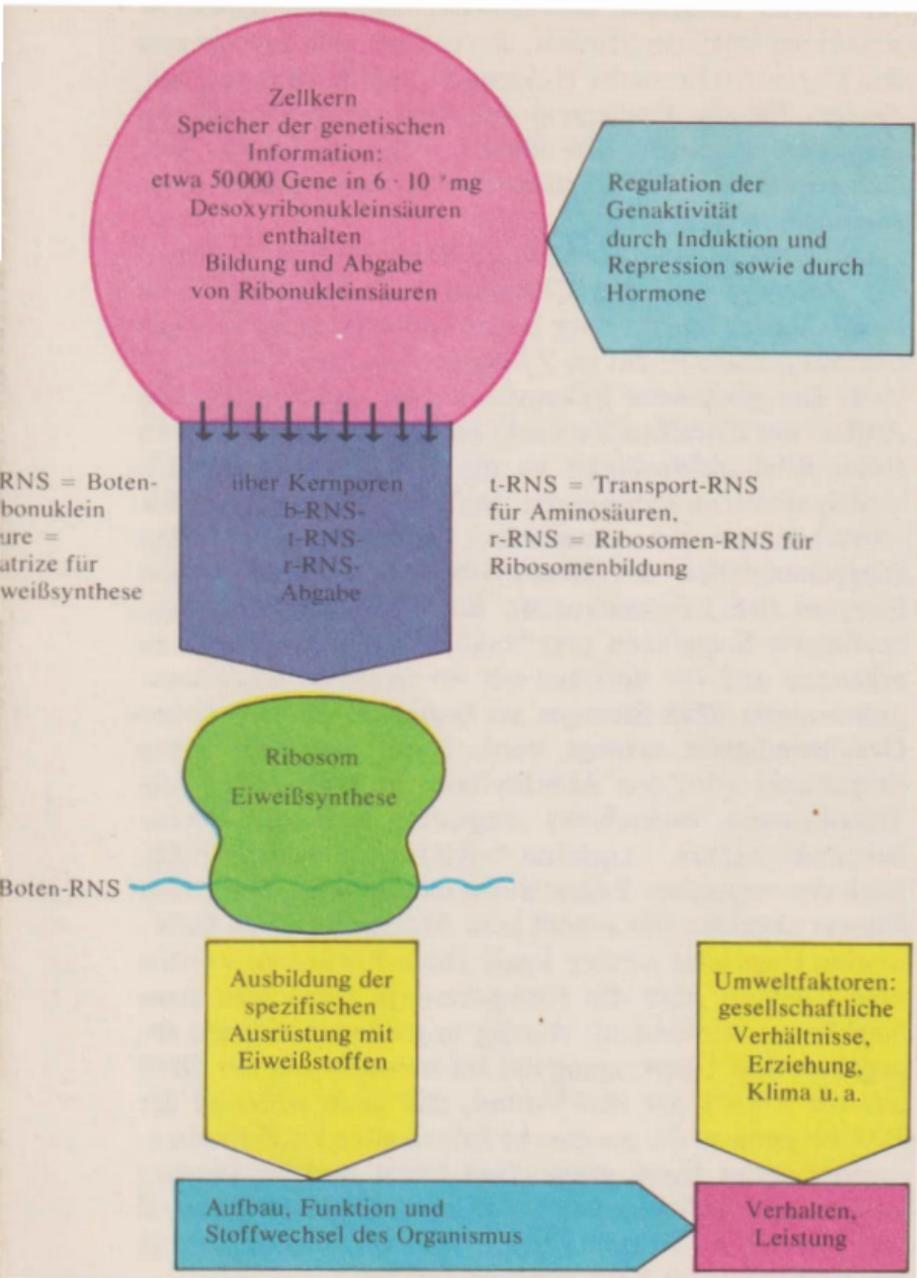
Zu den großen Rätseln in der Biologie gehörte lange Zeit der Mechanismus der planmäßigen Entwicklung von aus Billionen und Trillionen von Zellen bestehenden Organismen aus einer befruchteten Eizelle. Beim Menschen wiegt die Eizelle nur etwa 0,0015 mg, sie hat einen Durchmesser von 0,14 mm. Viele Forscher des 19. Jahrhunderts waren der Meinung, daß der Mensch in der durch Verschmelzung der Ei- und Samenzelle entstehenden Zelle – der Zygote

– bereits in kleinster Form (als »Menschlein«, Homunkulus) vorgebildet (präformiert) sei. Andere vertraten den Standpunkt, daß die Eigenschaften des Menschen im Verlaufe der Entwicklung des Keims (Embryo) schrittweise zur Entwicklung (Epigenese) gelangen. Die Fortschritte in der Molekularbiologie haben diese Rätsel inzwischen gelöst.

Bei der Entwicklung der höheren Formen von Pflanzen und Tieren aus der befruchteten Eizelle (Zygote) besteht eine dialektische Einheit zwischen dem Bauplan (Präformation) und der schrittweisen Entwicklung der genetischen Information (Epigenese). Während der Zellteilung sind die Riesenmoleküle der Desoxyribonukleinsäuren (DNS) in den Chromosomen enthalten. Die Chromosomen bestehen aus vielen einzelnen Abschnitten, den Genen. Die Gene sind die Träger für ein oder mehrere Merkmale des jeweiligen Organismus: In ihnen liegen der Bauplan und die grundsätzlichen Eigenschaften eines Lebewesens in verschlüsselter (kodierter) Form als DNS vor. Somit sind die unterschiedlich aufgebauten DNS-Moleküle die Träger der Erbanlagen. Die Bezeichnung »Desoxyribonukleinsäuren (DNS)« ist darauf zurückzuführen, daß diese Riesenmoleküle im Zellkern (Nukleus) vorkommen, als Zucker die Desoxyribose enthalten und infolge des Vorkommens von Phosphorsäuremolekülen sauer reagieren. Die Erbanlagen eines Menschen sind in der befruchteten Eizelle in der unvorstellbar kleinen Menge von 0,000 000 006 mg DNS gespeichert!

Die enorm großen Möglichkeiten der Speicherung von Informationen für den spezifischen Aufbau von mehreren Tausenden bis Zehntausenden an Eiweißstoffen in Form der DNS wurden erst nach der Aufklärung der Struktur und der Eigenschaften der DNS erkannt. Die Moleküle der DNS bestehen aus Tausenden bis Zehntausenden von elementaren Einheiten, den Nukleotiden. In den Nukleotiden sind die stickstoffhaltigen organischen Verbindungen Adenin, Guanin, Zytosin und Thymin in einer bestimmten Anordnung als Informationsträger wirksam. Ein Nukleotid besteht jeweils aus einer Base, einem Zucker- (Desoxyribose) sowie einem Phosphorsäureanteil.

So wie in einer Schrift die Buchstaben für die Bildung



Übersicht über die Bedeutung der Erbanlagen bei der Regulation der Eiweißsynthese an den »Eiweißfabriken« (Ribosomen) und für die Ausbildung der spezifischen Eigenschaften eines Lebewesens

der Wörter (Begriffe) informativen Charakter haben, so sind in der DNS das Adenin, das Guanin, das Zytosin und das Thymin in Form der Nukleotide als Verschlüsselungszeichen für die Festlegung der Aminosäureanordnung (Sequenz) in einem Eiweißstoff wirksam. Jeweils drei Nukleotide sind für die Bestimmung des Einbaus einer Aminosäure eingesetzt.

Die DNS ist hauptsächlich im Zellkern (bzw. während der Zellteilung in den Chromosomen) enthalten. Eine kleine Menge kommt auch in den Mitochondrien vor. Die Eiweißsynthese findet im Zytoplasma an den Ribosomen statt. Die genetische Information über den spezifischen Aufbau der Eiweißstoffe wird von der DNS mit Hilfe von Boten-Ribonukleinsäuren an die Einrichtungen der Eiweißsynthese im Zytoplasma, den Ribosomen, geleitet. Als »Abschreiber« der genetischen Information von den Riesenmolekülen der Desoxyribonukleinsäuren wirken Enzyme (RNS-Polymerasen), die die Fähigkeit haben, bestimmte Sequenzen von Nukleotiden in der DNS zu erkennen und von dort aus mit der Synthese eines komplementären RNS-Stranges zu beginnen, der mit hoher Geschwindigkeit erzeugt wird. Nach Erreichen eines Stoppsignals wird das Abschreiben der Information (als Transkription bezeichnet) eingestellt und die Boten-Ribonukleinsäure, abgekürzt b-RNS oder auch m-RNS, nach der englischen Bezeichnung messenger – Bote, vom Enzym abgelöst, das erneut zum Abschreiben von Information eingesetzt werden kann. Die b-RNSäuren werden vom Zellkern über die Kernporen (je Kern sind etwa 3000 Poren vorhanden!) ständig in großem Umfange abgegeben. Die Übertragung der Information von der DNS auf die b-RNS hat den Vorteil, daß auch während der Eiweißsynthese die genetische Information im Zellkern in unveränderter Form gespeichert bleibt und für erneute Ablesungen verfügbar ist. Außerdem können das Ausmaß und die Art der Eiweißsynthese über eine Beeinflussung der Bildung von b-RNS reguliert werden.

Die Ribonukleinsäuren leiten ihre Bezeichnung davon ab, daß sie u. a. im Zellkern vorkommen sowie Ribose und Phosphorsäure enthalten. Als Informationseinheiten kommen in den RNS hauptsächlich das Adenin, das

Guanin, das Zytosin und das Urazil vor. Größe und Bau der Ribonukleinsäuren sind sehr vielfältig. Im Zellkern werden neben der b-RNS auch ständig noch andere Formen von RNS gebildet und abgegeben: Die r-RNS (ribosomale RNS) dient dem Aufbau der Ribosomen (Eiweißfabriken), die t-RNS (Transfer- oder Transport-RNS) dem Transport der Aminosäuren an die b-RNS, an der die einzelnen Aminosäuren zu höhermolekularen Eiweißstoffen verbunden werden.

In der befruchteten Eizelle setzt bereits kurze Zeit nach der Vereinigung der von der Mutter bzw. vom Vater stammenden Erbsubstanz bei der ersten Zellteilung die Verdoppelung dieses Materials ein. Die DNS dient dabei nach Aufgliederung in Einzelspiralen als Matrize (Vorlage) für die Herstellung neuer DNS-Moleküle (identische Reduplikation). Es werden auch Kerneiweißstoffe (Histone, Hertone) neu gebildet. Nach der Verdoppelung ordnen sich die DNS- und Eiweißmoleküle unter Auflösung der Kernmembran als leicht anfärbbare Fäden, den Chromosomen (griech.: chromos, Farbe; soma, Körperchen), in der Mitte der Zelle an. Nach der Teilung der Chromosomen werden diese gleichmäßig den Tochterzellen zugeordnet, wo sie sich schnell zum Kern zusammenfügen.

In manchen Fällen findet eine Trennung der Tochterzellen der Zygote statt: Jede dieser Tochterzellen kann dann Ausgangspunkt eines neuen Lebewesens werden. Dies ist bei eineiigen Zwillingen der Fall, die somit die gleiche Ausrüstung mit Erbanlagen haben und zum Verwechseln ähnlich aussehen. In der Regel bleiben jedoch die Tochterzellen vereinigt und teilen sich erneut: Dadurch entsteht das Vierzellenstadium des Keimes. Im Vierzellenstadium setzt schon die Spezialisierung der Zellen ein. Infolge weiterer Teilung der Zellen nimmt die Zahl der Zellen im Keim rasch zu: Es entsteht der Embryo, der schließlich in die Gebärmutterschleimhaut eingebettet wird.

Nun setzt eine weitere Spezialisierung der Zellen des Keimes nach Bau und Funktion ein. Sie beruht darauf, daß aus dem gewaltigen Archiv an Erbinformationen in den meisten Zellarten nur jeweils ein kleiner Teil – von etwa 3–5% – entschlüsselt und zum Aufbau eines gewebes-

spezifischen Eiweißmusters verwendet wird. Auf diese Weise findet durch schrittweise Entwicklung (Epigenese) des Ablesens der Erbinformationen für die Bildung der Keimblätter und der Gewebe eine sinnvolle Ausnutzung der genetischen Gesamtinformation statt. Der höchste Verwertungsgrad der genetischen Information für die Eiweißsynthese liegt in den Nervenzellen mit etwa 8–10% »Ausnutzung« vor. Zwischen den Zellen eines Keimes bestehen enge Wechselbeziehungen, wobei die Lenkung der Entwicklung der einzelnen Zellen in eine bestimmte Entwicklungsrichtung und die Regulierung der Entwicklungsgeschwindigkeit der einzelnen Zellverbände in höchstem Maße planmäßig und sinnvoll verlaufen. Abweichungen in der Ausrüstung mit Chromosomen (infolge fehlerhafter Zellteilung) sowie Defekte im Aufbau der DNS führen zum Auftreten von Mißbildungen (Genopathie). Solche können auch durch übermäßigen Konsum von Tabakerzeugnissen und Rauschgift, durch bestimmte Infektionskrankheiten (z. B. Röteln) und durch Mängel in der Ernährung und der O₂-Versorgung des Keimes ausgelöst werden.

Wie Eiweißstoffe in der Zelle gebildet werden

Einen Meilenstein in der Zellforschung der letzten Jahrzehnte bildet die Aufklärung der Vorgänge bei der Eiweißsynthese. Sie findet in nahezu allen Zellen unseres Körpers (Ausnahme: Erythrozyten) fortlaufend in mehr oder weniger großem Umfange statt. Beim erwachsenen Menschen werden, in Abhängigkeit von der Körpermasse, je Tag etwa 250 bis 400 g Eiweiß neu gebildet bzw. abgebaut: Die Eiweißstoffe befinden sich somit im Fließgleichgewicht, für deren Erhaltung eine ausreichende Bereitstellung von Aminosäuren notwendig ist. Bei Eiweißmangel überwiegt der Eiweißabbau, so daß der Eiweißbestand des Organismus abnimmt: Dadurch werden die Anpassungs- und Leistungsfähigkeit verschiedener Organe – so des Gehirns und der Muskulatur – herabgesetzt. Es vermindert sich dabei der Eiweißbestand der Muskeln.

Die Bedeutung des Fließgleichgewichtes der Eiweißstoffe in den Zellen besteht darin, daß der Eiweißbestand durch Zubildung bzw. verstärkten Abbau den jeweiligen Erfordernissen angepaßt werden kann. Wir wissen alle, daß z. B. bei anhaltend schwerer körperlicher Tätigkeit und ausreichender Eiweißversorgung die arbeitenden Muskeln an Umfang zunehmen.

Die Bildung der Eiweißstoffe in den Zellen findet an den Ribosomen im Zytoplasma statt. Die Bezeichnung Ribosom leitet sich davon ab, daß diese Einrichtungen reich an Ribonukleinsäuren sind. In einer Bakterienzelle kommen etwa 10 000 und in der Drüsenzelle eines Säugetieres mehrere Millionen solcher Ribosomen (»Eiweißfabriken«) vor. Als Dirigent für den geordneten Einbau der Aminosäuren am »Fließband« in einer bestimmten Reihenfolge ist jeweils eine spezifische Boten-RNS wirksam. Die b-RNS wird an einem bestimmten Abschnitt der DNS gebildet, gelangt durch die Kernporen in das Zytoplasma und verbindet sich jeweils mit einem Ribosom bzw. mit mehreren Ribosomen (Polysombildung). Beim Heranschaffen der Aminosäuren ist eine weitere Form von RNS-Molekülen tätig: die t-RNS. Für den Transport der einzelnen Aminosäuren sind unterschiedlich aufgebaute t-RNS-Moleküle eingesetzt, die über eine Erkennungsregion für eine bestimmte Sequenz von 3 Nukleotiden in der b-RNS verfügen und dann die jeweilige Aminosäure an dieser Stelle zum Einbau bringen. Je Sekunde können 50–100 Aminosäuren miteinander verbunden werden!

Die »Kraftwerke« der Zelle

Für den Ablauf der Lebensprozesse muß in den Zellen ständig freie Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) bereitgestellt werden. Die Bereitstellung der Energie ist eng mit dem Stoffwechsel der Zellen verbunden. In den grünen Pflanzenzellen wird mit Hilfe der Chloroplasten (grüne Körnchen) die Energie des Sonnenlichtes in chemische Energie übergeführt. In tierischen Zellen werden energiereiche Verbindungen durch Verbrennung von Nährstoffen bzw. von deren Abbauprodukten gewonnen

(z. B. von Traubenzucker, Fettsäuren und Ketosäuren). Eine besonders wichtige Rolle unter den energiereichen Verbindungen in den Zellen spielt das Adenosintriphosphat (ATP). Es ist in allen lebenden Zellen vorhanden und wird bei allen biologischen Synthesen (z. B. von Eiweiß, Fett) verbraucht. Außerdem ist es für Transportvorgänge, so z. B. zur Resorption von Stoffen im Dünndarm, für Aufnahme von Molekülen und Ionen in die Zellen und zur Ausscheidung von Stoffen notwendig. Bei starker Muskelarbeit wird ständig ATP in großem Umfang verbraucht. Komplizierte bioelektrische Vorgänge, wie das Leuchten der Glühwürmchen oder die Aufnahme von Informationen in den Sinneszellen und deren Verarbeitung und Speicherung im Nervensystem, gehen gleichfalls mit einem Verbrauch an ATP einher.

Die Verbrennung von organischen Verbindungen findet in den Zellen in kleinsten »Brennöpfchen«, den Mitochondrien, statt. Wegen der ständigen Gewinnung von Energie in Form von ATP werden die Mitochondrien auch als »Kraftwerke« der Zellen bezeichnet. Die Energie wird dabei stufenweise gewonnen, wobei die Verbrennung in sehr ökonomischer Weise erfolgt und eine »Überheizung« der Zellen vermieden wird. Die Bezeichnung Mitochondrien für die Verbrennungseinrichtungen der Zelle ist darauf zurückzuführen, daß es sich um strangförmige Gebilde (griech.: mitos, Faden; chondros, Körnchen) handelt.

Die Ausrüstung einer Zelle mit Mitochondrien ist um so größer, je höher der Energiebedarf ist. Nervenzellen und Drüsenzellen enthalten jeweils mehrere Tausend Mitochondrien, dagegen besitzen die Endothelzellen der feinsten Blutgefäße (Kapillaren) nur etwa 10 bis 20 dieser »Kraftwerke«. Reich an Mitochondrien sind auch die Herzmuskelfasern, die beständig »im Einsatz« sind, um den Blutfluß im Kreislauf aufrechtzuerhalten.

Der Umfang der Verbrennungsvorgänge ist jeweils vom Verbrauch an ATP abhängig. Wenn z. B. unsere Muskeln eine schwere Arbeit leisten und viel ATP verbraucht wird, so steigt die Verbrennung von Glukose und von Fettsäuren sehr stark an. Beim Verbrauch von ATP entstehen das Adenosindiphosphat (ADP) und anorganisches Phos-

phat, die die Verbrennung von Substraten anregen: Mit Hilfe der dabei frei werdenden Energie wird aus ADP und Phosphat wieder ATP aufgebaut, so daß ständig »Kraftstoff« zur Verfügung steht. Je höher der Nährstoffverbrauch für die Verbrennung ist, desto größer wird unser Appetit: Es findet dann eine Steigerung der Nahrungsaufnahme statt, um den Verlust an Nährstoffen auszugleichen.

Noch einige Zellbestandteile:

Der Golgi-Apparat und die Lysosomen

Viele Zellen verfügen über Spezialeinrichtungen, um bestimmte Sonderleistungen ausführen zu können. So ist im Zytoplasma vieler tierischer und pflanzlicher Zellen der Golgi-Apparat entwickelt. Die Funktion dieser Transporteinrichtung ist vielseitig. In Drüsenzellen sorgt er für Bildung und Transport von Sekreten, in anderen Zellen für die Aufnahme (Resorption) von Verbindungen.

Das Zytoplasma vieler Zellarten enthält ferner die Lysosomen (griech.: lysis, Auflösung), in denen zahlreiche Enzyme in »verpackter Form« vorliegen, die im Bedarfsfalle die Zellen oder aufgenommene Fremdkörper auflösen. Wenn ein Teil des Gewebes beispielsweise durch Erfrierung schwer geschädigt ist und die Zellen nicht mehr lebensfähig sind, dann löst sich die Membran der Lysosomen auf und die darin enthaltenen Enzyme bauen die Zellbestandteile (Eiweiß, DNS, RNS usw.) ab. Von den gesunden Zellen der Basis her kann dann Gewebe nachgebildet werden (Regeneration). Reich an Lysosomen sind bestimmte Formen der weißen Blutkörperchen, die Granulozyten, die große Mengen an Granula (Lysosomen) im Zytoplasma enthalten. Bei einer Infektion durch Eitererreger werden die zur Wanderung befähigten Granulozyten durch Reizstoffe (Leukotaxine) der Bakterien in großer Zahl an den Entzündungsherd gelockt, wo sie zerfallen. Dabei werden die in den Lysosomen vorhandenen Enzyme frei und können dann wirkungsvoll zum Abbau der Bakterien und zur Abwehr der Infektion beitragen. Die neutrophilen Granulozyten können aber auch Bakterien aufnehmen (Phagozytose) und mit Hilfe der Lysosomen intrazellulär verdauen (»Bakterienfresser«).

Die Zellerneuerung

Die meisten Gewebe des Körpers sind während des gesamten Lebens in laufender Erneuerung begriffen. Ein bekanntes Beispiel ist die ständige Erneuerung der Zellen der Oberhaut (Epidermis). Aber auch die Oberflächenzellen (Epithelien) der Schleimhaut des Magen-Darm-Kanals, der Atmungsorgane sowie der Harnwege befinden sich ständig in rascher Erneuerung und haben nur eine Lebenszeit von wenigen Tagen.

Nicht erneuerungsfähig dagegen sind die Nervenzellen, die schon kurze Zeit nach der Geburt ihre Teilungsfähigkeit verlieren. Die Zunahme der Masse des Nervensystems in der Jugend beruht auf der Vergrößerung der einzelnen Nervenzellen und der Zunahme von Fasern und Faserverbindungen. Dies ist biologisch insofern höchst zweckmäßig, als die schon während der frühen Entwicklung von uns aufgenommenen Eindrücke (Informationen) in den Nervenzellen gespeichert werden und über einen langen Zeitraum – zum Teil bis in das hohe Alter – bei Bedarf »abgerufen« werden können. Die liebevolle Behandlung des Babys in den ersten Lebensmonaten und -jahren und der Umfang der Kontakte und Reizeinflüsse sind bekanntlich auf dessen spätere Entwicklung und Eigenschaften von maßgeblichem Einfluß. Würden die Nervenzellen ständig erneuert, so wäre das mit einem laufenden Verlust an gespeicherter Information verbunden!

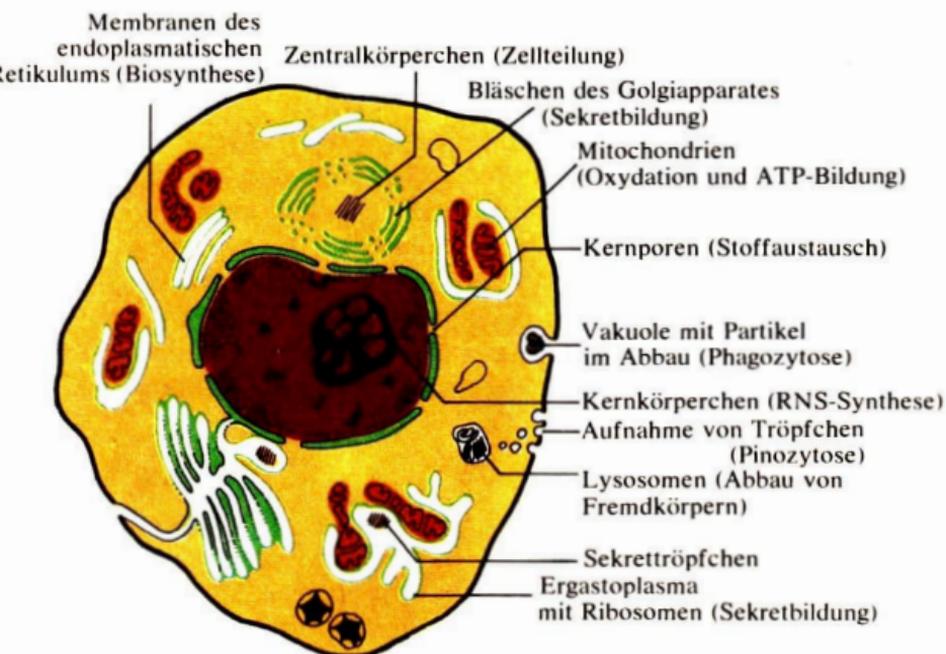
Die Erneuerung unserer Körperzellen als Ersatz für abgebaute bzw. abgeschilferte Zellen erfolgt normalerweise mit großer Präzision. Mit zunehmendem Alter können Störungen in der Regulation der Zellerneuerung auftreten, besonders unter dem anhaltenden Einfluß von krebserzeugenden Verbindungen, wie sie im Tabakrauch vorkommen (z. B. Benzpyren). Dabei entwickeln sich Zellverbände mit unkontrolliert schneller Teilung, die zur Bildung von Geschwülsten (Tumoren) führen. Am häufigsten kommen beim Menschen Tumoren der Magenschleimhaut, der Leber und der Lungen, bei der Frau auch der Gebärmutter Schleimhaut, vor. Eine Behandlung vieler Tumorformen ist um so wirkungsvoller möglich, je früher diese erkannt werden. Der regelmäßigen ärztlichen Über-

wachung der Gesundheit durch Reihenuntersuchungen kommt daher eine große Bedeutung zu. Noch größer ist die Bedeutung der Vorbeugung: Es lohnt sich, Nichtraucher zu sein, denn Tumoren des Magens und der Lungen kommen vorwiegend bei Rauchern vor!

Spezialisierung der Zellen und Gewebe

Unser Organismus besteht aus mehr als 200 verschiedenen Arten von Zellen und Geweben, die sich auf bestimmte Funktionen spezialisiert haben. Die Ausrüstung einer Zelle mit Eiweißstoffen und anderen Verbindungen steht mit ihrer Funktion in engem Zusammenhang. Hierbei bilden Bau und Funktion sowohl im molekularen als auch im zellulären Bereich eine dialektische Einheit. Die Eiweißstoffe haben sich im Laufe der Evolution im Aufbau in spezifischer Weise den an sie gestellten Anforderungen angepaßt: So ist z. B. der rote Blutfarbstoff auf den Sauerstofftransport spezialisiert, wobei in den Lungen je Hämoglobinmolekül 4 O₂-Moleküle gebunden werden

Aufbau einer tierischen Zelle



können. Die Enzyme (Biokatalysatoren) besitzen jeweils spezifisch aufgebaute Gruppen, »Schlüssel«, um bestimmte Reaktionen durchführen zu können.

Die dialektische Einheit zwischen Bau und Funktion ist auch in der Struktur und der Tätigkeit der einzelnen Zellen und Organe in auffälliger Weise erkennbar. Die Nervenzellen haben z. B. eine große Zahl von Fortsätzen, »Nachrichtenkabel«, mit deren Hilfe sie Informationen in Form von elektrischen Signalen (Aktionspotentiale) übernehmen und verarbeiten; über weitere Fortsätze werden jeweils Informationen abgegeben. Daher erinnert unser Nervensystem an ein riesengroßes nachrichtenverarbeitendes System der Technik mit Speicher- und Befehlsfunktion. Die Zellen und Gewebe der Nährstoffaufnahme (Dünndarmschleimhaut), der Sauerstoffaufnahme (Lunge) und des Sauerstofftransportes (rote Blutkörperchen) sowie der Ausscheidung (Nieren) besitzen eine enorm große Oberfläche, die für die Versorgung des Körpers mit Nährstoffen und Sauerstoff sowie für die Ausscheidung von Endprodukten des Stoffwechsels (»Schlacken«) von größter Bedeutung ist. Die größte »innere Oberfläche« in unserem Körper haben die Dünndarmschleimhaut mit einer Ausdehnung von etwa 2000 m^2 , die Erythrozyten mit einer solchen von 4500 m^2 und die Lungen mit einer von 100 bis 150 m^2 .

Eine Zelle kann man mit einer großen chemischen Fabrik vergleichen, in der gleichzeitig etwa 500 bis 1000 verschiedene Produkte, wie Eiweißstoffe, Enzyme, Hormone u. a., erzeugt werden können. Nur wenige Gewebe sind auf die bevorzugte Produktion eines einzigen Erzeugnisses eingestellt. So sind z. B. die Zellen der oberflächlichen Hautschichten auf die Bildung von Keratin und von Pigmenten, die als Schutzstoffe gegen mechanische Einflüsse bzw. Lichtstrahlen wirken, spezialisiert. Die Stammzellen der roten Blutkörperchen bilden hauptsächlich den roten Farbstoff.

Das Nervensystem – leistungsfähiger als ein Computer

Jahrtausendlang glaubten die meisten Menschen, daß das Seelenleben unabhängig vom Körper existiert und daher nicht von materieller Beschaffenheit sei. Man kam vor allem deswegen zu dieser Ansicht, weil es vor der Erforschung der Struktur und Funktion des Gehirns unvorstellbar erschien, daß in einem so kleinen und äußerlich scheinbar undifferenzierten Organ eine derartige Fülle von Empfindungen und Leistungen (Erkenntnis, Gedächtnis, Reaktionsvermögen) entstehen könne, wie sie jeder gesunde Mensch im Wachzustand laufend entwickelt. Heute wissen wir, daß unser Gehirn etwa 200 Milliarden Zellen enthält, die eine hochleistungsfähige informationsverarbeitende und -speichernde Anlage bilden und den Körper in höchst zweckmäßiger Weise an die jeweiligen Umweltverhältnisse anpassen. Die einzelnen Nervenzellen kommen in mehr oder weniger großen Verbänden (als Kerne und Nervenzentren) vor, die auf ganz bestimmte Leistungen spezialisiert sind und die Basis für die Empfindung und Wahrnehmung, für die Bildung des Bewußtseins, für intelligentes Verhalten und für die sinnvolle Regulation der einzelnen Körperfunktionen und damit für das sehr große Leistungsvermögen unseres Körpers sind.

Ein großer Gehirnforscher war der sowjetische Physiologe I. P. Pawlow (1849–1936). Er wies u. a. die Gesetzmäßigkeiten bei der Bildung von bedingten Reflexen nach. In der Folgezeit wurden in zunehmendem Maße Methoden der Steuer-, Meß- und Regelungstechnik zur Aufklärung der Funktionsprinzipien des Nervensystems eingesetzt. Dies führte zur Herausbildung der Neurokybernetik (griech.: kybernetes, Steuerfunktion).

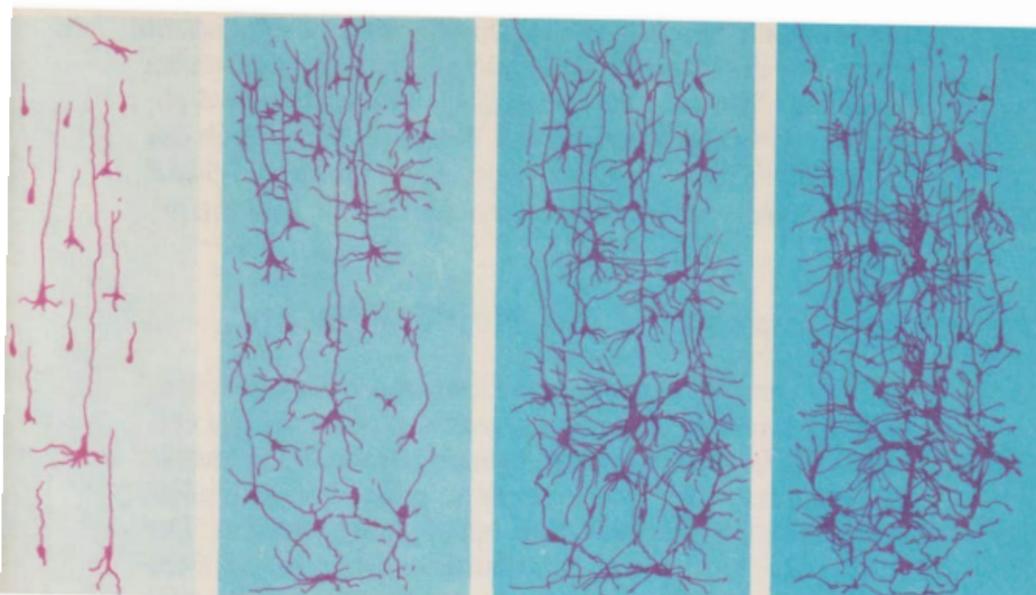
Vom menschlichen Verhalten

Das Gehirn jedes erwachsenen Menschen verfügt über ein hohes Maß an individuellem Gepräge. Seine Tätigkeit ist hauptsächlich von den Erbanlagen, den Erfahrungen, dem Alter, den sozialen Verhältnissen und den Entwicklungsbedingungen (Ernährung, Erziehung) abhängig. Die Erbanlagen sind bei der Entwicklung des Empfindungsvermögens, des Temperaments, der intellektuellen Leistungsfähigkeit und des Willens von maßgeblichem Einfluß. Bekanntlich ist mathematische bzw. musikalische Begabung in bestimmtem Umfange vererbbar. Erinnern wir uns beispielsweise an vier Söhne des berühmten Thomaskantors J. S. Bach (1685–1750), die gleichfalls hervorragende musikalische Leistungen erbrachten. Was J. W. Goethe (1749–1832) als sein elterliches Erbteil betrachtete, hat er so zum Ausdruck gebracht: »Vom Vater hab' ich die Statur, des Lebens ernstes Führen, vom Mütterchen die Frohnatur und Lust zu fabulieren.«

In morphologischer Hinsicht trägt das menschliche Gehirn das Gepräge des Gehirns von Säugetieren, mit auffallend starker Entwicklung des Großhirns. In seiner Entwicklung und Leistungsfähigkeit wird es in entscheidendem Maße von den gesellschaftlichen und sozialen Verhältnissen – also von der Umwelt – beeinflusst. Von Bedeutung für die Größe der Informationsspeicherung und Leistungsfähigkeit ist die lange Jugendentwicklung des Menschen, die 18 Jahre beträgt und die mit einer enorm großen Zunahme der Masse der Nervenzellen und der Anzahl der Verbindungsbahnen zwischen den einzelnen Nervenzellen einhergeht. Die in der Jugend erworbenen Informationen und Erfahrungen sind für das spätere Verhalten von maßgeblicher Bedeutung.

Das hohe Lernvermögen während einer großen Lebensspanne ermöglicht es dem Menschen, sich bis zum mittleren Lebensalter neuen Anforderungen und Lebensbedingungen schnell und gut anzupassen. Das Lernen ist auch noch bis in das hohe Alter möglich, besonders, wenn eine ständige geistige Beschäftigung besteht, es macht jedoch zunehmend mehr Mühe.

Ein sehr großes Speichervermögen für die erlernten



Ausbildung von Verbindungsbahnen zwischen den Nervenzellen und der Großhirnrinde des Menschen während der Reifungsperiode; von links nach rechts: Neugeborenes; Kind, 3 Monate alt; Kind, 15 Monate alt; Kind, 2 Jahre alt

Informationen, die die angeborenen – genetisch bedingten – Informationen um ein Vielfaches übertreffen, ist eine weitere besondere Eigenschaft des menschlichen Gehirns. Die Fähigkeit zum Erkennen und Verknüpfen von optischen und akustischen Signalen mit bestimmten Vorstellungen und Begriffen nimmt in der menschlichen Gehirntätigkeit einen großen Raum ein und ermöglicht über die Sprache sowie über das Lesen und das Schreiben die Verständigung mit anderen Menschen und die sinnvolle Eingliederung in die Gesellschaft. Die Beherrschung des Lesens und der Sprache ist notwendig, um die im Verlaufe von Generationen gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen nutzen zu können.

Von größtem Einfluß sind dabei der Umfang und die Art der Vermittlung des Wissens durch die Erziehung, die von dem jeweiligen Stand der Produktivkräfte, den gesellschaftlichen Verhältnissen sowie vom Stand der Wissenschaftsentwicklung abhängig ist. Im Gegensatz zu den höchstentwickelten Menschenaffen, deren Verhalten

hauptsächlich angeboren und durch einen beschränkten Schatz von Erfahrungen bestimmt wird, ist der Mensch ein biosoziales Wesen. Das menschliche Verhalten wird sowohl durch das Denken und den Willen als auch durch das gesellschaftliche Verantwortungsgefühl, durch den Stand der politischen und naturwissenschaftlichen Bildung geprägt.

Die Bauelemente des Nervensystems

Zum Nervensystem gehören das Gehirn, das Rückenmark, die verschiedenen Ganglien (Anhäufungen von Nervenzellen), die in den Organen gelegenen Nervenzellen und die Nervenfasern. Die Nervenzellen, auch Ganglienzellen oder Neuronen genannt, sind mannigfaltig geformt. Der Zellkörper (Perikaryon) hat häufig einige tausend Fortsätze (Dendrite), die ähnlich wie das Geäst eines Baumes verzweigt sind und viele Informationen aufnehmen können: Sie dienen der Verbindung der Nervenzellen zu anderen Nervenzellen in der engeren Umgebung. An der den Dendriten entgegengesetzten Seite befindet sich am Zellkörper ein langer Fortsatz, der Neurit, der meist viel länger und auch dicker ist als die Dendriten und in seinem Endbereich oft wurzelähnlich aufzweigt. Über den Neuriten werden die »Befehle« und »Informationen« an andere Nervenzellen oder an die regulierten Organe ausgegeben.

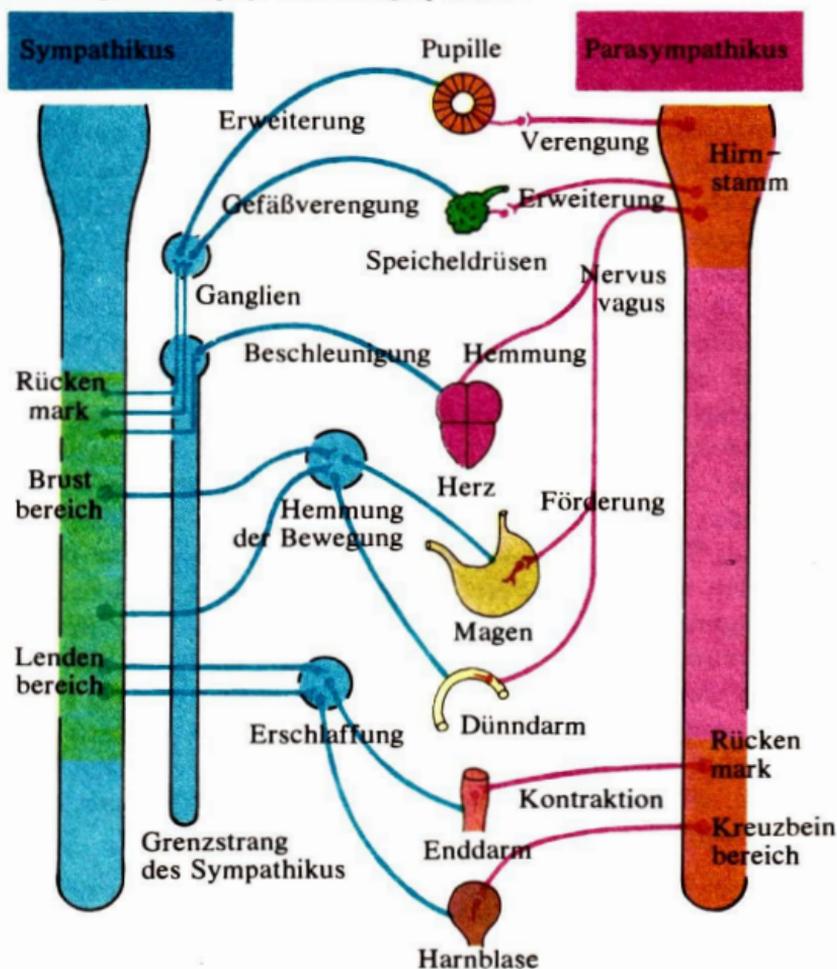
Das für die Leitung der Erregung wichtige Element der Nervenfasern ist das Axon, auch Achsenzylinder genannt. Nach dem Aussehen und dem Aufbau unterscheidet man graue (marklose) und weiße (markhaltige) Nervenfasern. Die markhaltigen Nervenfasern sind von Nervenscheidenzellen umgeben und leiten die Erregungen mit besonders hoher Geschwindigkeit. Die markhaltigen Nervenfasern haben in bestimmten Abständen – von etwa 2,5 bis 3 mm – Schnürringe, die als Verstärkeranlagen bei der Informationsleitung wirken.

Das Nervensystem dient der Verbindung der verschiedenen Gewebe eines Organismus zu einem zweckmäßig reagierenden Gesamtsystem. Für das Verhalten des Menschen ist die Großhirnrinde von hervorragender Be-

deutung: Sie enthält etwa 14 Milliarden Nervenzellen. Neben den Nervenzellen gehören zum Gehirn die Gliazellen (abgeleitet von griech.: glia, Nervenkitt): Sie sind bedeutend kleiner als die Nervenzellen, umgeben diese wie ein Polster und sind an der Ernährung und an der Erhaltung der Funktion derselben beteiligt.

Im Nervensystem finden wir eine sinnvolle Arbeits-

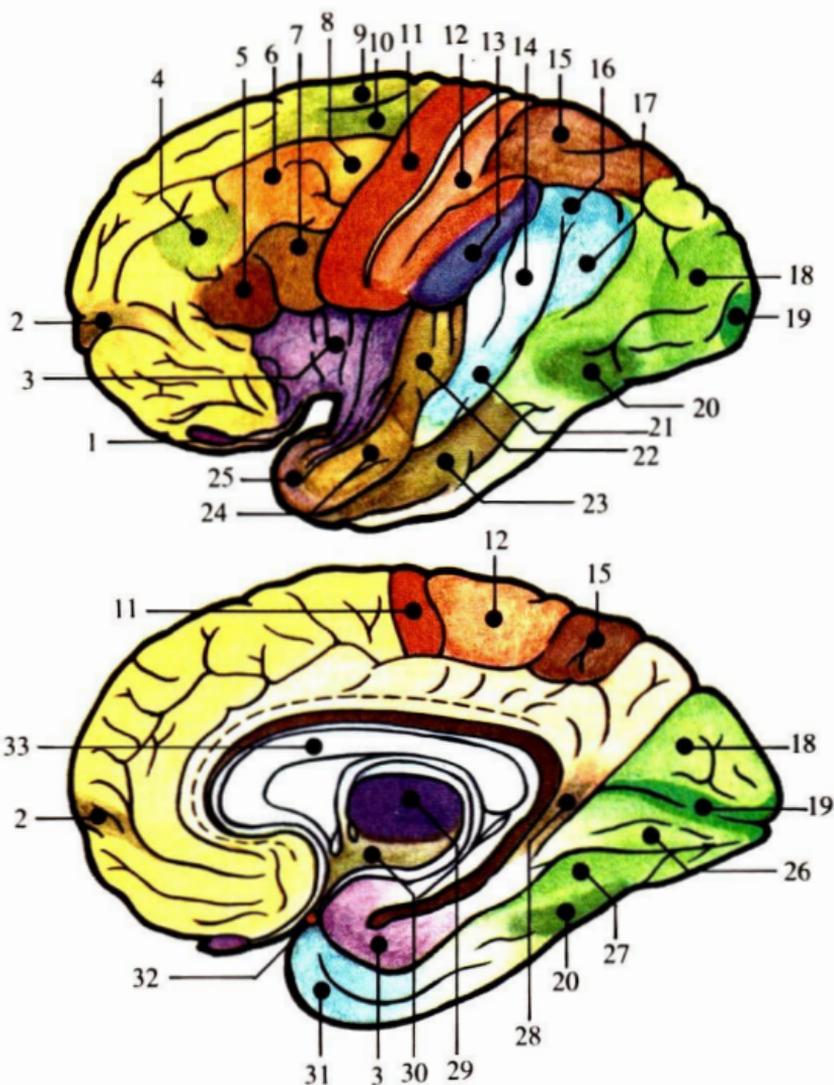
Einfluß des vegetativen Nervensystems auf die Funktion der Organe. Bei »Alarmreaktionen« (Schreck, Bedrohung, starke Anstrengung) werden die Nervenzellen des sympathischen Systems aktiviert, und es wird verstärkt Adrenalin abgegeben – der Körper wird auf schnelle Reaktionsfähigkeit eingestellt. Im Ruhezustand überwiegt der Einfluß des Parasympathikus.



organisation innerhalb der einzelnen Bereiche, wobei man zwischen einem animalen und einem vegetativen Anteil unterscheidet. Das animale Nervensystem (lat.: anima, Leben) verleiht den höher entwickelten Arten, also auch den Menschen, ihre besondere Leistungsfähigkeit bei der Wahrnehmung der Umwelt und bei der Anpassung an diese. Es versorgt beispielsweise die Skelettmuskulatur mit Informationen, welche Bewegungen vorzunehmen sind. Das vegetative Nervensystem (vegetativ: Wachstum, Ernährung, Stoffwechsel und Fortpflanzung betreffend) hält das innere Milieu des Organismus konstant und wirkt bei der Anpassung der Funktion der inneren Organe an Belastungen maßgeblich mit. Es ist die Regulationszentrale für Funktionen, die vom Bewußtsein nicht unmittelbar abhängig sind, wie die Tätigkeit des Herzens und des Kreislaufs, der Verdauungsorgane und der Atmungsorgane. Es wird auch als autonomes, d.h. vom Willen unabhängiges Nervensystem bezeichnet. Völlig unabhängig vom Bewußtsein arbeitet es indessen auch nicht, denn durch Angst und Schreck kann z. B. eine beträchtliche Steigerung der Herzfrequenz ausgelöst werden.

Das vegetative Nervensystem besteht aus zwei im wesentlichen antagonistisch (gegensätzlich) wirkenden Teilsystemen, dem Sympathikus und dem Parasympathikus. Der Sympathikus gibt bei körperlicher Arbeit und bei starker Erregung verstärkt elektrische Signale an verschiedene Gewebe, so z. B. den Herzmuskel, die Bronchien usw., ab. Diese Signale aktivieren Funktionen, die für die Anpassung an eine erhöhte Beanspruchung von Bedeutung sind: So wird die Zahl der Herzschläge erhöht, die Bronchien werden erweitert – dies bewirkt eine bessere Versorgung des Körpers mit O_2 –, der Blutdruck steigt an – dadurch bessere Versorgung mit Nährstoffen –, der Gehalt des Blutes an Traubenzucker nimmt zu, und die Pupillen erweitern sich. Die Aktivität des Sympathikus steht in engem Zusammenhang mit der Größe der Sekretion bzw. der synaptischen Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin.

Lage der wichtigsten motorischen und sensorischen Zentren in der Großhirnrinde des Menschen; oben: Seitenansicht; unten: Längsschnitt.



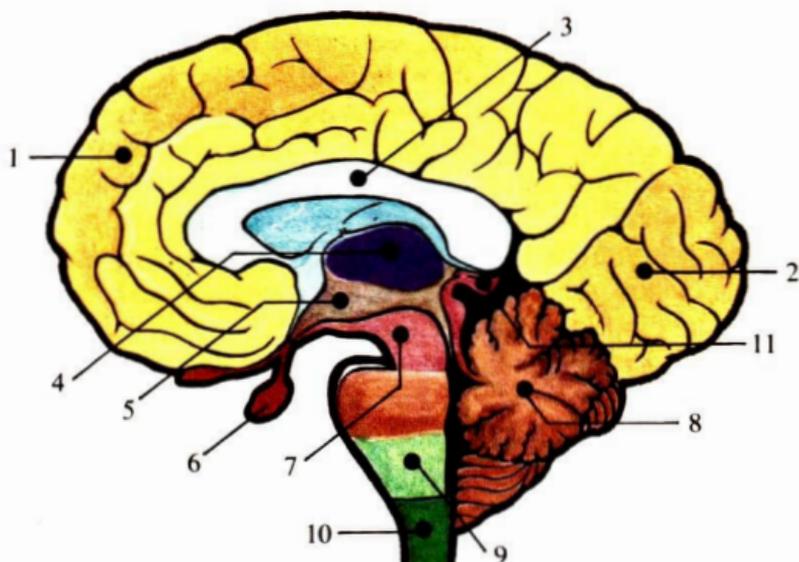
1 – Riechkolben; 2 – Statik; 3 – sekundäres Geruchszentrum; 4 – Bewegungsantrieb; 5 – motorisches Sprechzentrum; 6 – motorisches Augenfeld; 7 – Mimik; 8 – motorisches Schreibzentrum; 9 – aufrechter Gang; 10 – Kopfstellung; 11 – Körperbewegung; 12 – Sensibilität von Organen; 13 – Raumgefühl; 14 – Wortsinnverständnis; 15 – Abstimmung der Körperseiten; 16 – Verständnis für Ziffern und Noten; 17 – Schriftverständnis; 18 – optische Erinnerung; 19 – primäres Sehzentrum; 20 – Farbsehen; 21 – Wortlautverständnis; 22 – primäres Hörzentrum; 23 – statisches Gefühl; 24 – sekundäres Hörzentrum; 25 – Musikverständnis; 26 – optisch-motorische Bilder; 27 – optische Orientierung; 28 – sekundäres Geschmackszentrum; 29 – Thalamus; 30 – Hypothalamus; 31 – Hunger- und Durstzentrum; 32 – Hypophyse; 33 – Verbindungsbahnen

Während der Erholungsphase und beim Schlaf geben die Nervenzellen des Parasympathikus verstärkt Signale an die inneren Organe ab. Dadurch wird deren Funktion auf »Sparschaltung« eingestellt. Die Herzfrequenz verlangsamt sich, die Atemfrequenz nimmt ab, die Bronchien und Pupillen werden verengt und der Blutdruck wird herabgesetzt. Dagegen fördert der Parasympathikus die Verdauung und erhöht die Sekretion der Drüsen im Magen-Darm-Kanal; die Transport- und Durchmischungsbewegungen im Darmkanal nehmen an Umfang zu. Bei der Vermittlung der Befehle des Parasympathikus an die Zellen wirkt das Hormon Azetylcholin als Überträgersubstanz der Erregung.

Im Nervensystem treten jeweils zahlreiche (manchmal Hunderte von Millionen) Nervenzellen zu funktionellen Einheiten – den Nervenzentren für die Wahrnehmung und Regulation grundlegender Vorgänge – zusammen. In der Großhirnrinde kommen z. B. zahlreiche sensorische Zentren für die Wahrnehmung und Speicherung von Informationen aus den Sinnesorganen (optische, akustische Zentren usw.) vor. Die für die Ausgabe von Befehlen an bestimmte Muskelgruppen verantwortlichen Zentren werden als motorische Zentren (lat.: motus, Bewegung) bezeichnet. Bemerkenswert ist dabei der äußerst sinnvolle Zusammenschluß der einzelnen Zentren zu einem schnell reaktionsfähigen Gesamtsystem.

Lebenswichtige regulatorische Zentren, die weitgehend automatisch arbeiten, liegen im verlängerten Mark. Im Prinzip arbeiten diese automatischen Zentren wie die Regelkreise in der Technik: Über Meßeinrichtungen (Sinneszellen-Meßfühler) wird das Regulationszentrum über den jeweiligen Funktionszustand des Systems informiert und kann durch Ausgabe von Befehlen mit unterschiedlichem Informationsgehalt zu den an der Regulation beteiligten Einheiten (z. B. Muskelfasern) eine Anpassung an die jeweilige Beanspruchung bzw. eine zweckmäßige Reaktion einleiten.

Im Vergleich zu den technischen Regelungsanlagen hat unser Nervensystem ein viel größeres Maß an Anpassungs- und Leistungsfähigkeit und eine viel größere Ausrüstung mit funktionellen Einheiten (Nervenzellen). Unser Ner-



Längsschnitt durch das menschliche Gehirn. Die Faltenbildung der Großhirnrinde bewirkt eine beträchtliche Vergrößerung der Oberfläche.

1 – Großhirnrinde, Stirnlappen; 2 – Großhirnrinde, Hinterhauptslappen; 3 – Balken; 4 – Thalamus; 5 – Hypothalamus; 6 – Hypophyse; 7 – Mittelhirn; 8 – Kleinhirn; 9 – verlängertes Mark; 10 – Rückenmark; 11 – Zirbeldrüse

vensystem enthält mehr als 200 Milliarden Zellen. Modernste und leistungsfähige Datenverarbeitungs­maschi­nen sind dagegen nur mit einigen Hunderttausenden bis Millionen Funktionseinheiten ausgerüstet. Bemerkenswert groß ist dabei in unserem Gehirn die Zweckmäßigkeit der Informationsverarbeitung: In das Bewußtsein treten hauptsächlich nur solche Informationen, die für den betreffenden Menschen eine bestimmte Bedeutung haben bzw. ihm interessant erscheinen. Auf diese Weise können wir uns jeweils in sinnvoller Weise auf die wichtigsten Vorgänge in unserer Umwelt orientieren.

Entwicklung des Gehirns im Verlaufe des Lebens

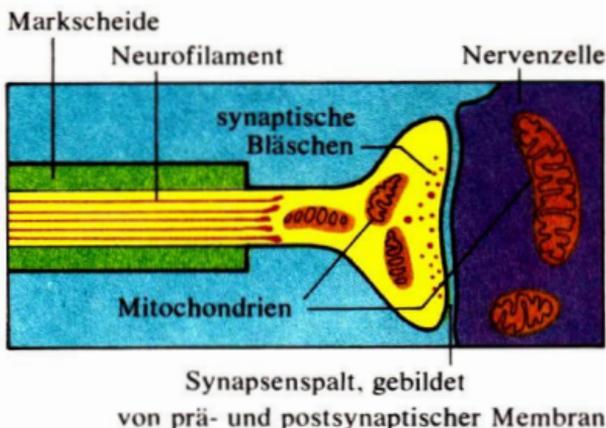
Der Anteil des Gehirns an der Masse des Embryos ist während der frühen Entwicklungsperiode des Menschen am höchsten. Bei der Betrachtung der Darstellung von

Embryonen fällt uns daher der große Kopfanteil auf. So hat der menschliche Embryo im 3. Monat der Entwicklung – es sind dann schon alle Gewebe angelegt – eine Masse von 31 g, das Gehirn eine solche von 12 g. Der Anteil des Gehirns beträgt somit 38,7%. Beim erwachsenen Menschen beläuft sich der Anteil der Gehirnmasse an der Gesamtmasse des Körpers nur noch auf durchschnittlich 1,8%. Schon relativ früh in der Entwicklung der Frucht nehmen die einzelnen Gruppen von Nervenzellen ihre Funktion auf, was sich z. B. in Form von Bewegungen der Frucht im Uterus äußert. Für die Gehirnentwicklung des Embryos ist die ausreichende Versorgung der Mutter mit biologisch hochwertigem Eiweiß sowie mit Vitaminen und Mineralstoffen von großer Bedeutung.

Die endgültige Gehirnmasse wird im Alter von etwa 11 Jahren erreicht. Mit steigendem Alter des Menschen nimmt dann die Gehirnmasse allmählich ab: Die Zahl der Nervenzellen und der Wassergehalt des Gehirns vermindern sich. Eine charakteristische Altersveränderung des Gehirns ist die zunehmende Einlagerung von Cholesterin und von anderen Lipiden in die innere Schicht der Arterien, die schließlich zum Nachlassen der Elastizität der Arterien (Arteriosklerose) führt. Diese Veränderungen verengen die Arterien und setzen die Durchblutung des Gehirns und die Versorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff herab, so daß die Leistungsfähigkeit nachläßt. Die »Weisheit des Alters« geht also leider mit einer gewissen Einschränkung der funktionellen Leistungen des Gehirns einher: Die Schnelligkeit und Präzision des Reaktionsvermögens läßt nach, ebenso die Fähigkeit zur Speicherung von Informationen.

Wie die Nachrichtenleitung funktioniert

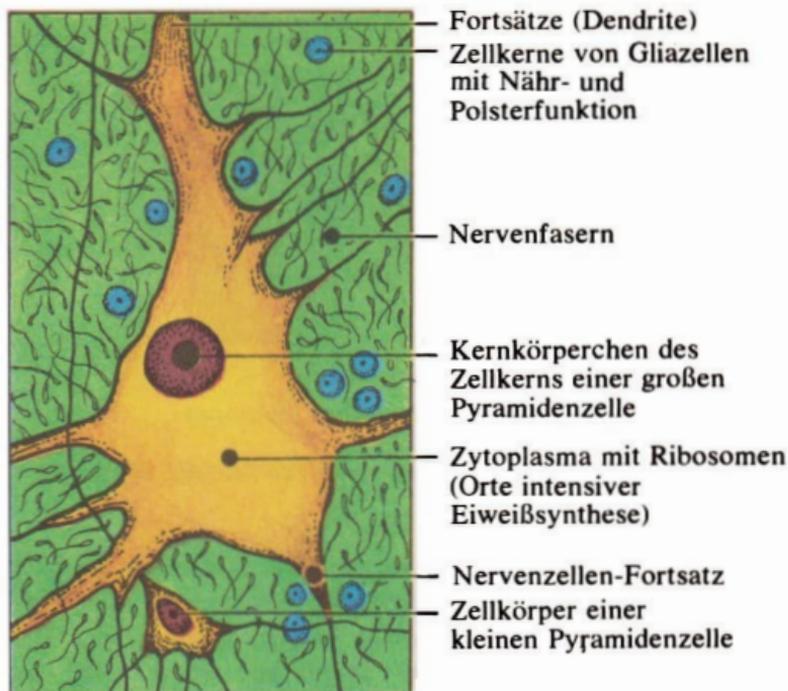
Die einzelnen Nervenzellen unseres Körpers sind erstaunlich leistungsfähige Einheiten: In einer Sekunde können sie mehr als 10 000 elektrische Signale aus den zuführenden Nervenfasern verarbeiten bzw. mehr als 100 Signale über das ableitende Nachrichtenkabel – den Neuriten – ausführen. So können die motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks zwecks Auslösung einer intensiven Ver-



Verbindung einer Nervenfasermembran mit einer Nervenzelle (Synapse)

kürzung der von ihnen versorgten Muskelfasern in einer Sekunde mehr als 100 elektrische Signale an diese als »Anweisungen« zu intensivster Tätigkeit ausgeben. Eine Nervenzelle des Großhirns steht mit etwa 1000 bis 5000 anderen Nervenzellen in ständiger Verbindung. Die Informationen werden zum Teil über die Dendriten aufgenommen, die die Oberfläche der Nervenzellen und damit die Verbindungsmöglichkeiten vergrößern.

Die Verknüpfungsstelle einer Nervenfasermembran mit einer anderen Nervenzelle wird als Synapse (griech.: syn, zusammen; apto, verbinden) bezeichnet. Der Synapsenspalt wird von der prä- und postsynaptischen Membran gebildet. Die Synapse übt eine Ventilfunktion aus, so daß die Erregung jeweils nur in einer Richtung weitergeleitet werden kann. Bei der Übertragung der Erregung von einer Nervenfasermembran auf die andere sind Neurohormone (z. B. Azetylcholin, Noradrenalin) beteiligt, die an der postsynaptischen Membran eine Änderung der Ionenverteilung (Depolarisation) und damit ein Aktionspotential auslösen. Die Abgabe von Informationen aus der Nervenzelle als »Befehle« an die Muskelfasern bzw. Drüsenzellen usw. findet in Form von elektrischen Signalen über den Neuriten statt. Von den Pyramidenzellen (ihre Form ist pyramidenartig) der Großhirnrinde aus geben wir z. B. über solche Bündel von Neuriten (als Pyramidenbahn bezeichnet) die »Befehle« zur Durchführung bestimmter Be-

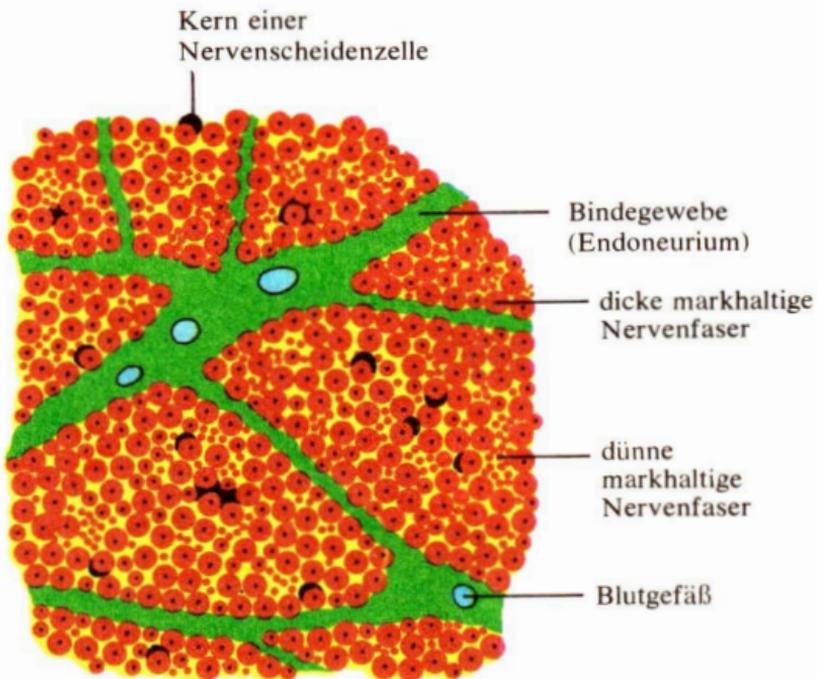


Große und kleine Pyramidenzelle aus dem vorderen Abschnitt der menschlichen Großhirnrinde

wegungen («Willkürbewegungen») an die motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks aus, die die Anweisungen zur Muskelkontraktion an die Muskelfasern weiterleiten. Von den Pyramidenzellen der Großhirnrinde zu den Vorderhornzellen des Rückenmarks verlaufende Nervenfasern erreichen eine Länge von mehr als 50 cm. Die Gesamtlänge der Nervenfasern in unserem Körper beträgt etwa 500 000 km! Im Vergleich zu den Nachrichtenkabeln in der Technik, die einen Durchmesser von mehr als einen Meter erreichen, sind die Nachrichtenkabel unseres Körpers sehr klein. In einem Nerv (mit einem Durchmesser von 0,5 cm) können Hunderttausende von Leitungsbahnen (Nervenfasern) auf kleinstem Raum untergebracht werden. Die Pyramidenbahnen, über die bewußte Körperbewegungen ausgelöst werden, enthalten z. B. etwa 600 000 bis 800 000 Nervenfasern. Die Masse einer Nervenfasern ist im Durchschnitt etwa 27mal größer als die des Körpers einer Nervenzelle.

Die in den Nervenfasern geleiteten elektrischen Signale nehmen von den Sinneszellen bzw. von den Nervenzellen ihren Ausgang. Die Übertragung der spezifischen Information geschieht mit einer einfachen Methode, wie sie auch bei der Nachrichtenübermittlung mit Hilfe des Morsealphabetes angewendet wird: Die Frequenz und der Rhythmus der elektrischen Signale sind bei der Verschlüsselung der Information von veränderlicher Größe. Wenn wir z. B. die Zusammenziehung eines Muskels verstärken wollen, so erhöhen wir die Zahl der in die einzelnen Muskelfasern einlaufenden elektrischen Signale. Weiterhin können wir zusätzlich Muskelfasern, die sich vorher in einem bestimmten Ruhezustand befanden, einsetzen. Bei der Ableitung der Informationen aus den verschiedenen Sinneszellen treten in den Nervenfasern charakteristische Erregungsmuster auf, die in den zugehörigen

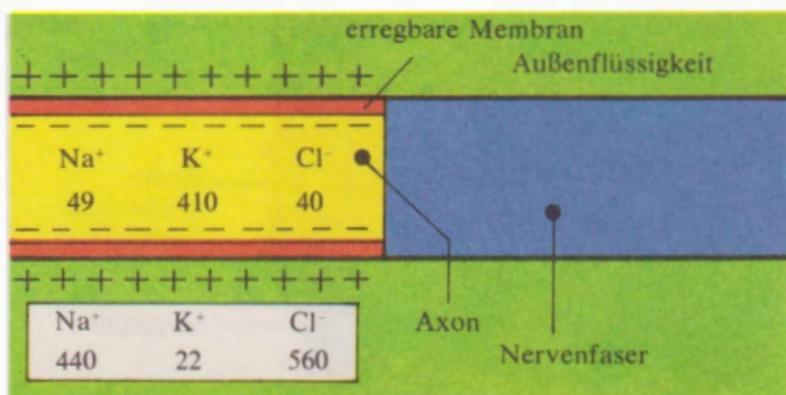
Querschnitt durch einen Nerv. Er besteht aus vielen größeren und kleineren Nervenfasern, die von Nervenscheidenzellen umgeben sind und durch Bindegewebe bündelförmig zusammengehalten werden. In jeder Nervenfaser erfolgt die isolierte Leitung von Informationen; sie wirkt als »Nachrichtenkabel«.

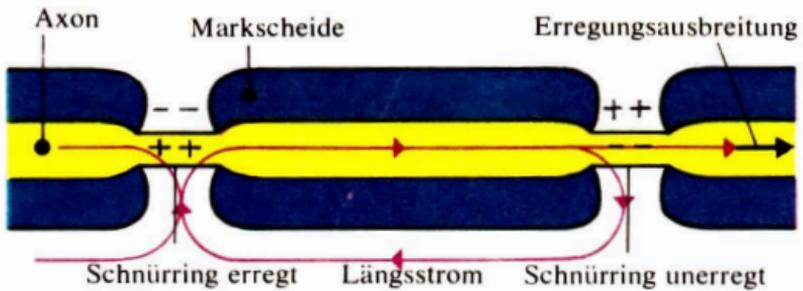


Nervenzentren verarbeitet werden und in der Großhirnrinde bestimmte Wahrnehmungen und Empfindungen auslösen.

Die elektrischen Signale an den Sinnes- und Nervenzellen bzw. an den Nervenfasern werden durch Ladungsänderungen erzeugt. Voraussetzung dafür ist die Existenz einer bestimmten Ladung an den Nervenfasern im Ruhezustand, die ein sog. Ruhepotential bewirkt. Dieses elektrische Potential an der Nervenfasern bzw. an den Außenmembranen der Nervenzellen entsteht durch eine ungleichmäßige Verteilung von Kalium- und Natrium-Ionen. Im Innern der Nervenfasern wird dabei ein Überschuß an Kaliumionen und an negativen Ladungsträgern aufrechterhalten, an der Außenfläche der Nervenfasern und der umgebenden Flüssigkeit ein Überschuß an Natriumionen und an positiven Ladungsträgern. Diese ungleichmäßige Verteilung der K- und Na-Ionen wird durch Einschaltung aktiver Transportvorgänge an der Membran gewährleistet: Es wirken dabei Enzyme als »Ionenpumpen«. Bei diesen Pumpvorgängen zur Erhaltung des Ruhepotentials wird Energie in Form von ATP verbraucht.

Ionenverteilung (in mMol) an einer großen Nervenfasern des Tintenfisches. Im Ruhezustand erfolgt eine Anreicherung der K-Ionen im Inneren und der Na- und Cl-Ionen in der Außenflüssigkeit. Bei Erregung der Nervenfasern strömen vorübergehend Na-Ionen ein und K-Ionen treten aus. Gleichzeitig wird ein Aktionspotential gebildet, das an die nächste Nervenzelle weitergeleitet wird. In Millisekunden wird durch Einschalten von energieverbrauchenden Transportvorgängen das Ruhepotential wiederhergestellt.





In einer markhaltigen Nervenfasern erfolgt die Leitung einer Erregung sprungartig von einem Schnürring zum anderen. Die Schnürringe wirken als »Verstärkerstationen«, die Geschwindigkeit der Leitung der Erregung beträgt bis zu 125 m/s. Die Markscheide hat isolierende Eigenschaften.

Die Leitung eines elektrischen Signals in der Nervenfasern wird durch eine Ladungsveränderung bewirkt: Es strömen dabei Na-Ionen in die Fasern ein und K-Ionen aus; das Innere der Nervenfasern hat nun vorübergehend einen Überschuss an positiven Ladungsträgern: Es bildet sich das Aktionspotential aus.

Die Geschwindigkeit der Erregungsleitung ist in den einzelnen Nervenfasern unterschiedlich: Zu den Muskelfasern führende Nervenfasern leiten die elektrischen Impulse mit der erstaunlich großen Geschwindigkeit von 60–125 m/s. Die schnelle Leitung der Erregung ist für die Information des Gehirns bei lebensbedrohlichen Einflüssen und für die rasche Reaktion zur Beseitigung der Gefahr von großer Bedeutung. In den motorischen Nervenfasern sind zur möglichst schnellen Erregungsleitung Schnürringe als Verstärkereinrichtungen ausgebildet: Auf der Länge von einem Meter sind etwa 400 solcher Verstärkerstufen vorhanden.

Was das Gehirn, die Gehirnnerven und das Rückenmark leisten

Beim Gehirn werden verschiedene Abschnitte unterschieden: das Großhirn, der Hirnstamm und das Kleinhirn. Das Großhirn (Endhirn) der Säugetiere, insbesondere des

Menschen, übertrifft die anderen Gehirnteile wesentlich an Größe. Von hier aus wird die sinnvolle Koordination der Funktion der einzelnen Teile des Organismus vorgenommen. Hier sind auch das Wahrnehmungs- und das Erinnerungsvermögen lokalisiert. Beim Menschen ist es Träger des Denkens und Fühlens, des Bewußtseins sowie Sitz der geistigen Fähigkeiten, der »Intelligenz«.

Dem Gehirn fließen fortlaufend in großem Umfang Informationen aus den verschiedenen Sinnesorganen und aus den im Innern des Körpers gelegenen Meßfühlern (Enterorezeptoren) zu. Zwischen den informationsaufnehmenden Sinneszellen, so z. B. in der Netzhaut, und den informationsverarbeitenden Nervenzellen in der Großhirnrinde liegen mehrere Umschaltstationen, in denen bereits eine bestimmte Verarbeitung der Informationen und eine Verknüpfung mit anderen Zentren stattfindet. Auf diese Weise können von den Umschaltstationen im Hirnstamm schnelle (reflektorische) Reaktionen (z. B. Abwehrbewegungen) ausgelöst werden.

Von der großen Zahl der dem Gehirn zugeleiteten Informationen tritt nur ein kleiner Teil in das Bewußtsein ein. Beim Menschen werden im Wachzustand über die Sinneszellen Informationen in einem Umfang von etwa 10^9 bit/s aufgenommen. Davon treten nur etwa 100 bit/s in das Bewußtsein, von denen etwa 15–25 bit/s in die Kurzzeitspeicher aufgenommen werden. Der Begriff bit ist die Abkürzung für engl.: binary digit, zweiwertiges Zeichen; es ist die Bezeichnung für eine Informationseinheit. Die Größe »2 bit« entspricht z. B. der Information über die Auswahl zwischen 4 verschiedenen Möglichkeiten.

Von den Kurzzeitspeichern gelangt ein Teil der Informationen in die mittelfristigen Speicher und aus diesen ein Teil in die Langzeitspeicher. Für die Speicherung der Informationen ist der Stoffwechsel der Nukleinsäuren und Eiweißstoffe von besonders großer Bedeutung. Ein hochgradiger Eiweißmangel setzt die Fähigkeit zur Informationsspeicherung herab, das Reaktionsvermögen läßt nach. Beim Menschen haben die Sinneszentren in der Großhirnrinde, die beim Sehen und Hören beteiligt sind, eine besonders umfangreiche Ausrüstung mit Nervenzellen, so daß die Verarbeitung und Speicherung einer fast unvor-

Die durchschnittliche Zahl der Nervenzellen in einigen Abschnitten des menschlichen Gehirns und deren Funktion

Gehirnabschnitt	Funktion	Zahl der Nervenzellen
Großhirn	Verarbeitung und Speicherung von Informationen, Sinneswahrnehmung, bewußte Tätigkeit	12–15 Milliarden
sekundäres Sehzentrum in der Großhirnrinde	Wahrnehmung der optischen Informationen (Sehen)	540 Millionen
sekundäres Hörzentrum in der Großhirnrinde	Wahrnehmung der akustischen Informationen (Hören)	100 Millionen
Thalamus, vorderer Kern	Umschaltzentrale für Informationen aus der Umwelt und aus Schmerzrezeptoren zum Gehirn sowie von Informationen vom Großhirn zu anderen Gebieten	0,7 Millionen
retikuläre Formation des Hirnstamms	Erhaltung des Wachzustandes	2,5 Millionen
Kleinhirn	Regulation der Tätigkeit der Skelettmuskulatur	120 Milliarden

stellbar großen Zahl von Bildern, Eindrücken, Worten, Melodien usw. möglich ist.

Der Hirnstamm hat wichtige Regulations- und Leitungsfunktionen: Er besteht aus dem Stamm des Endhirns (Basalganglien), dem Zwischenhirn (mit Thalamus und Hypothalamus), dem Mittelhirn, der Brücke und dem verlängerten Mark (medulla oblongata). Im Stamm des Endhirns liegen sog. »Kerne«, das sind Umschaltstationen, die bei der Regulation des Spannungszustandes der Muskeln (Tonus) eine wichtige Rolle spielen. Diese »Kerne« sind Anhäufungen von Nervenzellen, die auf Querschnitten des Hirnstamms als graue Bezirke von runder oder ovaler Form (obstkernähnlich) zwischen den weiß aussehenden Anhäufungen von Nervenfasern

(gleichsam wie im Fruchtfleisch) liegen. Störungen in der Funktion dieses Hirnabschnittes führen zu Muskelzittern und Muskelsteifheit; solche Symptome treten besonders bei älteren Menschen auf.

Der Thalamus (griech.: thalamos, Höhle) ist eine große Umschalt- und Verarbeitungsstation für sensorische Informationen, die aus den Hautrezeptoren bzw. aus dem Inneren des Körpers stammen. Er wird auch als »Eintrittstor« von Schmerzmeldungen in das Bewußtsein bezeichnet.

Im unteren Bereich des Zwischenhirns, dem Hypothalamus, liegen wichtige Zentren für die Regulation der Nahrungsaufnahme, der Körpertemperatur, des Kreislaufs und der Fortpflanzung. Bei der Regulation der Nahrungsaufnahme und bei der Auslösung des Hungergefühls bzw. des Gefühls von Sättigung sind das Hunger- und das Sättigungszentrum des Hypothalamus beteiligt, die laufend über den Gehalt des Blutes an Traubenzucker bzw. über die Magenfüllung informiert werden. Wenn es trotz normaler Funktion dieser Zentren dennoch ziemlich häufig zu einer Fettsucht kommt, so ist das in der Regel auf Fehler in der Ernährung, z. B. zu fettreiche Kost, und auf zu häufiges und zu vieles Essen zurückzuführen. Die Sättigung tritt erst einige Zeit nach der Nahrungsaufnahme als Folge der Resorption von Nährstoffen ein. Viele Menschen essen gewohnheitsgemäß über den Energiebedarf hinaus, »weil es gerade gut schmeckt«. Die beste Methode zum Abnehmen ist daher die Beachtung des Grundsatzes »Iß die Hälfte«.

Im Hypothalamus liegt auch das Zentrum für die Temperaturregulation. Die Wärmeabgabe über die Haut wird über eine Beeinflussung der Durchblutung derselben an die jeweilige Wärmebildung bzw. Umgebungstemperatur angepaßt, so daß eine gleichbleibende Körpertemperatur erhalten bleibt. Besteht die Tendenz zum Absinken der Körpertemperatur, so werden die Verbrennungsvorgänge in den Zellen über eine Förderung der Abgabe von Thyroxin aus der Schilddrüse angeregt. Gleichzeitig wird die Wärmeabgabe über die Haut durch eine Einschränkung der Durchblutung herabgesetzt. Bei Infektionskrankheiten ist die Funktion dieses Zentrums durch Stoffwechsel-

produkte der Bakterien (Pyrogene) geschädigt, so daß die Körpertemperatur ansteigt. Fieber ist ein wichtiges Alarm-signal: Es fördert eine verstärkte Bildung von weißen Blutkörperchen und von Immunglobulinen (Antikörpern).

Menschen mit bewegungsarmer Lebensweise leiden nicht selten an vegetativer Dystonie. Diese Erkrankung äußert sich in Form von Funktionsstörungen des Nervensystems (Müdigkeit, Konzentrations-schwäche) und von Durchblutungsstörungen des Herzmuskels. Bei der Regulation der Durchblutung der Gewebe spielen Zentren im Hirnstamm und auch solche im Rückenmark eine wichtige Rolle.

Das Sexual- und das Erotisierungszentrum des Hypothalamus bewirken die Regulation der Fortpflanzung und die Auslösung des Geschlechtstriebes. Diese Zentren stehen in enger Wechselbeziehung zur Funktion der Großhirnrinde und des Hypophysenvorderlappens und regulieren über die Abgabe eines Peptides (Luliberin) maßgeblich die Sekretion von keimdrüsenanregenden Hormonen (Gonadotropinen) im HVL. Der Geschlechtstrieb ist von dem Umfang der Sekretion von Keimdrüsenhormonen (Testosteron, Östrogenen) abhängig. Manche Formen von Unfruchtbarkeit sind auf Störungen der Aktivität des Sexualzentrums bzw. der ungenügenden Anregung der Sekretion von Gonadotropinen im Hypophysenvorderlappen zurückzuführen. Mangelnde Sekretion dieser Hormone bewirkt eine ungenügende Bildung von Keimdrüsenhormonen.

Unmittelbar in Nervenzellen des Hypothalamus werden das Vasopressin und das Oxytozin gebildet (Neurosekretion). Über die Fortsätze der Nervenzellen werden diese Hormone in Bindung an Eiweißmoleküle (den Neurophy-sinen) in den Hinterlappen der Hypophyse transportiert und bei Bedarf abgegeben.

Das Mittelhirn besteht aus drei Abschnitten, dem Dach (Vierhügelplatte), der Haube und den Hirnschenkeln. Im Bereich des Daches enden zahlreiche Nervenfasern, die Informationen aus der Netzhaut und dem Innenohr – von den optischen und akustischen Rezeptoren – zuführen. Hier liegen Zentren für die teilweise Verarbeitung dieser Informationen und für die Steuerung der Augenbewegun-

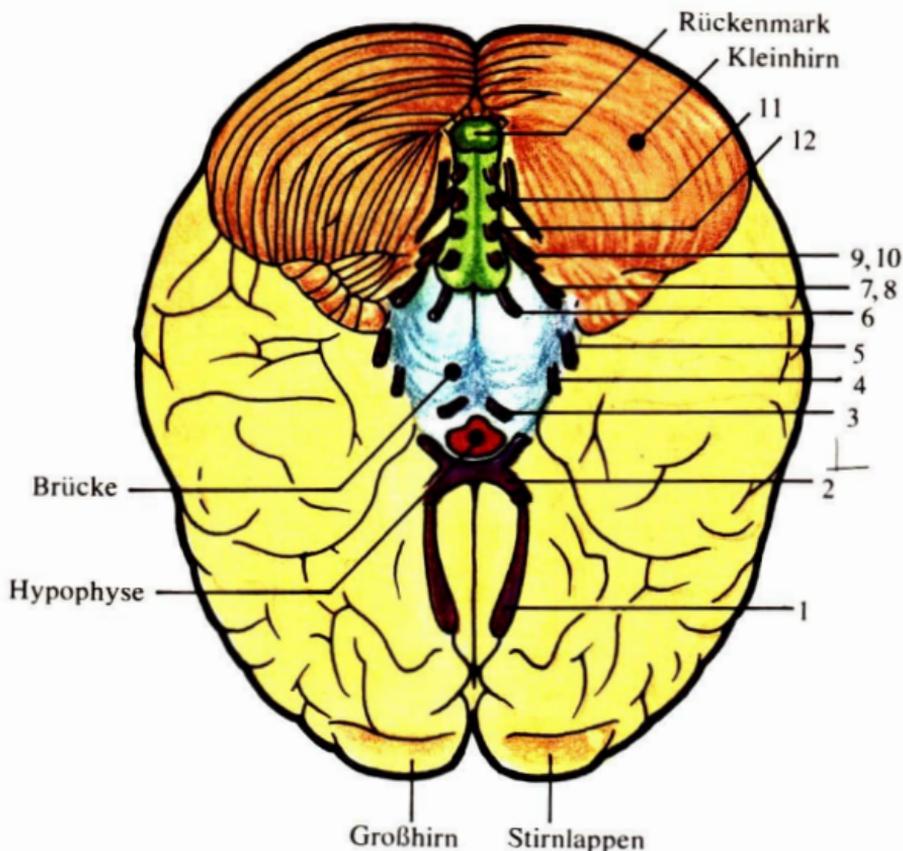
gen mit Hilfe des 3. und 4. Gehirnnerven und auch für die Regulierung der Pupillenweite. In der Haube und in den Hirnschenkeln verlaufen zahlreiche auf- und absteigende Bündel von Nervenfasern. Hier liegen auch große Kerne, die für die Regulierung der Körperbewegung von Bedeutung sind, so z. B. der rote Haubenkern (Nucleus ruber). Ein weitgespanntes Netzwerk von Nervenzellen (Formatio reticularis) erhält den Wachzustand aufrecht und steht in enger Verbindung mit der Großhirnrinde.

Zwischen dem Mittelhirn und dem verlängerten Mark liegt die Brücke: Sie bildet eine »brückenartige« Verbindung zwischen Groß- und Kleinhirn. Dieser Hirnstammteil enthält verschiedene Faserbahnen und bildet eine Umschaltstation für Informationen aus der Großhirnrinde zum Kleinhirn (wichtig für die Körperhaltung) und zu verschiedenen Gehirnnerven. In der Brücke liegen die Kerne des 5., 6. und 7. Gehirnnerven sowie der Kern des Nervus vestibularis des 8. Gehirnnerven.

Das verlängerte Mark bildet die Verbindung zum Rückenmark: Es enthält zahlreiche Leitungsbahnen und Umschaltstationen für Informationen aus dem Rückenmark zum Gehirn und vom Gehirn zum Rückenmark. Hier liegen lebenswichtige Zentren für die Regulation der Atmung sowie der Herzstätigkeit und des Kreislaufs, für die Koordination der Vorgänge bei der Aufnahme und dem Abschlucken der Nahrung, für das Niesen und das Husten sowie für die Tränensekretion und den Lidschluß. Im verlängerten Mark befinden sich die Kerne für den 11. und 12. Gehirnnerven sowie für Anteile des 5., 8. und 10. Gehirnnerven.

Der Anteil des Kleinhirns an der Masse des Gesamtgehirns beläuft sich beim Menschen auf etwa 10%. Es enthält mehr als 100 Milliarden Zellen und spielt bei der Überwachung der Funktion der Skelettmuskulatur (Körperhaltung, Bewegung) eine wichtige Rolle.

Über die 12 Gehirnnerven ist das Gehirn mit den verschiedenen Geweben des Kopfes und der Brusthöhle sowie mit einigen der Bauchhöhle verbunden. Die Gehirnnerven sind zum Teil gemischte Nerven, d. h., sie enthalten Nervenfasern für die Gefühlswahrnehmung (sensorische Fasern), für die Muskeltätigkeit (motorische Fasern) sowie



Unterseite des menschlichen Gehirns und Ursprung der Gehirnnerven 1 bis 12.

1 – 1. Gehirnnerv (*N. olfactorius*); 2 – 2. Gehirnnerv (*N. opticus*); 3 – 3. Gehirnnerv (*N. oculomotorius*); 4 – 4. Gehirnnerv (*N. trochlearis*); 5 – 5. Gehirnnerv (*N. trigeminus*); 6 – 6. Gehirnnerv (*N. abducens*); 7 – 7. Gehirnnerv (*N. intermediofacialis*); 8 – 8. Gehirnnerv (*N. statoacusticus*); 9 – 9. Gehirnnerv (*N. glossopharyngicus*); 10 – 10. Gehirnnerv (*N. vagus*); 11 – 11. Gehirnnerv (*N. accessorius*); 12 – 12. Gehirnnerv (*N. hypoglossus*)

vegetative Fasern, die die Sekretion der Drüsen, die Durchblutung und andere Vorgänge regulieren. Die Zahl der Nervenfasern ist in den einzelnen Gehirnnerven unterschiedlich und von der Funktion abhängig. Dabei bestehen Unterschiede bei den verschiedenen Arten. Eine umfangreiche Ausrüstung der Netzhaut mit Sinneszellen und des Sehnervens mit Nervenfasern hat z. B. ein gutes Sehvermögen zur Folge.

Das Rückenmark bewirkt die Leitung von Informationen

Die Hauptfunktionen der menschlichen Gehirnnerven und deren Ausstattung mit sensorischen und motorischen Nervenfasern

Gehirnnerv Nr.	Bezeichnung	Informationsleitung	Sensorische Fasern	Motorische Fasern
1	Nervus olfactorius	Geruch	2000 000 000	—
2	N. opticus	Sehen	1 000 000	—
3	N. oculomotorius	Augenbewegungen und Pupillenweite		25 000
4	N. trochlearis	Augenbewegungen	—	3 000
5	N. trigeminus	Berührung und Schmerz Kaumuskulatur	140 000	8 000
6	N. abducens	Augenbewegungen	—	4 000
7	N. intermedio-facialis	Geschmack Gesichtsmuskulatur	2 500	6 000
8	N. stato-acusticus	Hören Lage und Bewegung des Körpers	30 000 20 000	—
9	N. glossopharyngicus	Geschmack und Berührung (Schlundkopf)	4 000	—
10	N. vagus	Geschmack u. a. Motorik für Schlund, Speiseröhre, Kehlkopf und Herz, Bronchien sowie Magen-Darm-Kanal	90 000	10 000
11	N. accessorius	Motorik für Halsmuskeln	—	4 000
12	N. hypoglossus	Motorik für Zunge	—	6 000

vom Gehirn zu den Organen und von Information aus den verschiedenen Organen zum Gehirn. Wird es durchtrennt, etwa bei einem schweren Verkehrsunfall, so führt dies zu unheilbaren Lähmungen. Das Rückenmark dient insbesondere der Erregungsleitung aus den Sinneszellen der Haut, aus den Muskelspindeln (Meßeinrichtungen für den Spannungszustand der Muskeln) sowie aus anderen Rezeptoren zum Gehirn. Über die motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks werden den Muskelfasern laufend elektrische Signale zugeleitet. Für die Regulation der Aktivität der Skelettmuskulatur für eine bestimmte Körperhaltung bzw. für die Auslösung von Bewegungsvorgängen ist im Rückenmark ein umfangreiches System von Nervenzellen ausgebildet, das durch übergeordnete Zentren in der Großhirnrinde, im Hirnstamm und im Kleinhirn überwacht wird. Bestimmte Abschnitte des Rückenmarks enthalten vegetative Nervenzentren für die Regulierung des Blutkreislaufs. In den unteren Abschnitten liegen Zentren für die Regulation der Abgabe der Fäzes und des Harns und bei männlichen Tieren für die Samenabgabe (Ejakulation).

Unsere Muskeln erschlaffen auch im Schlaf nicht vollständig; ein bestimmter Muskeltonus wird automatisch aufrechterhalten. Bei der Regulation der Tätigkeit der Muskulatur unseres Körpers sind etwa 150 000 motorische Nervenfasern aus dem Gehirn und etwa 200 000 Fasern aus dem Rückenmark beteiligt. Die Tätigkeit des Herzmuskels und der Atemmuskulatur wird weitgehend automatisch reguliert. Im Herzmuskelvorhof (Sinus) kommen Zellen mit der Fähigkeit zur selbständigen Erregungsbildung vor, die in bestimmten rhythmischen Abständen elektrische Signale abgeben und dadurch eine Herzkontraktion auslösen.

In dem Maße, wie der Gehirnteil an der Gesamtmasse des Nervensystems im Laufe der Evolution bei den Wirbeltieren zunimmt, verringert sich der Anteil des Rückenmarks. So hat beispielsweise bei der Schildkröte das Rückenmark eine größere Masse als das Gehirn. Beim Hund beträgt die Masse des Rückenmarks nur etwa 19 % und beim Menschen schließlich nur etwa 2,1 % der des Gehirns.

Stoffwechsel im Nervensystem

Ein intensiver Stoffwechsel der Nervenzellen – verbunden mit hoher Eiweiß- und Ribonukleinsäuresynthese – ist für die Verarbeitung und Speicherung von Informationen sowie für die Ausgabe von Anweisungen an die Organe (Reaktionsfähigkeit) von großer Bedeutung. Dabei ist der Wirkungsgrad der Energieausnutzung im Nervensystem bemerkenswert hoch. Man hat berechnet, daß eine Datenverarbeitungsmaschine von der Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns das Milliardenfache an Energie benötigen würde und überdies nur in riesengroßen Gebäuden unterzubringen wäre.

Die Energie (ATP) wird in den Nervenzellen hauptsächlich durch Verbrennen von Traubenzucker gewonnen. Das Gehirn eines Erwachsenen verbraucht an einem Tag etwa 90 bis 100 g Traubenzucker. Die »Speisekammer« des Gehirns für den Traubenzucker ist die Leber. Sie hält bei unterschiedlichen Ernährungsverhältnissen im Blut einen gleichbleibenden Gehalt an dieser Verbindung aufrecht. In einer Nervenzelle der Hirnrinde kommen wegen des sehr hohen Energiebedarfs mehrere tausend Mitochondrien vor. Der Sauerstoffverbrauch des Gehirns ist im Wach- und im Schlafzustand annähernd gleich groß. Bei drohender Gefahr kann das Gehirn innerhalb sehr kurzer Zeit aus dem Schlaf- in den Wachzustand übergehen. Das Gehirn gehört neben den Nieren, dem Herzmuskel und den hormonbildenden Drüsen zu den besonders gut durchbluteten Organen: In einer Minute durchströmen etwa 750 ml Blut unser Gehirn!

Das Gehirn reagiert auf eine Störung der Durchblutung und auf O₂-Mangel (Hypoxie) sehr empfindlich: Die vollständige Unterbrechung der Durchblutung führt schon nach 10 Sekunden zu Bewußtlosigkeit und nach 60 Sekunden zu einer schweren Schädigung der Nervenzellen. Nach etwa 3–5 min sterben die Nervenzellen ab, so daß der Tod des Individuums eintritt. Bei verunglückten Menschen mit Herzstillstand infolge von Schock besteht daher nur eine kurze Zeitspanne für das Ingangsetzen der Herztätigkeit und damit für die Wiederbelebung. Der gefürchtete »Schlaganfall« wird durch eine ungenügende

Durchblutung bestimmter Gehirnabschnitte hervorgerufen. Die Ursache liegt meist in einer Verengung der Arterien infolge von Arteriosklerose, seltener in einem Zerreißen von kleinen Gefäßen begründet. Je nachdem, welche Großhirnzentren nicht mehr ernährt werden, entstehen beim Schlaganfall Störungen der Empfindungen in bestimmten Hautabschnitten für Berührungs- oder Temperatureize oder Lähmungen bestimmter Muskeln. Wenn nur kleine Gehirnabschnitte betroffen sind, können andere Bereiche deren Funktion übernehmen; die Ausfallserscheinungen bilden sich dann allmählich zurück. Sind größere Abschnitte geschädigt, bleiben die Ausfallserscheinungen bestehen.

Für die Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Gehirns sind eine vollwertige (fettarme) Ernährung, viel Bewegung (Wandern und Sport) und ein gesunder Rhythmus zwischen Arbeit und Erholung von großer Bedeutung; auch sollte man Genußmittel nur »in Maßen« genießen! Die Beherzigung dieser Empfehlungen ist zugleich die beste Methode um »Kopfschmerzen« zu verhüten, die hauptsächlich auf Durchblutungsstörungen des Gehirns zurückzuführen sind.

Die Sinnesorgane – »Tore« zur Umwelt

Bei den Sinnesempfindungen bestehen große individuelle Unterschiede, denn jeder Mensch sieht die Welt »mit etwas anderen Augen«, und »über den Geschmack läßt es sich bekanntlich nicht streiten«. Wir sprechen von subjektiven Eindrücken und meinen damit, daß diese nur für einen Menschen gültig sind: Das Subjekt ist das wahrnehmende, denkende und handelnde Ich. Die Gegenstände des Erkennens sind die Objekte, die auch unabhängig von unserem Bewußtsein vorhanden sind.

Mit unseren Sinnesorganen erfassen wir nur einen Teil der Objekte in der Umwelt bzw. nur einen Teil von deren Eigenschaften. Welche Unvollkommenheit der menschlichen Wahrnehmung anhaftet, hat bereits der italienische Naturforscher Galilei (1564–1642) erkannt. Er stellte daher an den Naturforscher die Forderung: »Miß, was meßbar ist, und mach das Unmeßbare meßbar!« Seither wurden Meßtechnik und Forschungsmethoden ständig verbessert: Es sei nur an die Entwicklung von Elektronenmikroskopen, überdimensional großen Fernrohren, Radarstationen, Röntgenspektroskopen usw. erinnert. Dadurch wird ein immer besserer Einblick in den Aufbau der Lebewesen, in die Struktur der Materie und in die Ausdehnung des Weltraumes möglich. Die Erfassung der Umwelt und die Vorstellungen von ihrer Beschaffenheit sind somit in hohem Maße vom Entwicklungsstand der Forschung und der Technik sowie von den gesellschaftlichen Verhältnissen abhängig. Wir erleben heute unser Dasein wesentlich anders und bedeutend vielseitiger als etwa die Menschen des Mittelalters oder des Altertums.

Das Erinnerungsvermögen befähigt den Menschen, eine

gewaltige Fülle von Vorstellungen über Sinnesempfindungen in seinem Gehirn auszulösen, ohne daß Reize auf die Sinnesorgane einwirken. Die Fähigkeit zur Bildung von Vorstellungen beruht auf der Speicherung von Sinnesindrücken, kann aber durch Kombination von Erinnerungsbildern neue Vorstellungen hervorbringen. Die Entwicklung neuer Vorstellungen führt z. B. bei Forschern zur Aufstellung von Hypothesen – das sind zunächst unbewiesene Annahmen –, die Anlaß zu neuen experimentellen Fragestellungen und damit zu besseren Erkenntnissen geben oder in der Kunst zu neuen Schöpfungen führen. Große Forscher und Künstler zeichnen sich vielfach durch einen besonders großen Reichtum an Ideen, Vorstellungen und Phantasie aus.

Mit der Entwicklung der Produktivkräfte haben sich die Lebensgewohnheiten und -bedingungen beträchtlich verändert. Den Menschen stehen heute wesentlich mehr Möglichkeiten offen, die Natur kennenzulernen und große Teile der Welt zu bereisen als noch vor hundert Jahren. Fernsehen, Rundfunk, Zeitungen, Zeitschriften, Bücher, Schallplatten, Tonbandgeräte u. a. tragen außerdem fast täglich dazu bei, die Sinnesorgane mit einer großen Menge von Informationen zu »füttern«. Diese Entwicklung hat dazu geführt, daß bei den meisten Menschen die Wahrnehmungen über die Sinnesorgane den Umfang der Vorstellungen bei weitem übertreffen: Viele Menschen werden dadurch nüchterner und phantasieärmer. Eine »Überfütterung« mit Informationen in Verbindung mit beruflicher Überlastung und ungesunder Lebensführung (hoher Konsum von Zigaretten, Alkohol und Kaffee) kann Funktionsstörungen des Nervensystems mit Schlaflosigkeit, Nervosität, leichter Erregbarkeit und Konzentrationschwäche verursachen. Diese Symptome sind am besten durch vorübergehendes »Abschalten« der Reizüberflutung und durch viel Bewegung und Schlaf zu beseitigen. Die Bedeutung einer besinnlichen Viertelstunde für die Gesundheit und das Wohlbehagen hat schon J. W. Goethe in trefflicher Weise zum Ausdruck gebracht, wenn er empfiehlt, daß man jeden Tag ein gutes Buch lesen und etwas erbauliche Musik hören sollte.

Unsere Vorstellungen und Empfindungen können übri-

gens in bestimmtem Umfange in unsere Körperfunktionen eingreifen. Das wird beim autogenen Training – einer Übungstechnik, mit der man die unwillkürlichen Funktionen des Organismus beeinflusst – genutzt. Der Psychotherapeut überführt den Patienten zunächst im Liegen in einen ruhigen und entspannten Zustand. Dann gibt er den Auftrag, die Arme, die Beine oder beides als leicht oder schwer zu empfinden. Nach wiederholtem Training empfindet der Patient tatsächlich eine gewisse Schwereelosigkeit bzw. Schwere der Glieder. Mit der gleichen Methode läßt sich bei der Vorstellung des Wärmegefühls in den Extremitäten und im Bauchraum eine Änderung der Durchblutung auslösen.

Die Leistungsfähigkeit der einzelnen Sinnesorgane und der dazu gehörenden informationsverarbeitenden Einrichtungen ist verschieden. Beim Menschen spielt die Information über das Auge (den Sehanalysator) und über das Ohr (den Höranalysator) eine überragende Rolle. Etwa 40% der aus den Sinnesorganen in die Hirnrinde einfließenden Informationen stammen beim gesunden Menschen tagsüber aus der Netzhaut. In den Sinnesorganen findet bereits eine gewisse Verarbeitung von Informationen statt, so daß die Informationsableitung wesentlich kleiner als die Informationsaufnahme ist.

Die Leistungsfähigkeit der Sinnesorgane und der Anlagen für die Wahrnehmung und Speicherung der Infor-

Umfang der Informationsaufnahme in den Sinneszellen im Wachzustand und der Informationsableitung über die Nervenfasern beim Menschen (in bit/s)

	Informationsaufnahme	Informationsableitung
Netzhaut	$2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^6$
Innenohr	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
Geschmacksrezeptoren	$1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^3$
Geruchsrezeptoren	$1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^3$
Druckrezeptoren	$5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
Schmerzrezeptoren	$3 \cdot 10^6$	
Wärmerezeptoren	$1 \cdot 10^4$	
Kälterezeptoren	$1 \cdot 10^5$	

mationen wird nach der Geburt schrittweise entwickelt. Dabei werden bestimmte Muster von Erregungen (Signale) mit bestimmten Erfahrungen verbunden und gewinnen eine ganz spezifische Bedeutung für das Lebewesen. Schon wenige Wochen nach der Geburt nimmt das Kind die Geräusche in der Umwelt und die Bewegungen der Mutter bewußt wahr. Im 2. Lebensmonat werden die Augen bereits aktiv auf »interessante« Gegenstände gerichtet, der Kopf wird mitunter schon schnell auf bestimmte Geräuschquellen hin orientiert. Bereits vom 5. Monat an ist das Erkennungs- und Unterscheidungsvermögen so entwickelt, daß bekannte Gesichter mit einem Lächeln begrüßt werden.

Nach der Art des wahrnehmbaren Reizes unterscheidet man verschiedene Arten von Sinneszellen:

Photorezeptoren: Reagieren auf Licht der Wellenlängen von 360–780 nm,

Phonorezeptoren: Reagieren auf Schallschwingungen bestimmter Wellenlänge,

Geruchsrezeptoren: Werden durch Geruchsstoffe erregt,

Geschmacksrezeptoren: Werden durch Geschmacksstoffe erregt,

Mechanorezeptoren: Registrieren Änderungen der Körperstellung und der Bewegungsgeschwindigkeit,

Tastrezeptoren: Werden durch Druck- und Berührungserreize erregt,

Thermorezeptoren: Reagieren auf Temperaturreize (Kälte-, Wärmereize),

Nozirezeptoren: Erregung löst Schmerzempfindungen aus,

Muskelspindeln und Sehnenrezeptoren: Dienen der Messung des Spannungszustandes in den Muskeln und Sehnen.

Neben den genannten Sinneszellen, deren Tätigkeit uns fortlaufend mehr oder weniger deutlich bewußt wird, besitzt unser Körper noch Meßfühler mit Spezialaufgaben, die automatisch arbeiten und uns nicht bewußt werden. Hierzu gehören Chemorezeptoren: Das sind Meßfühler für die Feststellung der Kohlensäure- und Sauerstoffspannung im Blut, die in bestimmten Gefäßen liegen und für die

Regulation der Atmung und des Kreislaufes von Bedeutung sind. Nimmt z. B. während der Arbeit der CO_2 -Gehalt im Blut zu, so wird die Atmung erhöht und vermehrt CO_2 abgegeben. Der Blutdruck wird von den in verschiedenen Arterien vorkommenden Pressorezeptoren reguliert. Die im Bereich des Zwischenhirns liegenden Osmorezeptoren registrieren den osmotischen Druck im Blutplasma. Nimmt dieser bei Wassermangel zu, wird von hier aus das Durstgefühl ausgelöst. Gleichzeitig wird durch eine Steigerung der Vasopressinsekretion aus dem Hypophysenhinterlappen die Wasserrückresorption in den Nierenkanälchen erhöht, der Körper geht mit dem vorhandenen Wasser dann »besonders sparsam« um.

Die über die Sinneszellen aufgenommenen Informationen werden in verschlüsselter Form – als elektrische Signale unterschiedlicher Frequenz und Anordnung – dem Nervensystem zugeleitet. Die Zahl der Leitungsbahnen ist je nach Sinnesorgan verschieden. So enthält z. B. der Sehnerv des Menschen etwa eine Million Nervenfasern und der Hörnerv etwa 30 000 Nervenfasern.

Die Verarbeitung der Informationen erfolgt zum Teil bereits im Sinnesorgan selbst, so z. B. in der Netzhaut des Auges oder in Anhäufungen von Nervenzellen (Kernen) im Bereich des Hirnstamms, die als primäre Sinneszentren bezeichnet werden. Hier findet schon eine gewisse Auswahl (»Filterung«) der Informationen, eine Verknüpfung mit anderen Einheiten und eine Auslösung von reflektorischen Reaktionen statt. Infolgedessen gelangt nur ein Teil der Informationen in die sekundären Sinneszentren der Großhirnrinde, wo ein kleiner Teil in das Bewußtsein eintritt.

Die Sinneszellen werden teilweise durch Reize von unvorstellbar geringer Stärke erregt. Die größte Empfindlichkeit haben die Sinneszellen der Netzhaut und der Schnecke: So reagieren die Photorezeptoren bereits auf Reize von einer Größe von $2 \cdot 10^{-11}$ erg und die Phonozeptoren auf solche von $5 \cdot 10^{-13}$ erg. Bei den Druckrezeptoren der Haut ist dagegen eine Reizstärke von 0,02 bis 0,4 erg notwendig.

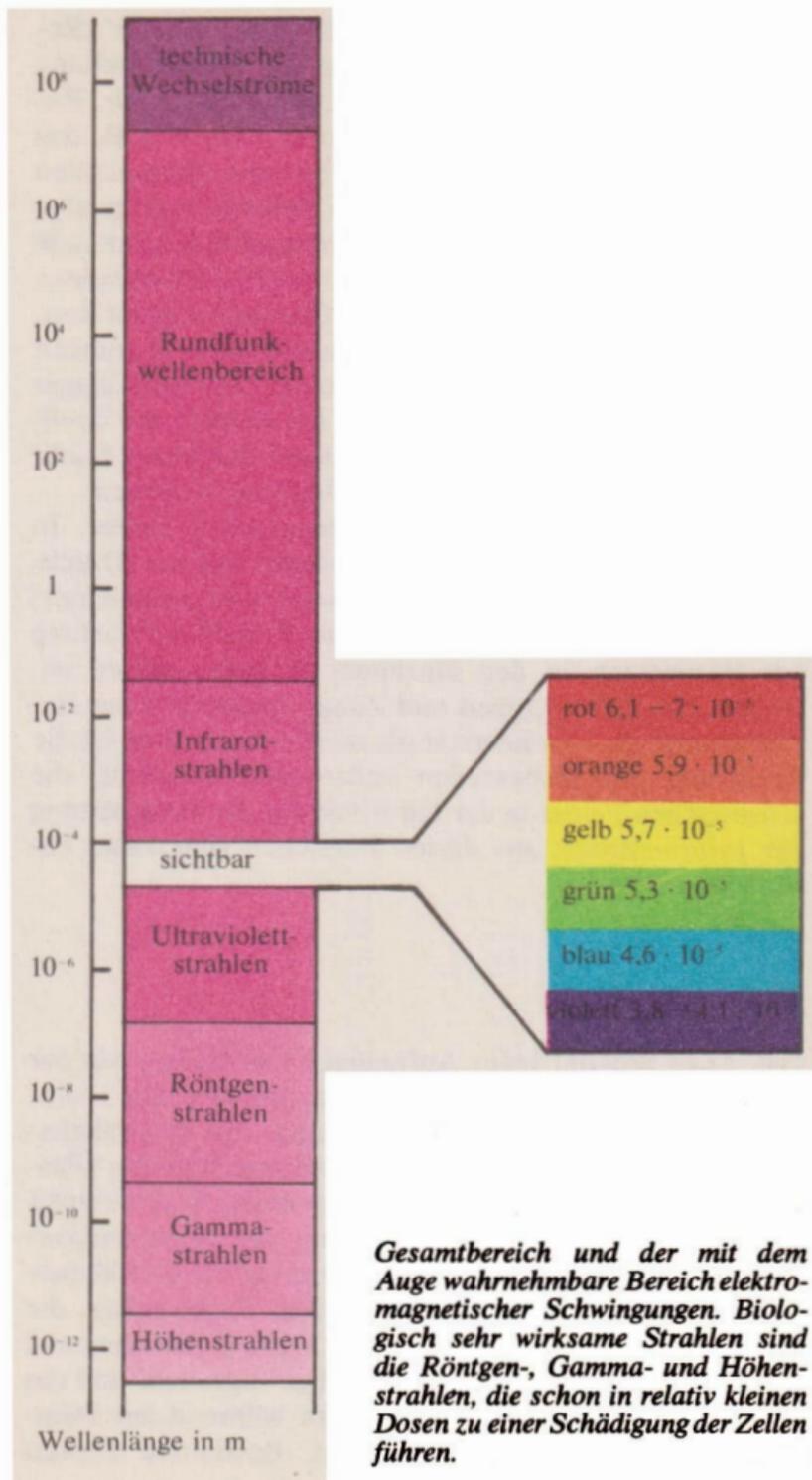
Die Verarbeitung der Reize in den Sinneszellen geschieht nach folgendem Grundprinzip: Die Reize führen zu

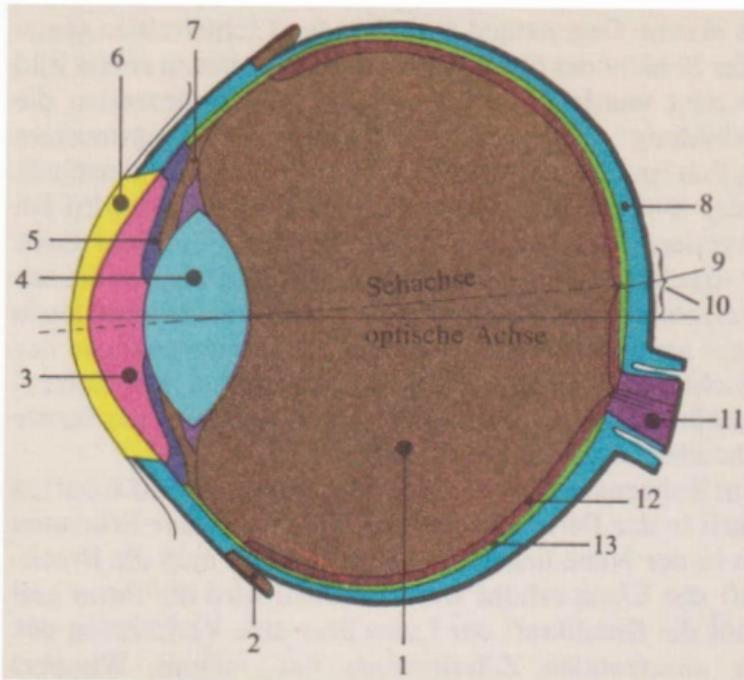
einer Strukturänderung bestimmter Eiweißstoffe (Rezeptormoleküle), zur Beeinflussung der Ionenverteilung und zur Auslösung eines Rezeptorpotentials. Als Rezeptormolekül in den Photorezeptoren kommt z. B. das Rhodopsin (»Sehpurpur«) vor. Von den Sinneszellen werden die Erregungen in Form von elektrischen Signalen abgeleitet, deren Zahl etwa zwischen 5 und 50 pro Sekunde liegt. Die Ableitung der Information findet in den einzelnen Nervenfasern mit unterschiedlicher Geschwindigkeit statt. Durch Druck- und Schmerzreize ausgelöste Erregungen werden von den Nervenfasern mit einer Geschwindigkeit von 40 bis 90 m/s (144–324 km/h) in die Zentren der Großhirnrinde geleitet. Auf diese Weise kann der Mensch sehr schnell auf unangenehme Umwelteinflüsse reagieren.

In der Hirnrinde liegen die sensorischen Felder. In diesen Bereichen werden Informationen aus den Druck- und Berührungsrezeptoren verarbeitet und gespeichert; ihre Ausdehnung hängt davon ab, wie dicht die Ausrüstung mit Rezeptoren in den einzelnen Hautabschnitten ist. Hände und Füße, Lippen und Zunge sind gegenüber Berührungsreizen besonders stark empfindlich. Hier ist die Besetzung mit Sinneszellen außerordentlich dicht; die sensorischen Felder in der Hirnrinde für die Verarbeitung der Informationen aus diesen Bereichen sind daher besonders groß.

Vom Sehen

Das Auge arbeitet beim Aufnehmen des Bildes von der Umwelt nach dem Prinzip eines Fotoapparates: Die Lichtstrahlen durchdringen die Hornhaut, die flüssigkeitsgefüllte vordere Augenkammer, die Linse und den Glaskörper, worauf sie in der Netzhaut zu einem Bild vereinigt werden. Von dem großen Spektrum der elektromagnetischen Schwingungen wird vom Auge nur ein sehr kleiner Teil registriert. Die lichtempfindlichen Sinneszellen, die Photorezeptoren, werden nach ihrer Form in Stäbchen und Zapfen eingeteilt. Die Zapfen sind bei Tageslicht und die Stäbchen bei schwacher Lichtstärke während der Dämmerung und im Dunkeln wirksam. Bestimmte Zapfen





Das Auge der Säugetiere. Im Bereich des gelben Flecks ist die Ausrüstung mit Zapfen am größten, hier ist ein besonders scharfes Sehen möglich.

1 – Glaskörper; 2 – Augenmuskelansatz; 3 – vordere Augenkammer; 4 – Linse; 5 – Regenbogenhaut; 6 – Hornhaut; 7 – Ziliarmuskulatur; 8 – Bindegewebshaut; 9 – Sehgrube; 10 – Bereich des gelben Flecks in der Netzhaut; 11 – Sehnerv; 12 – Netzhaut; 13 – Gefäßhaut

werden jeweils nur durch Licht einer bestimmten Wellenlänge – so durch Rot, Blaugrün oder Violett – erregt. Durch ein unterschiedliches Mischungsverhältnis dieser Grundfarben entsteht eine sehr große Zahl von mehr als 100 000 verschiedenen Farbtönen, die mit Hilfe der Zapfen registriert und von der Hirnrinde wahrgenommen werden können. Die Brechung der Lichtstrahlen an der von der Tränenflüssigkeit befeuchteten vorderen Hornhautfläche sowie an der vorderen und hinteren Linsenfläche bewirkt auf der Netzhaut ein umgekehrt stehendes Bild von der Umwelt. Bei der Verarbeitung der Information in der Großhirnrinde entsteht daraus wieder ein aufrecht stehendes Bild.

Wir erkennen einen Gegenstand dann deutlich, wenn die

von diesem Gegenstand ausgehenden Lichtstrahlen genau in der Schicht der Sinneszellen der Netzhaut zu einem Bild vereinigt werden, da nur dann in den Sinneszellen die Ausbildung eines bildspezifischen Erregungsmusters möglich ist. Die deutliche Wahrnehmung der Gegenstände in der Umwelt in unterschiedlicher Entfernung wird bei Säugetieren durch eine Veränderung der Form und damit der Brechkraft der Linse bewirkt. Dadurch können die aus unterschiedlicher Entfernung einfallenden Lichtstrahlen in einem gesunden Auge nach Belieben immer genau in der Schicht der Sinneszellen vereinigt werden. Bei Scharfeinstellung des Auges auf die Nähe erscheint ein ferner stehender Gegenstand unscharf.

Im Ruhezustand ist das Auge des Menschen auf scharfes Sehen in der Ferne eingestellt. Für ein genaues Erkennen von in der Nähe liegenden Gegenständen muß die Brechkraft der Linse erhöht werden. Dazu wird die Form und damit die Brechkraft der Linse über eine Verkürzung des hier ansetzenden Ziliarmuskels (lat.: cilium, Wimper) geändert. Beim Zusammenziehen dieses Muskels nimmt die Zugwirkung auf die die Linse in der Augenkammer festhaltenden Fasern ab, so daß diese auf Grund ihrer Elastizität in eine stärker gekrümmte Form übergeht.

Für die rasche Orientierung des Auges auf ein bestimmtes Objekt ist die Beweglichkeit des Augapfels wichtig: Sie wird mit Hilfe der Augenmuskeln gewährleistet. Dadurch ist eine Scharfeinstellung des Bildes innerhalb eines weiten Bereichs des Gesichtsfeldes möglich. Durch Drehen des Kopfes können die Augen gleichfalls schnell auf ein bestimmtes Ziel eingestellt werden.

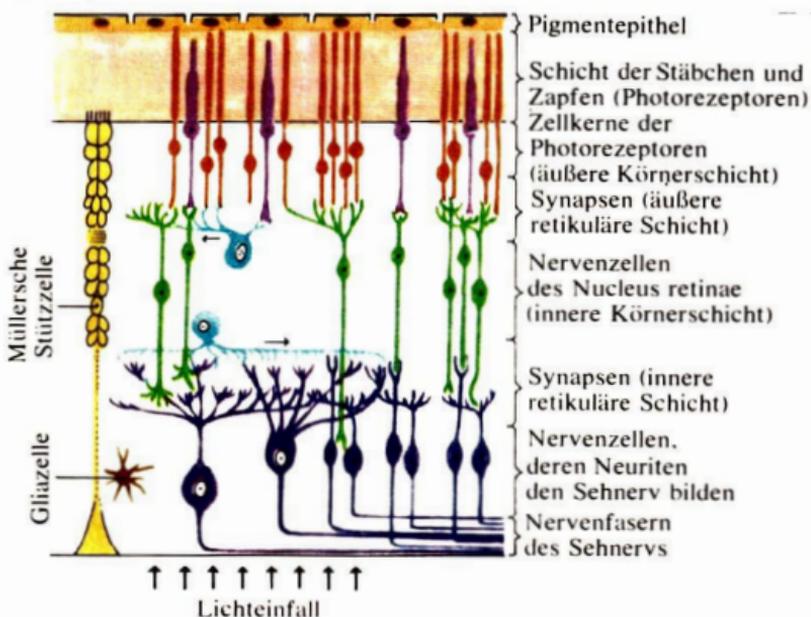
Unter der Augenfarbe versteht man die Farbe der die Pupille umgebenden Regenbogenhaut (Iris), die durch eingelagerte Farbstoffe hervorgerufen wird. Die Iris dient dem Einstellen der Pupillengröße und damit der Regulierung des Lichteinfallens auf die Netzhaut. Bei geringer Lichtstärke wird die Pupille von einem regulatorischen Zentrum im Mittelhirn aus erweitert; der Durchmesser beträgt dann etwa 7 mm. Bei starker Beleuchtung wird dagegen die Pupille über eine Kontraktion der die Pupille verengenden Muskelfasern verkleinert, und zwar bis auf einen Durchmesser von etwa 2,2 mm. Bei Erregung nimmt

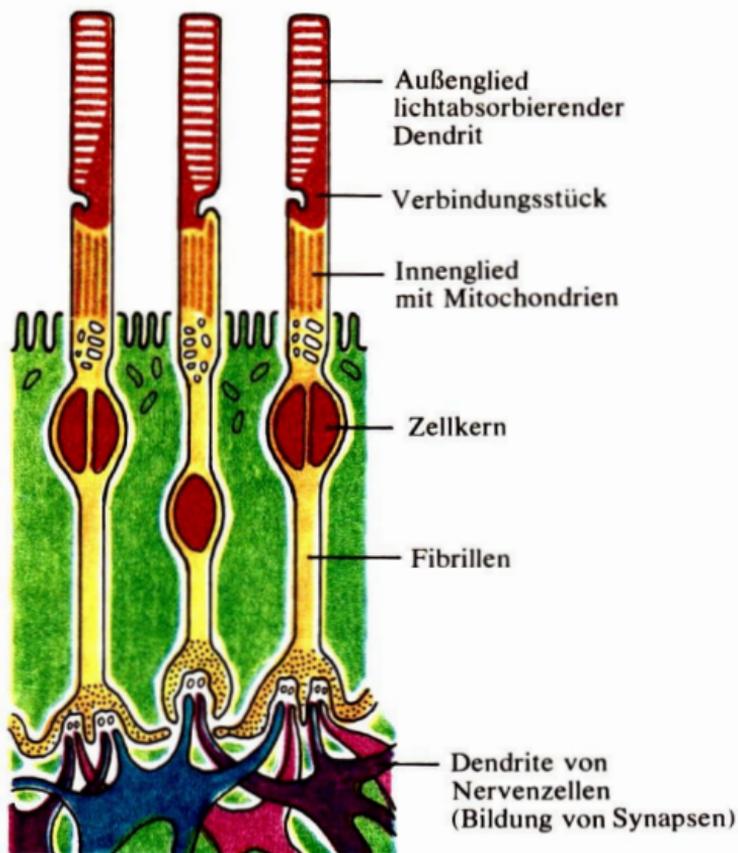
die Pupillenweite zu; im Schlaf, wenn ohnehin kein Bedarf für optische Informationen besteht und die Augen geschlossen sind, ab.

Unsere Netzhaut ist nur etwa 3 cm^2 groß: Die einzelnen Abschnitte sind in unterschiedlichem Maße mit Sinneszellen ausgerüstet. Das Auflösungsvermögen der Netzhaut ist enorm hoch: Die Abbildung des Vollmondes beansprucht z. B. nur eine Fläche von etwa $0,02\text{ mm}^2$, dabei werden etwa 800 Zapfen erregt! In der Nähe der Sehachse des Auges liegt die Sehgrube (Fovea centralis): Das ist der Bereich einer besonders genauen Bildanalyse, in dem die Anordnung der Zapfen sehr dicht ist. Mit Ausnahme dieses Bereichs sind über den Sinneszellen der Netzhaut mehrere Schichten von Nervenzellen angeordnet, die die Lichtstrahlen vor dem Erreichen der Sinneszellen durchdringen.

In den Nervenzellen der Netzhaut findet bereits eine Verarbeitung der optischen Informationen statt. Dabei wird das zunächst als Mosaik vorhandene Erregungs-

Die verschiedenen Zellschichten der Netzhaut. Lichtreize wirken nur auf die Photorezeptoren. Die optischen Informationen werden in den Nervenzellen der Netzhaut und im Gehirn verarbeitet.





Aufbau einer Stäbchenzelle der Netzhaut. Die Absorption des Lichtes (Photorezeption) erfolgt in dem mit zahlreichen Membranen ausgestatteten Außenglied. Dabei wird ein Rezeptorpotential ausgelöst, das als elektrisches Signal über die Synapsen an die Nervenzellen geleitet wird.

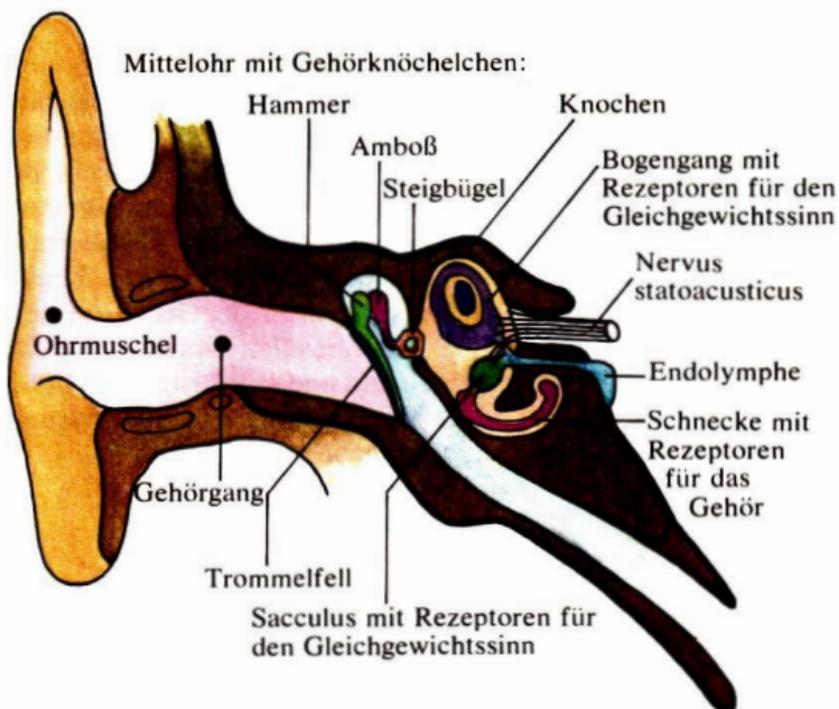
muster zu bestimmten optischen Formen (Begriffen) zusammengefaßt. Die verarbeiteten Informationen werden über den Sehnerv (Nervus opticus) den Sinneszentren im Gehirn zugeleitet. Im Bereich der Sehgrube entfällt auf einen Zapfen jeweils eine informationsableitende Nervenfaser. Am Rand der Netzhaut dagegen werden zahlreiche Sinneszellen jeweils nur von einer Nervenfaser versorgt. Jeder Sehnerv enthält beim Menschen etwa eine Million Nervenfaser. Beim Hund, der ein relativ schwaches Sehvermögen hat, sind in jedem Sehnerv nur etwa 150 000 Nervenfaser vorhanden.

Die Netzhaut des Menschen ist mit etwa 125 Millionen Stäbchen und 7 Millionen Zapfen ausgerüstet. Die aus der Netzhaut über die Sehnerven abgeleiteten Informationen werden größtenteils dem primären Sehzentrum im Mittelhirn zugeleitet, das etwa 600 000 Nervenzellen enthält. Ein Teil der Informationen wird für die Regulierung der Augenbewegungen und der reflektorischen Kopfbewegungen verwendet. Im Sehzentrum der Großhirnrinde sind etwa 540 Millionen Nervenzellen vorhanden, die schichtenförmig angeordnet sind und eine beachtlich hohe Leistungsfähigkeit für die Verarbeitung und Speicherung von optischen Informationen haben.

Vom Hören

Schallwellen eines bestimmten Frequenzbereiches, die sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 340 m/s ausbreiten, wirken als Reiz auf das Hörorgan. Das Hörorgan ist in Verbindung mit der Sprache eine wichtige Einrichtung zur Kommunikation und zur Orientierung über die Umweltverhältnisse. Um Schallwellen aufnehmen und hören zu können, genügt lediglich ein funktionstüchtiges Ohr. Beide Ohren sind jedoch notwendig, um die Herkunft des Schalls und die Entfernung der Schallquelle feststellen zu können. Der Schall trifft nämlich mit einer geringen zeitlichen Verzögerung auf das Trommelfell des der Schallwelle entgegengesetzten Ohres. Diese vom Höranalysator feststellbare Verzögerung ermöglicht eine Lokalisierung und Abschätzung der Entfernung der Schallquelle. Die Ohrmuschel übt dabei eine gewisse Hilfsfunktion aus. Eine Zeitdifferenz beim Auftreffen der Schallwellen im Trommelfell beider Ohren von 10^{-5} Sekunden kann vom Höranalysator noch genau festgestellt werden. Das Trommelfell hat beim Menschen eine Größe von 55 mm^2 . Die den Druck der Steigbügelplatte auf das ovale Fenster übertragende Fläche ist nur $3,2 \text{ mm}^2$ groß, so daß eine Verstärkung der Schwingungen erfolgt. Dabei findet eine Verstärkung des Druckes um etwa das 22fache statt.

Die Schallwellen werden über den Gehörgang auf-



Das Ohr des Menschen. Im inneren Ohr befinden sich Rezeptoren für Gehör, Gleichgewicht und Beschleunigung.

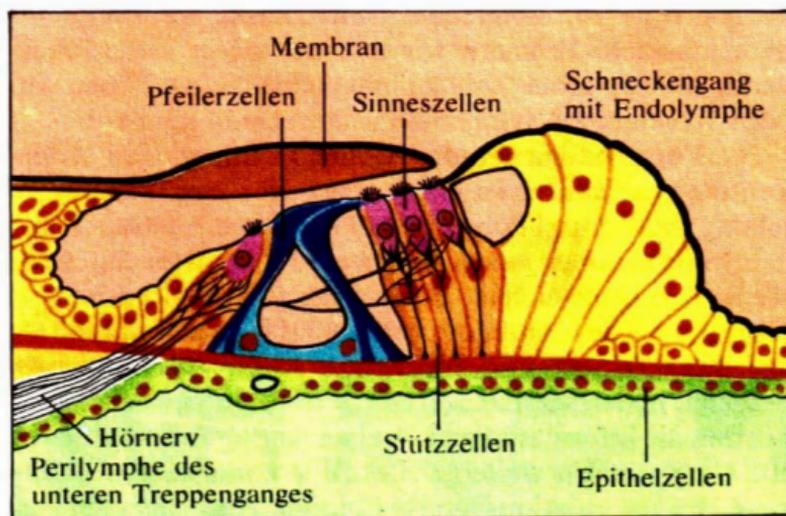
genommen und auf das Trommelfell übertragen, das dadurch in Schwingungen gerät. Mit Hilfe der drei Gehörknöchelchen des Mittelohrs (Hammer, Amboß, Steigbügel) werden die mechanischen Schwingungen verstärkt und auf das reizverarbeitende System des Innenohrs weitergeleitet. Eintrittspforte für die Schwingungen in das Innenohr ist das ovale Fenster, eine Membran, die beim Menschen nur einen Durchmesser von 4mm hat. Bei hoher Schallstärke dämpfen die Gehörknöchelchen die Schwingungen und wirken somit einem Zerreißen des Trommelfells entgegen. Über das Trommelfell werden Schallwellen in einem Bereich von 20 bis 3000 Schwingungen je Sekunde verarbeitet. Schallwellen von noch höherer Frequenz werden über die Schädelknochen aufgenommen und unmittelbar in Schwingungen der Flüssigkeit im reizverarbeitenden System des Innenohrs umgesetzt.

Vom ovalen Fenster aus werden die Schwingungen als Druckwelle auf die die Schnecke (Cochlea) umgebende

Flüssigkeit, die Perilymphe, übertragen, die dadurch in Schwingungen gerät. Die Schnecke ist, wie schon der Name besagt, ein schneckenförmig gewundener Hohlraum von etwa 3,2 cm Länge, der sich von der Basis zur Spitze hin verengt und der durch Scheidewände in drei Etagen geteilt wird. Die obere und untere Etage, die auch als Treppengänge bezeichnet werden, gehen an der Spitze der Schnecke ineinander über, da hier eine Trennwand fehlt.

Im Innenohr liegt ein flüssigkeitsgefülltes, gut schwingungsfähiges Hohlraumsystem vor, dessen Schwingungen die Sinneszellen in Erregung versetzen. Die Sinneszellen sind im Schneckengang zwischen dem oberen und dem unteren Treppengang auf einer Membran in einer langen Reihe angeordnet. Der Schneckengang enthält etwa 30 000 Haarzellen, an deren Oberfläche sich jeweils zahlreiche Sinneshaare – etwa 50 je Zelle – befinden. Die Ausrüstung mit Sinneszellen ist in den einzelnen Abschnitten unterschiedlich. Im Bereich der Eintrittspforte für die Schwingungen am ovalen Fenster ist die Basalmembran nur 0,1 mm breit, so daß hier nur wenige Zellen

Lage der Sinneszellen im Schneckengang. Die äußeren Sinneszellen sind in mehreren Reihen angeordnet und haben Zellfortsätze, die als Sinnes- oder Hörhaare bezeichnet werden. Sie werden durch Schwingungen der Perilymphe und Endolymphe erregt und geben elektrische Signale (»Informationen«) ab.



nebeneinander liegen; an der Spitze der Schnecke beträgt die Breite etwa 0,5 mm. Im Mittelabschnitt liegen etwa 3–5 Sinneszellen in einer Reihe nebeneinander.

Die über das Trommelfell erzeugten mechanischen Schwingungen versetzen am ovalen Fenster die Perilymphe in Schwingungen. Diese Schwingungen wandern den oberen Treppengang hinauf und bringen im Schnecken gang die Endolymphe und die hier liegenden Sinneszellen zum Mitschwingen. Dabei entstehen, je nach Stärke und Frequenz der Schallwellen, Schwingungsmaxima und -minima, die zu einem unterschiedlich hohen Grad der Erregung bestimmter Abschnitte der Sinneszellen führen. Wellen von hoher Frequenz erregen hauptsächlich die im Bereich der Basis liegenden und solche mit tiefer Frequenz die gegen die Spitze der Schnecke hin liegenden Sinneszellen. Sind die Sinneszellen im Bereich der Basis des Schnecken ganges zerstört, so bildet sich ein Hörunvermögen für hohe Töne aus; eine Verletzung im Bereich der Spitze verursacht Taubheit für tiefe Töne.

Zur Ableitung der Informationen aus den Sinneszellen stehen etwa 30 000 Nervenfasern zur Verfügung, deren zugehörige Nervenzellen eine Anhäufung bilden – das Ganglion spirale. Die Ableitung der Informationen erfolgt überlappend, wodurch ein besonders hohes Maß von Leistungsfähigkeit für die Wahrnehmung und Unterscheidung von Tönen erreicht wird. Der Mensch kann etwa 340 000 Töne von unterschiedlicher Stärke und Frequenz unterscheiden. Erinnern wir uns bei dieser Gelegenheit daran, welche große Zahl an unterschiedlichen Tönen wir beim Hören einer Symphonie wahrnehmen können!

Die Verarbeitung der akustischen Informationen in den Zentren des Gehirns ist durch eine besonders starke Aufteilung der Informationen und durch einen Austausch mit den Informationen aus dem Innenohr der entgegengesetzten Seite gekennzeichnet. Beim Menschen sind im primären Hörzentrum des Mittelhirns etwa 600 000 Nervenzellen an der Verarbeitung und Weiterleitung der Informationen beteiligt. In den sekundären Hörzentren der Großhirnrinde werden die Informationen von einer Nerven faser auf 50 bis 100 Nervenzellen weitergeleitet. Wie kompliziert das System der Informationsverarbeitung im Höranalysator ist,

geht daraus hervor, daß das primär in den Sinneszellen aufgenommene Erregungsmuster mindestens sechs Umschalt- und Verarbeitungsstationen durchläuft. Die Zahl der an der Verarbeitung der Informationen beteiligten Nervenzellen nimmt gegen die Großhirnrinde hin zu. Ein Hörzentrum in der Großhirnrinde des Menschen enthält etwa 100 Millionen Nervenzellen.

Das Hörvermögen bei Säugetieren ist sehr unterschiedlich; so ist z. B. beim Hund die Empfindlichkeit des Hörorgans zur Wahrnehmung von Schallwellen sehr geringer Stärke etwa 50fach größer als beim Menschen. Der Hund hört auch noch Schallwellen mit einer Frequenz bis zu etwa 50 000 Schwingungen je Sekunde. Für Dressurzwecke können daher Pfeifen mit hoher Tonfrequenz benutzt werden, die der Mensch nicht wahrnimmt. Mit zunehmendem Alter des Menschen läßt das Vermögen, Schallschwingungen höherer Frequenz wahrzunehmen, nach, und eine gewisse »Schwerhörigkeit« setzt ein. Da aber beim Sprechen und Singen meist Töne im Frequenzbereich zwischen 100 und 1000 Hertz entstehen, wirkt sich die altersbedingte Einengung des wahrnehmbaren Schallwellenspektrums nicht allzu ungünstig aus.

Vom Riechen und Schmecken

Zu unseren angenehmen Erlebnissen gehört ohne Zweifel eine Mahlzeit mit wohlschmeckenden Speisen und »vollmundigen« Getränken. Zum Essen sollte sich jeder Mensch genügend Zeit nehmen, um auch die Duft- und Aromastoffe der Nahrung genießen zu können. Das wiederum trägt zur stärkeren Sekretion von Verdauungssäften bei; Geruch und Geschmack appetitanregender Speisen lösen außerdem ein Behaglichkeitsgefühl aus.

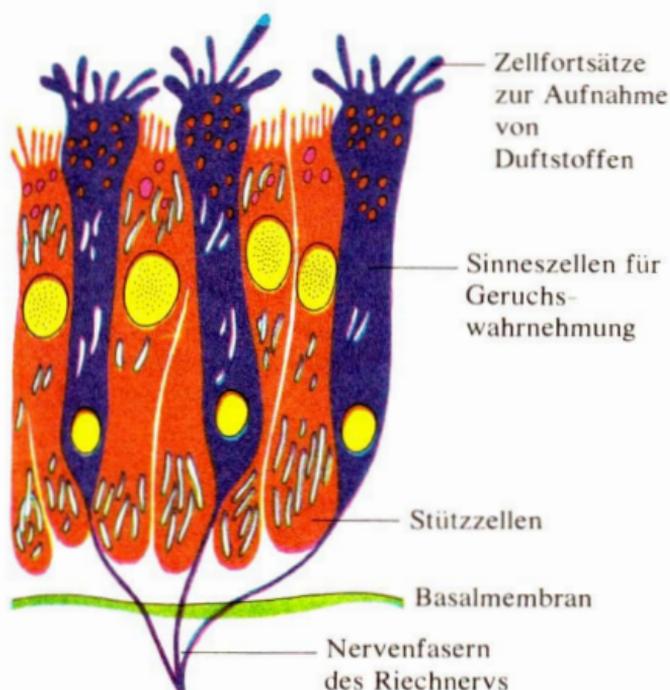
Ebenso, wie wir unsere Augen und die dazu gehörigen Verarbeitungs- und Wahrnehmungseinrichtungen für optische Informationen »trainieren« können, z. B. auf das Erkennen von Feinheiten in Gemälden, ist auch unser Geruchs- und Geschmacksanalysator in hohem Maße einer »Schulung« zugänglich. Das ist uns besonders von den Weinschmeckern bekannt, die Hunderte von verschiede-

nen Weinsorten nach dem unterschiedlichen Gehalt an Aromastoffen genau unterscheiden können.

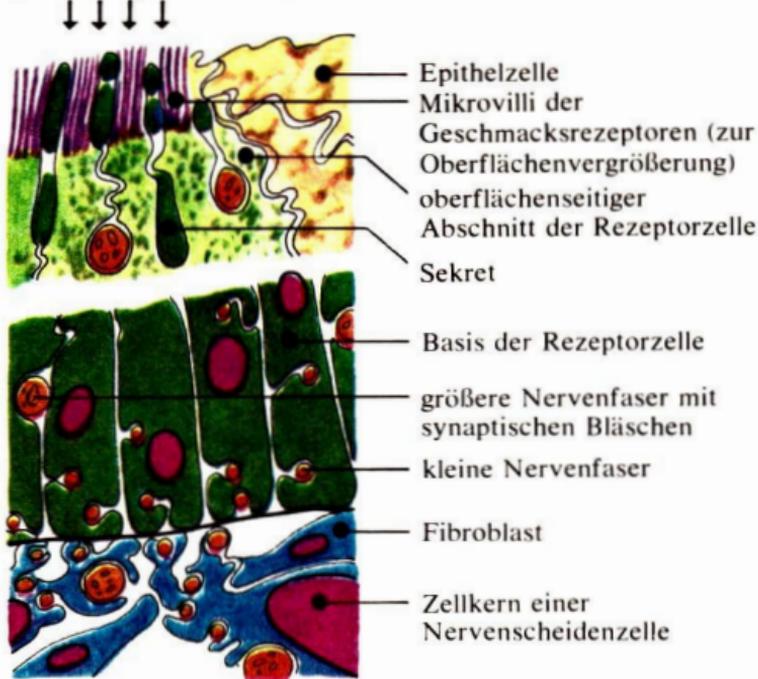
Das Leistungsvermögen unseres Geruchssinns ist erstaunlich groß: Wir können etwa 100 000 verschiedene Gerüche unterscheiden. Die Riechschleimhaut in unserer Nase ist nur etwa 5 cm² groß und enthält etwa 20 Millionen Sinneszellen! In der Nase ist somit eine große Zahl von Sinnesühlern auf kleinstem Raum untergebracht. Bei vielen Tierarten ist die Riechschleimhaut mit bedeutend mehr Sinneszellen ausgestattet als beim Menschen. Ein Hund hat in der Riechschleimhaut etwa 225 Millionen »Duftfühler«, die ihn u. a. befähigen, »Spuren« zu verfolgen. Zur Orientierung dienen ihm dabei die von den Pfoten bzw. Füßen abgegebenen Duftstoffe des Schweißes.

Die Geruchsstoffe werden in den Sinneszellen an Rezeptoreiweißstoffe gebunden und bewirken eine Strukturänderung derselben; dadurch wird die Sinneszelle erregt

Aufbau einer Geruchssinneszelle



Einwirkung der Geschmacksstoffe



Aufbau einer Sinneszelle in einer der Geschmacksknospen der Kaninchenzunge; oben: oberflächenseitiger Abschnitt mit Zellfortsätzen zur Aufnahme der Geschmacksstoffe; unten: basaler Abschnitt mit zahlreichen Nervenfasern. In einer Rezeptorzelle enden etwa 30 Nervenfasern.

und bildet ein Rezeptorpotential aus, das über die Nervenfasern als Aktionspotential abgeführt wird. Erstaunlich ist die hohe Empfindlichkeit der Sinnesfühler: So wird Moschus – ein als angenehm empfundenes Parfüm – bereits in einer Konzentration von etwa 10^{-9} mg/l Luft wahrgenommen.

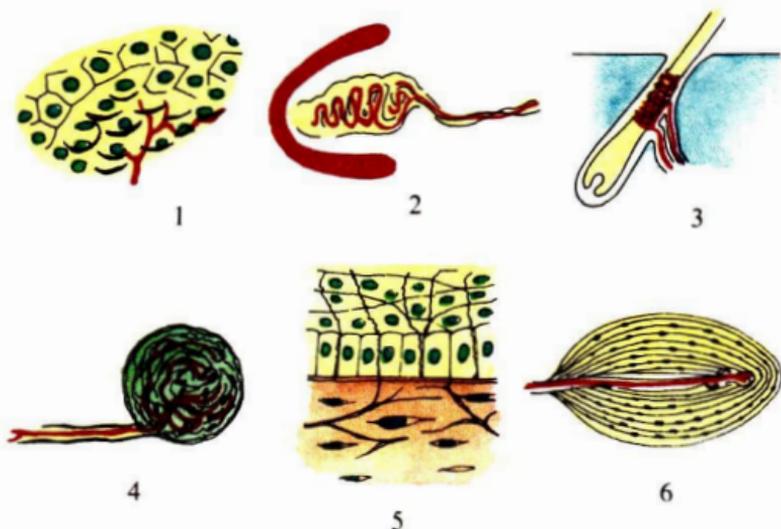
Die Geruchsinformationen werden über ein kompliziert aufgebautes System von Nervenzellen, die als Verstärkeranlagen wirken, verarbeitet, so daß bei gewissen Geruchsstoffen schon wenige Moleküle wahrgenommen werden können. Geruchsempfindungen sind für unsere allgemeine Stimmungslage von Bedeutung. Parfüms können Wohlbehagen auslösen, Sympathie erzeugen, sexuelle Erregung bewirken usw. Gerüche können auch eine Warn-

funktion haben, wie die bei einem Brand entstehenden brenzlich riechenden Stoffe.

Der Geschmacksanalysator ist neben dem Geruchssinn für die Auswahl der Nahrung und der Getränke von Bedeutung. Wir unterscheiden im wesentlichen die Geschmacksarten süß, sauer, bitter und salzig. Sinneszellen zum Wahrnehmen der Geschmacksstoffe liegen in den Geschmacksknospen der Zungenschleimhaut. Der Mensch verfügt über etwa 10 000 Geschmacksknospen auf der Zunge; jede enthält neben einer größeren Zahl von Stützzellen etwa 10 bis 40 Sinneszellen. Die einzelnen Sinneszellen sind auf die Wahrnehmung bestimmter Geschmacksstoffe spezialisiert. Daher können wir auf unserer Zunge Bezirke mit einer bevorzugten Wahrnehmung bestimmter Geschmacksqualitäten – so der Qualität »bitter« am Zungengrund und »süß« an der Zungenspitze – unterscheiden. Verschiedene Verbindungen werden bereits in sehr niedrigen Konzentrationen wahrgenommen, so z. B. das Saccharin (künstlicher Süßstoff) in einer Verdünnung von 1 : 1 000 000.

Von den Gefühlswahrnehmungen

Gefühlswahrnehmungen werden über die Druck-, über die Wärme- und über die Kälterezeptoren sowie über die Schmerzrezeptoren ausgelöst. Besonders zahlreich kommen diese Rezeptoren in der Haut vor, die eine Art »Warnanlage« vor einer Schädigung des Organismus durch äußere Einflüsse ist. Die Informationen aus diesen Rezeptoren werden zum Teil schon im Rückenmark und im Hirnstamm verarbeitet, so daß schnelle reflektorische Abwehrreaktionen – z. B. bei Wahrnehmung eines Insektenstiches – ausgelöst werden können. Diese Sinnesempfindungen dienen auch zur Information über die Beschaffenheit und die Eigenschaften von Gegenständen. Die Kälte- und Wärmerezeptoren spielen bei der Regulation der Körpertemperatur eine wichtige Rolle. Die Haut enthält insgesamt etwa 50 bis 100 Millionen Sinneszellen sowie etwa 2 bis 4 Millionen schmerzauslösende Rezeptoren in Form von freien Nervenendigungen.



Endkörperchen (Terminalkörperchen) und freie Nervenendigungen in der Haut; 1 – Merckelsche Tastzellen; 2 – Meissnersche Tastkörperchen; 3 – Nervenfasern um Haarfollikel; 4 – Krausesche Endkolben; 5 – freie Nervenendigungen in der Hornhaut; 6 – Pacinisches Lamellenkörperchen

Die Berührungs- und Druckrezeptoren (Mechanorezeptoren) der Haut werden über ein räumliches Druckgefälle erregt. Die Sinneszellen sind zum Teil in Form von Tast- und Lamellenkörperchen »verpackt«. Besonders viele Druckrezeptoren liegen in der Haut der Fingerspitzen und in der Zungenschleimhaut. Die Reizschwelle der Mechanorezeptoren ist relativ hoch, so daß wir nicht ununterbrochen über kleinste Berührungen informiert werden. So können sie z. B. sehr kleine Insekten wie die Stechmücken mit einer Masse von nur 0,3 mg nicht wahrnehmen, wenn sie sich auf der Haut niederlassen. Erst durch eine Reizung der Schmerzrezeptoren, hervorgerufen durch das Stechen, werden sie bemerkt.

Für die Wahrnehmung von Berührungsreizen sind die Haare von Bedeutung. Das Haar wirkt auf die in der Haarwurzel gelegenen Rezeptoren wie ein Hebel, so daß bereits sehr kleine Berührungsreize bemerkt werden können. An den behaarten Hautabschnitten kommen etwa 300 Druckrezeptoren je cm^2 vor.

Die Wärme- und Kälterezeptoren sind in den verschiedenen Abschnitten der Haut in unterschiedlicher Zahl

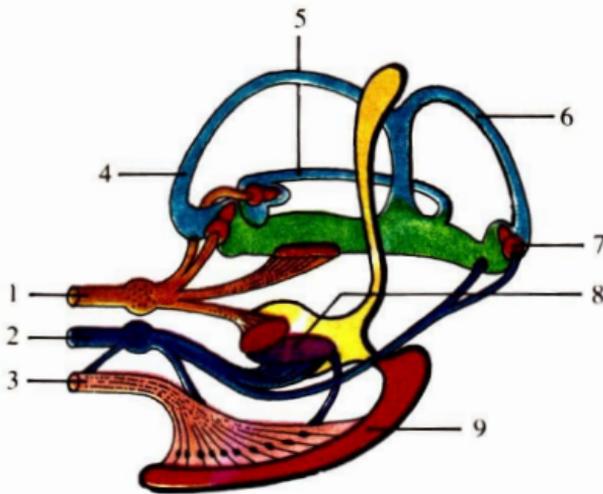
vorhanden. Insgesamt enthält unsere Haut etwa 250 000 Kälte- und etwa 30 000 Wärmerezeptoren. Als Reiz für die Thermorezeptoren wirken Änderungen des Temperaturgefälles zwischen dem Körper und der Umgebung. Tauchen wir die körperwarme Hand in kaltes Wasser, so werden die Kälterezeptoren erregt und dadurch die Empfindung »kalt« ausgelöst. Eine Reizung der Kälterezeptoren verursacht eine Verengung der die Haut mit Blut versorgenden Arterien, die Haut wird nunmehr weniger stark durchblutet, und die Wärmeabgabe vermindert sich. Umgekehrt fördert eine hohe Umgebungstemperatur die Hautdurchblutung, was sich günstig auf die Wärmeabgabe auswirkt.

Die Schmerzempfindung auslösenden Rezeptoren der Haut sind freie Nervenfasern im Gewebe. Bei schädlichen Einflüssen wie Insektenstich, Verbrennung, Verätzung usw. bewirken sie eine schnelle Abwehrreaktion des Körpers. Den Schmerz pflegt man in trefflicher Weise als den »bellenden Wächter der Gesundheit« zu bezeichnen. Er informiert uns, wenn eine Störung in der Funktion der Organe oder eine Schädigung der Gewebe vorliegt, so daß wir Gegenmaßnahmen treffen können. Schmerzrezeptoren kommen in fast allen Geweben vor. Unsere Haut enthält davon etwa 150 bis 200 je cm^2 .

Vom Gleichgewichts- und vom Kraftsinn

Für viele Menschen zeigten die Fernsehaufnahmen aus den um die Erde kreisenden Satelliten bzw. den zum Mond fliegenden Raumschiffen nachhaltig die Bedeutung der Schwerkraft für die Körperhaltung: In eigenartig schwebender Weise – dem Schwerfeld der Erde weitgehend entzogen – bewegten sich die Raumfahrer in ihren Kabinen.

Das Schweregefühl und die Information über die Stellung unseres Körpers im Raum werden über den Vorhofapparat (Vestibularapparat) des Innenohres ausgelöst, der zugleich der Wahrnehmung einer starken Beschleunigung unseres Körpers dient. Der Vorhofapparat besteht aus drei häutigen Bogengängen und zwei häutigen Säck-



Aufbau des Gleichgewichtsapparats.

1 – Nervus vestibuli, oberer Ast; 2 – Nervus vestibuli, unterer Ast; 3 – Nervus cochleae; 4 – vorderer Bogengang mit vertikaler Lage; 5 – seitlicher Bogengang mit annähernd horizontaler Lage; 6 – hinterer Bogengang; 7 – Ampulle mit Crista ampullaris und Cupula (Mechanorezeptoren); 8 – Macula mit Mechanorezeptoren; 9 – Schnecken gang mit Phonorezeptoren

chen (dem Utriculus – kleiner Schlauch und dem Sacculus – Säckchen), die mit der Endolymphe gefüllt sind. Zwischen dem mit Endolymphe gefüllten System, das die Meßeinrichtungen für die Lage des Körpers im Raum und für die Wahrnehmung einer schnellen Beschleunigung des Körpers enthält, und dem Knochen liegt ein mit Perilymphe gefüllter Spalt, so daß die Meßeinrichtungen stoßgesichert auf einem Flüssigkeitspolster ruhen und besonders empfindlich reagieren können.

Meßfühler zur Feststellung der Lage unseres Körpers im Raum und einer schnellen senkrechten Auf- oder Abwärtsbewegung sind die kleinen Vorhofhügel (Maculae vestibulares). Sie bestehen aus Sinnes- und Stützzellen, einer Gallertschicht sowie den Statolithen (Kalziumkarbonatkristallen) und liegen im Bereich des Utriculus und des Sacculus. Neigen wir den Kopf aus der senkrechten Stellung, so verändert sich der Druck der Kristalle auf die Sinneszellen: Auf diesen Reiz hin reagieren sie mit einer Änderung der Abgabe elektrischer Signale, die im Gehirn zu einer Wahrnehmung über diese Stellungs-

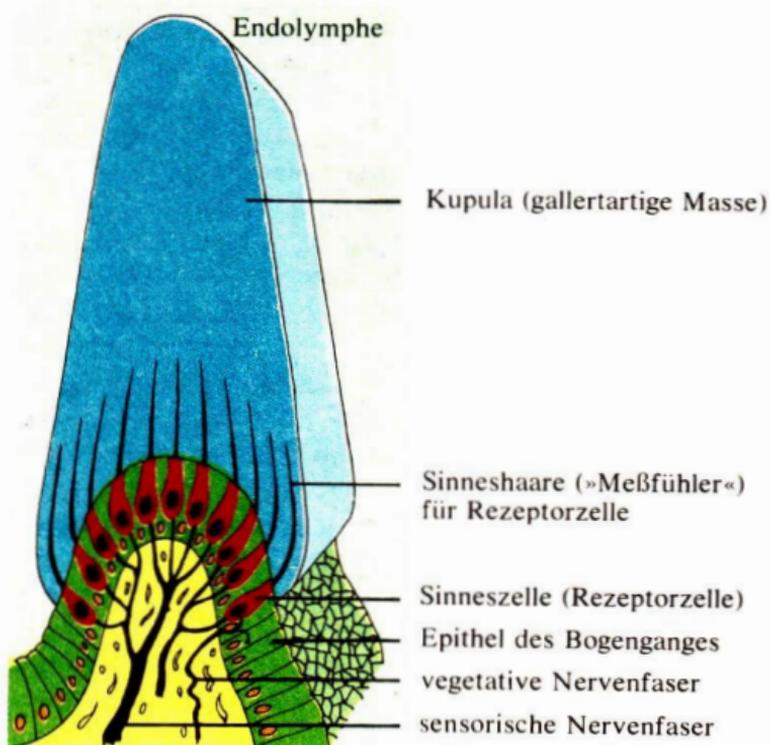
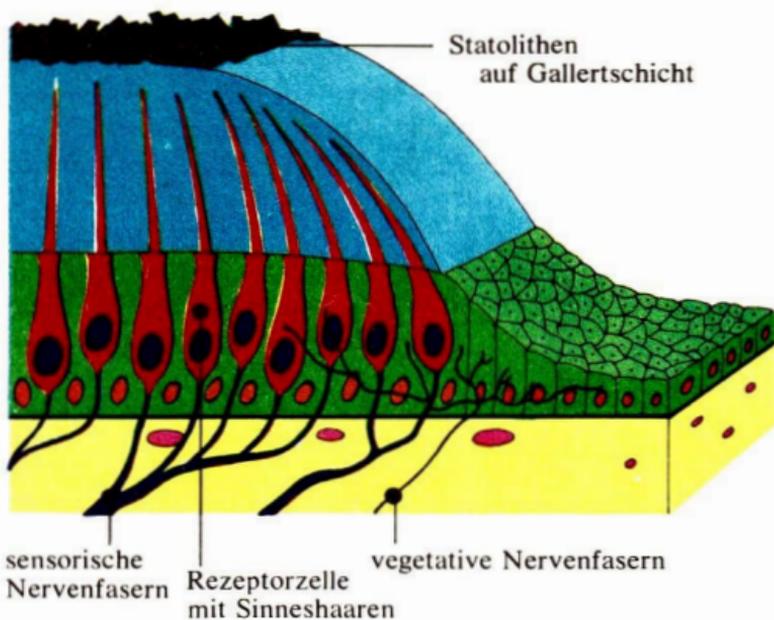
änderung verarbeitet werden. Wenn die Körperhaltung durch äußere Einflüsse geändert wird, so können von Zentren im Hirnstamm sehr schnell Befehle an bestimmte Muskeln erteilt werden, die durch Verkürzung bzw. Entspannung bestimmter Muskelgruppen einen Ausgleich herbeiführen. Stehen wir senkrecht, so ist die Abgabe elektrischer Signale aus den Sinneszellen der Vorhofhügel am geringsten. Die stärkste Erregung tritt beim Kopfstand ein: Dabei hängen die Statolithen an den Sinneszellen nach unten und üben einen stark erregend wirkenden Zug auf diese aus.

Über die Meßfühler der Vorhofhügel wird auch eine schnelle senkrechte Beschleunigung des Körpers nach oben oder unten wahrgenommen. Bei einer schnellen Bewegung nach oben verstärkt sich der Druck der schweren Kristalle auf die Sinneszellen, so daß diese in erhöhtem Umfange elektrische Signale abgeben. Beim schnellen senkrechten Abwärtsfahren im Lift ist die Situation genau umgekehrt.

Der Vorhofapparat verfügt außerdem über Meßfühler für die horizontale Beschleunigung des Körpers. Auf diese Weise können wir z. B. auch bei geschlossenen Augen das Anfahren bzw. Bremsen eines Zuges oder Autos wahrnehmen. Die Meßfühler hierfür liegen in Form von kuppelförmig aufgebauten Einrichtungen (*Crista ampullaris*) an bestimmten Stellen des Übergangs der Bogengänge in den Utriculus. Als Reiz für die in den Kuppeln vorhandenen Sinneszellen wirken Abweichungen von der senkrechten Stellung. Beim raschen Drehen oder bei Beschleunigung des Kopfes in waagerechter Richtung bleibt die Endolymphe wegen ihrer Trägheit für kurze Zeit zu-

Aufbau einer Macula. Bei Lageveränderung des Körpers und bei Beschleunigung und Bremsung in vertikaler Richtung werden die Rezeptorzellen durch den mechanischen Einfluß der Statolithen verstärkt erregt und geben in erhöhtem Umfang Signale an das Gehirn ab.

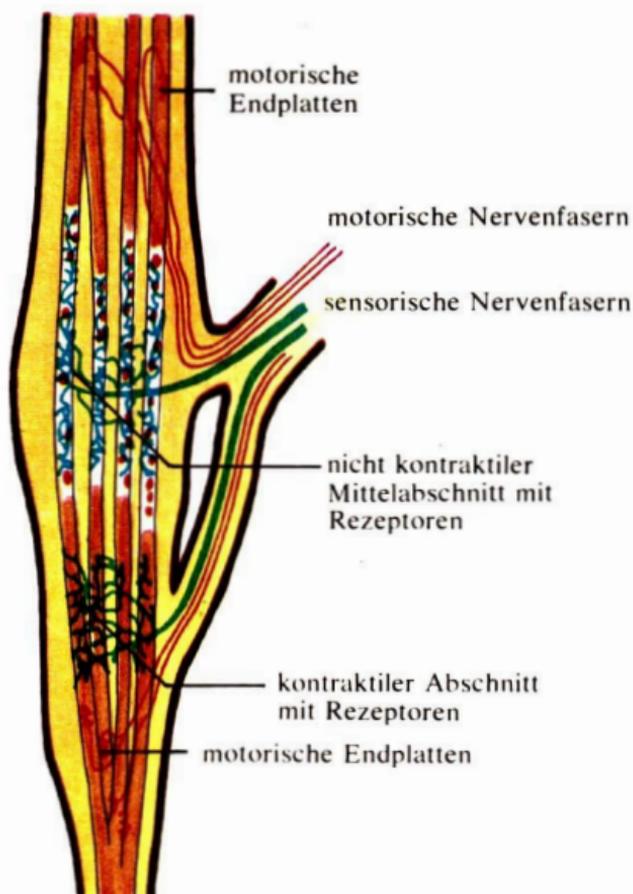
Aufbau einer Crista ampullaris. Bei einer Beschleunigung oder Bremsung wird die gallertartige Cupula durch die relativ träge Endolymphe vorübergehend aus der Ruhestellung gebracht. Das führt zu einer erhöhten Abgabe von elektrischen Signalen aus den Rezeptorzellen an das Gehirn.



rück, infolgedessen verschieben sich die Kuppeln in entgegengesetzter Richtung der Beschleunigung, und es kommt zu einer erhöhten Abgabe von elektrischen Signalen aus den Sinneszellen an das Gehirn: Der Körper kann sich dadurch in zweckmäßiger Weise auf die Beschleunigung einstellen. Erfolgt keine Beschleunigung mehr, dann kehren die Kuppeln in die senkrechte Stellung zurück. Die Zahl der elektrischen Impulse aus der Sinneszelle kehrt in den Ruhebereich zurück. Beim starken Bremsen eines Zuges verschiebt die Bewegung der Endolymphe die Kuppeln nach vorn und ruft dadurch eine erhöhte Abgabe von elektrischen Signalen aus den Meßfühlern hervor (»Bremsmeldung«).

Meßfühler in den Muskeln, Sehnen und Gelenken (Muskelspindeln, Sehnen- und Gelenkrezeptoren) sind als Spannungsmesser für die Muskulatur und als Meßeinrichtung zur Wahrnehmung der Stellung der Gelenke unseres Körpers von großer Bedeutung. Mit Hilfe dieser Einrichtungen wird der Spannungszustand der einzelnen Muskeln während der Bewegung genau gemessen, so daß ein fein abgestufter Ablauf der Bewegungsvorgänge möglich ist. Unser Körper besitzt insgesamt etwa 500 Skelettmuskeln – nicht mitgerechnet die feinsten Muskeln der Haut, die beim Aufrichten der Haare eine Rolle spielen –, die in harmonischer Weise zusammenarbeiten.

Die Muskelspindeln enthalten Meßfühler zur Feststellung von Spannungsänderungen im Muskel. Bei einer Dehnung der Muskeln nimmt die Zahl der elektrischen Signale aus den Muskelspindeln an das Rückenmark zu. Die Informationen werden im Rückenmark verarbeitet und dienen zur Regulierung der Funktion der motorischen Vorderhornzellen und damit der Koordination der Bewegungsvorgänge. In den einzelnen Muskeln wird jeweils ein bestimmter Spannungszustand (Tonus) aufrechterhalten bzw. eine Kontraktion oder Erschlaffung ausgelöst. Die Ausstattung eines Muskels mit Muskelspindeln ist um so größer, je höher die Anforderungen an ein schnelles Reaktionsvermögen und an die Präzision der Einstellung eines bestimmten Spannungszustandes sind. Besonders reich mit Muskelspindeln sind die Augenmuskeln ausgestattet, da die Aufrechterhaltung der parallelen Stellung



Aufbau einer Muskelspindel. Durch die motorischen Nervenfasern wird in den kontraktile Abschnitten der Muskelfasern ein bestimmter Spannungszustand aufrechterhalten. Die Rezeptoren geben auch im Ruhezustand elektrische Signale ab (Ruhe-Entladungsfrequenz). Bei Dehnung des Muskels steigt die Zahl der elektrischen Signale an. Ihre Frequenz ist von der jeweiligen Länge und Längenänderung der Muskelfasern in der Muskelspindel abhängig.

der Augen und ihre gleichsinnige Bewegung bei der Orientierung auf bestimmte Objekte für ein scharfes Sehen von allergrößter Bedeutung sind. Der Spannungszustand der Muskelspindeln unterliegt einer Regulation, so daß sich diese an einen unterschiedlichen Grad der Kontraktion bzw. Dehnung anpassen und stets sehr genaue Messungen durchführen können. In den Skelettmuskeln ist nahezu die Hälfte der die Muskeln versorgenden Nervenfasern bei der

Messung und Regulation des Spannungszustandes der Muskelspindeln eingesetzt.

In den Sehnen liegen Meßfühler, die bei Dehnung und Verkürzung des zugehörigen Muskels elektrische Signale abgeben: Sie wirken einer Überdehnung bzw. einer zu starken Verkürzung des Muskels entgegen. Die Informationen aus den Muskel- und Sehnenrezeptoren verhindern normalerweise auch bei stärkster Belastung das Entstehen von Sehnenrissen. Bereits eine geringe Änderung der Spannung im Muskel kann über diese Rezeptoren registriert werden: Auf diese Weise nehmen wir auch schon geringe Unterschiede in der Masse (von 2% und mehr) wahr. So können wir z. B. Massen von 10 und 10,3 kg bzw. von 80 und 82 g noch deutlich unterscheiden.

Hormone – Regulatoren des Stoffwechsels

Die Hormone (griech.: hormao, rege an) sind Stimulatoren und Regulatoren des Stoffwechsels, des Wachstums und der Fortpflanzung. Manche Hormone werden bereits technisch hergestellt, andere aus den Organen von Nutztieren gewonnen. In der Medizin finden Hormone zur Behandlung von Störungen des Stoffwechsels (z. B. der Zuckerkrankheit) und der Fortpflanzung vielseitige Anwendung. Mit der Einführung von Keimdrüsenhormonen (in Form der »Pille« zur Verhütung von unerwünschter Schwangerschaft) hat das Interesse vieler Menschen an der Endokrinologie, der Lehre von den Hormonen, zugenommen. Die endokrinen Drüsen (griech.: endo, nach innen; krino, absondern) geben die Hormone unmittelbar an das Blut ab. Neben diesen Drüsenhormonen (z. B. dem Thyroxin) gibt es noch die Gewebshormone (z. B. Sekretin), die von Gewebszellen aus nur ihre nähere Umgebung beeinflussen.

Die Hormone haben eine spezifische Struktur und üben auf die Vorgänge in den Zellen einen regulativen Einfluß aus: Sie beeinflussen die Aktivität von Enzymen und deren Synthese bzw. Abbau. Auf diese Weise können die Hormone in den Zellen mehr als 1000 verschiedene Reaktionen in einer jeweils zweckmäßigen Weise und abgestuft nach Bedarf beeinflussen.

Die regulatorische Wirksamkeit der Hormone wird über eine Veränderung ihrer Konzentration im Blut erreicht. Eine Änderung der Hormonkonzentration kann sowohl durch die Beeinflussung der Größe der Synthese als auch durch die der Geschwindigkeit des Abbaus bewirkt werden. Die Zeit, in der die Hälfte einer im Blut vorhandenen

Hormonmenge abgebaut bzw. an die Gewebe abgegeben ist, wird als Halbwertszeit bezeichnet. Eine lange Halbwertszeit von etwa 7 Tagen hat das Thyroxin, dessen Hauptabbauort die Leber ist. Nur etwa zwei bis vier Minuten beträgt die Halbwertszeit des wehenauslösenden Oxytozins, dessen Abbau vorwiegend in den Nieren stattfindet.

Nach der Geschwindigkeit des Wirkungseintrittes werden schnell und langsam wirkende Hormone unterschieden. Schnell wirkende Hormone beeinflussen schon nach wenigen Sekunden wichtige biochemische Vorgänge. So wird bei Belastung (z. B. durch Schreck bei Bedrohung) im »Notfalle« vermehrt Adrenalin aus dem Nebennierenmark ausgeschüttet. Dieses Hormon aktiviert bestimmte Enzyme, die eine verstärkte Freisetzung von Traubenzucker aus der Leber und von freien Fettsäuren aus dem Fettgewebe bewirken: Dadurch und unter Steigerung der Aktivität des sympathischen Nervensystems wird eine blitzschnelle Mobilisierung aller Kräfte bewirkt.

Die langsam in Aktion tretenden Hormone fördern die Bildung bestimmter Formen von Boten-RNS im Zellkern. Auf diese Weise wird in den Ribosomen die Bildung bestimmter Eiweißstoffe (Enzyme) angeregt. Über eine unterschiedlich große Förderung der Bildung bestimmter Enzyme beeinflussen diese Hormone die Umsetzungen von Nährstoffen und von Stoffwechselprodukten sowie die Biosynthesen. Einige Hormone fördern bestimmte Transportvorgänge. Die Hormone greifen also in zahlreiche Reaktionen und Funktionen des Körpers ein.

Das Zwischenhirn-Hypophysensystem

Das Nervensystem und das System der endokrinen Drüsen bilden in vieler Hinsicht eine funktionelle Einheit. So steht die Größe der Sekretion verschiedener Hormone der Gehirnanhangsdrüse, der Schilddrüse und der Nebennieren in enger Beziehung zur Funktion des Nervensystems. Gehirnanhangsdrüse (Hypophyse) und das Nervensystem im Bereich des Zwischenhirns (Hypothalamus) sind funktionell besonders eng miteinander verknüpft: Diese Einheit

1. Hypophysenvorderlappen (HVL)
 - follikelstimulierendes Hormon (FSH) Förderung der Reifung von Eizellen bzw. von Samenzellen
 - luteinisierendes Hormon (LH) Förderung der Ovulation und der Bildung von Östrogenen bzw. von Testosteron
 - Prolaktin Förderung der Milchsekretion
 - Wachstumshormon (STH – somatotropes Hormon) Förderung des Wachstums
 - adrenokortikotropes Hormon (ACTH) Förderung der Synthese von Glukokortikosteroiden
 - thyreotropes Hormon (TSH – Thyreoidea stimulierendes Hormon) Förderung der Bildung von Thyroxin und von Trijodthyronin in der Schilddrüse
2. Hypophysenmittellappen (HML)
 - Melanophorenhormon Beeinflussung der Pigmentverteilung in der Haut bei Fischen und Amphibien
3. Hypophysenhinterlappen (HHL)
 - Oxytozin Förderung der Wehentätigkeit und der Milchabgabe
 - Vasopressin Förderung der Rückresorption von Wasser in den Nierenkanälchen
4. Schilddrüse (Thyreoidea)
 - Thyroxin Förderung der Verbrennungsvorgänge
 - Kalzitonin Regulation des Ca-Stoffwechsels
5. Nebenschilddrüsen (Parathyreoidea)
 - Parathormon Mobilisierung von Ca aus den Knochen
6. Pankreasinseln
 - Insulin Förderung der Glukoseverwertung und Fettbildung
 - Glukagon Förderung der Glukosemobilisierung aus Leberglykogen
7. Nebennierenrinde (NNR)
 - Glukokortikosteroide Förderung der Neubildung von Glukose

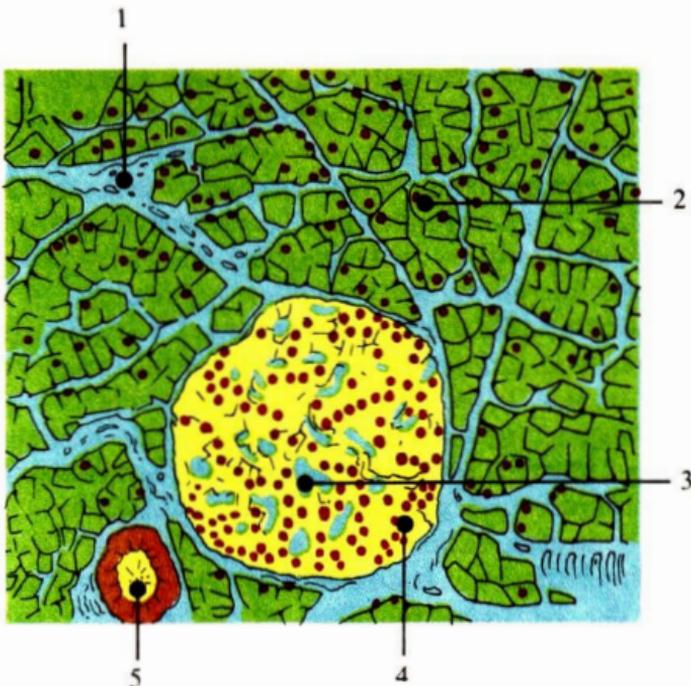
Mineralokortikosteroide	Regulation des Na-, K- und Cl-Stoffwechsels
8. Nebennierenmark (NNM)	
Adrenalin	Förderung des Glykogenabbaues
Noradrenalin	Regulation des Blutdrucks
9. Zwischenzellen der Hoden	
Testosteron	Förderung der Fortpflanzung beim männlichen Geschlecht
10. Eierstock	
Östrogene, Progesteron	Förderung der Fortpflanzung beim weiblichen Geschlecht

wird als Zwischenhirn-Hypophysensystem bezeichnet. Im Hypothalamus liegen wichtige Zentren für die Regulation der Nahrungsaufnahme, der Fortpflanzung und der Körpertemperatur. Bestimmte Nervenzellen des Hypothalamus haben Meßfühler für den Gehalt des Blutes an Steroidhormonen, für den osmotischen Druck (Osmorezeptoren) bzw. für die Bluttemperatur (Thermorezeptoren). Die Meßwerte bilden die Grundlage zur Regulation der Abgabe stoffwechselwirksamer Hypophysenhormone. Dabei sind Botenstoffe wirksam, die die Sekretion von Hormonen der Hypophyse fördern bzw. hemmen.

Die Hypophyse ist beim Menschen nur erbsengroß: Sie besteht aus dem Vorder-, dem Mittel- und dem Hinterlappen. Die Hormone des Hypophysenhinterlappens – Oxytozin und Vasopressin – werden in bestimmten Nervenzellen des Hypothalamus gebildet und über die Nervenfasern in den Hinterlappen transportiert, wo sie gespeichert und bei Bedarf abgegeben werden. Die Gehirnanhangsdrüse ist über den Hypophysenstiel, der beim Menschen etwa 1 Million Nervenfasern enthält, mit dem Hypothalamus verbunden.

Einiges über Drüsenhormone

Die Hormondrüsen können die Sekretion der Hormone dem jeweiligen Bedarf schnell anpassen. In den meisten hormonbildenden Zellen liegt ein gewisser Hormonvorrat



Aufbau einer Langerhansschen Insel. In den A-Zellen (Anteil: 20 %) wird Glukagon und in den B-Zellen (80 %) Insulin produziert. Der Anteil der etwa 1 bis 2 Millionen Inseln am Gesamtgewicht der Bauchspeicheldrüse beträgt nur etwa 2 bis 3 %.

1 – Bindegewebe; 2 – Drüsenzellen mit Enzymproduktion; 3 – Blutgefäße; 4 – Inselzellen mit Hormonproduktion; 5 – Ausführungsgang für Pankreassekret

an Eiweiß gebunden »auf Lager«. In den B-Zellen der Pankreasinseln beispielsweise verfügt der gesunde Mensch über einen Insulinvorrat für etwa 10 Tage.

Gemessen an ihrer sekretorischen Leistung ist die Masse der Hormondrüsen klein: So wiegen beim Menschen die Hypophyse nur 0,5 bis 0,8 g, die Schilddrüse 20 bis 35 g, die Pankreasinseln 1 bis 3 g und die Nebennieren 10 bis 15 g. Das Verhalten eines Menschen wird – außer von den Erbanlagen und der Umwelt – maßgeblich durch die Keimdrüsenhormone sowie durch das Thyroxin beeinflusst. Einige Zeit vor dem Eintritt der Geschlechtsreife werden vom HVL in steigendem Umfange keimdrüsenanregende Hormone (Gonadotropine) abgegeben, die das Wachstum der Keimdrüsen (Gonaden) und die Bildung von Keimdrüsenhormonen fördern. Die Fortpflanzungsorgane erreichen dadurch ihre volle Funktionsfähigkeit. Beim

Knaben kommt es im Alter von etwa 14 Jahren zum Stimmbruch und zur Ausbildung der männlichen Stimme, die Barthaare werden ausgebildet, der Geschlechtstrieb entwickelt sich. Die genannten Veränderungen werden durch das männliche Keimdrüsenhormon Testosteron ausgelöst. Beim Mädchen bewirken die Östrogene und das Progesteron die volle Ausreifung der Fortpflanzungsorgane.

Das Thyroxin ist für das Wachstum sowie für die geistige Entwicklung und Leistungsfähigkeit von Bedeutung. Ist die Sekretion von Thyroxin während der Jugendentwicklung ungenügend, so entsteht Zwergwuchs. Ein völliger Mangel an Thyroxin hat eine ungenügende Entwicklung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit zur Folge: In schweren Fällen bildet sich Kretinismus (lat.: cretino, Dummkopf) mit hochgradigem Intelligenzmangel aus. Für die Körperentwicklung ist ferner noch das Wachstumshormon des HVL von großer Bedeutung, dessen ungenügende Sekretion gleichfalls zu Zwergwuchs führt.

Hormone sind auch bei der möglichst optimalen Verwertung der Nährstoffe beteiligt. Thyroxin und Trijodthyronin fördern die Verbrennungsvorgänge in den Mitochondrien. Der Umfang der Verbrennungsvorgänge ist sehr wesentlich von der Arbeitsleistung – das heißt vom ATP-Verbrauch – abhängig. Außerdem beeinflussen Außentemperatur, Körpermasse, Alter und Geschlecht den Energieumsatz. Im Ruhezustand verbraucht ein Mensch mit einer Körpermasse von 75 kg etwa 1800, bei leichter Tätigkeit 2500 und bei schwerer Arbeit bis zu 4500 kcal je Tag. Für die Aufrechterhaltung der Körperfunktionen benötigt unser Organismus schon im Ruhezustand eine beträchtliche Menge an Energie und an Eiweiß. Den Energieumsatz im nüchternen Zustand – also ohne vorhergehende Nahrungsaufnahme – und bei körperlicher Ruhe bezeichnet man als Grundumsatz.

Bei starker Arbeitsleistung und bei Kälte (wenn Wärmeverluste bestehen) nimmt der Umfang der Verbrennung an Nährstoffen zu. Die Sekretion von Thyroxin und Trijodthyronin wird dabei durch das schilddrüsenanregende Hormon (TSH) aus dem HVL stark gefördert. Je nach Bedarf werden von der Schilddrüse des Menschen pro Tag

Durchschnittlicher Anteil der Masse und des O₂-Verbrauchs der verschiedenen Organe des Menschen an der Gesamtmasse bzw. am Gesamt-O₂-Verbrauch unter Grundumsatzbedingungen

	Masse in g	Anteil an Gesamt- masse in %	O ₂ -Ver- brauch in ml/ 100 g/ min	O ₂ -Ver- brauch des Organs in ml/ min	Anteil am O ₂ -Ver- brauch des Körpers in %
Gehirn	1425	2,0	3,3	47,0	19,6
Leber	1500	2,1	4,0	60,0	25,0
Nieren	290	0,4	6,0	17,4	7,3
Herz	320	0,45	6,0	19,2	8,1
Skelett- muskula- tur	29000	42,0	0,17	49,3	20,1
Knochen	11000	16,0	0,05	5,5	2,3
sonstige Organe	26465	37,0	0,15	41,6	17,6
Gesamt- körper	70000		0,35		

0,05 bis 0,15 mg Thyroxin und 0,02 bis 0,03 mg Trijodthyronin abgegeben. Daraus ersehen wir, daß die Hormone ihre regulatorischen Wirkungen schon in sehr kleinen Mengen entfalten!

Bei der Verwertung des Traubenzuckers spielt das Insulin eine wichtige Rolle. Normalerweise werden davon etwa 1 bis 2 mg täglich von den B-Zellen der Langerhanschen Inseln der Bauchspeicheldrüse produziert und an das Blut abgegeben. Die Pankreasinseln wurden erstmals 1869 von dem Histologen Langerhans beschrieben und werden ihm zu Ehren als »Langerhanssche Inseln« bezeichnet. Das Insulin fördert die Verbrennung des Traubenzuckers sowie die Bildung von Fett (Energiedepot) und von Glykogen (Reservekohlenhydrat). Der Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus) liegt meist ein Mangel an Insulin zugrunde: Wegen der schlechten Verwertung steigt der Gehalt an Traubenzucker im Blut stark an, und dieser wird zum Teil mit dem Harn ausgeschieden.

Von den Gewebshormonen

Gewebshormone werden in zahlreichen Geweben gebildet. In den meisten Abschnitten des Nervensystems wird von den Nervenzellen bei der Übertragung der Erregung von einer Nervenfasern auf eine andere in den Synapsen das Azetylcholin eingesetzt. Es ist auch bei der Erregungsübertragung von den Nervenfasern auf die »Befehlsempfänger«, also z. B. die Muskelfasern und die Drüsenzellen, wirksam. Im sympathischen Teil des Nervensystems werden Adrenalin und Noradrenalin zur Informationsvermittlung an die Effektorzellen verwendet. Die Neurohormone werden beim Einlaufen eines elektrischen Signals am Ende der einen Nervenfasern aus Bläschen (»Vorratsbehältern«) freigesetzt und diffundieren durch den Synapsenspalt auf die andere Nervenfasern. Hier lösen sie eine Erregung (Depolarisation) an der Membran aus, die als Aktionspotential weitergeleitet wird. Danach werden die Neurohormone rasch abgebaut, z. B. das Azetylcholin, oder zum Teil wieder in die Bläschen aufgenommen wie das Adrenalin und das Noradrenalin.

Zu den Gewebshormonen gehören auch die Prostaglandine (lat.: glandula, Drüse). Sie wurden erstmals im Sekret der Vorsteherdrüse, der Prostata, nachgewiesen und sind bei der Beeinflussung des Kontraktionszustandes der glatten Muskulatur, bei der Fettmobilisierung aus dem Fettgewebe sowie bei der Rückbildung des Gelbkörpers wirksam. Gewebshormone sind auch in den Verdauungsorganen bei der Förderung der Abgabe von Verdauungsekreten beteiligt. So fördert das Gastrin die Sekretion von Magensaft und das Sekretin die von Pankreassaft. Eine zweifache Wirksamkeit entfaltet das Cholezystokinin – Pankreozymin, das die Abgabe eines enzymreichen Bauchspeichels und die Gallenabgabe (griech.: chole, Galle) aus der Gallenblase fördert.

Auf die Verdauung kommt es an

Essen und Trinken gehören bei vielen Menschen zu den beliebtesten »Tätigkeiten«; dabei gilt es, mit Bedacht zu genießen und die Grundregeln einer gesunden Ernährung zu beherzigen. Die Nahrung sollte möglichst vielseitig sein und nicht nur den Bedarf an Energieträgern (Kohlenhydraten, Fetten) und an Eiweiß, sondern auch den an Vitaminen, Mineralstoffen und Spurenelementen decken. Etwa 30 bis 40% des Eiweißes sollten tierischer Herkunft sein, also in Form von Fleisch-, Fisch-, Milch- und Eiereiweiß verzehrt werden. Das Eiweiß liefert unserem Körper die für die Erneuerung des Eiweißbestandes notwendigen, nicht selbst synthetisierbaren (essentiellen) Aminosäuren. Je nach Energieverbrauch, Alter und Ernährungsgewohnheit nimmt der Mensch täglich etwa 400 bis 800 g Kohlenhydrate, etwa 40 bis 150 g Fettstoffe und 50 bis 140 g Eiweißstoffe auf. Im Verlaufe eines 70jährigen Lebens werden von einem Menschen – unter Zugrundelegung der bei uns üblichen Ernährungsgewohnheiten – etwa 14 000 kg Kohlenhydrate, etwa 1500 kg Eiweißstoffe und etwa 3000 kg Fettstoffe verbraucht.

Der Umfang der Nahrungsaufnahme ist vom Energieverbrauch sowie von den Ernährungsgewohnheiten abhängig. Nach schwerer Arbeit nimmt man meist mehr Nahrung auf. Die Nahrungsaufnahme wird von einem Hunger- und von einem Sättigungszentrum im Zwischenhirn reguliert, das Informationen über den Traubenzuckergehalt im Blut, die Temperatur des Blutes und die Magenfüllung empfängt. Bei längerem Aufenthalt in der Kälte empfinden wir nach einiger Zeit einen kräftigen Hunger, da die niedrige Umgebungstemperatur eine ge-

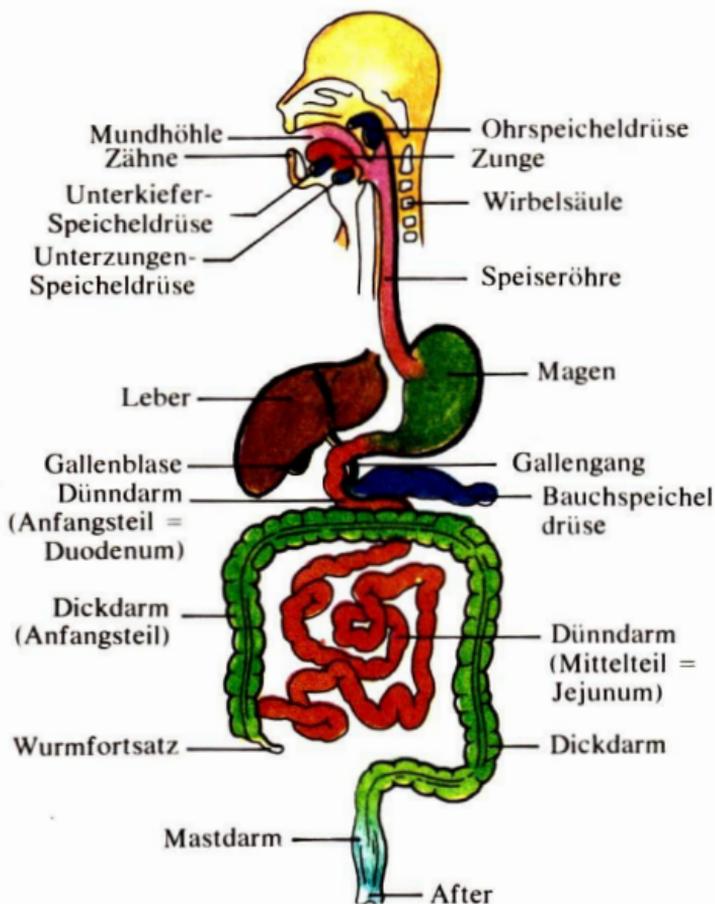
steigerte Verbrennung von Nährstoffen (Wärmebildung) und Wärmeabgabe verursacht und sich die Temperatur des Blutes geringfügig vermindert.

Von der Tätigkeit unserer Verdauungsorgane wird uns meist nur die Aufnahme der Nahrung und die Abgabe des Kotes bewußt. Schon das Abschlucken eines Bissens erfolgt automatisch. Auch die Sekretion der Drüsen des Magen-Darm-Kanals und die Bewegungsvorgänge in diesem System werden automatisch reguliert, sind jedoch in bestimmtem Umfange von der Großhirnrinde aus beeinflussbar. So wird z. B. durch die Vorstellung von einem wohlschmeckenden Schnitzel die Sekretion der Speicheldrüsen angeregt, uns »fließt das Wasser im Munde zusammen«. Umgekehrt kann heftiger Ärger die Entleerung der Gallenblase beeinflussen und uns den »Appetit verderben«.

Wie die Nahrung im Verdauungskanal verarbeitet wird

Die Nahrung wird mit Hilfe der Lippen, der Zähne und der Zunge in die Mundhöhle aufgenommen, nötigenfalls durch Kauen zerkleinert und abgeschluckt. Auf das Kauen konzentrieren wir uns meist nicht bewußt. Dieser Vorgang läuft unter dem regulatorischen Einfluß von Nervenzellen im verlängerten Mark, dem »Kauzentrum«, automatisch ab. Je Tag werden etwa 1 bis 1,5 l Speichel gebildet. Während der Nahrungsaufnahme nimmt die Sekretion von Speichel zu: Er dient der Durchfeuchtung der Speisen und der Erleichterung des Abschluckens der Bissen. Die schlüpfrige Beschaffenheit des Speichels ist auf Schleimstoffe (Muzine) zurückzuführen. Der Speichel des Menschen enthält ein stärke-spaltendes Enzym (Amylase).

Unser Magen kann etwa 1 bis 2,5 l Nahrungsbrei aufnehmen und speichern. Das Eiweiß wird im Magen durch die Salzsäure des Magensaftes ausgefällt (denaturiert); dort finden auch Quellungs- und Abbauvorgänge statt. Die Magenschleimhaut enthält beim Menschen etwa 10 bis 20 Millionen Drüsen, die je Tag 2 bis 3 l Magensaft bilden. Die Hauptbestandteile des Magensaftes sind eiweiß-



Die Verdauungsorgane des Menschen

abbauende Enzyme (Pepsin, Kathepsin), Schleimstoffe (Muzine), Salzsäure und das Hämopoetin. Das Pepsin zerlegt die Eiweißstoffe in kleinere Bruchstücke: Es wird von den Hauptzellen der Magendrüsen in einer inaktiven »verpackten« Form abgegeben und im Mageninhalt durch die Salzsäure aktiviert. Die Salzsäure verhindert Gärungsvorgänge und kann auch krankheitserregende Bakterien abtöten. Das Hämopoetin ist für die Resorption des Vitamins B₁₂ von Bedeutung. Nach der Nahrungsaufnahme steigt die Bildung von Magensaft an. Durch ein periodisch erfolgendes Zusammenziehen der Magenmuskulatur wird der Magensaft mit dem Nahrungsbrei vermischt.

Die Sekretion der Magenschleimhautdrüsen wird durch

kleine Mengen Alkohol, Gewürze, Abbauprodukte der Nahrung und andere Verbindungen gefördert. Wenn sich Nahrungsbrei im Übergangsbereich des Magens in den Dünndarm (dieser Teil wird als Pförtner, Pylorus, bezeichnet) befindet, so wird das Gewebshormon Gastrin (lat.: gaster, Magen) gebildet, das die Sekretion von Magensaft anregt. Die Überführung von Mageninhalt in den Dünndarm erfolgt schubweise im Abstand von 15 bis 20 Sekunden. Die Geschwindigkeit der Entleerung des Magens ist von der Zusammensetzung des Nahrungsbreies abhängig. Nach dem Verzehr fettreicher Speisen kann Nahrungsbrei bis zu etwa 6 Stunden im Magen verbleiben: Wir haben dann lange Zeit ein Sättigungsgefühl. Wenn fettreicher Nahrungsbrei in den Dünndarm übergetreten ist, wird von der Schleimhaut verstärkt das Gewebshormon Enterogastron (lat.: entericus, den Darm betreffend) abgegeben, das den Transport des Mageninhaltes in den Dünndarm verlangsamt. Auf diese Weise werden die relativ langsam spaltbaren Fette im Dünndarm auch bei fettreicher Nahrung zum größten Teil verwertet. Milch, weichgekochte Eier, Weißbrot und Gemüse sind dagegen leichtverdaulich und schon nach etwa 2 bis 3 Stunden abgebaut.

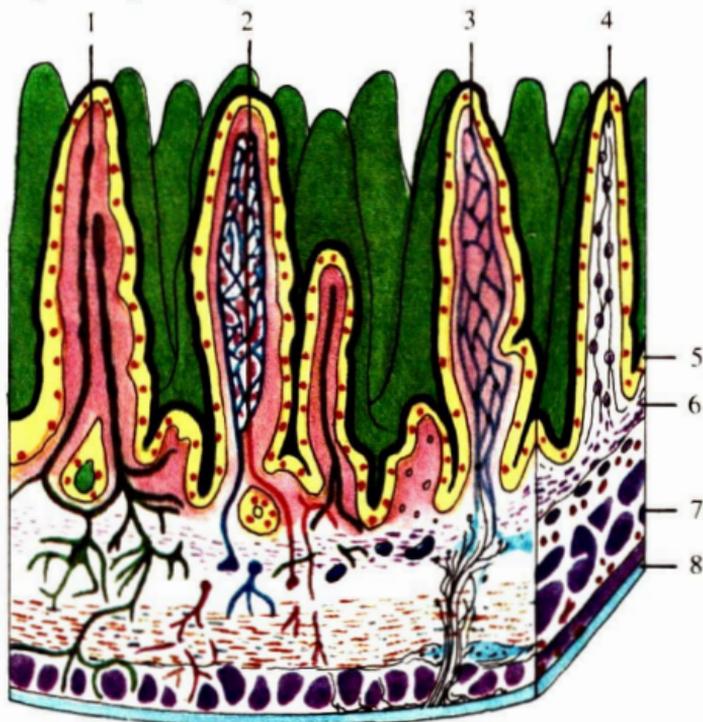
Der Dünndarm ist Hauptort der Verdauungs- und Resorptionsvorgänge. In den ersten Abschnitt des Dünndarms, den Zwölffingerdarm (Duodenum), münden die Ausführungsgänge der Bauchspeicheldrüse und der Gallengang. Die Sekrete der Bauchspeicheldrüse (etwa 0,5 bis 1 l/Tag), der Drüsen der Dünndarmschleimhaut (1 bis 3 l/Tag) sowie der Leber (0,3 bis 0,7 l Galle/Tag) wirken beim Abbau der Nährstoffe eng zusammen. Die Gallensäuren der Galle bilden aus den Fettstoffen feinste Fettkügelchen, die durch die fettspaltenden Enzymmoleküle (Lipase) schnell zerlegt werden können. Weiterhin sind im Dünndarm Enzyme des Eiweiß- und des Kohlenhydrat-Abbaues mit hoher Aktivität wirksam. Dadurch werden die Nährstoffe in gut resorbierbare Verbindungen (Monosaccharide, Aminosäuren, Fettsäuren, Monoacylglyceride, Glycerin u. a.) zerlegt. Zum Teil werden auch Disaccharide und Dipeptide von den Epithelzellen der Dünndarmschleimhaut aufgenommen und erst hier zu Mono-

sacchariden und Aminosäuren gespalten. Die Abgabe von Verdauungssekreten wird durch den Anblick und den Duft der Speisen auf nervalem Wege gefördert. Dabei sind bedingte Reflexe wirksam, d. h., mit dem Essen in Verbindung stehende Reize können nach einiger Zeit der Gewöhnung unabhängig von der Nahrungsaufnahme allein schon eine Förderung der Abgabe von Verdauungssekreten auslösen.

Die Oberfläche der Dünndarmschleimhaut ist durch die Ausbildung von Zotten stark vergrößert, was für die Aufnahme der Verbindungen aus dem Darminhalt und für deren Abtransport von großer Bedeutung ist. Die Zotten

Aufbau des Dünndarms. Die in den Zotten vorhandenen glatten Muskelfasern fördern durch Kontraktion die Resorption. Transport und Durchmischung des Nahrungsbreies erfolgen durch die Kreis- und Längsfasermuskelschicht.

1 – Lymphgefäß; 2 – Blutgefäß; 3 – Nervenzellen und -fasern; 4 – glatte Muskelfasern; 5 – Epithel mit Becherzellen; 6 – Schleimhaut mit glatten Muskelfasern und Nervenzellen; 7 – Muskelschichten mit Nervenzellen und größeren Blut- und Lymphgefäßen; 8 – äußere Begrenzung des Darmes (Serosa)



enthalten Blut- und Lymphgefäße und führen die Nährstoffe, Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente ab. Der Hauptanteil der resorbierten Verbindungen wird zur Leber transportiert und hier zu einem Teil verarbeitet und gespeichert bzw. bei Bedarf wieder abgegeben. Die Leber ist daher für die Erhaltung einer gleichbleibenden Zusammensetzung des Blutes von großer Bedeutung. Die Schleimhaut des menschlichen Dünndarms hat etwa 7 Millionen Zotten: Das ergibt eine Oberfläche von etwa 2000 m^2 .

Der Dünndarminhalt wird ständig durchmischt und in Richtung Dickdarm weitertransportiert. Die Bewegungsvorgänge fördern die Verdauung und Resorption im Dünndarm. Die Zotten können sich kontrahieren, wodurch das Blut und die Lymphe aus den Blut- und Lymphkapillaren der Zotten abgeführt werden. Die Epithelzellen haben an der Oberfläche viele Mikrozotten, das sind kleine Fortsätze, die eine weitere starke Vergrößerung der resorptionswirksamen Oberfläche schaffen.

Im Dickdarm werden vorwiegend nur noch Wasser und Salze resorbiert; der Darminhalt wird dadurch eingedickt. Die Dickdarmschleimhaut ist in der Lage, organische Verbindungen zu resorbieren, so daß auch Medikamente, die als Zäpfchen in den Endabschnitt des Dickdarms, den Mastdarm, eingeführt werden (z. B. Beruhigungsmittel, fiebersenkende Mittel), ihre volle Wirkung haben. Im Mastdarm kommt es zur Bildung des Kotes, der schließlich abgesetzt wird. Den Drang zur Kotabgabe verursacht ein bestimmter Füllungszustand des Mastdarmes. Der Dickdarm enthält eine vielseitig zusammengesetzte Bakterienflora, deren Tätigkeit zu Gärungs- und Fäulnisvorgängen und zur Bildung der Darmgase führt.

Von den Versorgungseinrichtungen

Zu den alltäglichen »Sünden« vieler Menschen gehört ein zu hoher Verbrauch sowohl an Zigaretten als auch an Kaffee und Tee.

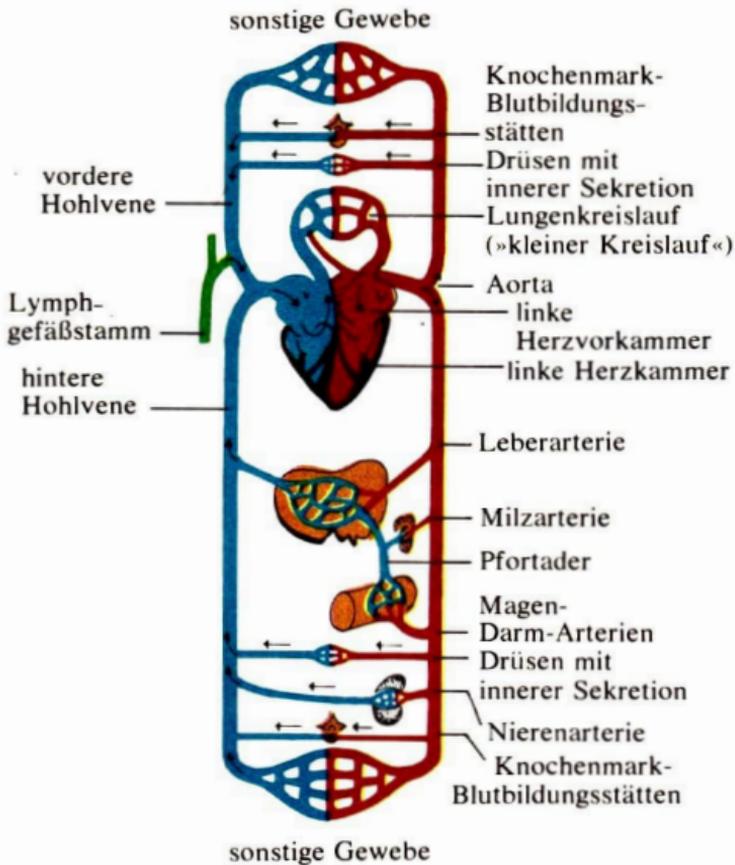
Diese Genußmittel wirken – in mäßigen Mengen genossen – anregend und sind daher mit Recht sehr beliebt. Werden ständig große Mengen verbraucht, dann verringert sich ihre anregende Wirkung immer mehr, denn der Körper setzt dann verstärkt Enzyme für den Abbau der Wirkstoffe Nikotin, Koffein usw. ein. Während des Rauchens und kurze Zeit danach wirkt das aufgenommene Nikotin zunächst auf das autonome Nervensystem erregend, dann entsteht Wohlbehagen und die Aufmerksamkeit nimmt zu. Dagegen wird die Herztätigkeit ungünstig beeinflusst: Die das Herz und die Haut versorgenden Arterien verengen sich und der Blutdruck steigt an. Bald läßt jedoch die anregende Wirkung des Nikotins nach, und es entsteht ein Gefühl der Müdigkeit. Der »leidenschaftliche« Raucher greift dann bald erneut zur Zigarette, um sich anzuregen. Insgesamt gesehen sind die Anhänger des Tabaks keinesfalls leistungsfähiger, meist viel unkonzentrierter und leichter erregbar (»nervös«). Besonders bedenklich ist der anhaltend übermäßige Zigarettenkonsum für die Herzfunktion. Ärztliche Untersuchungen ergaben, daß ein zu hoher Verbrauch an Zigaretten und an Kaffee bei der Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen eine maßgebliche Rolle spielt. Ein übermäßiger Verbrauch von Kaffee und Tee begünstigt das Auftreten von Nervosität und Schlaflosigkeit erheblich. Man sollte daher Tabak, Kaffee und Tee mit »Köpfchen«, also in mäßigen Mengen, genießen.

Was Herz und Gefäße leisten

Das Herz, die Gefäße, das Blut und die Lymphe bilden in unserem Körper eine funktionelle Einheit: Es sind die »Versorgungseinrichtungen« mit O_2 sowie mit Nähr- und Wirkstoffen, mit Elektrolyten usw. Zugleich dienen sie dem Transport von Endprodukten des Stoffwechsels (z. B. von Harnstoff, CO_2) zu den Organen der Ausscheidung (Nieren, Lungen). Das Herz ist der Motor für die Bewegung des Blutes durch die Gefäße, dessen Leistung vom Bedarf an Sauerstoff bzw. von der CO_2 -Bildung in den Geweben abhängig ist. Bei starker Arbeitsleistung nimmt die Pumptätigkeit des Herzens innerhalb von wenigen Sekunden um etwa das 5- bis 8fache zu.

Das Herz ist in eine linke und eine rechte Hälfte geteilt, die völlig voneinander getrennt sind. Jede Herzhälfte besteht aus einer Vorkammer und einer Kammer. Die Tätigkeit des Herzens können wir am besten verstehen, wenn wir den Weg des Blutes durch dieses Organ verfolgen. Das O_2 -arme Blut aus dem großen Körperkreislauf wird der rechten Herzvorkammer durch die große (hintere) Hohlvene zugeführt. Zu Beginn der Zusammenziehung des Herzens gelangt das Blut aus der rechten Vorkammer in die rechte Kammer bzw. aus der linken Vorkammer in die linke Kammer. Von der rechten Herzkammer aus wird das Blut über die Lungenarterien in die Lunge gepumpt. Die Lungen sind große Belüftungsanlagen: Hier wird das Hämoglobin des Blutes mit O_2 beladen; gleichzeitig wird CO_2 abgegeben. Das mit O_2 beladene, hellrote »arterielle« Blut wird nun über die Lungenvenen der linken Vorkammer und dann der linken Kammer des Herzens zugeführt. Bei jedem Herzschlag wird dann das arterielle Blut über die Aorta den verschiedenen Geweben für den Zweck der O_2 -Versorgung zugeführt. Bei der Kontraktion werden die Kammern durch die Herzklappen gegen die Vorkammern hin verschlossen, so daß das Blut unter Druck gesetzt und ausgepumpt werden kann.

Für die Erholungsphase steht dem Herzmuskel nur jeweils eine kurze Zeitspanne zur Verfügung. Der Herzmuskel wird daher sehr stark durchblutet: etwa 5 bis 10% des ausgepumpten Blutes durchströmen den Herzmuskel,



Der Blutkreislauf der Säugetiere

etwa 15 % das Gehirn, etwa 20 bis 25 % die Nieren und etwa 25 bis 35 % die Muskulatur und die Haut. Der Herzmuskel besteht aus Millionen von Muskelfasern, die eine funktionelle Einheit bilden. Jede Herzmuskelfaser enthält etwa 300 bis 700 kleine Einheiten, die Myofibrillen. Jede Myofibrille besteht aus etwa 200 bis 1000 kleinsten Myofilamenten (Aktin- und Myosinfilamente), den Elementareinheiten für die Kontraktion.

Das Herz verfügt über eine eigene Regulationsanlage, die weitgehend automatisch arbeitet. Der »Schrittmacher« der Herztätigkeit ist der im rechten Vorhof (Sinus) gelegene Sinusknoten, dessen Zellen die erstaunliche Fähigkeit haben, selbständig in einem bestimmten Rhythmus

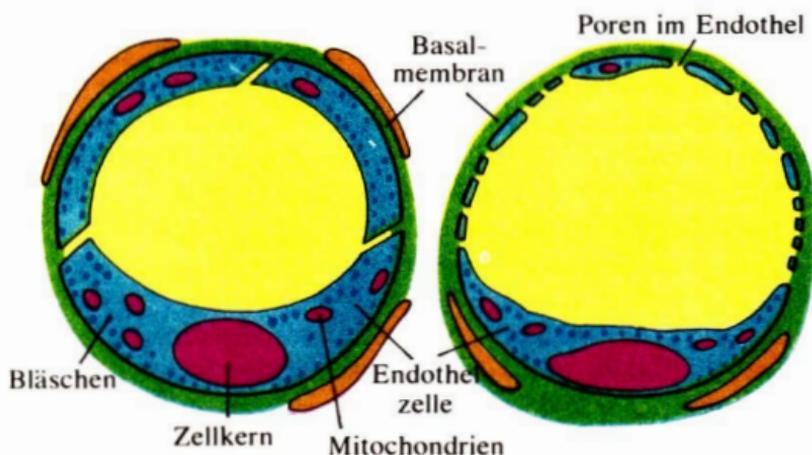
Erregungen zu bilden. Von dort aus breitet sich die Erregung auf die Muskulatur der Vorkammern aus, die dadurch zum Zusammenziehen veranlaßt wird (Vorkammerkontraktion). Die Erregung greift dann auf den an der Grenze zwischen dem rechten Vorhof und den Herzkammern gelegenen Vorhof-Kammer-Knoten (Atrioventrikularknoten) über, der die Erregung über ein Kabel, das Hißsche Bündel, auf die Muskulatur der Kammern verteilt und diese zur Kontraktion bringt. Vorkammern und Kammern kontrahieren sich daher in sehr zweckmäßiger Weise jeweils nacheinander. Jeder erhöhte Einstrom von Blut in die rechte Vorkammer läßt die Pumpleistung ansteigen. Das Erregungsbildungs- und Leitungs-System des Herzens kann über Nervenfasern vom Großhirn aus beeinflußt werden: Bei starkem Schreck steigt die Zahl der Herzschläge infolge einer Aktivierung der Herztätigkeit durch den Sympathikus an.

In der Jugend ist die Anpassungsfähigkeit des Herzmuskels an unterschiedliche Belastungen sehr groß: Die Herzarterien sind elastisch, und ihre Durchblutung kann in beträchtlichem Umfange gesteigert werden, so daß dem Herzmuskel im Bedarfsfalle große Mengen an Nährstoffen und an Sauerstoff zur Verfügung gestellt werden können. Von der Mitte des Lebens an läßt das Vermögen zur Anpassung an starke Belastungen allmählich nach, da die Elastizität der Arterien abnimmt. Dabei finden eine Verminderung des Gehalts an elastischen Fasern und eine Zunahme an Kollagen in der Mittelschicht der Arterien statt: Diese Veränderungen werden durch die verstärkte Einlagerung von Fettstoffen (Cholesterin) in der Arterieninnenschicht ausgelöst. Auf die Entwicklung der Arteriosklerose sind die Ernährung und der Umfang der körperlichen Beanspruchung von Einfluß. Wenn bei schwerer körperlicher Arbeit O_2 -armes und CO_2 -reiches Blut vermehrt zum Herzen zurückströmt, dann kann wegen der geringen Elastizität der arteriosklerotisch veränderten Arterien die Pumpleistung der Kammern nicht mehr in notwendigem Umfange gesteigert werden, so daß die O_2 -Versorgung der Gewebe unzureichend wird; der Mensch versucht durch kräftiges Atmen, »nach Luft schnappen«, das Defizit auszugleichen. Bald muß jedoch

zwangsläufig eine Ruhepause eingeschaltet werden, damit der Energie- und Sauerstoffbedarf vermindert und so der O_2 -Mangel allmählich ausgeglichen wird. Eine durch krankhafte Vorgänge ausgelöste Kontraktion kleiner Arterien führt im Herzmuskel wegen des hohen O_2 -Verbrauchs in dem betroffenen Abschnitt rasch zu einem O_2 -Mangel: Der betroffene Bezirk wird schnell geschädigt, so daß die Muskelfasern absterben und sich ein Herzinfarkt (lat.: infarcire, hineinstopfen) ausbildet. Vom Herzinfarkt werden vorwiegend Menschen mit ungesunder Lebensführung (Übergewicht, zu wenig Bewegung, allgemeine Überlastung, hoher Verbrauch an Zigaretten, Kaffee und Tee) betroffen.

Im Ruhezustand werden beim Menschen aus jeder Herzkammer etwa 70 ml Blut je Herzschlag ausgepumpt: Das sind bei 60 Kontraktionen je Minute 4,2 Liter Blut. Bei starker Arbeitsleistung kann die Pumpleistung je Herzkammer bis auf 35 Liter je Minute erhöht werden. Das Herz eines Menschen schlägt im Laufe eines 70jährigen Leben insgesamt etwa dreimilliardenmal und pumpt dabei etwa 210 Millionen Liter Blut aus jeder Herzkammer. Bei durchschnittlich 70 Herzschlägen pro Minute führt unser Herz täglich 100 800 Kontraktionen aus. Bei körperlicher

Querschnitt durch Haargefäße (Kapillaren) verschiedener Struktur: links – allgemeiner Aufbau; rechts – Kapillare aus einem Gefäßknäuel (Glomerulum) der Niere. Hier haben die Endothelzellen Poren, die die Bildung des Primärfiltrats erleichtern.



Ruhe wird uns die Herztätigkeit meist nicht bewußt, starke Arbeitsleistung läßt uns die Herztöne als kräftiges Pochen wahrnehmen. Der erste Herzton entsteht beim Zusammenziehen der Kammermuskulatur (Kammerton), der zweite beim Schluß der in den Gefäßen gelegenen Taschenklappen (Klappenton), die dem Zurückströmen des Blutes in das Herz entgegenwirken.

Das Blut wird über die Arterien den Geweben zugeführt. Die Arterien gliedern sich dabei in immer kleinere Gefäße, die Arteriolen auf, die schließlich in die Kapillaren übergehen. Der Aufbau der Kapillaren, auch Haargefäße genannt, ist in den einzelnen Geweben verschieden. Im Bereich der Leber enthalten sie Lücken, die einen besonders intensiven Stoffaustausch mit den Zellen ermöglichen. Eine Kapillare ist etwa 1 mm lang und etwa 8μ dick: Sie besteht aus einer dünnen Zellschicht, so daß ein schneller Austausch von Nährstoffen sowie von O_2 und CO_2 möglich ist. Die Aufspaltung der Arteriolen in ein umfangreiches Netz von Kapillaren vergrößert die Oberfläche für den Stoffaustausch beträchtlich. Die Gesamtoberfläche der Kapillaren beträgt beim Menschen etwa $7000 m^2$. In den Kapillaren nimmt die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes auf etwa $0,6 mm/s$ ab: In der Aorta hingegen beträgt sie etwa $600 mm/s$.

Im Anfangsteil der Kapillaren tritt ein gewisser Teil der Plasmaflüssigkeit in das Gewebe über. Die Gewebeflüssigkeit sammelt sich zum Teil in den Lymphkapillaren, die gleichsam als »Drainageröhren« im Gewebe wirken. Die Lymphkapillaren vereinigen sich zu größeren Lymphgefäßen, und diese münden in Lymphknoten ein. Lymphknoten dienen als Reinigungsanlagen der Lymphe von Bakterien und anderen Fremdkörpern. In den Lymphknoten werden der Lymphe Lymphozyten (Lymphzellen) zugefügt. Über größere Lymphgefäße mündet der Lymphfluß schließlich in die Venen ein.

Aus den Kapillaren des großen Körperkreislaufs geht das Blut in kleine Venen und von diesen in große Venen über, die in der rechten Vorkammer des Herzens münden. Der Rückfluß des Blutes zum Herzen erfolgt hauptsächlich auf Grund des Druckunterschieds zwischen den Kapillaren und den großen Venen.

Wichtiges vom Blut

Das Blut besteht zu etwa 35–45% aus Zellen, den Blutkörperchen, und zu etwa 55–65% aus Blutplasma. Hauptfunktion des Blutes ist der Transport von Nährstoffen, von Endprodukten des Stoffwechsels, von Hormonen, von O_2 und von CO_2 . Sämtliche Bestandteile des Blutes befinden sich in ständigem Austausch mit Molekülen der Gewebeflüssigkeit und der Zellen bzw. erneuern sich fortlaufend. Langlebige Zellen sind die roten Blutkörperchen (Erythrozyten), sie haben beim Menschen eine Lebenszeit von etwa 100 bis 120 Tagen. In der Milz, die auch als »Friedhof« der Erythrozyten bezeichnet wird, werden sie abgebaut. Erneuert werden die roten Blutkörperchen aus dem Knochenmark, wo sich ihre Vorstufen, die Erythroblasten, in ständiger Teilung befinden. Für die Bildung der Erythrozyten sind Eisen, verschiedene Vitamine (Vitamin B_6 , Folsäure, Vitamin B_{12}) und essentielle Aminosäuren (Lysin, Histidin) notwendig. Ein Mangel an diesen Stoffen vermindert die Bildung der Erythrozyten bzw. von Hämoglobin, was zu Blutarmut (Anämie) führt.

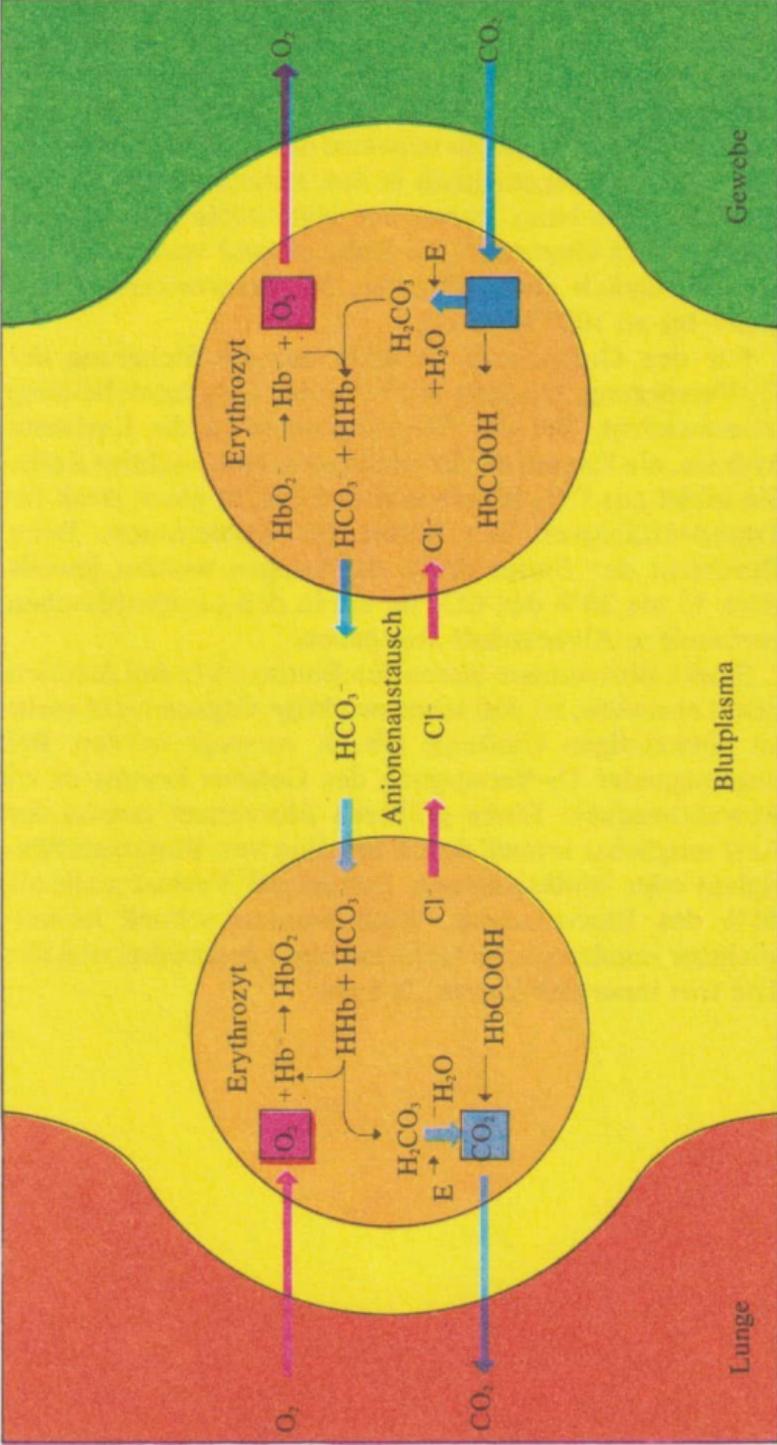
Die weißen Blutkörperchen (Leukozyten) sind eine »Schutztruppe« gegenüber Infektionserregern. Ihre Zahl im Blut schwankt bei Säugetieren zwischen 5000 bis 20 000 pro mm^3 . Es gibt verschiedene Formen von Leukozyten: Die Granulozyten werden im Knochenmark gebildet und enthalten im Zytoplasma Körnchen (Granula), die sich in charakteristischer Weise anfärben lassen. Die Monozyten sind relativ große »Freßzellen«, die kleine Fremdkörper und Bakterien aufnehmen und abbauen (Makrophagen). Die Lymphozyten stammen aus dem Thymus (T), den Lymphknoten und anderen lymphatischen Geweben sowie aus dem Knochenmark. Die T-Lymphozyten sind langlebig und Träger der zellständigen Immunität. Die aus den anderen lymphatischen Geweben stammenden B-Lymphozyten haben ein »Gedächtnis« für immunologische Informationen (Antigenstruktur) und können nach Kontakt mit bestimmten Fremdeiweißstoffen in Plasmazellen übergehen und Abwehreiweißstoffe (Immunglobuline) bilden. Die Granulozyten und kurzlebigen Lymphozyten haben eine Lebenszeit von nur etwa 1 bis 4 Tagen.

Die Blutplättchen (Thrombozyten) sind für die Blutgerinnung nach der Verletzung von Gefäßen von Bedeutung. Es handelt sich um nur wenige Tage lebensfähige Zellbruchstücke, die durch Zerfall von großen Zellen (Megakaryozyten) im Knochenmark entstehen. Werden Gefäße verletzt, dann sammeln sich an der Verletzungsstelle Blutplättchen an und zerfallen hier. Dabei werden gerinnungsfördernde Faktoren frei, die zur Ausbildung eines Fibringerinnsels und damit zum Verschluß des Gefäßes führen.

Das Blutplasma enthält eine Vielzahl von Molekülen und Ionen, die für bestimmte Spezialaufgaben – so z. B. Eiweißmoleküle für den Transport von Verbindungen (Fettsäuren) und Elementen (z. B. Eisen), Ca-Ionen für die Blutgerinnung – eingesetzt werden. Das »Laboratorium« für die Aufrechterhaltung einer weitgehend konstanten Zusammensetzung des Blutplasmas ist die Leber, die zugleich ein wichtiger Speicher für zahlreiche Vitamine und Spurenelemente ist. In der Leber werden die Albumine und ein Teil der Globuline des Blutplasmas gebildet, die gleichfalls ständig erneuert werden: Die Halbwertszeit der Albumine beim Menschen beträgt 20 bis 25 Tage und die der Globuline 15 bis 20 Tage.

Ein Mensch mit einer Körpermasse von 70 kg hat etwa 5,6 Liter Blut. Bei einem Erythrozytengehalt von 5 Millionen/mm³ hat ein Mensch insgesamt 28 Billionen Erythrozyten, ihre Oberfläche ist etwa 4500 m² groß. Die Hauptaufgabe der Erythrozyten ist der O₂- und CO₂-Transport. Der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, ist ein ideales O₂-Transportmolekül. Je Hämoglobinmolekül können 4 O₂-Moleküle gebunden werden, das dadurch in Oxyhämoglobin übergeht. Bei einer Bindung von 1,35 ml O₂ pro g Hämoglobin können bei einem Hämoglobingehalt

Die Funktion der roten Blutkörperchen beim Transport des Sauerstoffs von den Lungen in die Gewebe. Der Transport erfolgt mit Hilfe von Hämoglobin (Hb), das dabei in Oxyhämoglobin (HbO₂⁻) übergeht. Das aus den Geweben in das Blut übertretende Kohlendioxid (CO₂) wird mit Hilfe des in den Erythrozyten vorhandenen Enzyms Karboanhydrase (E) in Bikarbonat (HCO₃⁻) umgewandelt. Ein geringer Teil des Kohlendioxids wird als Karboxyhämoglobin (HbCOOH) transportiert.



von 15 g in 100 ml Blut somit 20,25 ml O_2 transportiert werden. Wandern die Erythrozyten durch die Lungenkapillaren, so wird innerhalb von 0,2 bis 1 s das Hämoglobin zu 99,5 % mit O_2 beladen. In den Geweben gibt dann das Oxyhämoglobin teilweise das O_2 an die Zellen ab. Hier wird es hauptsächlich in den Mitochondrien für die Oxidation des beim Abbau der Nährstoffe gewonnenen Wasserstoffs eingesetzt. Im Ruhezustand verbraucht ein Mensch täglich etwa 400 Liter, bei Schwerstarbeit hingegen bis zu 1000 Liter O_2 .

Für den Organismus ist nicht nur die Sicherung der O_2 -Versorgung, sondern auch die der CO_2 -Ausscheidung lebenswichtig. Bei der CO_2 -Abgabe spielt die Karboanhydrase, ein Enzym der Erythrozyten, eine wichtige Rolle. Sie bildet aus CO_2 Bikarbonat und erhöht damit stark die Transportfähigkeit des Blutes für Kohlensäure. Beim Durchtritt des Blutes durch die Lungen werden jeweils etwa 15 bis 20 % des CO_2 an die in den Lungenbläschen vorhandene Alveolarluft abgegeben.

Starke Blutverluste lassen den Blutdruck in den Arterien rasch absinken, so daß lebenswichtige Organe nicht mehr im notwendigen Umfange mit O_2 versorgt werden. Bei ungenügender O_2 -Versorgung des Gehirns kommt es zu Bewußtlosigkeit. Einen größeren Blutverlust ersetzt der Arzt möglichst schnell durch Infusion von Blutersatzflüssigkeit oder Blutkonserven. Beträgt der Verlust mehr als 40 % des Blutvolumens, dann werden schnell lebenswichtige regulatorische Gehirnzentren geschädigt und der Tod tritt innerhalb kurzer Zeit ein.

Ohne Atmen geht es nicht

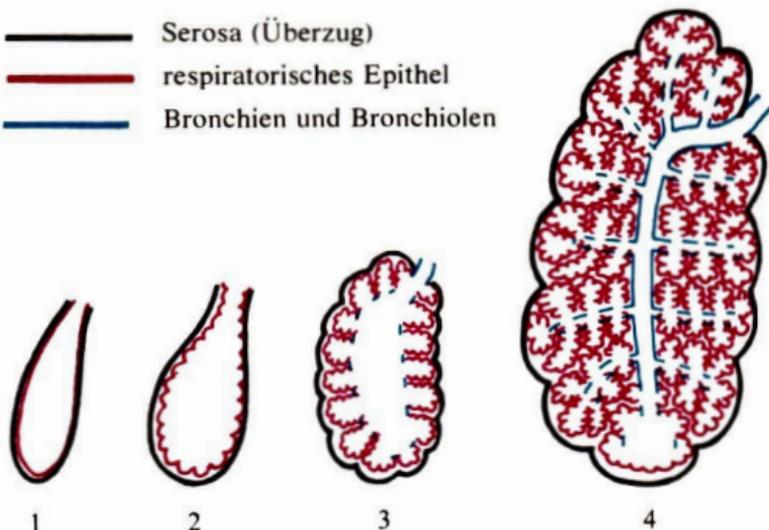
Im 18. Jahrhundert wurde erstmals von dem französischen Chemiker Lavoisier (1743–1794) der Verbrauch von O_2 und die Bildung von CO_2 bei der Atmung nachgewiesen. Er stellte fest: »Im Körper des Menschen laufen im Prinzip die gleichen Verbrennungsvorgänge ab wie in einer lodernen Flamme.«

Unsere Atemmuskulatur ist ununterbrochen tätig, um die Lungen mit Frischluft (O_2) zu versorgen und dabei gleichzeitig CO_2 abzuführen. Der O_2 -Vorrat in den Geweben und im Blut reicht nur für wenige Minuten, so daß ein Erlöschen der Atmung rasch zum Tode führt.

Wir unterscheiden zwischen der äußeren und der inneren Atmung. Die Tätigkeit der Atmungsorgane beim Ein- und Ausatmen der Luft sowie der Gasaustausch in den Kapillaren der Lungen wird als »äußere Atmung« bezeichnet. Die »innere Atmung« ist die Zellatmung. Sie umfaßt den Gasaustausch in den anderen Kapillargebieten des Körpers und die Vorgänge bei der Oxidation des Wasserstoffs in den Mitochondrien. Die bei der Verbrennung der Nährstoffe gewonnene Energie wird zu etwa 40% zur Bildung von Adenosintriphosphat (ATP) verwertet, etwa 60% gehen in Wärmeenergie über. Wird die O_2 -Versorgung unterbrochen, so nimmt die ATP-Bildung in den Zellen innerhalb weniger Sekunden bereits stark ab, und dadurch werden wichtige Zellfunktionen geschädigt. Besonders empfindlich gegen O_2 -Mangel sind die Nervenzellen, die schon nach kurzer Störung der Durchblutung des Gehirns absterben.

Im Ruhezustand verbrauchen wir etwa 300 ml O_2 /min: Das sind 432 Liter O_2 je Tag. Leichte Bewegung steigert

-  Serosa (Überzug)
-  respiratorisches Epithel
-  Bronchien und Bronchiolen



Vergrößerung der Lungenoberfläche mit wachsender Entwicklungshöhe der Wirbeltiere; 1 – Schwanzlurch, Lunge ohne Einstülpungen, Haut wichtig für die Atmung; 2 – Froschlurch, Lunge mit Einstülpungen, Größe der Lungenoberfläche etwa zwei Drittel der Körperoberfläche; 3 – Reptilien, zunehmende Oberflächenvergrößerung der Lungen; 4 – Säugetiere, Lungenoberfläche etwa um das 50fache größer als die Körperoberfläche

den Sauerstoffverbrauch auf etwa 400 ml/min (576 Liter je Tag). Bei schwerster Arbeit kann der O₂-Verbrauch vorübergehend auf 5000 ml/min zunehmen.

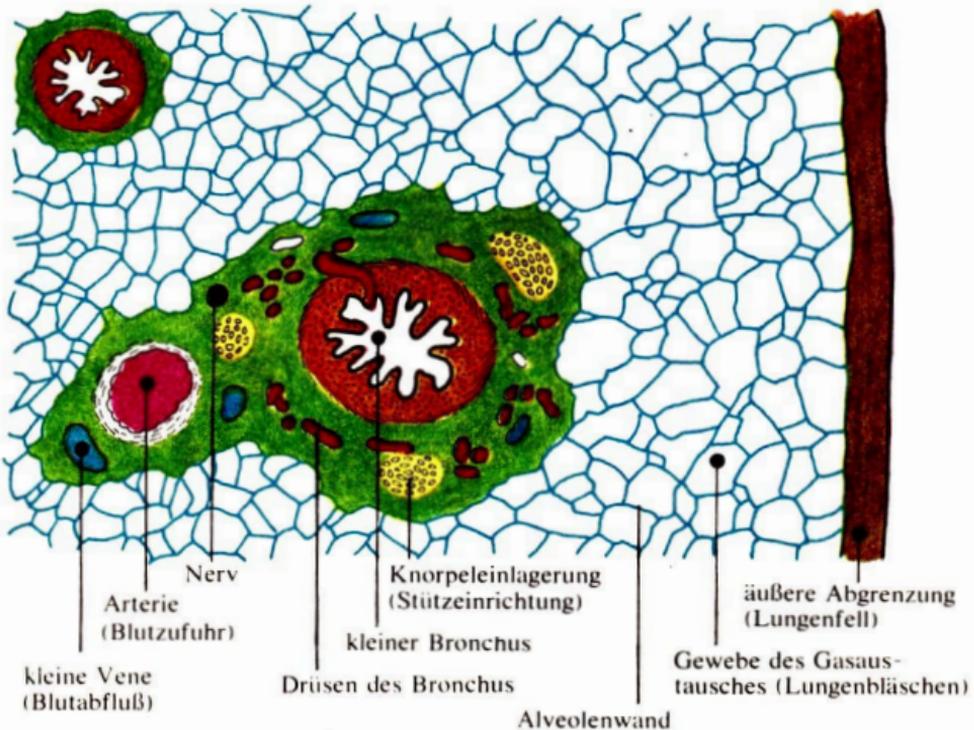
Die Atmung ist ferner für die Abgabe von CO₂ von Bedeutung. Bei leichter Arbeit atmet der Mensch täglich etwa 400 bis 500 Liter CO₂ aus; schwere körperliche Arbeit steigert die CO₂-Bildung um ein Mehrfaches. Das CO₂ wird beim Abbau der Nährstoffe – durch Dekarboxylierung – gebildet.

Die Höherentwicklung bei den Wirbeltieren geht mit einer steigenden Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der Organismen sowie mit einer Erhöhung des O₂-Verbrauchs in den Geweben einher. Die Leistungsfähigkeit der Lungen für den Gasaustausch erhöhte sich. Beim Frosch ist die Innenfläche der Lunge nur etwa 70% der Körperoberfläche groß; die Reptilien haben bereits eine beträchtlich größere Lungenoberfläche. Die Lungen des Menschen enthalten etwa 120 Millionen Lungenbläschen (Alveolen)

mit einer Oberfläche von etwa 100 bis 150 m². Die Gesamtlänge der am Gasaustausch beteiligten Lungenkapillaren beträgt etwa 13 000 m.

Der wichtigste Atemmuskel ist das Zwerchfell. Die Atemmuskeln des Brustkorbs werden vor allem dann eingesetzt, wenn die Atmung verstärkt werden muß. Die Tätigkeit der Atemmuskulatur wird von den Atmungszentren im Hirnstamm mit Hilfe langer Nervenfasern reguliert, so daß die Lungenbelüftung an den jeweiligen O₂-Bedarf des Körpers angepaßt werden kann. Einen großen Reiz zur Erhöhung der Atemtätigkeit bilden ein zunehmender CO₂- bzw. ein abnehmender O₂-Gehalt des Blutes. Die Regulation der Atmung steht in enger Beziehung zur Regulierung der Tätigkeit des Herzens, des Kreislaufs und der Körpertemperatur. Wenn wir schwere körperliche Arbeit leisten, werden die Atem- und die

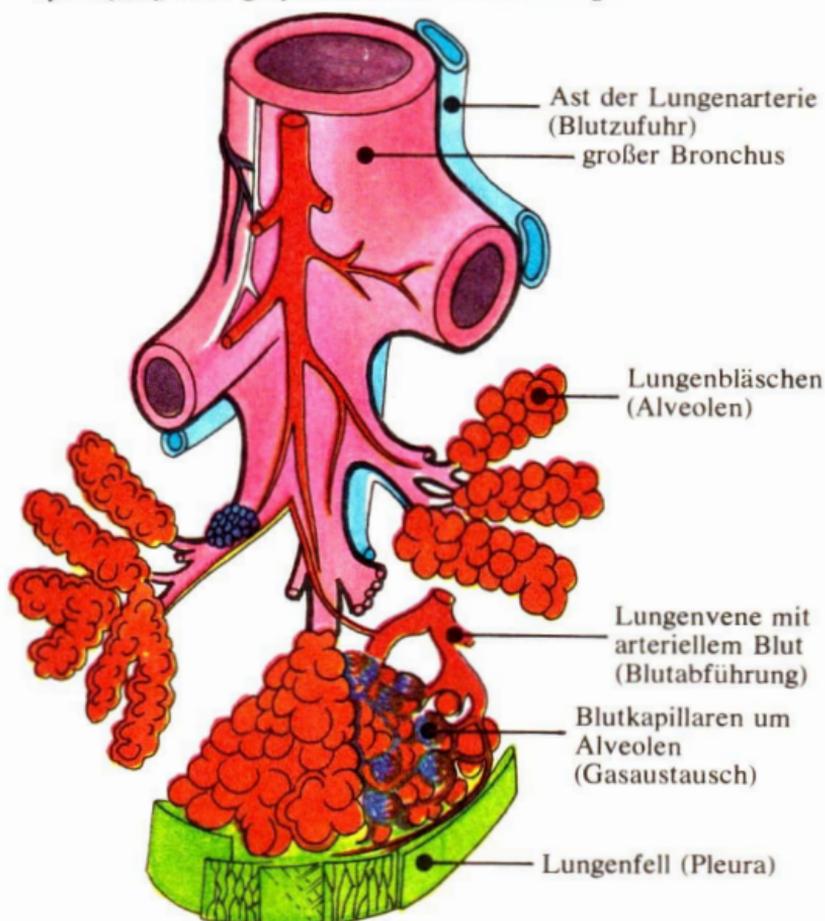
Aufbau der Lunge. Durch die Lungenbläschen erfolgt der Gasaustausch, durch die Bronchien der Gaswechsel, durch die Gefäße die Durchblutung.



Herztätigkeit gemeinsam erhöht. Die Atmungszentren arbeiten weitgehend automatisch: Wir können jedoch die Atmung willkürlich von der Großhirnrinde aus beeinflussen.

Als Atemvolumen bezeichnet man die bei einem Atemzug aufgenommene Luftmenge: Sie beträgt beim Menschen etwa 0,5 Liter. Unter Ruhebedingungen füllen wir die Lunge nicht vollständig mit Luft, einige Anteile bleiben unbelüftet. Das Einatmungs-Reservevolumen – etwa 2 Liter Luft – ist diejenige Luftmenge, die anschließend an eine unbewusste Einatmung durch bewußt angestregtes Einatmen noch zusätzlich aufgenommen werden kann. Beim angestregten Atmen im Verlaufe schwerer Arbeit

Aufzweigung eines großen Bronchus in den Lungen



erreichen wir eine Belüftung des größten Teils der Lungen. Am Ende einer gewöhnlichen Ausatmung kann durch bewußt angestregtes Ausatmen noch eine ganze Menge Alveolarluft aus der Lunge ausgepreßt werden, die das Ausatmungs-Reservevolumen – etwa 1,5 Liter Luft – bildet. Dabei bleibt noch ein Rest von etwa 1,2 Liter Gasgemisch in den Lungen zurück (Residualvolumen).

Als Totraum der Atmungsorgane bezeichnet man die nicht unmittelbar am Gasaustausch beteiligten Abschnitte: Das sind die Nasenhöhle, der Kehlkopf, die Luftröhre und die Bronchien. Im Totraum wird die aufgenommene Luft erwärmt; kleine Staubteilchen der Atemluft werden hier abgelagert und durch das Flimmerepithel nach außen transportiert. Die Nasenhöhle dient der Vermittlung der Geruchsstoffe der Luft bzw. der Nahrung an die Sinneszellen der Riechschleimhaut, der Kehlkopf der Bildung der Sprache. Unter Ruhebedingungen atmen wir etwa 15- bis 20mal/min ein und aus.

Die Lungenbläschen bieten günstige Voraussetzungen für den Gasaustausch, denn die Kapillarmembran ist nur etwa 4μ dick. Das Gasgemisch in den Lungenbläschen besteht zu etwa 12 bis 15% aus O_2 , zu 4 bis 5% aus CO_2 , zu 77 bis 79% aus N_2 und zu 4 bis 6% aus Wasserdampf. Wegen des ständigen Gasaustauschs mit dem Blut liegen der O_2 -Gehalt in den Lungenbläschen niedriger und der CO_2 -Gehalt bedeutend höher als in der uns umgebenden Luft, die durchschnittlich 21% O_2 und 0,03% CO_2 enthält.

Die Nieren: Umfangreiche Filter- und Regulationsanlagen

Die Nieren spielen als Regulationseinrichtungen eine große Rolle: Sie erhalten die Zusammensetzung des Körpers auch bei sehr unterschiedlicher Ernährung weitgehend konstant. Ihre Bedeutung geht daraus hervor, daß der Ausfall beider Nieren innerhalb weniger Tage zum Tode führt, da der Gehalt an Abfallprodukten des Stoffwechsels im Blut stark ansteigt (Urämie, griech.: urea, Harnstoff) und es zu einer Schädigung des Stoffwechsels des Gehirns kommt. Mit Hilfe einer »Blutwäsche« (Dialyse) kann der Arzt die Funktionsunfähigkeit der Nieren vorübergehend ausgleichen. Dabei wird eine künstliche Niere an den Kreislauf des Patienten angeschlossen.

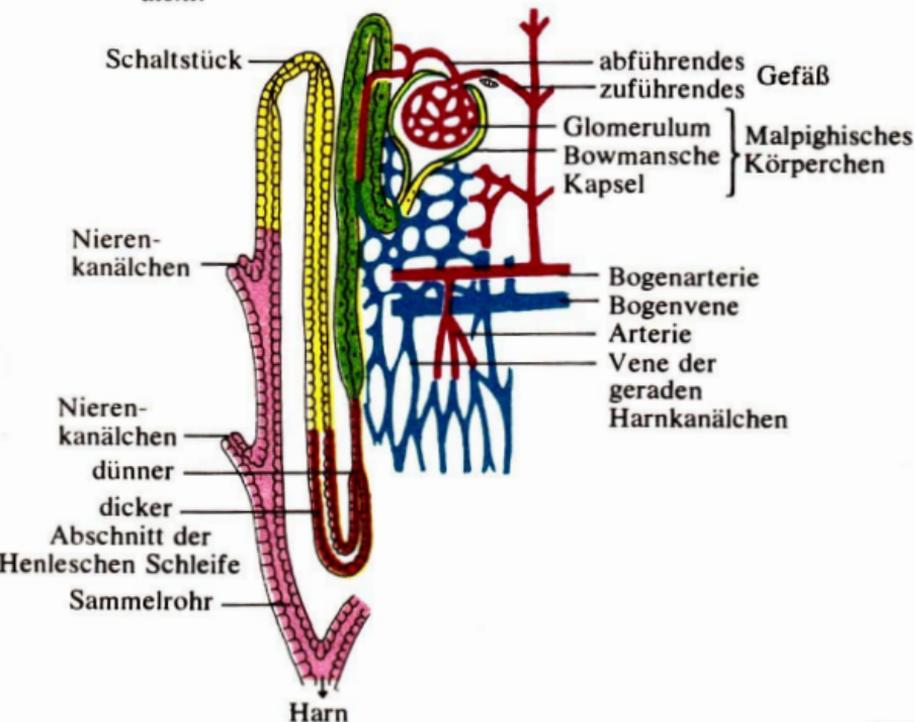
Um die regulatorische Tätigkeit der Nieren aufrechtzuerhalten, ist eine umfangreiche Blutversorgung notwendig. In einer Minute durchfließen etwa 1000 ml Blut unsere Nieren, dabei werden aus dem Blutplasma in den Kapillaren der Nierenkörperchen, den Glomerula, je Minute etwa 125 ml Flüssigkeit, das sogenannte Primärfiltrat, abgepreßt. Das ergibt bei einer Durchblutungsgröße von 1440 Liter je Tag beim Menschen eine Primärfiltratmenge von 180 Litern!

Beide Nieren des Menschen enthalten etwa 1,8 Millionen Glomerula, für deren Filtrationstätigkeit ein bestimmter Blutdruck notwendig ist. Das Primärfiltrat enthält alle niedermolekularen Verbindungen und Elektrolyte in gleicher Konzentration wie das Blutplasma. An ein Glomerulum schließt sich jeweils ein Nierenkanälchen (Tubulus) an, das etwa 15 cm lang ist. Aneinandergereiht ergeben die Nierenkanälchen eines Menschen die Länge von etwa 255 km! Die Nierenkanälchen sind in hohem Umfange an

die regulatorischen Aufgaben anpassungsfähig. Hier werden beim erwachsenen Menschen, je nach Wasser-versorgungslage, 98 bis 99,9% vom Wasser des Primär-filtrats rückresorbiert. Je Tag wird etwa ein Liter Harn ausgeschieden.

In den Nierenkanälchen werden alle lebenswichtigen Verbindungen aus dem Primärfiltrat in mehr oder weniger großem Umfange rückresorbiert, d. h. dem Stoffwechsel des Körpers wieder zugeführt. Die enorm große Transportleistung der Nierenkanälchen läßt sich anhand der Größe der Rückresorption von Traubenzucker besonders gut darstellen: Bei einer Primärfiltratmenge von 180 Litern und einem Traubenzuckergehalt von 120 mg je 100 ml werden über die Nierenfilter des Menschen täglich 216 g Traubenzucker ausgeschieden: Unter normalen Verhältnissen werden davon etwa 99,95% rückresorbiert, so daß der Harn fast zuckerfrei ist. Bei der Zuckerkrankheit ist

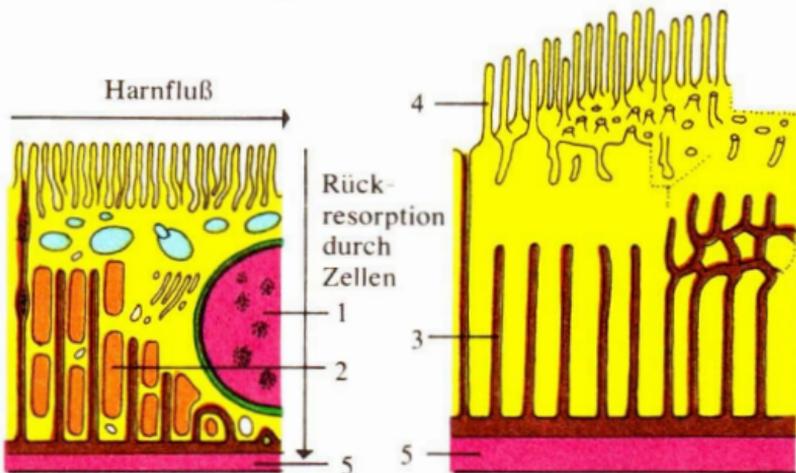
Funktionelle Einheit der Niere (Nephron). Sie besteht aus der Filtereinrichtung (Malpighisches Körperchen) und dem Nierenkanälchen (Tubulus), das der Rückresorption und Sekretion dient.



der Gehalt des Blutes und des Primärfiltrates an Traubenzucker so stark erhöht, daß die Nierenkanälchen nicht mehr in der Lage sind, den größten Teil der Traubenzuckermoleküle aus dem Primärfiltrat aufzunehmen: Diese werden mit dem Harn in größerem Umfange ausgeschieden. Bei der regelmäßigen Reihenuntersuchung der Bevölkerung der DDR wird der Harn auf Traubenzuckergehalt untersucht, so daß Zuckerkrankte frühzeitig erkannt werden. Die Patienten können dann sofort auf eine zweckmäßige Diabetikerernährung eingestellt bzw. behandelt werden.

In den Nierenkanälchen können Verbindungen und Ionen im Bedarfsfalle auch durch aktive Sekretion ausgeschieden werden (z. B. Kaliumionen). Für die resorptive und sekretorische Tätigkeit der Kanälchenzellen ist eine Vergrößerung der Zelloberfläche von Nutzen: Zum Kanälchen hin sind die Zellen dicht mit Fortsätzen (Mikrovilli) besetzt, an der Basis liegen zahlreiche Einstülpungen. Der hohe Energiebedarf der Kanälchenzellen für den Transport wird von den Mitochondrien aus gedeckt, die diese Zellen in großer Zahl enthalten. Der Anteil der Nieren an der Körpermasse beträgt etwa 0,5%. Der in den Nieren

*Aufbau einer Zelle aus dem Anfangsteil eines Nierenkanälchens.
1 – Zellkern; 2 – Mitochondrien; 3 – Oberflächenvergrößerung durch Einstülpung an Zellbasis; 4 – Oberflächenvergrößerung durch Ausbildung von Mikrovilli; 5 – Kapillare (Abtransport der rückresorbierten Verbindungen und Elektrolyte)*



verbrauchte Energieanteil macht etwa 8 bis 10% des Gesamtenergieverbrauchs aus. Um ausreichend ATP bereitzustellen, verbrauchen die Nieren je Tag etwa 30 Liter O_2 . Die von den Nieren jeden Tag geleistete Transportarbeit entspricht dabei einer gewaltigen Leistung von etwa 3200 mkp!

Die Rückresorption von Mineralstoffen (Ca, P, Na, K, Cl) in den Nierenkanälchen wird durch Hormone (Parathormon, Aldosteron) in sehr zweckmäßiger Weise der jeweiligen Versorgungslage angepaßt.

Bei der Regulierung der Rückresorption des Wassers spielt das Vasopressin aus dem HHL, das bei Wassermangel die Rückresorption von Wasser fördert, eine wichtige Rolle. Bei über den Bedarf hinausgehender Aufnahme von Wasser nimmt die Sekretion des Hormons stark ab. Wenn wir beispielsweise in fröhlicher Gesellschaft Wasser in Form alkoholischer Getränke (Wein, Bier) über den Bedarf hinaus aufnehmen, so sinkt der osmotische Druck im Blutplasma auf Grund der Verdünnung ab: Diese Veränderung wird von Osmorezeptoren, den Meßfühlern für den osmotischen Druck, im Hypothalamus registriert, die unter diesen Bedingungen die Abgabe von Vasopressin aus dem HHL drosseln. Dadurch nimmt die Rückresorption des Wassers in den Nierenkanälchen ab, und es wird eine größere Harnmenge gebildet.

Die Nierenkanälchen treten zu größeren Abflußröhren (Sammelgefäßen) zusammen, die den Harn in das Nierenbecken überführen. Von dort gelangt der Harn über die Harnleiter in die Harnblase. Die Muskulatur der Harnleiter führt dabei rhythmisch Kontraktionen durch. Im Nierenbecken können durch Ausfällung von Mineralstoffen Harnsteine entstehen, die von einer gewissen Größe an im Harnleiter steckenbleiben und zu äußerst schmerzhaften Koliken führen. Ist die Harnblase mit einer bestimmten Menge Harn angefüllt, so wird über ein im Rückenmark gelegenes Reglerzentrum in der Großhirnrinde der Drang zur Harnabgabe ausgelöst. Ein Mensch scheidet mit dem Harn – je nach Ernährungsverhältnissen – etwa 20 bis 35 g Harnstoff, 0,1 bis 2 g Harnsäure, 1 bis 1,5 g Kreatinin, 0,5 bis 2 g Ammoniumsalze, 4 bis 12 g Kochsalz und 1 bis 5 g Phosphat je Tag aus.

Die äußere Hülle

Die Haut erfüllt wichtige Aufgaben als Kontakt- und Schutzorgan, als Warnanlage, als Fettspeicher sowie bei der Regulation der Körpertemperatur. Der Anteil der Haut an unserer Körpermasse ist relativ hoch und beläuft sich auf 16 bis 18%: Sie hat eine Oberfläche von etwa 2 m^2 und enthält etwa 6 Millionen Zellen/ cm^2 . Das ergibt eine Gesamtausrüstung der Haut mit etwa 120 Milliarden Zellen!

Die Blutgefäße in einem cm^2 Haut sind etwa 1 m lang. Ihre Durchblutung ist von der Temperatur des Körpers und der Umgebung abhängig. Durch Genußmittel kann die Durchblutung der Haut beeinflußt werden. Starke Raucher haben meist eine blasse Gesichtsfarbe, da das Nikotin die Arteriolen der Haut verengt. Ein stärkerer Alkoholgenuß wirkt erweiternd auf die Hautarterien und -arteriolen: Die Haut wird stärker durchblutet, was die Wärmeabgabe fördert. Wenn ein Mensch nach stärkerem Alkoholgenuß bei großer Kälte im Freien einschläft, kann er wegen der erhöhten Wärmeabgabe über die Haut relativ schnell abkühlen und erfrieren.

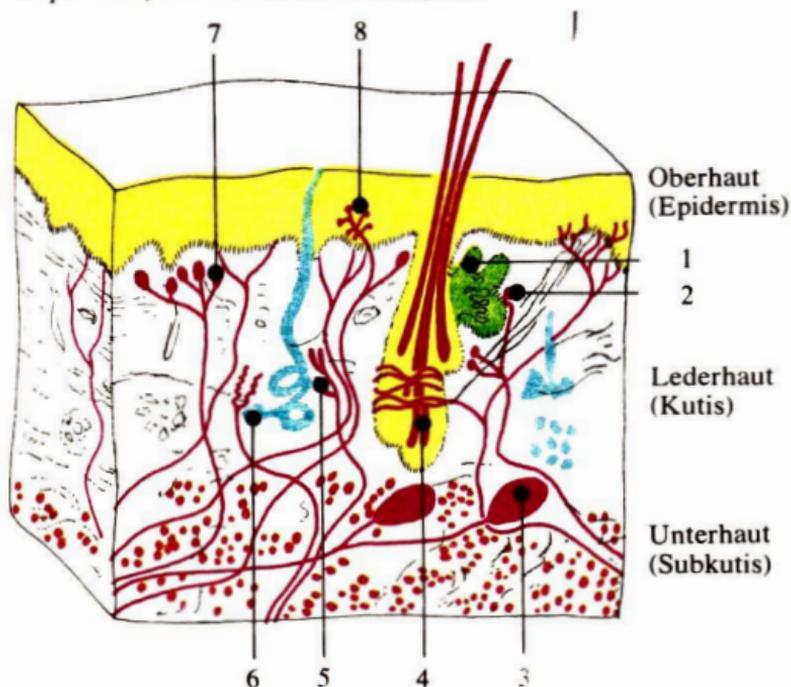
Die Haut ist ferner ein wichtiges Rezeptororgan für Sinnesreize. Sie enthält in einem cm^2 etwa 28 Druck-, etwa 12 Kälte- und etwa 2 Wärmerezeptoren sowie etwa 150 freie Nervenendigungen, die als Schmerzrezeptoren wirksam sind. An der Innenfläche der Hand liegen etwa 1500 Druckrezeptoren, die z. B. beim Händeschütteln in mehr oder weniger großem Umfang erregt werden.

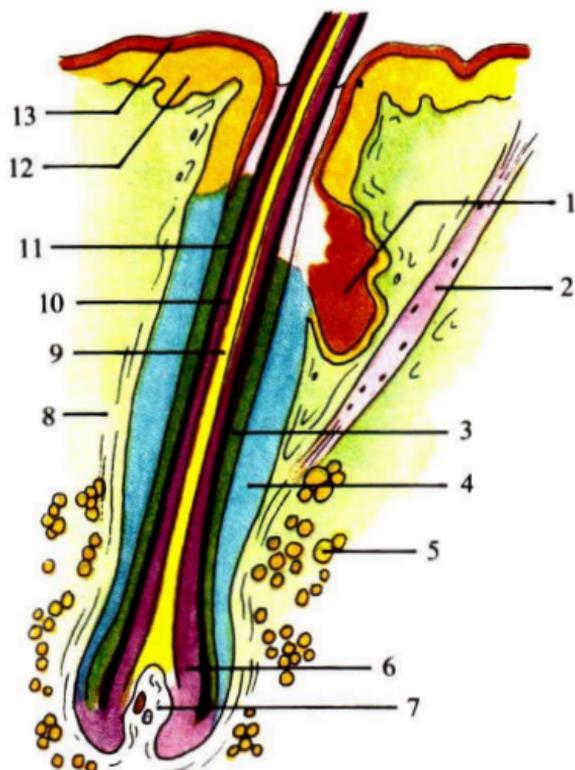
Aufbau und Funktion der Hautschichten

Die Haut besteht aus der Oberhaut (Epidermis), der Lederhaut (Kutis) und der Unterhaut (Subkutis). Die Oberhaut ist durchschnittlich nur etwa 0,1 mm dick. An den mechanisch besonders beanspruchten Stellen, so an den Fußsohlen, ist sie wesentlich dicker. Gegen die Oberfläche hin verhornen die Zellen der Epidermis, wobei sie eine gegenüber chemischen und physikalischen Einflüssen ziemlich widerstandsfähige Schutzschicht bilden. Die oberen Zellschichten werden ständig abgeschilfert und durch Zellteilung von der Basis her erneuert. Die basale Zellschicht, auch als Keimschicht bezeichnet, befindet sich in ständiger Teilung. Von der Oberhaut werden außerdem die Finger- und die Zehennägel gebildet, die widerstandsfähige Keratinsubstanzen enthalten.

Aufbau der Haut und ihre Ausrüstung mit Rezeptoren.

1 – Talgdrüse; 2 – Krausesche Endkolben; 3 – Pacinische Lamellenkörperchen; 4 – Nervenfasern um Haarfollikel; 5 – Ruffinische Körperchen; 6 – Schweißdrüse; 7 – Meissnersche Tastkörperchen; 8 – Merckelsche Tastzellen





Aufbau eines Haarfollikels. Die Haarbildung erfolgt im Bereich der Matrix, von der aus die verhornenden Zellen nach außen geschoben werden.

1 – Talgdrüse; 2 – Muskelfaser; 3 – innere Wurzelscheide; 4 – äußere Wurzelscheide; 5 – Fettgewebe; 6 – Matrix; 7 – Haarpapille; 8 – Bindegewebe; 9 – Haarmark; 10 – Haarrinde; 11 – Haarhäutchen; 12 – basale Schichten der Epidermis; 13 – verhornte Schichten

Die Oberhaut enthält ferner die Haare. Sie werden in den Haarfollikeln gebildet und wirken als Wärmeschutz und als Verstärkeranlagen für Druckrezeptoren. Die Ausrüstung der Haut mit Haaren ist nach Rasse, Haarfarbe und Körperabschnitt verschieden. Im Alter von 18 Jahren haben Menschen mit blondem Haar durchschnittlich etwa 150 000, schwarzhaarige 100 000 und solche mit rotem Haar etwa 90 000 Kopfhare. Stärker behaart sind ferner die Achselhöhle und der Bereich des Schambeins. Mit steigendem Alter nimmt der Haarausfall zu: In der Jugend gehen täglich etwa 40, in mittleren Jahren etwa 90 und im Alter etwa 110 Haare verloren.

In der Oberhaut liegen die Schweißdrüsen. Sie sind mit ihrem unteren Teil in die Lederhaut eingestülpt und spielen bei der Regulierung der Temperatur und des Wassergehaltes des Körpers eine Rolle. In einem cm^2 Haut sind etwa 100 Schweißdrüsen vorhanden. Die Tätigkeit dieser Drüsen nehmen wir besonders im Sommer bei großer Hitze und bei schwerer körperlicher Arbeit wahr: Es können dann täglich bis zu 12 Liter Schweiß gebildet werden. Mit der Schweißbildung ist ein beträchtlicher Verlust an Kochsalz verbunden, der durch ausreichende Kochsalzaufnahme ausgeglichen werden muß. Von den apokrinen Schweißdrüsen werden Duftstoffe abgegeben, die sexuell erregend wirken. Solche Drüsen liegen besonders im Bereich der Achselhöhle. Die Oberhaut enthält ferner die Talgdrüsen, die den Talg bilden. Dieser überzieht die Oberhaut mit einem fettigen Belag und schützt sie gegen Feuchtigkeit.

Im Sommer wird bei kräftiger UV-Strahlung in der Haut aus dem 7-Dehydrocholesterin eine beträchtliche Menge an Vitamin D_3 gebildet, was bei Kindern wirksam zur Verhinderung der Rachitis beiträgt. Gegen eine zu intensive UV-Strahlung schützt sich die Haut durch Pigmentbildung in den Epidermiszellen. Wenn eine zu starke UV-Strahlung auf eine pigmentarme Haut einwirkt, können die Hautzellen geschädigt werden, das ist uns vom »Sonnenbrand« her bekannt.

Die Lederhaut besteht aus sehr widerstandsfähigem, kollagenreichem Bindegewebe, das einen wirksamen Schutz gegen mechanische Einflüsse (wie Druck, Stoß usw.) bildet. Diese Hautschicht enthält zahlreiche Blut- und Lymphgefäße, eine Vielzahl von Sinneszellen sowie viele Nervenfasern. In der Lederhaut liegen Muskelfasern, die die Haare bei Kälte aufrichten können: Es entsteht die »Gänsehaut«.

In den unteren Schichten der Lederhaut und in der Unterhaut ist – je nach Ernährungszustand – in mehr oder weniger großem Umfang Fettgewebe eingelagert. Bei der Frau ist es meist stärker entwickelt als beim Mann. Das Fett- und das Bindegewebe der Unterhaut wirken als druckelastisches Polster, so daß die Haut in bestimmtem Umfang auf dem darunter liegenden Gewebe verschiebbar ist.

Von der Bewegung und von Rekordleistungen

Wo und wann wir eine Tätigkeit entfalten, stets sind unsere Bewegungsorgane in Aktion: Wir bewegen uns sicher und wunschgemäß, auch wenn wir nicht immer unsere Aufmerksamkeit auf sie konzentrieren und die Bewegung unter bewußter Kontrolle halten. Die täglichen »Routinebewegungen«, wie der gewohnte Spaziergang oder die körperliche Tätigkeit am Arbeitsplatz, werden von motorischen Zentren im Hirnstamm, im Kleinhirn und im Rückenmark weitgehend automatisch nach Art einer »Programmsteuerung« reguliert, so daß wir nebenbei noch über etwas anderes nachdenken können.

Die Bewegungsorgane bestehen aus den Knochen, den Muskeln und verschiedenen Hilfseinrichtungen. Der Anteil der Muskulatur an der Gesamtmasse unseres Körpers beträgt etwa 40 % und der der Knochen 13 %.

Zu einer gesunden Lebensführung gehört ein gewisses Maß an Bewegung. Das fördert die Durchblutung und den Stoffwechsel der Muskeln. Die Bildung von Eiweißkörpern wird angeregt, die Elastizität der Gelenke bleibt erhalten. Ausreichende Bewegung ist vor allem für ältere Menschen wichtig, denn mangelnde Betätigung der Muskulatur führt zu Steifheit und Schwerfälligkeit. Bei herabgesetzter Reaktionsfähigkeit der Bewegungsorgane ist die Unfallgefahr besonders hoch. Um die Knochen belastungsfähig zu erhalten, sollten ältere Menschen auf eine ausreichende Versorgung mit Kalzium und Vitamin D besonders großen Wert legen.

Die Leistungen unserer Bewegungsorgane können durch Training stark gesteigert werden. In der Jugend ist die Leistungsfähigkeit am größten. In den letzten Jahrzehnten

sind durch zähe Trainingsarbeit sportliche Leistungen erreicht worden, die man früher für unmöglich hielt. Im Hochsprung liegt gegenwärtig der Weltrekord bei Männern bei 2,31 m und bei Frauen bei 2,00 m. Ein Vergleich mit der Tierwelt zeigt uns, daß diese Leistungen nur von wenigen Tierarten übertroffen werden, und zwar von solchen, die ihre Beute beim Springen erfassen: Der Tiger springt z. B. bis zu etwa 3 m hoch. Berücksichtigen wir die Körpergröße, so ist der Floh im Tierreich der »Meister im Hochsprung«. Er springt bis zu 30 cm hoch und ist selber nur etwa 2,5 mm lang. Der Sprung beträgt somit das 120fache seiner Körperlänge!

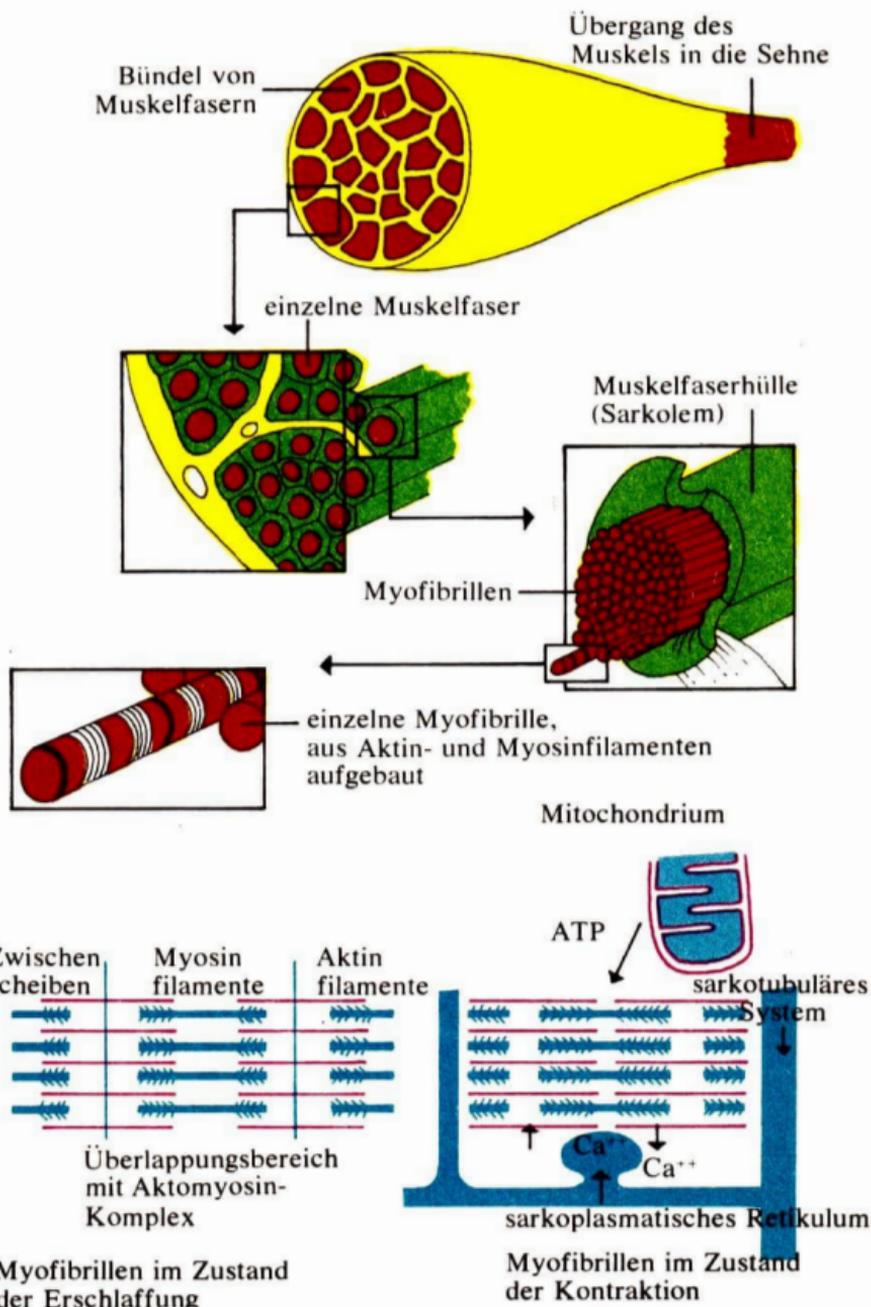
Die Weltrekordleistung im Weitsprung liegt bei Männern bei 8,90 m und bei Frauen bei 6,99 m. Damit kann im Tierreich nur das Riesenhängen konkurrieren, das 9 bis 10 m weit springt. Die Leistungsfähigkeit der Bewegungsorgane von Mann und Frau ist unterschiedlich. Beim Mann wird die Ausbildung der Knochen und der Muskulatur durch das männliche Keimdrüsenhormon gefördert, so daß die Muskeln meist eine größere Menge an kontraktionsfähigen Eiweißstoffen enthalten als die der Frau. Allerdings spielt auch die jeweilige Konstitution eine Rolle. Viele Frauen verfügen durchaus über eine kräftig entwickelte Muskulatur und stehen bei körperlicher Arbeit in ihrer Leistung »ihren Mann«.

In Laufdisziplinen ist der Mensch den Lauf- und Springtieren deutlich unterlegen. Der Weltrekord im 100-m-Lauf beträgt bei Männern gegenwärtig 9,95 und bei Frauen 11,04 Sekunden. Auf kurzen Strecken bringt es der Mensch auf eine Geschwindigkeit von etwa 36 km/h, der Wolf von 60 km/h, das Rennpferd von 70 km/h, der Windhund von 90 km/h und der Gepard von 120 km/h. Pflanzenfresser haben während der Evolution leistungsfähige Bewegungsorgane für die Flucht vor Raubtieren entwickelt.

Von unserer Muskulatur

Nach Aufbau und Funktion unterscheidet man zwischen glatter und quergestreifter Muskulatur. Ein quergestreifter Skelettmuskel besteht aus einer großen Zahl von Mus-

kelfasern, von denen jede in ihrer Tätigkeit der Funktion des Gesamtverbandes in zweckmäßiger Weise eingeordnet ist. Die Zahl der Muskelfasern ist von der Größe des je-



weiligen Muskels abhängig und schwankt etwa zwischen 20 000 bei kleinen und etwa 200 000 bei sehr großen Muskeln.

Die Muskeln sind unterschiedlich mit Mitochondrien, mit Enzymsystemen für den Nährstoffabbau, mit Muskelfarbstoff (Myoglobin) und mit kontraktionsfähigen Einheiten ausgerüstet. Muskeln mit einem hohen Gehalt an Muskelfarbstoff haben eine kräftig rote Farbe. Die Muskelfasern von laufend tätigen Muskeln, wie dem Zwerchfell, enthalten besonders viele Mitochondrien, sind reich an Muskelfarbstoff und nicht ermüdbar. Besonders schnell und mit großer Kraft reagierende Muskeln sind dagegen reich mit Enzymen für den Traubenzuckerabbau zu Milchsäure (Glykolyse) ausgestattet. Die Muskelfasern eines Skelettmuskels können bis zu 30 cm lang und bis zu 100 μ m dick sein. Bei anhaltend starker Beanspruchung werden in den Muskelfasern verstärkt Eiweißstoffe gebildet, was zu einer Umfangsvermehrung (Hypertrophie) des Muskels führt.

Den Hauptanteil der Eiweißstoffe in den Muskelfasern bilden die myofibrillären Proteine, die zur Kontraktion befähigt sind. Bei schwerer körperlicher Arbeit werden Traubenzucker und Fettsäuren in beträchtlichem Umfang abgebaut. In den Muskelfasern wird für die Erzeugung von Spannung ständig ATP verbraucht: Die Muskelfasern enthalten eine Art »Mundvorrat« an Energie in Form von Kreatinphosphat (griech.: kreas, Fleisch), der bei plötzlich sehr starker Arbeitsleistung verbraucht wird. Als Vorratsstoffe für die Verbrennung und Energiegewinnung kommen im Muskel die Fettstoffe und das Glykogen vor. Für die Muskelkontraktion sind verschiedene Ionen (K-, Na-, Mg- und Ca-Ionen) von Bedeutung.

Wie es zur Kontraktion unserer Muskeln kommt

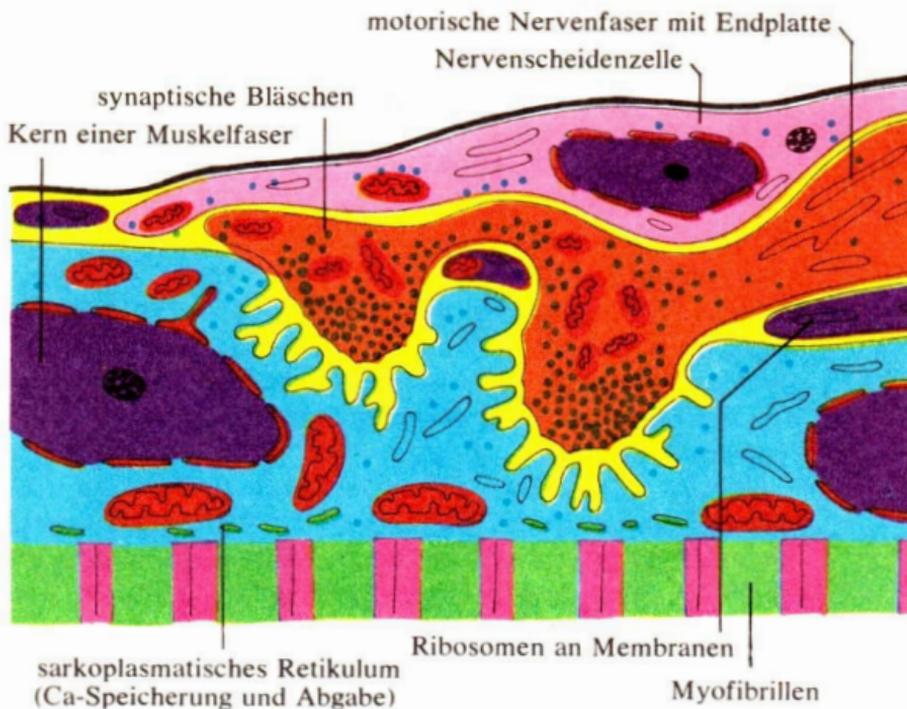
Die quergestreifte Muskelfaser ist auf Verkürzung (Kontraktion) und Kraftentwicklung spezialisiert: Sie besteht aus Hunderten von Untereinheiten, den Myofibril-

Aufbau eines Muskels; Längsschnitt durch eine Myofibrille

len. Jede Myofibrille ist aus Hunderten von Elementareinheiten für die Kontraktion – den Aktin- und Myosinfilamenten – aufgebaut. Die Kontraktion der Muskelfaser wird durch elektrische Signale ausgelöst, die ihren Ausgang von motorischen Nervenzellen des Gehirns und des Rückenmarks (den Motoneuronen) nehmen und über die Nervenfasern in die motorischen Endplatten einlaufen. Die motorischen Endplatten sind Verstärkereinrichtungen und dienen der Überführung der Erregung von den dünnen Nervenfasern auf die um ein Vielfaches größeren Muskelfasern. Sie enthalten Mitochondrien und zahlreiche Vorratsbehälter (Bläschen) für Azetylcholin, das bei jedem Einlauf einer Erregung freigesetzt wird und nach Verbindung mit Rezeptoren an der Membran zur Depolarisierung der Endplatte führt. Auf diese Weise wird die Erregung auf die Muskelfaser übertragen. Von hier breitet sie sich entlang der Membran auf die Faser aus.

Die Kontraktion der Faser kommt durch Ineinandergleiten der Aktin- und der Myosinfilamente zustande. Die nötige Energie wird durch Spaltung von ATP gewonnen. Die ATP-Spaltung findet durch einen Komplex aus Aktin und Myosin, dem Aktomyosin, an den Verbindungsstellen zwischen den Aktin- und Myosinfilamenten statt. Die Aktivität des Aktomyosins bei der Spaltung von ATP ist von der Konzentration an Ca-Ionen abhängig. Bei der Regulation der Konzentration an Ca-Ionen in den Myofibrillen spielen umfangreiche Röhrensysteme, das sarkotubuläre System und das sarkoplasmatische Retikulum, eine wichtige Rolle.

Die Ausbreitung der Erregung an den Membranen der Muskelfasern erfolgt – wie an jeder erregbaren Membran – durch einen Austausch von Na- und K-Ionen. Bei Übergreifen der Erregung vom sarkotubulären System auf das sarkoplasmatische Retikulum werden Ca-Ionen freigesetzt, die nach Bindung an das regulatorisch wirkende Protein Troponin eine Strukturänderung auslösen, so daß es zur Bildung von Aktomyosin, zu einer erhöhten Spaltung von ATP und damit zur Muskelkontraktion kommt. Im Bruchteil einer Sekunde werden dann die Ca-Ionen wieder in das sarkoplasmatische Retikulum aufgenommen, worauf die Faser erschlafft.



Endigung einer motorischen Nervenfasern an einer Muskelfasern in Form einer Endplatte. Im Bereich der Synapse liegt eine starke Faltenbildung vor, so daß beim Einlaufen elektrischer Signale durch Freisetzung von Azetylcholin aus den synaptischen Bläschen eine beträchtliche Verstärkerwirkung erreicht wird und sich die Erregung auf die Muskelfasern ausbreiten kann.

Eine Dauerkontraktion des Muskels wird erreicht, wenn die elektrischen Impulse in sehr schneller Reihenfolge in die Muskelfasern eintreten und sich die jeweils an eine Verkürzung anschließende Erschlaffung nicht ausbilden kann. Um eine Dauerverkürzung in einer Muskelfasern auszulösen, müssen etwa 50 bis 150 elektrische Impulse/s einlaufen. Die Muskelkraft kann den jeweiligen Wünschen und Bedingungen durch Aktivierung von mehr oder weniger vielen Muskelfasern und durch Veränderung der Zahl der elektrischen Impulse (»Antriebe«) angepaßt werden. Bei etwa 5 bis 15 Impulsen/s kann die Kontraktion einer Fasern lange Zeit ohne Ermüdung aufrechterhalten werden, die Spannung ist dann relativ gering. Wird die Muskelfasern durch viele »Antriebe« (bis zu 150 Impulse/s) zu stärkster

Verkürzung veranlaßt, dann ermüdet sie nach kurzer Zeit. Es kommt dabei zu verstärkter Milchsäurebildung. Nach schwerer ungewohnter körperlicher Arbeit empfinden wir einen »Muskelkater«.

Die Leistungsfähigkeit eines Muskels ist von der Zahl und der Dicke der Muskelfasern abhängig: Die absolute Muskelkraft schwankt zwischen 0,4 und 1,5 kg pro cm² Muskelquerschnitt. Die Muskelkraft wird gemessen, indem man feststellt, bei welcher Belastung (in kg) sich ein Muskel nach Reizung nicht mehr verkürzt. Beim trainierten Menschen kann der am Oberarm gelegene Beugemuskel des Unterarms (Musculus biceps brachii) eine Masse von maximal 120 kg heben!

An der Regulation der Muskelkontraktion sind die Muskelspindeln sowie die Sehnen- und Gelenkrezeptoren beteiligt. Sie informieren die zentralen Regulationsanlagen über den Spannungszustand der einzelnen Muskeln und verhindern eine Überdehnung.

Bei der Muskeltätigkeit wird laufend Energie verbraucht. Der Wirkungsgrad des Muskels beträgt durchschnittlich 25 %, d. h., von der verbrauchten Energie werden nur 25 % zur Leistung von mechanischer Arbeit eingesetzt, während 75 % als Wärmeenergie frei werden. Bei körperlicher Ruhe verbraucht die Muskulatur des Menschen etwa 70 kcal/h, im Stehen 75 kcal/h, im schnellen Schritt 350 kcal/h und beim Schwimmen 650 kcal/h. Bei Belastung nimmt die Durchblutung der Muskeln um ein Mehrfaches zu, um die O₂- und Nährstoffversorgung zu verbessern.

Von der Sexualität und der Entstehung neuen Lebens

Das Leben jedes einzelnen umfaßt nur eine sehr kurze Zeitspanne im Vergleich zur Dauer der Existenz von Lebewesen auf unserem Planeten. Das Leben wird von Generation zu Generation mittels der Keimzellen weitergegeben. Man schätzt, daß seit Beginn der Menschwerdung etwa 90 Milliarden Menschen unsere Erde bevölkerten.

Die Sexualität ist bei den meisten Menschen über eine lange Strecke ihres Lebens von maßgeblichem Einfluß auf ihr Empfinden und Verhalten. Die geschlechtliche Zuneigung (Libido) bildet neben anderen Elementen, wie z. B. gemeinsamen Ansichten, Interessengebieten, die Basis für ein harmonisches Zusammenleben von Mann und Frau und für die Zeugung von Nachwuchs. Sie wird nach Eintritt der Geschlechtsreife hauptsächlich durch Hormone (Testosteron, Oestrogene) unter Beteiligung des Erotisierungszentrums des Zwischenhirns vom Großhirn aus aufrechterhalten und durch den Willen, das Alter, die Gesundheit und Ernährung sowie durch die Moralvorstellungen der Gesellschaft maßgeblich beeinflußt. Entfernt man die Hypophyse bzw. die Keimdrüsen, so erlischt die sexuelle Triebkraft meist schon nach kurzer Zeit.

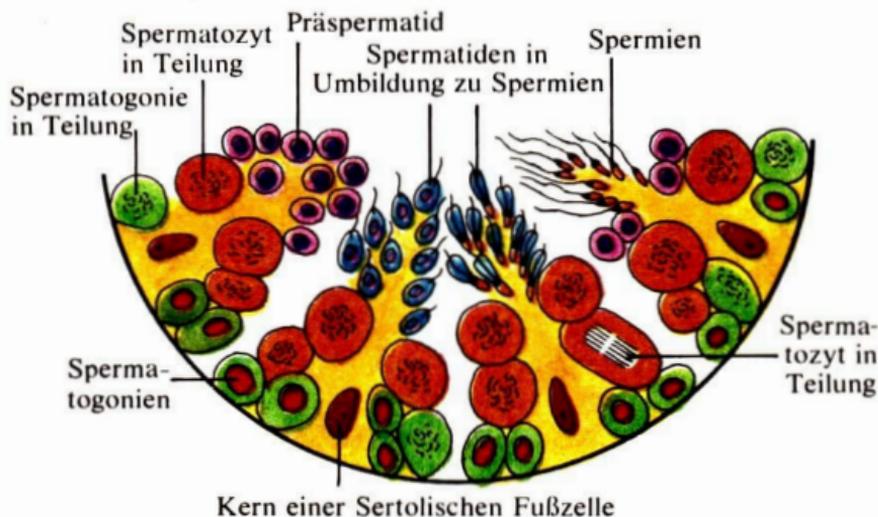
Das biologische Ziel der sexuellen Aktivität ist die Fortpflanzung. Reguliert werden die Fortpflanzungsvorgänge vom Sexual- und Erotisierungszentrum im Hypothalamus aus. Schon in einem frühen Entwicklungsstadium der Frucht wird die Funktion dieser Zentren geschlechtsspezifisch festgelegt.

Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Lebewesens ist die Vereinigung der Erbanlagen einer männlichen und einer weiblichen Keimzelle nach einem Coitus.

Bildung und Eigenschaften der Spermien

Spermien werden beim Mann laufend in den Samenkanälchen der Hoden gebildet. Die Samenkanälchen, die stark geschlängelt verlaufen und insgesamt etwa 800 m lang sind, enthalten zahlreiche Zellarten. An der Basis liegen plasmareiche Zellen, die Sertolischen Fußzellen, die für die Ernährung der Spermatiden und Spermien von Bedeutung sind. Die Fortsätze der Fußzellen sind dicht mit Spermien besetzt. Die Mutterzellen der Spermien (Spermatogonien) bilden durch ständige Zellteilung die Spermazellen (Spermatozyten). Bei der Prä-spermatidenbildung aus den Spermatozyten findet eine Halbierung der Chromosomenzahl statt (Reduktionsteilung). Bei der folgenden Reifung bildet sich der Spermischwanz. Er dient als kräftige Geißel, um die im Kopfteil gelegenen Erbanlagen in die etwa zehntausendmal größere Eizelle zu bringen. Die Beweglichkeit der Spermien ist vor allem für den Übergang von der Scheide in die Gebärmutter und für das Aufsuchen der Eizelle im oberen Teil des Eileiters von Bedeutung.

Entwicklung der Spermien in einem Samenkanälchen. Die Ausgangszellen für die Spermienbildung (Spermatogonien) liefern durch Teilung Spermatozyten. Durch Reduktionsteilung (Halbierung der Chromosomenzahl) entstehen aus den Spermatozyten Prä-spermatiden, die sich in Spermien umbilden. Sie werden von den Sertolischen Fußzellen ernährt.



Während sich die Spermien spezialisieren, nimmt die Synthese von Ribonukleinsäuren und von Eiweißstoffen stark ab. Die Mitochondrien ordnen sich im Mittelstück des Spermiums an. Nach einigen Tagen lösen sich die Spermien von den Fußzellen und gelangen mittels eines Flüssigkeitsstromes in den Nebenhoden: Hier reifen sie weiter aus und werden »dicht verpackt« gespeichert. Der Spermienvorrat im Nebenhoden entspricht etwa der 10- bis 15fachen Menge, die bei einem Samenerguß (Ejakulation) abgegeben wird. Die Spermien sind hier etwa 2–3 Monate lebensfähig. Die Wanderung der Spermien durch den Nebenhoden dauert etwa 10 Tage.

Die Spermienbildung wird durch die Ernährung beeinflusst, ein Mangel an Eiweiß setzt die Bildung herab. Bei einem Coitus kommt es nach Erreichen eines hohen sexuellen Erregungszustandes zum Samenerguß. Dabei wird ein Teil der Spermien aus den Nebenhoden über die Samenleiter abgegeben und mit den Sekreten aus den akzessorischen (hinzutretenden) Geschlechtsdrüsen (Samenblasen, Vorsteherdrüse, Bulbourethraldrüsen) vermischt. Die Muskulatur der Harnröhre führt dabei wellenförmig verlaufende Kontraktionen durch. Mit 3 ml Samen werden bei einer Begattung etwa 300 Millionen Spermien abgegeben. Ein Spermium wiegt nur 0,000 000 02 mg. Im Spermienkopf ist die DNS durch basische Eiweißstoffe (Histone) »verpackt«.

Die Mitochondrien im Mittelstück liefern Energie (ATP) für die peitschenartigen Bewegungen des Spermien-schwanzes. Diese Bewegungen ermöglichen es den Spermien, in einer Minute eine Strecke von etwa 2–4 mm zurückzulegen. In der Gebärmutter und im Eileiter erlangen sie erst nach einigen Stunden der Reifung (»Kapazitation«) die Befruchtungsfähigkeit. Der Spermientransport in den oberen Abschnitt des Eileiters zur Eizelle wird durch wellenförmig verlaufende Kontraktionen der Muskulatur des Uterus und der Eileiter unterstützt.

Von einem Ejakulat gelangen nur einige hundert Spermien in den oberen Abschnitt des Eileiters und sind hier etwa 24 bis 36 Stunden befruchtungsfähig. Ovulierte Eizellen sind nur etwa 6 bis 12 Stunden befruchtungsfähig. Schon bald nachdem ein Spermienkopf in die Eizelle ein-

gedrungen ist, vereinigen sich männliche und weibliche Erbsubstanz. Mit der Befruchtung ist das Geschlecht des neuen Lebewesens festgelegt. Alle reifen Eizellen enthalten ein X-Chromosom, alle weiblichen Körperzellen zwei X-Chromosomen. Der Mann dagegen hat in den Körperzellen je ein X- und ein Y-Chromosom: Bei der Reduktionsteilung der Spermatozyten verfügen die halbierten Chromosomensätze entweder über ein X- oder ein Y-Chromosom. Die Vereinigung eines X-Chromosomhaltigen Spermiums mit einer Eizelle ergibt ein weibliches Lebewesen. Vereint sich ein Spermium mit einem Y-Chromosom mit einer Eizelle (X-Chromosom), so entsteht ein männliches Lebewesen.

Zwischen den Samenkanälchen liegen die Zwischen- oder Interstitialzellen. Angeregt durch das interstitialzellenstimulierende Hormon (IZSH) des HVL wird hier das Testosteron gebildet, dessen Sekretion vom Sexualzentrum im Hypothalamus aus über das Luliberin reguliert wird.

Weibliche Fortpflanzungsvorgänge

Bei der Frau werden etwa 30 bis 35 Jahre lang befruchtungsfähige Eizellen gebildet; die Fruchtbarkeit läßt bereits im Alter von 30 bis 35 Jahren deutlich nach.

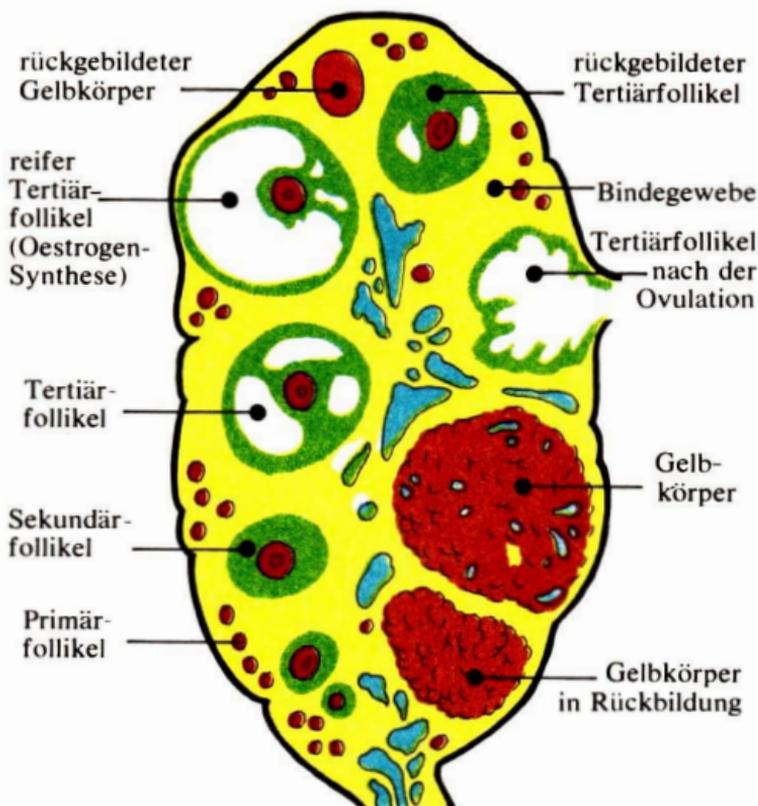
Die Reifungsvorgänge an den Eierstöcken finden in einem bestimmten Rhythmus (dem Genitalzyklus) statt. Er wird vom Sexualzentrum des Zwischenhirns unter Beteiligung des Hypophysenvorderlappens reguliert und dauert im Durchschnitt 28 Tage. Nach den auffälligen Veränderungen an der Gebärmutterschleimhaut unterscheidet man beim Genitalzyklus die Phase der Menstruation (Monatsausfluß), der Proliferation und der Sekretion.

Eingeleitet wird der Genitalzyklus mit der Menstruation. Sie dauert etwa 4 Tage und ist eine Art »Reinigung« der Gebärmutterschleimhaut von den oberen Zellschichten, sofern im vorhergehenden Genitalzyklus keine Befruchtung stattgefunden hat. Die Schleimhaut der Gebärmutter wird dann anschließend von den unteren Schichten her durch eine lebhafteste Zellteilung erneuert. Diese Phase vom

4. bis 15. Tag des Genitalzyklus wird als Proliferationsphase (lat.: proliferare, sprossen) bezeichnet. Unter dem Einfluß des follikelstimulierenden und des luteinisierenden Hormons aus dem HVL findet an einem Eierstock ein Ausreifen einer Eizelle statt. In manchen Fällen reifen auch zwei oder mehr Eizellen, was später zur Geburt von Zwillingen, Drillingen, Vierlingen oder sogar Fünflingen führen kann.

Das luteinisierende Hormon fördert im reifenden Follikel die Bildung von Oestrogenen. Die Bezeichnung Oestrogene für die im eizellenhaltigen Follikel gebildeten Keimdrüsenhormone ist darauf zurückzuführen, daß diese bei Tieren die Brunst (Oestrus) auslösen. Die Oestrogene fördern während der Eizellenreifung den Aufbau der Gebärmutterschleimhaut und bereiten diese auf die Einbettung eines Keimes vor. Gegen Ende der Proliferationsphase – etwa vom 12. bis 14. Tag des Genitalzyklus – kommt es zur Ovulation (lat.: ovum, Eizelle). Die ausgereifte Eizelle wird dabei aus dem Eierstock freigesetzt und in einen Eileiter übergeführt, wo die Befruchtung stattfindet. In dieser Phase ist der die Gebärmutter gegen die Scheide hin abschließende Muttermund geöffnet, so daß die Spermien in die Gebärmutter einwandern können. Die Empfängnisbereitschaft der Frau erstreckt sich wegen der beschränkten Befruchtungsfähigkeit der Spermien und der Eizelle nur auf zwei Tage des Genitalzyklus. Nach der Ovulation erhöht sich die morgens gemessene Temperatur (Basaltemperatur) um 0,2 bis 0,5 °C, sie kann zum Feststellen des Zeitpunktes der Ovulation herangezogen werden.

Vom 15. bis 28. Tag des Genitalzyklus (Sekretionsphase) wird von den Drüsen der Gebärmutterschleimhaut ein Sekret abgegeben, das im Falle einer eingetretenen Schwangerschaft der Ernährung des Keimes dient. Nach der Befruchtung vergrößert sich die Keimanlage durch rasch hintereinander ablaufende Zellteilungen und gelangt innerhalb von 3 bis 4 Tagen in die Gebärmutter. Die Sekretbildung in der Gebärmutterschleimhaut wird durch das Progesteron (lat.: pro, für; gestatio, Schwangerschaft) angeregt. Das Progesteron (Gelbkörperhormon) wird im Gelbkörpergewebe gebildet. Dieses Gewebe entwickelt sich an der Ovulationsgrube des Eierstocks und hat einen



Aufbau des Eierstockes (Ovar)

hohen Gehalt an gelben Farbstoffen. Der Progesteronspiegel im Blut steigt schon in den ersten Tagen der Sekretionsphase beträchtlich an und bremst die Abgabe von Luliberin durch das Sexualzentrum im Hypothalamus: Dadurch wird das Ausreifen weiterer Follikel verhindert. Wir sehen daraus, daß es sich dabei um ein sehr zweckmäßig funktionierendes Reglersystem handelt.

Wurde die Eizelle nicht befruchtet, so bildet sich der Gelbkörper gegen Ende der Sekretionsphase schnell zurück, denn er ist dann wertlos. Von der Gebärmutter Schleimhaut abgegebene Prostaglandine fördern diese Rückbildung. Mit dem Abbau des Gelbkörpers nimmt die Bildung von Progesteron stark ab, so daß dessen Hemmwirkung auf das Sexualzentrum abklingt. In der Gebärmutter Schleimhaut findet eine zunehmende Störung der Durchblutung der oberen Schichten statt, die schließ-

lich blutdurchtränkt abgestoßen werden (Menstruation). Damit beginnt der nächste Genitalzyklus.

Nach einer Empfängnis wird der Keim einige Tage lang durch die Sekrete des Eileiters und der Gebärmutter Schleimhaut ernährt. Die Bildung dieser Sekrete nimmt im Zeitraum der Ovulation zu. Wenige Tage nach Eintritt des Keimes in die Gebärmutter wird er in die Schleimhaut eingebettet. Hier findet unter ständiger Zellvermehrung die Bildung des Embryos (griech.: em, innen; brio, sprossend) statt. Es kommt zur Entwicklung der Keimblätter und zur Herausbildung der verschiedenen Gewebe und Organe.

Im Eierstock werden bereits während der Entwicklung der weiblichen Frucht mehrere hunderttausend Eizellen (Oozyten) angelegt, von denen nach Eintritt der Geschlechtsreife etwa 400 bis 500 zur Ausreifung gelangen.

Im Keimdrüsengewebe des männlichen Fetus werden Spermatogonien angelegt. Die Spermatogonien und Spermatozyten sind nach Eintritt der Geschlechtsreife bis zum Tode ständig in Teilung begriffen und liefern im Verlaufe des Lebens eine sehr große Anzahl von Spermien.

Zwischen dem Embryo und der Gebärmutter Schleimhaut bildet sich der Mutterkuchen (Plazenta) aus; er vergrößert sich und hat schließlich Tausende von Zotten. Damit sind zur Ernährung der Frucht – die vom 3. Lebensmonat an als Fetus (Leibesfrucht) bezeichnet wird – günstige Bedingungen geschaffen: Gegen Ende der Schwangerschaft hat die Plazenta eine für den Stoffaustausch eingesetzte Oberfläche von 7 bis 10 m². Über diese werden gleichzeitig ständig Abfallprodukte des Stoffwechsels der Frucht in den mütterlichen Kreislauf übergeführt. Als »Versorgungsleitung« für den Fetus aus dem Mutterkuchen dient die Nabelschnur.

Die Schwangerschaft dauert bei der Frau etwa 270 bis 280 Tage, vom Beginn der letzten Menstruation an gerechnet. In dieser Zeit entwickelt sich aus der etwa 0,0015 mg schweren befruchteten Eizelle die reife Frucht, die bei der Geburt etwa 3,6 kg wiegt. Die durchschnittliche Lebenserwartung in der DDR beträgt bei Männern gegenwärtig 71 und bei Frauen 74 Jahre. Auf 100 Geburten von Mädchen entfallen im Durchschnitt 106 Geburten von Knaben.

Ausblick

Die Frage nach dem Wesen der Lebensvorgänge sowie der Entstehung und der Entwicklung der Lebewesen hat die Menschen seit jeher bewegt. Erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts konnte man an die wissenschaftliche Beantwortung dieser Frage gehen dank der Erkenntnisse in der Chemie, der Physik, der Biologie und der Medizin.

Die Untersuchung der Moleküle, die am Aufbau der verschiedenen Arten von Lebewesen beteiligt sind (z. B. DNS, RNS, Eiweißstoffe) führte zu der erstaunlichen Feststellung, daß deren Eigenschaften bei allen Lebewesen ähnlich sind. Deshalb wird heute angenommen, daß sich alle Lebewesen von einem gemeinsamen Stammbaum ableiten. Bei dem raschen Fortschritt der biochemischen Forschung findet eine wechselseitige Befruchtung bei der Aufklärung der Lebensvorgänge bei Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren sowie beim Menschen statt.

Stehen wir heute am Ende der biologischen Entwicklung der Lebewesen auf der Erde? Keinesfalls! Die biologische Entwicklung wird in den nächsten Millionen Jahren weitergehen. Die Fortschritte in der Wissenschaft und Technik schaffen den Menschen immer größere Möglichkeiten zur Sicherung ihrer Existenz und der Einflußnahme auf die Entwicklung der Natur und der Gesellschaft. Es gilt, die Natur sinnvoll zu nutzen, um gesunde Umweltverhältnisse zu erhalten, die Ernährung zu sichern sowie die Lebensbedingungen ständig zu verbessern.

Wird das Leben auf unserem Planeten für ewige Zeiten dauern? Nach Untersuchungen der Geophysiker hat unsere Sonne als »Brennofen« noch einen gewaltigen Vorrat an Brennenergie (Wasserstoff) für die Erde bereit: Sie dehnt sich dabei ständig aus und wird die Temperatur der Ozeane in etwa 8 Milliarden Jahren bis auf etwa 100 °C erhöhen, so daß eines Tages das Leben auf der Erde erlöschen wird. Uns heutige Menschen mag »beruhigen«, daß die weitere Entwicklung der Lebewesen auf der Erde einen noch größeren Zeitraum zur Verfügung hat, als er seit ihrer Entstehung vergangen ist.

»akzent« – die Taschenbuchreihe
mit vielseitiger Thematik:
Mensch und Gesellschaft,
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft
und Technik. – Lebendiges Wissen
für jedermann, anregend und aktuell,
konkret und bildhaft.

Weitere Bände:

Freytag, Vom Wasser- zum Landleben
Kehnscherper, Auf der Suche nach Atlantis
Lange, Die Farben der Tiere
Becher, Ist das Eigentum ewig?
Windelband, Woher der Mensch kam
Peters, Mensch und Tierwelt
Kurze, Leichter als Luft