

# **Der stille Schrei**

## **1. Kapitel**

### **1.3. Krankes Wissen**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung (krankes Wissen)</b>	<b>3</b>
1.1. Periodensystem der Elemente	4
1.2. Referenzbereiche (der Blutanalyse)	5
<b>2. Ernährungskrankheiten und Symptome</b>	<b>6</b>
2.1. Ernährungs- (Mangel-)Krankheiten	6
2.2. Symptome (zu den Ernährungskrankheiten)	7
<b>3. Lebenswichtige (essentielle) Stoffe</b>	<b>15</b>
3.1. Elemente	15
3.2. Vitamine	18
3.3. Aminosäuren, essentielle Fettsäuren	22
<b>4. Merkmale des Lebens (Biochemie)</b>	<b>24</b>
4.1. Bausteine des Lebens	24
4.2. Organisation der lebenden Materie	28
4.3. Stoffwechsel	32
4.4. Reizbarkeit	34
4.5. Gewebe	35
4.6. Organe	39
<b>5. Chemische Zusammensetzung und Aufbau des menschlichen Körpers</b>	<b>41</b>
5.1. Die chemischen Bestandteile des menschlichen Körpers	41
5.2. Skelett und Gebiß	41
5.3. Muskulatur	42
5.4. Haut und Hornbildung	42
5.5. Nervensystem	43
5.6. Sinnesorgane	46
5.7. Blut, Kreislauf und Atmungsorgane	50
5.8. Verdauungs- und Ausscheidungsorgane, Stoffwechsel und Ernährung	53
5.9. Drüsen und Wirkstoffe	56
5.10. Fortpflanzung, Wachstum, Tod	57
<b>Anhang (Bittere Pillen)</b>	<b>61</b>
Quellennachweis	62
Register	63

## Wichtiger Hinweis

Das Wissen in diesem Kapitel ist zusammengefügtes Wissen aus dem letzten Jahrhundert. Es wurden wissenschaftliche Werke von verschiedenen Autoren und Wissenschaftlern herangezogen, deren Namen wir hier nicht einzeln aufführen können. Es ist Wissen, das der Menschheit gehört. Viele haben sich damit einen Namen gemacht und wurden teils „unsterblich“, wie z. B. Christiaan Eijkman, F. G. Hopkins, Werner Kollath oder Linus Pauling. Sie forschten auf Gebieten der Ernährungs- und Mangelkrankheiten, entdeckten Vitamine, Proteine und organische Säuren und wurden dadurch zu Vorkämpfer gegen die Zivilisationskrankheiten.

Wir haben Wissen aus Physik und Chemie, aus Biochemie, Humanbiologie, Medizin und Oecotrophologie herangezogen. Wir haben das Wissen von Praktikern aus Naturheilkunde und Ernährunglehre einbezogen, wenn es gesichertes Wissen war und ist, und wir haben dabei einen unwissenschaftlichen Weg eingeschlagen. Wir haben *das Pferd von hinten aufgezäumt*, das Wissen „in einen Sack geworfen“ und nachgeschaut, was im Inneren passiert, ob daraus Leben entstehen kann. Ohne lebensspendenden Funken (den Finger Gottes) kann Leben nicht entstanden sein: „*Wer hat das Gen so zerstört?*“, lautet daher unsere Frage.

Der Mensch besteht aus 24 Elementen (das ist der heutige Stand), und sie müssen alle feinsäuberlich abgestimmt sein, sonst funktioniert nichts: Der Mensch wird krank! Nach seinem Tod zerfällt er wieder in Elemente, und der Ring schließt sich. Wir konnten aber feststellen, daß es nur eine Handvoll *Grundkrankheiten* gibt, der Rest sind deren Symptome. Ein gesund ernährter, mit allen essentiellen Stoffen (das sind Elemente, Vitamine, Amino- und Fettsäuren) ausreichend versorgter Mensch neigt nicht zur Krankheitsanfälligkeit und wird etwa 100 Jahre alt. Wenn er vor dem 90. Lebensjahr stirbt, stirbt er an Krankheiten und der Unfähigkeit seines Arztes.

Mit dieser Zusammenstellung verfolgen wir keinerlei wirtschaftliches Interesse. Jeder, der interessiert ist, bekommt sie kostenfrei gegen Erstattung von Porto und Kopierkosten (Datenträger). Wir haben nicht die Absicht, unsere Arbeit als Buch in den Umlauf zu bringen. Ein (interessierter) Verlag verlangte 25-30.000 Euro Eigenbeteiligung. Das Geld haben wir nicht. Die heutigen elektronischen Möglichkeiten müssen daher ausreichen.

Von dieser Regelung sind Ärzte und Psychologen ausgenommen. Wir wollen mit diesen Berufsgruppen nichts zu tun haben. Sie plündern die Bevölkerung aus (*Transparency, 11.2004*).

**Wir weisen darauf hin, daß in unserer Arbeit Fehler oder Irrtümer enthalten sein können, obwohl wir mit Sorgfalt gearbeitet haben. Infolgedessen übernehmen wir keinerlei Verantwortung und keine daraus folgende oder sonstige Haftung, die auf irgendeine Art aus der Benutzung der Informationen entsteht.**

Jeder ist für seine Gesundheit eigenverantwortlich. Diese Verantwortung nimmt ihm weder ein Arzt, ein Heilpraktiker noch ein Physiotherapeut ab. Von *psychotherapeutischer Behandlung* halten wir nichts, lehnen sie ab, denn sie bleibt nachvollziehbare Beweise schuldig. Psychologen kann man nicht belangen, auch wenn sie den größten Schwachsinn verbreiten. Psychologie ist eine Angelegenheit des Glauben und nicht des Wissens. In den Industriestaaten wurden Milliardenbeträge von Psychologen aus den Kassen geplündert, mit einer *Psychokrankheit*, die es überhaupt nicht gibt, der „multiplen Persönlichkeit“. Es ist eine suggestive (unter Hypnose durchgeführte) Verblödung der Personen, die an diesen Quatsch glauben: Psychologen - in die Hölle mit euch! Psychologie - nein danke.

BRUNO RUPKALWIS, im Dezember 2004

# 1. Einleitung (krankes Wissen)

Es gibt unendlich viele Krankheiten, vom Fußpilz, über Bauchdeckenfisteln bis zu Hirnabszessen. Keine Stelle des menschlichen Körpers, kein Organ, kein Knochen oder Muskel, bleibt vor krankhafter Quälerei verschont. Doch was sind Krankheiten? Sie sind Alarmsignale, die den menschlichen Geist veranlassen sollen, etwas zu unternehmen. Meistens besteht dann das Unternehmen darin, daß ein Arzt aufgesucht und Pillen geschluckt werden.

Unsere Ärzte mißachten die Erkenntnisse aus mehr als vierzig Jahren Forschung in der Biochemie. Sie werden bewußt oder unbewußt nicht genügend auf diesem Gebiet ausgebildet. Jedenfalls hatten die von uns getesteten Ärzte keine Ahnung, und es war eine große Anzahl. Es ist nach wie vor so, daß durch die Selbstheilungskräfte des menschlichen Organismus die meisten Krankheiten von selbst wieder verschwinden und man sie nach kurzer Zeit vergessen hat. Nicht jede Erkrankung benötigt einen Arzt.

Heute ist der Gang zum Arzt zur Routine geworden, denn hauptsächlich wird er zum Krankschreiben gebraucht. Unsere Gesellschaft hat den Ärzten zuviel Spielraum eingeräumt, und es ist tatsächlich so, sie spielen mit unserem Leben. Das gesamte Krankensystem ist auf Gewinnmaximierung und Macht aufgebaut. Die Gewinne verschwinden in den Taschen der Mächtigen dieses Systems, die Allgemeinheit bezahlt dafür jeden Preis, und das System wird immer gieriger. Der einzelne Mensch hat keinerlei Einflußmöglichkeiten, ob er es für richtig hält oder nicht, daß 80jährige oder noch ältere Menschen nach Schlaganfall oder Herzinfarkt ins Leben zurückgeholt werden. Sie werden an Maschinen und Schläuche angeschlossen, koste es, was es wolle. In Würde sterben, sterben im Kreise seiner Lieben, gehört heute der Vergangenheit an.

Der Sinn dieser Arbeit ist, neues Denken in einen verkrusteten Apparat zu bringen. Wir können heute mit Fug und Recht vom *medizinisch-industriellen Komplex* sprechen, der eine Eigendynamik entwickelt hat, die vielleicht nicht mehr aufzuhalten ist. Fast 300 Milliarden Euro jährlich verschlingt der Moloch allein in Deutschland. Da werden Kommissionen eingesetzt, die ausbaldowern, wie noch mehr Geld in das System gepumpt werden kann: *Schulmedizin - nein danke!*

Die *Naturheilkunde* wird immer mehr an die Wand gedrückt. Deren Vertreter sind meistens Heilpraktiker, die oft besser ausgebildet sind als Schulmediziner. Unter Einsatz der natürlichen Umwelt entnommener und naturbelassener Heilmittel wird Behandlung und Vorbeugung von Krankheiten durchgeführt. Sie führen auch Behandlungen mit physikalischen Reizen wie Licht, Luft, Wärme oder Kälte, Bewegung oder Ruhe durch und bieten spezielle Ernährungsformen, pflanzliche und natürliche Arzneistoffe an. Heilpraktiker behandeln oft mit Nahrungsergänzungstoffen (Vitamine usw.) und bewegen sich damit am Rande der Legalität. Nahrungsergänzungstoffe unterliegen dem Nahrungsmittelgesetz. Ein guter Heilpraktiker wird seinem Patienten niemals eine *psychosomatische Krankheit* einreden.

Die Behandlung und Vorbeugung von Krankheiten und Befindungsstörungen durch Pflanzen, Pflanzenteile und deren Zubereitungen nennt man *Phytotherapie*. Phytopharmaka bilden als Mehr- u. Vielstoffgemische eine wirksame Einheit und müssen die Anforderungen des Arzneimittelgesetzes hinsichtlich Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit erfüllen; sie besitzen ein breites therapeutisches und pharmakologisches Wirkprofil, haben meist eine große therapeutische Breite und sind fast immer nebenwirkungärmer als synthetisch hergestellte Arzneimittel.

Gute Heilpraktiker gehen fast immer auf den *Nährstoffbedarf* des Menschen ein, beraten dabei über die Menge eines Nährstoffs, die zur Aufrechterhaltung aller Körperfunktionen benötigt wird. Sie ist individuell verschieden je nach Geschlecht, Alter, Wachstum, Gesundheitszustand, Grundumsatz, Wärmehaushalt, Schwangerschaft, genetische Disposition, Wechselwirkung zw. Nährstoffen, körperlicher Aktivität und Klima. Als grobe Orientierung für

Hauptnährstoffe gilt (g / d): 0,9 Protein, 0,9 Fett u. 5 Kohlenhydrate pro kg Körpergewicht.

*Nährstoffe* sind hauptsächlich organische Verbindungen, die dem Aufbau und Erhalt körpereigener Substanz dienen.

1. Energieliefernde Nährstoffe (Hauptnährstoffe) bestimmen den physiologischen Brennwert der Nahrungsmittel: Proteine, Fette und Kohlenhydrate.
2. Essentielle Nährstoffe sind Vitamine, essentielle Aminosäuren, essentielle Fettsäuren, Mineralien, Spurenelemente und Wasser.
3. Dazu kommen sekundäre Pflanzenstoffe.

Der Wert eines Nahrungsmittels (*Nährwert*), einerseits als Baustoff für Bildung und Erneuerung von Körperzellen, andererseits als Betriebsstoff für den Stoffwechsel\* zur Erzeugung von Energie (physiologischer Brennwert) wird nach Joule (früher Kalorie) gemessen und bewertet. Von einem *Nährschaden* spricht man, wenn chronische Gedeihstörungen im Säuglings- u. Kleinkindesalter als Folge von Ernährungsfehlern, z. B. Mehl- oder Milchnährschäden, Eiweißmangeldystrophie, Protein-Energie-Mangelsyndrome, auftreten. Erwachsene Menschen leiden an *Mangelkrankheiten*.

Den Stoffwechsel\* bezeichnet man als Metabolismus. *Antimetaboliten* sind Substanzen, die aufgrund struktureller Ähnlichkeit oder Fähigkeit zur Bindung einen Stoffwechselprozess blockieren oder beeinträchtigen.

Einteilung Antimetaboliten:

1. strukturähn. A.: konkurrieren aufgrund chem.Ähnlichkeit mit dem Metaboliten\* ohne Übernahme der Funktion;
2. strukturverändernde A.: binden den Metaboliten, was dessen Funktion oder Resorption\* verhindert oder den Metaboliten\* chemisch modifiziert;
3. indirekt wirkende A.: beeinträchtigen die Funktion des Metaboliten\* z. B. über Bindung von Ionen.

*Verwendung* finden sie als Folsäure-, Aminosäure-, Purin- und Pyrimidinantagonisten in einigen Therapien (Zytostatika). Antagonisten sind Gegenspieler, z.B. *Vitaminantagonisten* (Widersacher, Gegner, Antivitamine).

Die ursprünglich als *Heilmittel* gebrauchten Naturstoffe wurden mit dem Aufschwung der Pharmaindustrie (Chemie) durch synthetische Präparate verdrängt. Gegenwärtig verlagert sich aber die Arzneimittelproduktion wieder etwas zurück, von den reinen Syntheseprodukten auf Vitamine und Hormone\*. Die Pharmaindustrie scheut keine Mittel und Kosten für Reklamezwecke, erfindet Krankheiten und trichtert sie der Bevölkerung ein. Bestes Beispiel ist die Osteoporose\*, die keiner Hormonbehandlung bedarf. Knochenschäden können auftreten, wenn dem Organismus zur Knochenbildung *Vitamin D* fehlt. Dieses Vitamin steuert den Einbau des Knochenminerals Calcium\*.

Man teilt die Heilmittel heute nach ihren pharmakologischen Wirkungen und nach den Anwendungsgebieten wie folgt ein:

1. *Desinfektionsmittel und Chemotherapeutika* oder Mittel zur Prophylaxe und Therapie von Infektionskrankheiten;
2. *Pharmakotherapeutika* mit Wirkung auf das zentrale und periphere *Nervensystem*, auf das *Herz-* und *Gefäßsystem* sowie auf die *Verdauung* und *Diurese*.
3. *Biokatalysatoren*: Vitamine\*, Enzyme\*, Hormone\*; Impfstoffe.

1. und 2. sind mit *Risiken und Nebenwirkungen* behaftet. Es gibt in Deutschland keine Mortalitätsstatistik darüber. Noch vor vierzig Jahren dienten Medikamente lediglich zur Anstoßung des Heilungsprozesses. Ärzte verschrieben sie äußerst sparsam. Die Zeiten haben sich geändert. Heute werden Pharmapillen in 100er-Packungen verschrieben, und die Patienten schlucken das Zeug im blinden Vertrauen auf den Arzt. In Amerika liegen statistische Zahlen vor, die verraten, daß die Mortalität durch Medikamente an vierter Stelle liegt - gleich hinter Diabetes mellitus.

Wir gehen von einem neuen Ansatz aus: 80% aller Krankheiten sind *Ernährungskrankheiten*. Es gibt nur eine Handvoll Grundkrankheiten, der Rest sind deren Symptome. **Überzeugen Sie sich selbst!**

„Sind Depressionen Symptome von Mangelkrankheiten oder sind sie es nicht?“, das ist die Frage, aus der alles andere hervorgeht.  
**Johannes Rau** und **Gerhard Schröder**, beide SPD, sind Lumpen und vaterlandslose Gesellen. Sie sind für den Tod von mehr als 40.000 depressivkranken Selbstmördern verantwortlich. Wahrheit ist beweisbar!  
 Bruno Rupkalwis, 06. 11.2004

## 1.1. Periodensystem der Elemente

Die (essentiellen) Elemente des menschlichen Lebens wurden farbig dargestellt.

1 H Wasse																		2 He Heli
3 Li Lith	4 Be Bery											5 B Bor	6 C Kohl	7 N Stic	8 O Saue	9 F Fluo	10 Ne Neon	
11 Na Natr	12 Mg Magn											13 Al Alum	14 Si Sili	15 P Phos	16 S Schw	17 Cl Chlo	18 Ar Argo	
19 K Kali	20 Ca Calc	21 Sc Scan	22 Ti Tita	23 V Vana	24 Cr Chro	25 Mn Mang	26 Fe Eise	27 Co Coba	28 Ni Nick	29 Cu Kupf	30 Zn Zink	31 Ga Galli	32 Ge Germ	33 As Arse	34 Se Sele	35 Br Brom	36 Kr Kryp	
37 Rb Rubi	38 Sr Stro	39 Y Yttr	40 Zr Zirc	41 Nb Niob	42 Mo Moly	43 Tc Tech	44 Ru Ruth	45 Rh Rhod	46 Pd Pall	47 Ag Silb	48 Cd Cadm	49 In Indi	50 Sn Zinn	51 Sb Anti	52 Te Tell	53 I Iod	54 Xe Xeno	
55 Cs Caes	56 Ba Bari	57 La Lant	72 Hf Hafn	73 Ta Tant	74 W Wolf	75 Re Rhen	76 Os Osmi	77 Ir Irid	78 Pt Plat	79 Au Gold	80 Hg Quec	81 Tl Thal	82 Pb Blei	83 Bi Bism	84 Po Polo	85 At Asta	86 Rn Rado	
87 Fr Fran	88 Ra Radi	89 Ac Acti	104 Rf Ruthf	105 Ha Hahn	106 Sg Seab	107 Ns Niel	108 Hs Hass	109 Mt Meit										

1. **Wasserstoff** (Hydrogenium, wasserbildend) bildet die Grundlage allen Lebens
2. **Basenbildende Elemente**      4. **Säurebildende Elemente**      5. **Edelgase**, die keine chem. Verbindungen eingehen
3. **Übergangs-** (Spuren-) **Elemente**      mit besond. Eigenschaften      6. **Radioaktive Elemente** (☛ Lebensvernichter)
- Lanthanoide (58 - 71 seltene Erdmetalle)      ☛ Stoffe, bzw. Verbindungen, sind hochgiftig  
 Actinoide (90 - 103 alle radioaktiv)      🔥 Verbindungen der Stoffe sind teilweise giftig

### 1.1.1. Ein Wort zuvor

Von den 92 natürlich vorkommenden Elementen benötigt der Mensch nur ein Viertel. Auffällig ist, daß (mit Ausnahme der Elemente 34, 42 und 53) alle Elemente im unteren (einfacheren Atombereich) zu finden sind. *Molybdän* spielt beim Funktionieren einiger Enzyme eine Rolle, aber *Jod* ist unentbehrlicher Bestandteil für die Schilddrüse (Thyroxin). Fluor, Chlor und Jod gehören der Gruppe der Halogene an, sie bilden stechend riechende Gase und sind giftig. Fluor findet man in den Zähnen, und Chlor hat hauptsächlich Bedeutung in seinen Verbindungen, den Chloriden.

Die übrigen Elemente werden für den menschlichen Organismus (das menschliche Leben) nicht benötigt. Sie sind teilweise hochgiftig, wie z. B. alle Schwermetallverbindungen. Bis zu einem gewissen Grade ist der Organismus fähig, sie auszuschleiden. Werden Giftstoffe in den Zellen gespeichert, was leider häufig der Fall ist, weil der Organismus sie verwechselt, führen sie früher oder später zum ungesteuerten Zellwachstum - man nennt es Krebs. Beispiel: *Radioaktives Strontium* wird statt Calcium in den Organismus eingebaut.

Eine gesunde Ernährung (frei von Giftstoffen) ist des Menschen wertvollstes Gut. Sie ist weder mit Gold, Silber oder Platin aufzuwiegen, sonst würden die „reichen Säcke“ nicht krank werden (vorzeitig abnibbeln). Der Mensch ist ein Sack - basta, und die meisten sind „beklopfte Säcke“. Der Inhalt des Sacks sind Rohstoffe (Wasser, Kalk, Metalle), die fast nichts kosten. Wer mehr als 10 Euro dafür bezahlt, ist ein Verschwender. So können die „mächtigen Säcke“ weltweit die Ohnmächtigen benutzen, versklaven und ausplündern.

Ein gesund ernährter Mensch, der mit den *essentiellen Stoffen* gut versorgt ist, neigt nicht zur Krankheitsanfälligkeit. Er wird für bestimmte Kreise zu einem nutzlosen Subjekt, weil sie von den

Krankheiten leben. Wer keine (Gift-) Pillen schluckt, schädigt die Pharmaindustrie, und das ist schon fast strafbar. Die wirkliche Macht geht von den Medizinmännern aus, nicht von den Hauptlingen. Seit 10.000 Jahren plündern sie die Menschheit aus, und sie machten stets ein Geheimnis aus ihrem Wissen. Die Verdummung wird heute mit psychologischen Methoden (Propaganda, Arztserien, Werbung, Medien usw.) durchgeführt. Noch etwas: Psychologie ist keine Wissenschaft, sie ist ein Werkzeug, ein Mittel der Machtausübung, und wird zur Verdummung der Menschheit benutzt.

Mit dem heutigen Wissen der Biochemie steht die Menschheit an einer Umbruchschwelle. Ärzte, die von Biochemie keine Ahnung haben, sollen sich zum Teufel scheren. Wir (der Aktivkreis) haben etwa vierzig deutsche Ärzte und Apotheker getestet, sie hatten alle keine Ahnung von den (biochemischen) Vorgängen im menschlichen Organismus. Deshalb ist: **Heilen verboten - töten erlaubt!** Der Wissenschaftsautor *Kurt G. Blüchel* lieferte nach jahrelanger Recherche ein schonungsloses Portrait des bundesdeutschen Medizinbetriebs, der in seinen kriminellen Strukturen nur noch mit dem organisierten Verbrechen vergleichbar ist.

Wir brauchen keine Gesundheitsreform, denn Gesundheit ist nicht reformierbar. Wir brauchen eine Krankheitsreform, die wenigstens die „erfundene Krankheiten“ vom Markt fegt, die die gigantischen Kosten (fast 300 Milliarden Euro) spürbar für alle senkt: „**Gesundheit kann man nicht mit Geld kaufen - aber noch mehr Krankheiten!**“

Der Ärztepräsident *Prof. Dr. Jörg-Dietrich Hoppe* heulte wie ein geprägelter Hund, weil immer mehr Bürger Patientenverfügungen erlassen. Sie entziehen ihren Leib der geldgierigen Weißkittelzunft, die zu verarmen droht.

Blieben Sie gesund - ohne Pharmapillen!  
 BRp, 06.11.2004

## 1.2. Referenzbereiche (der Blutanalyse)

Referenzbereiche sind Messwertbereiche für labor-medizinische Parameter, die an einer gesunden Referenzpopulation ermittelt wurden. Dabei handelt es sich um Mittelwerte. Plus (+) und Minus (-) sind Standardabweichungen, bilden den tolerierbaren Bereich und entsprechen dem Wissensstand von 2001. Referenzwerte können sich ändern, variieren je nach Bestimmungsmethode und Alter. Wiederholtes Über- oder Unterschreiten der Grenzwerte deutet i. d. R. auf einen pathologischen (krankhaften) Befund hin.

Das Blut, unser flüssiges Organ, gibt Aufschlüsse über die Ernährungskrankheiten (Mangelkrankheiten und deren Symptome).

**Referenzbereiche** einige Parameter (Serum, Plasma, Vollblut)

<sup>1</sup> Ammoniak	12 - 55	µmol/l
<sup>2</sup> Bilirubin gesamt	<17	µmol/l
direkt	<5,1	µmol/l
<sup>3</sup> Calcium	2,25 - 2,6	mmol/l
<sup>4</sup> Chlorid	97 - 110	mmol/l
<sup>5</sup> Eisen Männer	10 - 28	µmol/l
Frauen	6,6 - 26	µmol/l
<sup>6</sup> Ferritin	15 - 200	µg/l
<sup>7</sup> Glukose	3,6 - 5,6	mmol/l
<sup>8</sup> Harnsäure	120 - 400	µmol/l
<sup>9</sup> Harnstoff	1,7 - 8,3	mmol/l
<sup>10</sup> Kalium	3,6 - 5,4	mmol/l
<sup>11</sup> Kreatinin	50 - 110	µmol/l
<sup>12</sup> Kupfer	11 - 24	µmol/l
<sup>13</sup> Magnesium	0,73 - 1,03	mmol/l
<sup>14</sup> Natrium	135 - 145	mmol/l
<sup>15</sup> Phosphor, anorganischer	0,8 - 1,5	mmol/l
<sup>16</sup> Proteine (gesamt)	62 - 80	g/l
<sup>17</sup> Präalbumin	0,2 - 0,4	g/l
<sup>18</sup> Albumine	35 - 52	g/l
<sup>19</sup> Globuline	22 - 36	g/l
<sup>20</sup> Alpha-1-Antitrypsin	0,9 - 2,0	g/l
<sup>21</sup> Alpha-1-Globulin	1,2 - 3,2	g/l
<sup>22</sup> Alpha-1-saures Glykoprotein	0,5 - 1,2	g/l
<sup>23</sup> Alpha-2-Globulin	3,1 - 8	g/l
<sup>24</sup> Alpha-2-Makroglobulin	1,3 - 3,0	g/l
<sup>25</sup> Beta-Globulin	5 - 9,6	g/l
<sup>26</sup> Gamma-Globulin	7,4 - 16	g/l
<sup>27</sup> C3-Komplementfaktor	0,9 - 1,8	g/l
<sup>28</sup> C4-Komplementfaktor	0,1 - 0,4	g/l
<sup>29</sup> C-reaktives Protein	<5	mg/l
<sup>30</sup> Caeruloplasmin	0,2 - 0,6	g/l
<sup>31</sup> Haptoglobin	0,3 - 2,0	g/l
<sup>32</sup> IgA	0,7 - 4,0	g/l
<sup>33</sup> IgG	7 - 16	g/l
<sup>34</sup> IgM	0,4 - 2,3	g/l
<sup>35</sup> Transferrin	2,0 - 3,6	g/l
<sup>36</sup> ALT	4 - 17	U/l
<sup>37</sup> AST	4 - 22	U/l
<sup>38</sup> Aldolase	0,8 - 7	U/l
<sup>39</sup> Alphaamylase	30 - 155	U/l
<sup>40</sup> Cholinesterase	1.900 - 8.000	U/l
<sup>41</sup> Kreatinkinase	<80	U/l
<sup>42</sup> Glutamatdehydrogenase	<4	U/l
<sup>43</sup> Gammaglutamyltransferase Männer	4 - 28	U/l
Frauen	4 - 18	U/l
<sup>44</sup> Alphahydroxybutyrat -Dehydrogenase	<150	U/l
<sup>45</sup> Laktatdehydrogenase	<195	U/l

<sup>46</sup> LDH <sub>1</sub>	<65	U/l
<sup>47</sup> Lipase	20 - 160	U/l
<sup>48</sup> alkal. Phosphatase	20 - 180	U/l
<sup>49</sup> saure Phosphatase	<12	U/l
<sup>50</sup> Cholesterol	<200	mg/dl
<sup>51</sup> Gesamtlipide	450 - 1.000	mg/dl
<sup>52</sup> Fettsäuren	240 - 440	mg/dl
<sup>53</sup> Triglyceride	40 - 150	mg/dl

### Kurzerläuterungen:

Diese Erläuterungen geben nur einen einfachen Überblick über die wichtigsten Funktionen. Bei richtig ernährten Menschen ist meistens alles in Ordnung. Sie brauchen keinen Arzt!

- <sup>1</sup> Erhöhte Werte bei gestörter Harnstoffbiosynthese (Leber).
- <sup>2</sup> Abbauprodukte des Häm (Gallenfarbstoff, Sauerstofftransport).
- <sup>3, 5, 10, 12, 13, 14, 15</sup> Essentielle Stoffe (Mineralien, Spurenelemente).
- <sup>4</sup> Salze der Salzsäure; Bed. für Wasser- u. Säure-Basen-Haushalt.
- <sup>6</sup> Eisentransporteur; erh. Werte z.B. bei Anämien.
- <sup>7</sup> (Trauben-) Zucker; Blutzucker-Bestimmung.
- <sup>8</sup> Kristallisierte org. Säure; erh. Werte deuten auf Ablagerung, z.B. Gicht, Gelenkschmerzen.
- <sup>9</sup> Endprodukt des Proteinstoffwechsels.
- <sup>11</sup> Nierendiagnostik (Muskeln, Insulinwirkung).
- <sup>16</sup> Eiweißmenge; z.B. Chromo-, Nukleo-, Phospho-, Glyko-, Metallo-, Lipo-, Hämoproteine.
- <sup>17</sup> Transportprotein für Thyroxin (Schilddrüse).
- <sup>18</sup> Transportprotein für wasserunlösliche Stoffe (Leber, Lymphe).
- <sup>19, 21, 23, 24, 25, 26</sup> Mehrere Gruppen (Alpha, Beta, Gamma) weisen auf Erkr. hin (Leber, Entzündungen, Thrombose usw.); Funktionen z. B. bei Lipiden, Hormone, Enzyme, Antikörper.
- <sup>20</sup> Verm. Werte bei Lunge-, Lebererkr.; erh. Werte bei chr. Entzündungen.
- <sup>22</sup> Membranproteine, Hormone, Kollagen (Blutgruppensubstanzen).
- <sup>27, 28</sup> weisen auf bakterielle Infektionen hin.
- <sup>29</sup> Indikator für entzündliche Prozesse u. Gewebeschädigung.
- <sup>30</sup> An Kupfer gebunden; Immununtersuchungen, Genetik.
- <sup>31</sup> In der Leber geb. Protein; Erh. bei Infektion, Nieren, Arthritis, Eisenmangel.
- <sup>32, 33, 34</sup> Immunglobuline mit Klassenbezeichnung (A, D, E, F, G, M) bilden die Antikörper im Blut und Gewebeflüssigkeiten. Mangel führt zu **Störungen der Immunität**.
- <sup>35</sup> In der Leber gebildetes Protein, das Eisen transportiert.
- <sup>36</sup> Abkürzung für **Alaninaminotransferase**; Aminosäure >> Enzym, das L-Glutamat katalysiert; erhöhte Werte bei Lebererkrankung und Blutfett
- <sup>37</sup> Abkürzung für **Aspartataminotransferase**; Aspartat ist ein Salz der Asparginsäure (Aminosäure, Stoffwechsel); es fungiert als Neurotransmitter (Botenstoff).
- <sup>38</sup> Enzym des Glykose- (Zucker-) und Fruchtstoffwechsels; erhöht bei Hepatitis, Leberzirrhose, Muskelerkrankung, Herzinfarkt, Prostatakrebs.
- <sup>39</sup> Enzyme die Bindungen von Stärke und Zucker spalten; Leber-, Nierenzellen; Diabetes mellitus.
- <sup>40</sup> Enzyme, die Cholinester spalten; Leberfunktionen, -erkrankungen.
- <sup>41</sup> Enzym mit Wirkungen auf Muskeln, Gehirn und Blut; spielt eine Rolle in der Enzymdiagnostik
- <sup>42</sup> GLDH, biochemische Vorgänge; reagiert mit Coenzymen im Leber-Ammoniakstoffwechsel, ggf. Leberzellschäden
- <sup>43</sup> GGT od.  $\gamma$ -GT; (Transport-) Enzym für Peptide u. Proteine; erh. Werte bei Erkrankung der Leber u. Gallenwege
- <sup>44</sup>  $\alpha$ -HBDH; Bez. für Bestimmung der Isoenzyme LDH1 u. LDH2, Fettabbau; erh. Werte ggf. bei Herzinfarkt
- <sup>45, 46</sup> Abk. LDH, fünf Isoenzyme, die auf Erkrankungen ihrer Gebiete schließen lassen; Herz, Blut, Muskel, Leber; Tumor
- <sup>47</sup> Lipasen spalten Fette in Fettsäuren und Glycerole (Alkohole). Erhöhte Werte bei Diabetes m., Oberbauch- u. Nierenerkrankungen.
- <sup>48, 49</sup> Enzymdiagnostik, Gegenspieler zu den Kinasen (Phosphor); weisen auf vielf. Organerkrankungen hin (z.B. Prostata, Nieren, Leber, Milz)
- <sup>50, 51, 52, 53</sup> Lipide, Fette, Fettsäuren, Wachs, Sterole (Phosphor-, Glycolipide, verestert); krankhafte Speicherung in Organen möglich.

## 2. Ernährungskrankheiten und Symptome

### 2.1. Ernährungs-(Mangel-) Krankheiten

Die Erkenntnis, daß der Körper auf die Zufuhr zum Teil winziger Mengen lebensnotwendiger Ergänzungsstoffe angewiesen ist, ist nicht alt. Man kannte zwar eine Reihe seuchenartiger Krankheiten, die sich besonders häufig im Frühjahr oder auf langen Seereisen einstellten, doch gab man die Schuld der Winterkälte, dem verdorbenen Wasser, der schlechten Luft.

Am Ende des letzten Jahrhunderts begann man, planmäßig nach den Erregern von Skorbut\*, Rachitis\*, Pellagra\* und Beriberi\* zu suchen. Der holländische Arzt Eijkman beobachtete 1890 in Indonesien, daß Hühner, die mit geschältem Reis gefüttert wurden, dieselben Lähmungen und Krampferscheinungen zeigten wie beriberikranke Menschen. Gab man den kranken Hühnern Reiskleie zu fressen, verschwanden die Krankheitszeichen rasch. Offenbar gab es also auch ein Gegenmittel gegen Beriberi\*. Nur langsam setzte sich allerdings die Erkenntnis durch, daß der Körper ständig winzige Mengen des "Anti-Beriberi\*-Stoffes" mit der Nahrung aufnehmen muß, um gesund zu bleiben. 1926 gelang es, den Anti-Beriberi\*-Stoff, das *Vitamin B1*, aus Kleie rein herzustellen.

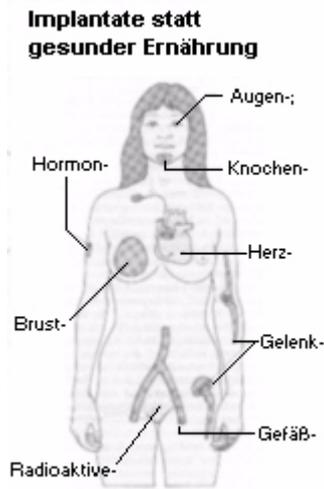


Abb.2.1.1. Der Mensch als Ersatzteil-Empfänger

Etwa 15 verschiedene Stoffe bezeichnet man heute als Vitamine. Alle haben gemeinsam, daß sie vom menschlichen Körper nicht oder nur in unzureichender Menge hergestellt werden können, also mit der Nahrung bezogen werden müssen. In winzigen Mengen entfalten sie große Wirkungen und verhindern Mangelkrankheiten wie Skorbut\*, Pellagra\*, Rachitis\* und eben Beriberi\*.

**Die Symptome der Mangelkrankheiten sind in den Industrieländern vorhanden und können verschieden stark im Vordergrund stehen - das ist das Tückische. Unsere Ärzte haben meist keine Ahnung davon und verschreiben Pharmapillen, die logischerweise nur**

**begrenzt oder gar nicht helfen. Pharmapillen - nein danke!**

**Mangelkrankheiten** wurden im Zusammenhang mit der Vitaminforschung bekannt, als sich herausstellte, daß durch den Mangel ganz bestimmter Substanzen Erkrankungszustände auftreten, die allein durch die Zufuhr der fehlenden Stoffe (Vitamine, Mineralien) zu beheben sind. Voll ausgeprägte Mangelkrankheiten treten bei uns nicht mehr auf, aber Symptome der Mangelkrankheiten aufgrund schlechter oder falscher Ernährung. Unsere Ärzte erkennen das nicht, haben keine Ahnung von gesunder Ernährung (ihr Studium ist zu kurz) und sprechen von *psychosomatischen* Krankheiten. Ein fataler Irrtum!

**2.1.1. Ariboflavinose;** durch Mangel an Riboflavin\* ausgelöste Stoffwechselerkrankung, die besonders in trop. Ländern auftritt; *Symptome:* Anämie\*, Vaskularisierung der Cornea\*, Katarakt\*, Dermatitis\*; leichter Mangel mit Cheilitis\* vulgaris, Glossitis\* entsteht meist durch Resorptionsstörungen (chron. Gastroenteritis, Zöliakie\*, Antibiotika\*-therapie) oder Leberkrankheiten. Während der Schwangerschaft Fehlbildungen des Feten (z. B. Gesichtspalten, Mißbildungen);

*Diagnose:* Bestimmung des Riboflavingehalts der Erythrozyten, der Riboflavinausscheidung im Urin und der FAD-Aktivierbarkeit

der Glutathionreduktase in den Erythrozyten, Tryptophanbelastungstest. *Therapie:* Ausreichende Vitaminzufuhr.

**2.1.2. Beriberi;** Thiamin-Mangelkrankheit insbesondere infolge Ernährung mit maschinell geschältem und poliertem Reis sowie Getreide (weißes Mehl); früher vorwiegend in Plantagen, Minen und Gefängnissen Südost- u. Ostasiens, in Europa gelegentlich im Winter bei Ernährung mit weißem Mehl.

*Symptome:* 1. Säuglingsberiberi bei brustgestillten Kindern von Müttern mit Thiaminmangel, führt zur akuten Herz-Insuffizienz\* (häufig mit letalem Ausgang (Tod)); 2. chronische B., charakterisiert durch Ödeme\*, periphere Nervenlähmung\* und Herz-Insuffizienz\*; 3. zerebrale B. (neurolog. Symptomatik, Depressionen, Wernicke\*-Enzephalopathie), häufig auch als Kompl. der chron. Alkoholkrankheit\*. Vgl. Avitaminosen\*, tropische. *Therapie:* Ausreichende Vitaminzufuhr

**2.1.3 Mangelanämie;** Anämie infolge Mangels an für die Erythropoese (Blutbildung) notwendigen Substanzen; *Ursachen:* Mangelernährung, Malabsorption\*, Maldigestion\*, Avitaminose\*, Hypovitaminose\*; z.B. als Eisen-, Protein-, Folsäure-, Pyridoxin-, Ascorbinsäure-, Cobalamin-Mangelanämien.

*Anämien infolge Ernährungsstörungen*

- verminderte od. ineffektive Erythropoese (Blutbildung)
- Eisenmangelanämie, Transferrinmangel (Eisentransport, -wertung)
- Anämie bei Eiweißmangel (Eiweißmangelanämie)
- Vitamin-B<sub>12</sub>-Mangel (perniziöse Anämie; schlimm, bösartig)
- Folsäuremangel
- Kupfermangel
- Ascorbinsäure-Mangel (Vitamin C)
- Störungen des Erythrozytenstoffwechsels
- Porphyrie [Störungen der Hämoglobinbildung (Blutfarbstoff, Eisen)]
- Defekte der Glykolyse (Stoffwechsel im Zytoplasma)
- Glukose- (Traubenzucker)-mangel (-Defekte)
- Hämoglobinsynthesestörungen

**A., perniziöse;** auch Morbus Biermer, Vitamin-B<sub>12</sub>-Mangelanämie, megaloblastäre Anämie\* als häufigste Folge eines Mangels an Cobalamin\* (Serumkonzentration <150 pg/ml). Verursacht durch Cobalamin-Resorption\* infolge verminderter oder fehlender Sekretion von Intrinsic-Faktor\* durch Magenschleimhaut-Atrophie, auch beim Syndrom der blinden Schlinge (Krummdarm), selten bei chronischer Pankreatitis\*. Malabsorptionssyndrom sowie medikamentös bedingt, evtl. auch durch unzureichende Zufuhr bei reinen Vegetariern. Bei vielen Betroffenen (ca. 90 %) sind im Serum verschiedene Autoantikörper\* gegen Parietalzellen der Magenschleimhaut und häufig auch gegen den Intrinsic-Faktor\* nachweisbar. Die p. A. tritt meist nach dem 45. Lebensjahr auf. Meist langsame Entwicklung der Anämie\* mit entsprechend schleichender Symptomatik, u. U. Hepatosplenomegalie; als häufiges Frühsyndrom Glossitis\*, zusätzl. meist gastrointestinale Beschwerden (Appetitlosigkeit, intermittierende Durchfälle, Obstipation, diffuse Bauchschmerzen) und neurologische Symptome; häufig Gewichtsverlust, selten Fieber.

*Therapie:* Substitution von Cobalamin\*; evtl. lebenslange Erhaltungstherapie, wenn die Ursache der Resorptionsstörung nicht beseitigt werden kann; die alleinige Zufuhr von Folsäure ist kontraindiziert. *Therapie:* Ausreichende Vitamin- und Mineralienzufuhr

**2.1.4. Pellagra** (Rauhe Haut, Falle, in Zusammensetzungen: Gicht); durch Mangel an Nicotinsäureamid (Niacin\*) und meist multiplen Vitamin-B-Mangel entstehende Erkrankung bei Malnutrition (einseitiger Maisernährung, Weißmehl, Malabsorption\*); *Symptome* sind (3-mal D): Dermatitis\* mit Hyperpigmentierung\* im Bereich sonnenexponierter Haut; Diarrhö\*; evtl. Polyneuropathie und Demenz\*; neurologische Störungen: Angst, Depressionen. *Therapie:* Ausreichende Vitaminzufuhr, Nicotinamid,

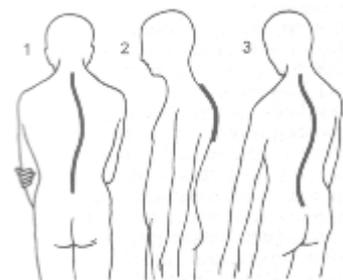
Nicotinsäure. Vgl. Avitaminosen\*, tropische. P., hereditäre s. Hartnup-Krankheit\*.

**2.1.5. Rachitis;** gestörte Mineralisation der Grundsubstanz (Matrix) des wachsenden Knochens infolge unzureichenden Calcium- bzw. Phosphatangebots; nach der therapeutischen bzw. prophylaktischen Wirkung der Calciferole\* (syn. Vitamin D) unterscheidet man zwei Formen: 1. *Vitamin-D-Mangel-R.* (Englische Krankheit, Glisson-Krankheit): im Kleinkindesalter, selten bei älteren Kindern (als R. tarda) auftretende, durch Mangel an Calciferolen\* bedingte Störung des Calcium- u. Phosphatstoffwechsels mit typischen Skelettveränderungen infolge ungenügender Verkalkung des Knochens (Form der sekundären Ossifikations\*-störungen, entspricht der Osteomalazie\* im Erwachsenenalter); angeb. R. als Sonderform bei mütterlicher Osteomalazie\*;



**Abb.: 2.1.2.** Gesunde Ernährung, frische Luft und Sonnenschein verhindern Rachitis und ihre Folgen; Knochendefekte auch bei Erwachsenen.

*Ursache:* unzureichende photochemische Umwandlung von Calciferolvorstufen in der Haut zu Colecalciferol durch mangelnde UV-Bestrahlung (Anaktinose) oder unzureichende Zufuhr bzw. Resorption\*; ohne ausreichende Calciferolsubstitution kommt es v. a. in den Wintermonaten zu einem Calciferolmangel. Verminderung der Calciumresorption aus dem Darm, der Rückresorption von Phosphat in den Nierentubuli und des Calciumaustauschs zwischen Skelett und Blut; inf. Hypokalzämie\* sek. Hyperparathyroidismus\* mit verstärkter Calciummobilisation aus den Knochen und gesteigerter renaler Phosphatausscheidung. *Symptome: Manifestation* meist im 2.-3. Lebensmonat mit Unruhe, Schreckhaftigkeit, Schwitzen (bes. am Kopf), Hinterkopfglatze, im 3-4. Monat Muskelhypotonie, schlaffe Bauchdecken (sog. Froschbauch), Obstipation\*, evtl. Zeichen einer Tetanie\* und Krämpfe\* sowie als Erstmanifestation der im Vordergrund stehenden (schmerzhaften) Skelettveränderungen meist abnorme Weichheit des Schädelknochens (sog. Kraniotabes), später durch Abflachung des Hinterhauptes u. Epiphytenbildung im Bereich der Stirn- und Scheitelbeine sog. Caput quadratum sowie Auftreibungen der metaphysären Wachstumszonen und becherförmige Erweiterungen der distalen Enden der Röhrenknochen durch Störungen des Knorpelabbaus u. Anlagerung von nicht verkalktem Osteoid, an den Rippen als tast-



**Abb.: 2.1.3.** Skoliose, seitl. Verbiegung der Wirbelsäule; tritt im Anschluß an Rachitis auf. 1 Skolios, 2 Kyphose, 3 Kyphoskoliose

und später sichtbarer sog. rachitischer Rosenkranz infolge von Auftreibungen an der Knorpel-Knochen-Grenze, an den inneren Fußknöcheln als sog. Doppelknöchel (Marfan-Zeichen) und als sog. Perlschnurfinger; am übrigen Skelett Knochenverformungen (u. a. Beckendehnung, Kyphose, sog. Glockenthorax mit Harrison-Furche durch Einziehungen des Zwerchfellansatzes, Pectus carinatum, Beinverkrümmungen); verzögerter (Milch-)Zahndurchbruch mit Schmelzdefekten. *Diagnose:* (röntg.) Osteopenie, verspätete Ausreifung u. Verkalkung der Knochenkerne, verbreiterte und unregelmäßige Epiphysenlinien, becherförmige Metaphysenendzonen, subperiostale Aufhellungen mit doppelter Konturierung, bandförmige Looser-Umbauzonen im meta- u. epiphysären Bereich; (labordiagn.) alkal. Phosphatase erhöht, Serumcalcium im unteren Referenzbereich, im Spätstadium erniedrigt, Serumphosphat anfangs normal oder

erhöht, später erniedrigt; im Spätstadium Hyperaminoacidurie, Hyperammonurie.

*Therapie:* orale (bei Resorptionsstörungen parenterale) Zufuhr von Colecalciferol und Mineralien unter Kontrolle der Laborbefunde; *Kompl.:* rachitogene Tetanie\*. *Vorbeugung:* durch systematische Calciferolprophylaxe kann eine Vitamin-D-Mangel-Rachitis\* verhindert werden. Den physiol. Erfordernissen entspricht am ehesten eine längere Gabe von tägl. 400 - 1000 I. E. ab der 2. Lebenswoche; bei unkontrollierten Calciferolgaben evtl. Intoxikation (Nephrokalzinose);

**2. Vitamin-D-resistente R.**, spricht auf Calciferolzufuhr in therap. Dosen nicht an und kann verschiedene Ursachen haben: chron. Phosphatdiabetes oder hyperphosphatämische renale R. Phosphatstörungen\*, Pseudomangelrachitis, Rachitis\* renalis, Hypophosphatasie.

*R. renalis* (Nierenstörung); Form der Vitamin-D-resistenten Rachitis\*, entsteht durch Störung der Reabsorption von Phosphat bzw. Calcium im proximalen Tubulus, durch renale tubuläre Azidose unterschiedlicher Ursache und bei chron. Nieren-Insuffizienz\*; häufig liegen kombinierte Störungen vor (z. B. bei Cystinose); *Therapie:* Neben hohen Calciferoldosen Ausgleich einer evtl. bestehenden Azidose durch Alkalizufuhr.

**2.1.6. Skorbut** (auch Scharbock); eine der am längsten bekannten Avitaminosen\*; *Ursache:* Mangel an Ascorbinsäure\*; Frühsymptome sind verminderte Leistungsfähigkeit, Müdigkeit, Reizbarkeit, Gelenk- und Gliederschmerzen, Infektanfälligkeit, hypochrome mikrozytäre Anämie\*. Infolge der gestörten Bindegewebssynthese kommt es zur Brüchigkeit der Blutgefäße mit allg. Blutungen, Ausfallen der Zähne und Gingivitis sowie verzögerter Wundheilung; bei Säuglingen und Kleinkindern außerdem Störungen des Knochenwachstums (Möller-Barlow-Krankheit\*).

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt die tgl. Zufuhr von 60 mg Vitamin C. Das reicht gerade aus, um vollausgeprägten Skorbut zu verhindern. Die Mangelsymptome des Skorbut können verschieden stark im Vordergrund stehen.

**2.1.7. Xerophthalmie** (Auge); durch Vitamin-A-Mangel verursachte Augenveränderungen; *Ursache:* Störung der Regeneration von Rhodopsin\* und Untergang von Photorezeptoren, Epithelstörungen an Bindehaut und Hornhaut; *Vorkommen:* v. a. bei Kindern bis zum 6. Lebensjahr. mit Protein-Energie-Mangelsyndromen, in allen Altersstufen bei Resorptionsstörungen (z. B. Zöliakie\*, zystische Fibrose, alkohol. Leberzirrhose);

*Symptome:* Nyktalopie\*, verdickte und trockene Bindehaut, Bitot-Flecke, später oberflächliche Epithelläsionen, Hornhautgeschwüre\*, unter Umständen mit Einschmelzung bei fast reaktionslosem Auge (*Keratomalazie*). *Therapie:* Vitamin-A-Zufuhr, auch lokal als Augensalbe. Vgl. Avitaminosen\*, tropische.

## 2.2. Symptome (zu den Ernährungskrankheiten)

**2.2.1. Alkoholkrankheit;** sog. Alkoholismus oder Abhängigkeit von Alkohol mit somat., psych. oder sozialen Folgeschäden. In Deutschland sind 2,5-3 Mill. Menschen alkoholkrank. Folgen sind z. B. Fettleber, Alkoholhepatitis, Leberzirrhose, Pankreatitis, Speiseröhrenerkrankung, Gastritis\*, Herz- und Kreislaufprobleme, Kleinhirnrinden-Atrophie\*, Wernicke\*-Enzephalopathie, Krampfanfälle; soziale Folgen; Alkohol ist Vitaminräuber.

**2.2.2. Anämie;** sogenannte Blutarmut; Verminderung von Erythrozytenzahl, Hämoglobinkonzentration u./od. Hämatokrit unter die altersentsprechenden u. geschlechtsspezif. Referenzwerte; da sich diese drei Parameter nicht immer gleichsinnig verändern, empfiehlt sich bei Verdacht auf eine A. deren gleichzeitige Bestimmung. Infolge der verminderten Sauerstofftransportkapazität des Bluts auch Störungen sauerstoffabhängiger Stoffwechsel\*- u. Organfunktionen. Bei akuter Entwicklung (z. B. Blutverlust) Symptome des Schocks; bei chron. Entwicklung oft langsamer

Verlauf mit Leistungsabfall, Müdigkeit, Atemnot, Tachykardie (Herzrhythmusstörung), großer Pulsamplitude und funktionellen (hörbaren) Herzgeräuschen, selten Angina pectoris und Zeichen einer Herz-Insuffizienz\*.

**2.2.3. Antibiotika;** i. e. S. Bez. für best. Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen, Streptomyzeten od. Bakterien, i. w. S. auch für deren (semi-)synthetische Derivate mit bakteriostatischer (z. B. Tetracycline, Chloramphenicol, Makrolid-Antibiotika) oder bakterizider (z. B. Penicilline, Cephalosporine, Aminoglykosid-Antibiotika, Polymyxine) Wirkung. *Verwendung* bei bakt. Infektionskrankheiten in eindeutigen Fällen. Fieber allein ist keine Indikation für eine Antibiotikagabe! Die lokale Anwendung von A. ist bei den meisten Infektionen nicht indiziert!

**2.2.4. Antikörper;** zu den Gammaglobulinen gehörende heterogene Gruppe von Glykoproteinen (Immunglobuline), die als mögliche Antwort des Immunsystems nach Kontakt des Organismus mit Antigenen von B-Lymphozyten u. Plasmazellen gebildet und in Körperflüssigkeiten sezerniert werden u. mit dem entspr. Antigen spezif. (selektiv) reagieren (Antigen-Antikörper-Reaktion). Antikörper besitzen zwei (bivalente Ak, z. B. IgG) bis zehn (sog. multivalente Ak, z. B. IgM) Antigenbindungsstellen; monovalente Ak kommen natürlicherweise nicht vor.

*Funktion:* Als Träger der humoralen Immunität v. a. Bindung von fremden (pathogenen Mikroorganismen) und körpereigenen Antigenen (z. B. Tumorzellen) mit Neutralisation z. B. von Toxinen u. Viren, Agglutination oder Lyse korpuskulärer Antigene durch Aktivierung von Komplement oder Stimulation der Phagozytose durch Opsonisierung der Antigene sowie Freisetzung biologisch wirksamer Mediatoren aus aktivierten Mastzellen (durch zytophile Ak). Antikörper\* können (häufig sekundär) auch nachteilige Auswirkungen auf den Organismus haben und spielen z. B. in der Pathogenese der Allergie, bei Immunkomplex-Krankheiten, Autoimmunkrankheiten, Abstoßungsreaktionen, eine Rolle. Vgl. Autoantikörper\*.

**2.2.5. Antioxidanzien;** leicht oxidierbare Stoffe, die durch ihr niedriges Redoxpotential andere Stoffe (z. B. in Lebensmitteln) vor unerwünschter Oxidation schützen; natürl. Antioxidanzien sind z. B. Tocopherole\*, Ascorbinsäure\*, zu den synthet. A. zählt z. B. Schwefeldioxid. Da A. infolge ihrer antioxidativen Wirkung die Entstehung von Freien Radikalen\* verhindern können, wird ihnen eine präventive Funktion hinsichtlich bestimmter Erkrankungen zugeschrieben. Verwendung auch als Konservierungsstoffe für Lebensmittel u. Kosmetika.

**2.2.6. Atrophie;** Rückbildung eines Organs oder Gewebes, krankhaft als einfache A. mit Verkleinerung der Zellen oder mit Abnahme der Zellzahl; Einteilung: 1. physiologisch (z. B. Altersatrophie), Involution (z. B. des Thymus in der Pubertät); 2. pathologisch; a) generalisierte, metabolisch bedingt bei Unterernährung od. endokrin bedingt; b) lokalisierte, z. B. infolge lokaler Durchblutungsstörungen.

**2.2.7. Autoantikörper;** gegen körpereigene Antigene versch. zellulärer Strukturen (z. B. Oberflächenantigene, Rezeptoren, Nukleinsäuren, Proteine, Glykoproteine) gerichtete Antikörper\* (Immunglobuline) mit physiol. u. pathol. Bedeutung.

**2.2.8. Avitaminose** (Vita-; Leben); schwere Form des Vitaminmangels (leichte Formen: Hypovitaminosen\*): 1. ungenügende Zufuhr bei Malnutrition\*; 2. Zerstörung der Darmflora (z. B. durch Antibiotika\*); 3. Störung der Resorption\* (starke Durchfälle, Darmresektion, Schleimhaut-Atrophie\* mit Fehlen von Intrinsic-Faktor\*). Vgl. Vitamine.

*A.n. tropische;* aufgrund schlechter Ernährungslage in den trop. u. subtrop. Entwicklungsländern häufig vorkommende Mangelerscheinungen vorwiegend bei Kindern; wichtigste tr. A.: Ariboflavinose, Beriberi\*, Pellagra\* und Xerophthalmie. Rachitis\* ist

trotz der starken Sonnenstrahlung in den Tropen und Subtropen sehr viel häufiger als in Ländern mit gemäßigtem Klima (bessere Lebensbedingungen). Skorbut\* ist in den Tropen ausgesprochen selten.

**2.2.9. Cheilitis,** Lippenentzündung, manchmal hartnäckige Veränderungen an der Unterlippe, meist als Folge einer chron. Cheilitis actinica. Es gibt viele verschiedene Formen, z.B. *Cheilitis vulgaris;* sog. aufgesprungene Lippen; entzündl. Schwellung, Desquamation u. Rhagaden der Lippen; Ursache häufig Riboflavinmangel.

**2.2.10. Coenzyme;** niedermolekulare, bei Enzymreaktionen am Transfer von Elektronen, Protonen oder Molekülgruppen beteiligte Substanzen, die sich strukturell meist von Vitaminen ableiten; Coenzym und Enzymprotein bilden das enzymatisch aktive (Holo-)Enzym. Coenzyme nehmen in erforderlichen Mengen an der Reaktion teil. Im Gegensatz zu Enzymen\*, die für ein einziges Substrat spezifisch sind, wirken Coenzyme mit vielen Enzymen\* unterschiedlicher Substratspezifität zusammen.

**2.2.11. Coenzym A** (Abk. CoA); Wirkungsform des Vitamins Pantothersäure\*; *biochem. Funktion:* Übertragung von Acylgruppen; organischen Säuren (z. B. bei der Betaoxidation) sind in Acyl-CoA\* infolge der energiereichen Thioesterbindung aktiviert. Acetyl-CoA\* besitzt eine Schlüsselstellung im Metabolismus, es verbindet Citratzyklus, Glykolyse und Fettstoffwechsel. Vgl. Coenzyme\*

**2.2.12. Coenzym Q** (syn Ubichinon); Sammelbezeichnung; Bedeutung in der Atmungskette und bei Protonen und Elektronen.

**2.2.13. Cornea;** Hornhaut des Auges; durchsichtiger Abschnitt der Augapfelhülle, der am Limbus corneae in die weiße Augenhaut (Sklera) übergeht.

**2.2.14. Degeneration;** sogenannte Entartung zellulärer Strukturen oder Funktionen infolge Schädigung der Zelle: 1. wässrige D.; 2. fettige D. (Fettansammlung); 3. Proteinablagerung; 4. extrazellulärer Stoffaustausch; 5. Nervenschädigungen

**2.2.15. Demenz;** Bez. für i. d. R. über Monate bis Jahre chronisch (zunehmend) verlaufende, degenerative Veränderungen des Gehirns mit Verlust von früher erworbenen kognitiven Fähigkeiten; *Symptome:* Zunehmende kognitive Störungen, die insbes. Gedächtnis, Denken, Urteilsfähigkeit, Intelligenz u. Orientierung betreffen und häufig mit Beeinträchtigungen im sozialen und beruflichen Umfeld bzw. Veränderungen in der Persönlichkeitsstruktur einhergehen; u. U. psychotische Symptome (z. B. Halluzinationen od. Wahnideen), eine quantitative Bewusstseinsstörung liegt i. d. R. nicht vor; Alzheimer-Krankheit; Parkinson-Syndrom, Multiple-Sklerose, Creutzfeldt-Jakob-Krankheit, u. a. Depression, geistige Behinderung.

**2.2.16. Demineralisation;** Verarmung des Körpers an Mineralien; z. B. Phosphat- und Calciumverlust bei Rachitis\* oder Karies, Kochsalzverlust bei Pylorusstenose, Erbrechen; ferner bei mineralienarmer Ernährung.

**2.2.17. Dermatitis;** Bez. für eine primär die Dermis erfassende, entzündliche Hautreaktion auf chem., physikal., mikrobielle oder parasitäre Noxen sowie i.R. anderer Hauterkrankungen (z. B. atopisches Ekzem, Psoriasis).

**2.2.18. Diarrhö;** Durchfließen; Durchfall; mehr als drei dünnflüssige Stühle pro Tag mit mehr als 200 g Gewicht pro Tag; *Formen:* 1. osmotische D.: unzureichende Resorption\* osmotisch wirksamer Substanzen im Darm; 2. sekretorische D.: gesteigerte Ionensekretion und mangelnde Ionenresorption; 3. Entzündliche

D.: Austritt von Proteinen und Blut; 4. D. bei gestörter Organbewegung;

**2.2.19. Eisenmangelanämie** (Anämie); häufigste Anämie\*, bei der die Biosynthese von Häm infolge Eisenmangels verzögert ist; Folge: niedriger Gehalt an Hämoglobin, der aufgrund der zusätzl. gestörten Erythropoese zur Bildung mikrozytärer Erythrozyten führt. *Ursache*: 1. akuter oder chron. Blutverlust; a) physiol.



**Abb.: 2.2.1.** Eisenhaltige Nahrungsmittel: Obst, Vollkornbrot, Bohnen, mageres Fleisch u. grüne Gemüse beugen der Anämie vor.

(Menstruation); b) pathol., am häufigsten gastro-intestinale Blutungen (z. B. bei Ulcus, Gastritis\*, bei Therapie mit Medikamenten; Zahnfleisch- und Nasenbluten); 2. Ungenügende Nahrungseisenzufuhr (bei vegetarischer Ernährung); 3. Erhöhter Eisenbedarf (im Wachstum, bei Schwangerschaft u. Stillen); 4. Eisener-sorptionsstörung (bei Magen-erkrankung, Malabsorption\*, Diarrhö\*, nach Magen-Op); 5. Eisenverteilung und -Transport. Ein Eisendefizit manifestiert sich krankhaft i. d. R. erst nach Verbrauch des als Hämosiderin u. Ferritin gespeicherten Eisens (ca 20 % des Gesamteisens); daher sind viele Patienten an Eisenmangel angepaßt und ohne wesentliche Beschwerden. *Symptome*: Anämie\* (Müdigkeit, Blässe); Kopfschmerz, Appetitlosigkeit, Diarrhö\*, Obstipation\* sowie trockene und spröde Haut, brüchige Haare und Nägel, Nasenschleim-, Mundwinkeleinrisse, Zungenbrennen, Glossitis\* mit Papillen-Atrophie\*, Schluckbeschwerden, Gastritis\* und leichte Hautbeschwerden.

*Therapie*: 1. Ursache des Eisenmangels ausschalten; 2. Ausgleich des Eisendefizits, möglichst oral (2-wertige Eisenverbindungen).

**2.2.20. Enzyme** (syn. Biokatalysatoren); Makromoleküle, meist Proteine, z. T. auch Ribonukleinsäuren, Ribozyme), die chem. Reaktionen in biologischen Systemen katalysieren; durch die Beschleunigung chemischer Reaktionen mind. um das  $10^6$ fache und die Verminderung der freien Aktivierungsenergie ermöglichen sie den Ablauf chemischer Reaktionen bei Körpertemperatur. Prinzipiell können Enzyme die Reaktion in beide Richtungen katalysieren. Da bei den einzelnen in Stoffwechsel\*-prozessen aufeinander folgenden Reaktionen das Produkt entfernt wird, verschiebt sich das Gleichgewicht, so dass die Reaktionen in einer Richtung ablaufen.

**2.2.21. Epithelgewebe**; geschlossener Zellverband, der innere oder äußere Körperoberflächen bedeckt mit Funktionen: Schutz, Stoffaustausch, Reizaufnahme.

*Einteilung*: 1. Plattenepithel: a) einschichtig, z. B. Peritoneum; b) mehrschichtig, unverhornt, z. B. Mundhöhle, Vagina; verhornt, z. B. Epidermis; 2. kubisches Epithel z. B. Pigmentepithel der Retina, 3. hochprismatisches (Säulen-)Epithel: a) einschichtig, z. B. Magen, Gallenblase, Darmkanal, Eileiter u. Uterus (Sekretionsphase) mit Flimmerbesatz; 4. Mehrreihiges Epithel, z. B. Respirationstrakt (mit Flimmerbesatz u. Becherzellen); 5. Übergangsepithel: Form des mehrschichtigen Epithels; Auskleidung von Hohlorganen mit veränderl. Ausdehnung: Nierenbecken, Harnblase, Anfangsteil der Harnröhre; Deckzellen (harnsichere Zellen) oft mehrkernig, mit oberflächl. Zytoplasmaverdichtung.

**2.2.22. Folsäuremangelanämie** (Anämie\*); makrozytäre (große, megaloblastäre) hyperchrome Anämie\* mit Leukopenie und Thrombopenie bei Folsäuremangel (Serumkonzentration unter  $11,3 \text{ nmol/l}$  bzw.  $0,5 \text{ µg/dl}$ ). *Ursache*: 1. unzureichende Zufuhr. z.B. bei allgemeiner Unterernährung, Alkoholkrankheit\*, Ernährungsfehlern; 2. gestörte Resorption\*. z. B. bei Zöliakie\* und Sprue, Magen-Op.; auch medikamentös bedingt (z. B. durch Antibaby-Pille); 3. gesteigerter Bedarf, z. B. in der Schwangerschaft, bei Schilddrüsenüberfunktion, u. U. auch bei hämolytischer

Anämie\* (Blut); 4. Hemmung der Folsäurebiosynthese, z. B. durch Folsäureantagonisten, Alkohol. *Symptome*: Blutveränderungen ähnlich denen bei perniziöser Anämie\*.

*Diagnostisch*: Abgrenzung durch Bestimmung der Serumkonzentration von Cobalamin\*, Verlauf der F. ohne neurol.-psychiatr. Symptome? *Beseitigung* der Ursache, folsäurehaltige Nahrungsmittel, orale Zufuhr von Folsäure\*.

**2.2.23. Freie Radikale** (Radikale\*); sehr reaktionsfreudige Verbindungen mit einem ungepaarten Elektron, die vielfältige irreversible Reaktionen auslösen; F. R. entstehen durch Zufuhr von Energie, z. B. durch ionisierende Strahlung, oder bei Elektronenübertragung. Vgl. Antioxidanzien\*.

**2.2.24. Gastritis**; Entzündung der Magenschleimhaut; Einteilung nach verschiedenen Kriterien. Von einer chronischen Gastritis sollte nur gesprochen werden, wenn die Diagnose durch histologische Untersuchung der Magenschleimhaut gesichert ist.

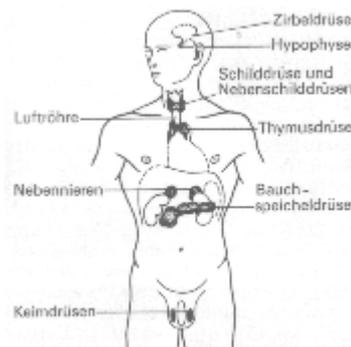
**2.2.25. Glossitis**; Zungenentzündung; entzündl. Veränderung der Zungenschleimhaut. häufig in Verbindung mit Stomatitis bei Infektionskrankheiten, häufig auch in Verbindung mit Mangelkrankheiten (Pellagra\*, perniziöse Anämie\*).

**2.2.26. Hartnup-Krankheit**; seltene, autosomal-rezessiv erbl. Stoffwechsel\*-störung mit Defekt der intestinalen u. tubulären Resorption von neutralen Aminosäuren; benannt nach der erstbeschriebenen Familie; meist klinisch. inapparent, u. U. pellagraähnliche Lichtdermatose infolge Tryptophanmangels (Verminderung der Nicotinamidsynthese), selten zerebellare Symptome; *Therapie* ggf. Nicotinamid (Vitamin B<sub>3</sub>).

**2.2.27. Herzinsuffizienz**; (Insuffizienz\*) synonym dafür Myokardinsuffizienz, Herzmuskelschwäche; unzureichende Funktion des Herzens, bei der das Herz nicht mehr imstande ist, eine den Anforderungen entspr. Förderleistung zu erbringen.

Ursachen nach Herzinfarkt, Kardiomyopathie, erworbene Herzfehler, Hypertonie, Herzrhythmusstörungen, koronare Herzkrankheit, Myokarditis. Der sog. „Plötzliche Herztod“ ist häufig auf Thiamin-Mangel zurückzuführen.

**2.2.28. Hormone**; organische Verbindungen, die als interzelluläre Signalstoffe oft in endokrinen (inneren) Organen produziert werden, mit dem Blut in freier oder gebundener Form zu ihren Erfolgsorganen gelangen und in extrem geringer Konzstanz (bis  $10^{-15} \text{ mol/gr}$  Gewebe) den Stoffwechsel\* charakteristisch beeinflussen.



**Abb.: 2.2.2.** Sekretion: Drüsen mit innerer Sekretion

Die spezifischen Wirkungen von Hormonen vermitteln Hormonrezeptoren (Signalempfänger). Regelkreise (z.B. Blutzuckerspiegel) kontrollieren die komplexen Wechselwirkungen zwischen Hormone, hormonabhängigen Metaboliten\* und Nervensystem. Es gibt viele versch. Arten von Hormonen: Steroid-, Peptid- und Proteohormone; von Amino- und Fettsäuren abgeleitete.

Beispiele: Insulin, Glucagon, Thyroxin, ADH, Calcitonin, Histamin, Acetylcholin. Ein gesund ernährter Mensch braucht keine Hormone schlucken, die erzeugt der gesunde Organismus selbst, bis ins hohe Alter.

**2.2.29. Hornhautgeschwüre**, siehe Cornea\*

**2.2.30. Hyperparathyroidismus;** Überfunktion der Nebenschilddrüsen mit vermehrter Bildung von Parathormon

**2.2.31. Hyperpigmentierung;** lokalisiert oder generalisiert auftretende, verstärkte Färbung der Haut durch vermehrte Bildung oder Ablagerung von Pigment als Nävus, Ephelides, Chloasma, Lentigo u. a. Hauterkrankungen sowie bei Stoffwechsel\*-störungen (z. B. Porphyrie\*) u. Medikamenteneinnahme.

**2.2.32. Hypervitaminosen;** Erkrankungen durch Überdosierung von Vitaminen (meist in synthetischer Form); kommen v. a. bei den fettlöslichen Vitaminen (A, D, E, K) vor, da diese im Ggs. zu den wasserlöslichen Vitaminen gespeichert werden. Die Vitaminpräparate (Beipackzettel) geben Auskunft über die Mengen.

**2.2.33. Hypogammaglobulinämie;** im Kindesalters; postnatal verzögert einsetzende Synthese von Immunglobulinen der Klasse IgG bei i. d. R. altersentsprechend niedrigen Serumkonzentrationen von IgM u. IgA; *Vorkommen:* insbes. bei Frühgeborenen; nach Antigenstimulation erfolgt eine adäquate Bildung spezif. Antikörper\*, die Zahl der B-Lymphozyten ist normal, die zellvermittelte Immunität nicht gestört. Eine Normalisierung der IgG-Serumkonzentration erfolgt meist innerhalb der ersten drei Lebensjahre.

**2.2.34. Hypokaliämie;** häufige Form einer Elektrolytstörung mit Erniedrigung des Kaliums\* unter 3,5 mval/l, meist in Kombination mit Störung im Säure-Basenhaushalt: 1. verminderte Zufuhr von Kalium\*, z. B. bei Infusionstherapie mit kaliumfreien Flüssigkeiten; 2. erhöhte Ausscheidung, chron. Nieren-Insuffizienz\* (sehr häufig), Erbrechen, Durchfall; Darm; Fisteln, 3. Verteilungsstörungen ohne Verminderung des Gesamtkörperkaliums, z. B. bei Alkalose od. Insulintherapie.

*Symptome* die bei Hypokaliämie auftreten: Apathie, Adynamie, Parese u. Hypotonie der Muskulatur, Wulstbildung bei Beklopfen der Muskulatur, Bewusstseinsstörungen bis zum Koma; Depressionen, Appetitlosigkeit, Obstipation\*, Darmstörungen; kardiovaskuläre Symptome: Tachykardie, Extrasystolen, EKG-Veränderungen, Ödeme\*.

**2.2.35. Hypokalzämie** (Calcämie); erniedrigte Calciumkonzentration im Blutserum (<2,0 mmol/l bzw. 8,0 mg/dl); *Ursache:* Calciferolmangel, Rachitis\*, Malabsorption\*, chron. Nieren-Insuffizienz\*, akute Pankreatitis\* u. a.; *Symptome:* gesteigerte neuromuskuläre Erregbarkeit; s. Tetanie\*.

**2.2.36. Hypomagnesiämie;** Erniedrigung der Magnesiumkonzentration im Blut; vgl. Magnesiummangelsyndrom\*.

**2.2.37. Hyponatriämie;** Verminderung der Natriumkonzentration im Blut auf Werte unter 135 mmol/l (135 mval/l); meist als Zeichen eines Wasserüberschusses im Organismus, auch eines Mangels an Gesamtnatrium.; *Symptome:* Apathie, Kopfschmerz, Durst, Appetitlosigkeit, Erbrechen, ggf. Blutumlauf gestört (Tachykardie); *Therapie:* schrittweiser Natriumersatz (Kreislauf beobachten).

**2.2.38. Hypophosphatämie;** herabgesetzter Phosphatgehalt im Serum unter 0,57 mmol/l (1,7 mval/l, 3 mg/dl) bei ungenügender Nierentätigkeit; Überfunktion der Nebenschilddrüsen. Zusätzlich kann Vitamin-D-Rachitis\* vorkommen.

**2.2.39. Hyposiderinämie;** Eisen\*; Verminderung des Serumeisens bei Eisenmangel mit und ohne Anämie\*; Tumor- und Infektanämie (Eisenbindungskapazität).

**2.2.40. Hypovitaminosen;** durch Vitaminmangel entstandene Krankheitszustände leichter Art (schwere Form: Avitaminose\*); meist durch Zufuhr des fehlenden Vitamins völlig reversibel; vgl. Vitamine.

**2.2.41. Insuffizienz;** Schwäche, ungenügende Leistung eines Organs oder Organsystems, z.B. Herz-, Leber-, Niereninsuffizienz

**2.2.42. Intrinsic-Faktor** (innerlich); neuraminsäurehaltiges Glykoprotein, das in den Belegzellen der Magenschleimhaut gebildet wird; bildet mit Cobalamin\* (sog. Extrinsic-Faktor) einen gegen Pepsin resistenten Komplex u. ermöglicht so dessen Resorption\* im Krummdarm (Dünndarm); Fehlen bei Atrophie\* der Magenschleimhaut oder nach totaler Magenresektion (Operation) führt zu *perniziöser Anämie\**.

**2.2.43. Jodblockade** (Iod\*-) der Schilddrüse; Verminderung der Jodspeicherungsfunktion der Schilddrüse infolge (auch ungewollter) Aufnahme von jodhaltigen Verbindungen (Medikamente, Röntgenkontrastmittel); hohe Joddosen führen zur Herabsetzung der Sch.-Drüsendurchblutung sowie zur Hemmung der Jodaufnahme, somit der Hormonsynthese (Thyroxin T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>). Rascher Abfall des T<sub>4</sub>-Spiegels ist möglich. Die Schilddrüsen-Hormone\* sind an der Steuerung des Zuckerspiegel (Glukose) beteiligt. *Vorsicht:* Nach Schilddrüsen-Op droht Diabetes mellitus.

**2.2.44. Kanzerogene** (*kanzerogen*; krebserzeugend); Substanzen oder Faktoren, die beim Menschen oder im Tierversuch die Erkrankungsfälle von (Krebs-) Tumoren erhöhen, die Latenzzeit der Kanzerogenese verkürzen oder das Tumorspektrum in einem Gewebe verändern (erweitern) können. Sie wirken direkt oder indirekt (reaktionsfähige Metaboliten\* im Stoffwechsel\*, Entstehung von Radikalen\*, Sauerstoff-Metaboliten\*) durch Bindung an ein DNA-Basenpaar (mutagen) und können lokal am Einwirkungsort wirksam werden.

*Einteilung* nach Substanzart: 1. chemische Stoffe: organische Verbindungen; aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe, aromatische Amine, Nitrosamine\*, Insektizide, Zytostatika, Substanzen von Metallen (Salze z. B. Arsen, Beryllium, Chrom\*, Cadmium, Nickel\*), Asbest (s. Asbestose) od. Quarz (s. Silikose); 2. natürliche Substanzen: z. B. Pilzgifte, Viren; 3. physikalische K.; z. B. ionisierende od. ultraviolette Strahlen (s. Strahlenkrebs, UV-Schäden).

**2.2.45. Katarakt;** sog. grauer Star; Bezeichnung für jede Trübung der Augenlinse unabhängig von deren Ursache; verschiedene Einteilung nach Ätiol., Morphologie bzw. Alter beim Auftreten; häufig Vitamin-A-Mangel.

**2.2.46. Keratomalzie;** Einschmelzungsvorgänge an der Hornhaut der Augen unterernährter Kinder durch Vitamin-A-Mangel; vgl. Xerophthalmie.

**2.2.47. Krämpfe;** unwillkürliche Muskelkontraktionen, nach Ausdehnung und Ablauf werden unterschieden: 1. klonische K.: rasch aufeinanderfolgende, kurzdauernde, rhythmische Zuckungen antagonistischer Muskeln; 2. tonische K.: Kontraktionen von starker Intensität u. langer Dauer, z. B. bei Tetanie\* u. Tetanus; 3. tonischklonische K.: als generalisierte Krämpfe\*; 4. lokalisierte K. einzelner Muskeln od. Muskelgruppen, z. B. epileptischer Anfall, Trismus, Tic; Hals-, Nacken- u. Schultermuskelkrämpfe, Wadenkrampf; 5. Beschäftigungskrämpfe (z. B. Schreibkrampf) entstehen als Folge einer übermäßigen Beanspruchung der Muskulatur.

**2.2.48. Magnesiummangelsyndrom;** infolge Magnesiummangels auftretende Symptome: Tetanie\*, Tremor, Muskelzuckungen, unwillkürliche Bewegungen, seltener Krämpfe\* u. Bewußtseinstörende Zustände; z. B. bei schwerem Erbrechen, Durchfällen, chron. Alkoholkrankheit\*, fast ausschl. Milchernährung (Milch ist sehr magnesiumarm). Das Parathormon (Nebenschilddrüse, Knochenabbau) beeinflusst Magnesium\* in gleicher Weise wie

Calcium. Magnesium\* und Calcium sind Antagonisten (Gegenspieler, gesteuert von Vitamin D).

**2.2.49. Malabsorption:** (Mal-, schlecht, schädlich); Verdauungs-Insuffizienz\*; Störung der Resorption\* vom Darm in die Blut- u. Lymphbahn z.B. infolge Kohlenhydratmalabsorption, Hartnup-Krankheit\*, Methioninmalabsorption, Dünndarmerkrankungen: Darminfektionen, Parasitosen, Zöliakie, Sprue.

*Symptome:* Gewichtsabnahme, Massenstühle, Muskelschwäche, Haut- u. Schleimhautveränderungen, Anämie\*, Dünndarm-Op, Durchblutungsstörungen, Tumore.

**2.2.50. Maldigestion:** Störung der Verdauung im Magen infolge mangelnder Andauung oder Aufspaltung der Nahrung durch Pankreas-Enzyme\* (Bauchspeicheldrüse) oder Galle.

**2.2.51. Malnutrition** (Mal-, schlecht, schädlich); Sammelbegriff für eine Fehl- od. Mangelernährung; unterschieden werden quant. (Dystrophie, Marasmus) und qual. M. (Eiweißmangeldystrophie, Milchnährschaden, Hypo- und Avitaminose\*) sowie chronisch-dyspeptische Formen durch Verdauungs-Insuffizienz\* z. B. bei zystischer Fibrose und. Verschiedenen Formen der Malabsorption; vgl. Protein-Energie-Mangelsyndrome.

**2.2.52. Megaloblasten;** abnorme Vorstufen der Megalozyten\*. entwickeln sich vom noch hämoglobinfreien Promegaloblasten über M. unterschiedlicher Reifegrade bis zum kernlosen Megalozyten. Die M. sind große Zellen mit unregelmäßig geformten Kernen, enthalten oft Chromatinabspaltungen und reichlich Zytoplasma. Mit zunehmender Entwicklung wird eine Reifungsdissoziation zwischen Kern und Zytoplasma immer deutlicher; trotz weitgehender Hämoglobinisierung des Plasmas besitzen die M. noch jugendliche Kerne mit lockerer Chromatinstruktur. Die sog. megaloblastäre Erythropoese ist meist Folge eines Mangels an Cobalamin\* oder Folsäure\*; Vorkommen bei allen megaloblastären Anämien\*.

**2.2.53. Megalozyten;** besondere. Erythrozytenform; sind größer als normale Erythrozyten und haben eine leicht ovale Form, sind hämoglobinreich. Vorkommen bei Cobalamin\*- u. Folsäure-Mangel. Nach Substitutionsbehandlung werden sie durch normale Erythrozyten ersetzt.

**2.2.54. Metabolit;** im Stoffwechsel\* durch Enzymreaktionen entstandene oder veränderte Verbindung.

**2.2.55. Möller-Barlow-Krankheit** (Julius O. M., Chir., Königsberg, 1819-1887; Sir Thomas B., Päd., London, 1845-1945); infantiler Skorbut\*; schwere Avitaminose\* (Ascorbinsäuremangel) der Säuglinge und Kleinkinder; *Ursache:* einseitige Ernährung (Kuhmilch, kein frisches Obst u. Gemüse); *Symptome:* anfangs Mattigkeit, Appetitmangel, Gewichtsverlust, Kopfschmerzen, später starke Berührungsempfindlichkeit (sog. Hampelmannphänomen), Neigung zu Blutungen an Zahnfleisch, Haut und Muskulatur; typische Skelettveränderungen mit Auftreibung der Knorpel-Knochen-Grenze der Rippen (skorbutische Stufenbrust), Epiphysenlösung und subperiostalen Blutungen; blutungsbedingte hypochrome, z. T. auch megaloblastäre Anämie\*; *Diagnose:* erhöhte Tyrosinkonzentration in Blut und Urin; erniedrigte Ascorbinsäurekonzentration im Blut; *Therapie:* Ascorbinsäure\*; siehe Skorbut\*.

**2.2.56. Myelose, funikuläre;** syn. funikuläre Spinalerkrankung. Rückenmarkschädigung bei Mangel an Cobalamin\* durch unsystemische Entmarkung markhaltiger Nervenfasern v. a. im Bereich der Seiten- u. Hinterstränge infolge Störung der Myelinsynthese; kann zu irreversiblen neurologischen Ausfällen führen; *Ursache:* meist gestörte Resorption\*, evtl. ungenügende Zufuhr oder erhöhter Verbrauch von Cobalamin\*. *Symptome:* Unabhängig vom hämat. Veränderungen und Allgemeinsymptomen (s. Anämie\*,

perniziöse) können Sensibilitätsstörungen (insbes. Störungen der Propriozeption), Parästhesien, Ataxie, Abschwächung von Reflexen, motor. Lähmungen. Pyramidenbahnzeichen, Polyneuropathie\* u. evtl. psychische Symptome auftreten. Verminderte Cobalaminkonzentration im Blut, daher Substitution von Cobalamin\*.

**2.2.57. Myelomalazie;** sog. Rückenmarkerweichung; Nekrose des Rückenmarks infolge Ischämie; bei Thrombose\* oder Embolie spinaler Gefäße.

**2.2.58. Nervenlähmung,** traumatische periphere: Schädigung eines peripheren Nervs; Lähmung ist der Oberbegriff für die Minderung oder den Ausfall der Funktionen eines Körperteils: Bewegungseinschränkungen, Sensibilitätsstörungen. Die Vitamine des B-Komplexes bezeichnet man auch als *Nervenvitamine*.

**2.2.59. Neurotransmitter** (Überträgersubstanzen); Kleine, diffundierbare Moleküle, die in Vesikeln des präsynaptischen Nervenendes (Synapse) gespeichert sind, durch ein Aktionspotential freigesetzt werden und in ZNS (Zentralnervensystem) sowie peripherem Nervensystem die Erregungsweiterleitung bewirken. Nach Bindung an spezifische Rezeptoren der postsynaptischen Membran kommt es infolge Permeabilitäts- (Durchlässigkeit) und Potentialänderung zu De- oder Hyperpolarisation. Inaktivierung: enzymatisch (Monoaminoxidase) oder durch Wiederaufnahme in das präsynaptische Nervenende. *Einteilung* nach chemischer Struktur in: Amine (Acetylcholin, Adrenalin, Noradrenalin, Dopamin, Serotonin, Histamin, Aminosäuren [Aspartat, Glutamat, Glycin\*, GABA(Buttersäure)], Nukleotid [ATP (Phosphat, beeinflusst Muskeln, Atmung)] u. Peptide.

Serotoninwiederaufnahme-Hemmer, Mononminoxidasehemmer werden als Antidepressiva eingesetzt. Sie verzögern den Abbau.

*Die Neurotransmitter\* steuern mentale Vorgänge (Hunger, Sättigkeit, Müdigkeit usw.) Melatonin geht aus dem Serotonin hervor und wird nur im Schlaf erzeugt. Mangel an Neurotransmitter erzeugt mit Sicherheit Depressionen und Migräne, das ist heute, nach 40 Jahren medizinischer Diskussion gesichert. Die Biochemiker wußten es schon damals, es steht in alten Lexika aus den 60er Jahren. Es herrschte bisher tödliches Schweigen!*

**2.2.60. Nitrate;** Salze der Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>); natürliches Vorkommen in extremen Trockengebieten (Chilesalpeter), im Boden, Regen- und Trinkwasser sowie in pflanzlichen Nahrungsmitteln (z. B. Wurzel- u. Blattgemüse); Bestandteil stickstoffhaltiger Düngemittel. Bei zu langer Aufbewahrung der Lebensmittel an der Luft können sich Nitrate in Nitrite und im Magen-Darmtrakt zusammen mit Aminen in stark **krebserzeugende Nitrosamine\*** umwandeln.

**N., organische;** Ester der Salpetersäure, z. B. Nitroglycerol, Isosorbiddinitrat, Isosorbidmononitrat und verwandte Verbindungen. *Wirkungen* auf glatte Muskulatur, Erweiterung der venösen Kapazitätsgefäße (stärker als Erweiterung arterieller Widerstandsgefäße) mit nachfolgender Senkung von Vor- und Nachlast des Herzens; die Entlastung des Herzens vermindert den Sauerstoffbedarf.

*Nitratvergiftung:* Durch nitrationshaltiges und bakteriologisch durch Umwandlung von Nitrat in toxisch wirkendes Nitrit verursachte Methämoglobinämie (im Blut). Mögliche Nitratquellen sind Trinkwasser mit einem Nitratgehalt >35-70 mg/dl oder Nahrungsmittel (bakteriologische Umwandlung des Nitrats).

**2.2.61. Nitrosamine;** Stickstoff-Nitrosoverbindungen von Aminen; allgemeine Formel R-NH-NO; Nitrosamine entstehen im Sauern bei Anwesenheit von Nitrit und Aminen (z. B. in eiweißreichen Nahrungsmitteln). **Sie sind starke Gifte und potente Tumorverursacher (Krebs);** Vorkommen v. a. in gepökeltm bzw. geräuchertem Fleisch, Käse, Wurst und Tabakrauch; Bildung auch durch Bakterien und Trichomonaden (tier. Einzeller).

**2.2.62. Nyktalopie;** Nachtblindheit; eingeschränkte Sehfähigkeit in der Dämmerung und im Dunkeln; teilweiser oder völliger Ausfall des Stäbchensehens; z. B. Retinopathia; auch bei Degeneration\* der Netzhaut, Mangel an Vitamin A\*, ausgedehnten Narben in der Netzhautperipherie.

**2.2.63. Obstipation** (stopfen); Stuhlverstopfung; Sammelbegriff für heterogene Störungen, die durch erniedrigte Stuhlfrequenz (<3/Woche) und notwendiges starkes Pressen bei der Defäkation gekennzeichnet sind. *Symptome:* Häufig sogenannter verlangsamer Kolontransit, bes. bei Frauen; Auftreten auch bei Diabetes mellitus, Hypothyreose, Schwangerschaft oder medikamentös bedingt (Neuroleptika, Antidepressiva, Calciumantagonisten, Opiate, Diuretika, Calciumpräparate);

**2.2.64. Ödem;** Geschwulst, Schwellung, Hydrops, Wassersucht; schmerzlose, nicht gerötete Schwellungen infolge Ansammlung wässriger Flüssigkeit in den Gewebespalten, z. B. der Haut und der Schleimhäute. Ödeme finden sich an fast allen Körperstellen. *Beispiele:* Stauungsödem (Herz, Beine, Knochen, Lunge, Thrombose); Nieren- und Leberödeme; Entzündungen; Hungerödeme (Vitaminmangel).

**2.2.65. Ossifikation;** syn. Osteogenese; Bildung von Knochengewebe. Die normale O. beginnt beim Feten als *desmale O.* mit direkter Umwandlung von Bindegewebe in Knochen (z. B. Bildung von Clavicula u. Belegknochen des Schädels). Die zweite Ossifikationsform der Fetogenese ist die *perichondrale O.* mit Bildung von Knochengewebe um die Knorpelstäbe der künftigen Röhrenknochen herum. Beim Erwachsenen wird die Erneuerung dieser Knochenmanschette (z. B. nach Frakturen) als *periostale O.* bezeichnet. Schließlich folgt während der Fetogenese die *enchondrale O.*, die bis zum Abschluss des Längenwachstums stattfindet u. von der Grenze zw. Epiphyse u. der gefäßreichen Metaphyse ausgeht. Die lebenslange Knochenerneuerung wird als *endostale O.* bezeichnet. *Pathol. O.* ist Verknöcherung anderer Gewebearten (Knorpel, Bindegewebe, Muskulatur), z. B. bei Myositis ossificans, Paraosteoarthropathie.

**2.2.66. Osteomalazie;** erhöhte Weichheit u. Verbiegungstendenz der Knochen durch mangelhaften Einbau von Mineralstoffen in die normal od. überschüssig gebildete Knochenmatrix (Osteoid) als sek. Ossifikations\*-störung; häufigste Ursache Rachitis\*, Malabsorption\*, Calciferol-Stoffwechselstörung, primäre Phosphatstörungen\*; *Symptome:* diffuse Skelettbeschwerden bis hin zu schmerzbedingter Unbeweglichkeit; Hypokalzämie, evtl. Hypophosphatämie\*, Anstieg von alkalischer Phosphatase u. Parathormon; *Therapie:* je nach Grunderkrankung orale Calcium- oder Phosphatzufuhr, Calciferole\* bzw. Calciferol-Metabolite\*; bei Malabsorption\* Calciferole\* parenteral.

**2.2.67. Osteopathie, alimentäre;** sog. Hungerosteopathie; durch Mangelernährung (insbes. Protein-, Calcium-, Calciferolmangel) auftretende Brüchigkeit des Skeletts mit mangelhaftem Knochenanbau bei normalem Längenwachstum. *Symptome:* Knochenschmerzen und erhöhte Knochenbrüchigkeit i. S. einer Osteoporose\* oder Osteoporomalazie mit Muskelschwäche.

**2.2.68. Osteoporose;** Erkrankung des Skelettsystems mit Verlust bzw. Verminderung von Knochensubstanz u. -struktur u. erhöhter Frakturanfälligkeit;

*Ätiol.:* primäre O.: bisher weitgehend ungeklärt, als Teilfaktoren bei der postmenopausalen u. senilen O. sind Östrogenmangel u. Immobilisation bekannt; sek. O.: Grunderkrankungen. *Sympt.:* 1. präklin. O.: keine Frakturen oder Wirbilverformungen; signifikante Verminderung der Knochenmasse gegenüber alters- u. geschlechtsentsprechender Norm; 2. manifeste O.: mindestens eine Wirbelfraktur bei inadäquatem oder fehlendem Trauma u. evtl. extravertebrale Frakturen; in ausgeprägten Fällen Rumpfvverkürzung, Rundrücken, quere Hautfalten in der Flankenregion;

chron. Schmerzsyndrom bes. im Rumpfbereich; *Diagn.:* (radiol.) Verminderung der Knochenmasse in der Osteodensitometrie; Grund- und Deckplatteneinbrüche der Wirbelkörper, Keilwirbel, Fischwirbel; (labordiagn.) Calcium\*, Phosphor\*, alkalische Phosphatase im Referenzbereich; (histol.) evtl. Beckenkammbiopsie. *Therapie:* physikalische Ther., optimale Calciumzufuhr, Calciferole\* und Calciferol-Metabolite\* (Alfacalcidol, Calcitriol), Bisphosphonate; Stimulation der Osteoblasten mit Fluoriden, Hemmung der Osteoklasten mit Calcitonin; *Proph.:* körperliche Aktivität (Gymnastik), calciumreiche Ernährung.

**2.2.69. Pankreatitis;** primär nichtinfektiöse Entzündung des Pankreas (Bauchspeicheldrüse); gehäuftes Auftreten bei Gallenwegserkrankungen, Papillenstenose und Alkoholkrankheit\*; außerdem bei meist stumpfem Bauchtrauma, abdominaler Op., ERCP, i. R. von Hyperlipoproteinämien, Hyperparathyroidismus, Ulkuskrankheit mit Penetration, Virusinfekten (z. B. Mumps, Hepatitis, AIDS), medikamentös (Diuretika, Glukokortikoide, Antibiotika\* u. a.), sog. Transplantations-Pankreatitis (ischämisch postop. und bei Abstoßung des Organs).

**2.2.70. Polyneuropathie;** Erkrankung peripherer Nerven aus nichttraumatischer Ursache.; *Symptome:* distal betonte, strumpfförmige sensible Reiz- bzw. Ausfallerscheinungen, z. B. als Parästhesien oder. (ziehende) Schmerzen bzw. Hypästhesie u. Pallhypästhesie; Beginn meist an der unteren, im weiteren Verlauf schlaffe Lähmung, Muskel-Atrophie\* und Störungen des vegetativen Nervensystems (Herz-Kreislauf-System, Blase, Mastdarm, Sexualfunktion, Haut). Typisch ist ein symmetrisches Verteilungsmuster der Symptome; asymmetrischer Befall; bei Diabetes mellitus und Vaskulitis; Porphyrie\* u. a.; Stoffwechsel\*-störungen, Urämie; bei Malabsorption\* u. Malnutrition\* (Beriberi\*, Pellagra\*, Zöliakie\* u. a.); Bleivergiftung, Thalliumvergiftung, durch Alkohol und Medikamente, Kollagenosen, rheumatoide Arthritis. *Therapie:* Behandlung der Grundkrankheit bzw. Ausschaltung von Noxen, Physiotherapie, Nahrungsergänzung.

**2.2.71. Porphyrie;** (Purpur); angeborene oder erworbene Störung der Biosynthese von Häm (Porphyrin) mit Überproduktion, Akkumulation od. vermehrter Exkretion von Porphyrinen\* oder deren Vorstufen;

**2.2.72. Porphyrine;** Verbindungen (cyclische Tetrapyrrole) mit dem Gerüst Porphin und versch. substituierten Seitenketten; Metalloporphyrin (z. B. Häm, Hämin, Cobalamin\*) enthalten komplex gebundene Metallionen (Eisen\*, Magnesium\*, Cobalt\*) sind oft farbig u. prosthetische Gruppe vieler Chromoproteine (z. B. Hämoglobin, Myoglobin, Chlorophyll. Die Biosynthese erfolgt v. a. im Knochenmark in Leber und Mitochondrien: CoA\* u. Glycin\* reagieren unter Decarboxylierung zu Deltaamino-lävulinsäure. Diese Reaktion ein Schlüsselenzym, das durch Häm und Hämin allosterisch gehemmt (negative Rückkopplung) wird. Zwei Moleküle (ALS) kondensieren unter Wasserabspaltung zu Porphobilinogen. Der Tetrapyrrolring entsteht aus vier Molekülen PBG unter Abspaltung von vier Molekülen NH<sub>3</sub> (Porphobilinogen-Desaminase). Durch Decarboxylierung entsteht Koproporphyrinogen III, aus dem durch erneute Decarboxylierung u. Dehydrierung Protoporphyrinogen gebildet wird. Weitere Oxidation und Einbau von Fe<sup>2+</sup> (Ferrochelatase) führen zu Häm. Der Abbau der P. zu Gallenfarbstoffen erfolgt v. a. in Leber, Knochenmark u. Milz. Störungen des Porphyrinstoffwechsels führen zur Porphyrie\*.

**2.2.73. Phosphatstörungen;** Stoffwechselanomalien, die aufgrund von Störung der Nierenfunktion (Enzymdefekte?) entweder bei vermehrter Phosphatausscheidung zu einer erniedrigten Phosphatkonzentration im Blut oder bei verminderter Phosphatclearance (Nierenleistung) zu erhöhten Phosphatwerten im Blut führen; die Symptomatik entspricht dem sogenannten Pseudo-Hyperparathyroidismus\* (Phosphatdiabetes, Störung im

Blut) bzw. dem Pseudohypoparathyroidismus (Nieren, Schilddrüse).

**Symptome:** chron. Phosphatdiabetes (Vitamin-D-resistente Rachitis\*, Regulationsstörung im Calciferolstoffwechsel (Vitamin D)). Die Hyperphosphatämie bewirkt eine ersetzende Ausschüttung von Parathormon (Nebenschilddrüse gestört) mit der Folge einer Knochenentkalkung und Erhöhung der alkalischen Serumphosphatase unter dem krankhaften Bild einer Rachitis\* (Nieren, Knochen). Ausfall von Calcium- oder Magnesiumphosphaten als milchartige Trübung im Harn. **Mögliche Folgen:** Rachitis\* und Osteomalazie\*, Vergrößerung von Körperteilen, krankhafte Zellvermehrung (Blut), osteolyt. (Knochen-) Metastasen.

**2.2.74. Radikal** (radix Wurzel); (chem.) Bezeichnung für Atome, Moleküle u. Ionen mit ungepaarem Elektron; früher auch Bez. für stabile Atomgruppen mit spezif. Struktur innerhalb eines Moleküls (Substituent, heute vorwiegend als Rest bezeichnet). Die Stabilität von Radikalen ist abhängig von Gegebenheiten. Die kurzzeitige Existenz stark reaktionsfähiger freier Radikale ist nachgewiesen (Reaktionsprodukte).

**2.2.75. Resorption;** (Aufsaugung); 1. Aufnahme von Stoffen (z. B. Nahrungsmittel, Medikamente) über die Haut oder Schleimhaut (Magen-Darm-Trakt, Atmungsorgane) oder aus Geweben (injizierte Arzneimittel) in die Blut- oder Lymphbahn; 2. aktiver und passiver Vorgang zur Rückgewinnung (Reabsorption) von Wasser und anorganischen und organischen Substanzen aus dem Primärharn der Nierentubuli in die peritubulären Kapillaren. *R., paraportale;* Aufnahme von Stoffen aus dem Darminhalt direkt in die Blutbahn unter Umgehung der Leber.

**2.2.76. Rhodopsin;** sog. Sehpurpur; Photorezeptorprotein in den Stäbchen der Netzhaut; lichtempfindliches integrales Membranprotein, das aus dem Protein Opsin und der Vorstufe Alltrans-Retinol (s. Vitamin A\*) besteht. Der veränderte Ladungszustand löst an der Synapse der Photorezeptorzelle ein Signal aus, das zum ZNS weitergeleitet wird.

**2.2.77. Stoffwechsel;** syn. Metabolismus; Gesamtheit aller lebensnotwendigen Reaktionen im Organismus; Bestandteile der aufgenommenen Nahrungsmittel werden entweder zur Assimilation oder zur Dissimilation verwendet. Viele Reaktionen des St. verlaufen in Zyklen (z. B. Harnstoffzyklus) und werden auf verschiedenen Ebenen reguliert. Der ständig in lebenden Organismen stattfindende Abbau- u. Resyntheseprozess wird Stoffumsatz genannt.

*St., anomalien;* auch Stoffwechsel\*-störungen; krankhafte Abweichungen der Stoffwechselfvorgänge, die häufig durch Enzymmangel verursacht sind; sie können sich in jedem manifestieren. Die Krankheiten sind pathogenetisch gekennzeichnet durch:

1. Erhöhung von Stoffwechselzwischenprodukten (z. B. Alkaptonurie, Porphyrinurie); 2. Speicherung von Stoffwechselprodukten (Thesaurismosen); 3. Produktion von ungewöhnlichen Metaboliten (z. B. Dicarbonsäuren bei Fettsäureoxidationsstörungen, Phenylbrenztraubensäure bei Phenylketonurie); 4. Defekte des Transports von Substanzen (z. B. Hartnup-Krankheit).

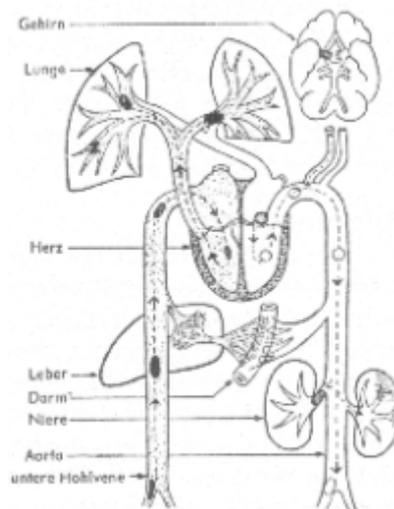
**2.2.78. Tetanie** (Spannung, Krampf); anfallartige Störung der Motorik und Sensibilität als Zeichen einer neuromuskulären Übererregbarkeit; pathogenetische Einteilung nach der Gesamtcalciumkonzentration im Blut in normo- und hypokalzämische T.; Formen: 1. Manifeste mit schmerzhaften tonischen Krämpfen\* der Muskulatur, evtl. *Pföichenstellung* der Hand, Karpopedalspasmen od. Equinovarusstellung der Füße, Kontraktion der mimischen Muskulatur (sog. Tetaniegesicht mit gespitzten Lippen), idiomuskulärer Kontraktion, Parästhesien insbes. im Bereich der Arme, evtl. Sensibilitätsstörungen (v. a. Anästhesie u. Hypopathie); 2. latente 1. mit uncharakterist. psych. Störungen, Antriebsstörung (Minderung), evtl. Parästhesien u. Sensibilitäts-

störungen; 3. chronische T.: zusätzl. zu den Sympt. der manifesten T. Katarakt\*, Migräne, Konjunktivitis u. Lichtscheu, Candidosen der Haut, Onychomykosen, evtl. intrakranielle Verkalkungen; **Diagn.:** Blutanalyse; von Calcium, Magnesium\*, Kalium\*, Phosphat u. Chlorid im Serum, evtl. der Calcium- u. Phosphatausscheidung im Urin

**T., rachitogene;** mit der Rachitis\* auftretende hypokalzämische Tetanie im Kindesalter, bes. in der spontanen Heilungsphase im Frühjahr (sog. Heilungskrise). Durch die Frühjahrs- oder auch durch kleine Dosen von Calciferolen\* wird offenbar die Calciumaufnahme des wachsenden Skeletts stärker als die Calcium-Resorption\* im Darm stimuliert, wodurch es zu einer Hypokalzämie\* kommt.

**2.2.79. Thrombose;** vollständiger oder teilweiser Verschluss von Arterien und Venen sowie der Herzhöhlen durch intravasale Blutgerinnung mit Bildung von Blutkoageln aus Thrombozytenaggregaten u. Fibrin. **Symptome:** drei wesentliche Faktoren 1. Gefäßwandschaden (durch Entz., Arteriosklerose, Trauma), 2. herabgesetzte Blutströmungsgeschwindigkeit (Stase u. verminderte Zirkulation z. B. bei Varizen, Operation, Herz-Insuffizienz\*); 3. veränderte Blutzusammensetzung (Hyperkoagulabilität, verstärkte Thrombozytenaggregation) meist im Bereich der unteren Extremitäten; Th. der Armvenen.

**Formen: 1. arterielle Th.:** akuter Arterienverschluss bei vorbestehender Arteriosklerose meist im Bereich der unteren Extremitäten; **Symptome:** subakut einsetzende Schmerzen und häufig inkomplettes Ischämiesyndrom; **2. venöse Th.:** Thromboseentstehung im oberflächl. (Thrombophlebitis) bzw. tiefen (Phlebothrombose) Venensystem; gehäuftes Vorkommen bei Protein-C- und Protein-S-Mangel, Antithrombin-III-Mangel, bei Frauen >40. Lj., bestehender Varikose, Adipositas, hormonellen Veränderungen (Kontrazeptiva, Schwangerschaft, Cushing-Syndrom), Diabetes mellitus, Vena-cava-inferior-Syndrom, Polytrauma u. längerem Op. sowie als paraneoplastisches Syndrom; **Allgemeinsymptome** wie Fieber, BKS-Anstieg, Leukozytose, Tachykardie; **lokale Sympt.:** bei Thrombophlebitis im Bereich des verhärtet tastbaren Venenstrangs Entzündungszeichen, kein Ödem der Extremität; bei Phlebothrombose, Überwärmung, Schwellung (Umfangsdifferenz >1,5 cm), Verfärbung des herabhängenden Beins, oberflächliche Kollateralvenen (sog. Warnvenen), u. U. spontane Schmerzen im Bereich des Venenverlaufs, bei Husten zunehmend.



**Abb.: 2.2.2.** Mit Vitamin K vorbeugen ist besser als heilen.; schematische Darstellung der Embolie: schwarzer Thrombus, Lungenembolie; weißer Th., Hirn- u. Beinarterien; schraffierter Th., Infarkt der Niere

**Thrombophlebitis** akute Thrombose\* oberflächliche Venen mit entzündlichen Reaktion der Gefäßwand, häufig im Bereich variköser Veränderungen.

**2.2.80. Thrombozyten;** Blutplättchen; von Megakaryozyten im Knochenmark gebildete kernlose, scheibenförmige, korpuskuläre Blutbestandteile mit einem Durchmesser von 2 - 3,5µm und einer Dicke von 0,5 - 0,75µm; werden von einer Zellmembran umschlossen, die vom endoplasmatischen Retikulum der Megakaryozyten abstammt.

**2.2.81. Wernicke-Enzephalopathie;** auch Wernicke-Korsakow-Syndrom, diffuse Erkrankung im Erwachsenenalter; Thiaminmangel durch verminderte Zufuhr oder Malabsorption\* bei Alkoholkrankheit\*, Magenkarzinom, nach Magenresektion; so punktförmige Blutungen und Wucherung der Gefäßwandzellen ohne entzündliche Infiltrationen; kleiner Magen, Augenmuskeln.

*Symptome* sind Augenbewegungsstörungen, fehlende Reflexe, Bewusstseins- u. vegetative Störungen, Durchblutungsstörungen.

*Behandlung:* Gabe von Vitaminen (Thiamin\*).

**2.2.82. Zinkmangeldermatitis;** nässende Entzündung der Haut infolge ungenügender Zufuhr (Fehlernährung) oder verminderter Resorption\* (Darm-Op, Darmstörungen) von Zink\*. *Symptome:* Krustenbildung in Gesicht und Genitalien, Analbereich, Blasenbildung an Fingern und Zehen,.

**2.2.83. Zöliakie;** gluteninduzierte bzw. glutensensitive Enteropathie (Erkr. der Dünndarmschleimhaut) im Säuglings- u. Kindesalter; das entspr. Krankheitsbild des Erwachsenen heißt „einheimische Sprue“. Das in vielen Getreidearten vorkommende Kleberprotein Gluten mit seiner pathogenet. bedeutsamen glutamin- u. prolinreichen Gliadinfraktion führt aufgrund einer Immunreaktion (Antikörper-\*bildung) zu schweren Veränderungen der Dünndarmschleimhaut. Der Mangel an schleimhautgebundenen Verdauungs-Enzymen\* und die Reduktion der Dünndarmoberfläche führt zum Verlust der Funktion des Dünndarms für die meisten Nährstoffe, einschließlich Mineralien und Vitamine. Bei langjährigem Verlauf besteht erhöhtes Karzinomrisiko; gehäuftes Auftreten mit Diabetes mellitus.

## 3. Lebenswichtige (essentielle) Stoffe

### 3.1. Elemente

Die lebenswichtigen Elemente, die der Mensch für eine gesunde Existenz benötigt, werden als **Mineralstoffe und Spurenelemente** bezeichnet. Diese Stoffe sind im Gegensatz zu Vitaminen, die aus zum Teil recht komplexen Molekülen bestehen, einfache Stoffe, die in Form von Salzen (Säuren, Basen) der anorganischen Chemie angehören und täglich über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Sie erfüllen lebenswichtige Aufgaben. So sind sie beispielsweise das Baumaterial von Knochen und Zähnen, steuern Wasserhaushalt und Stoffwechsel\* und sind für die Funktionen von Nerven und Muskeln unentbehrlich.

Im Gegensatz zu Proteinen, Kohlenhydraten oder Fetten werden die Mineralstoffe im Organismus weder produziert noch verbraucht. Da sie jedoch kontinuierlich ausgeschieden werden, müssen sie ersetzt werden. Ebenso vielfältig wie die Funktionen von Mineralstoffen sind, ebenso zahlreich sind demgemäß die Erkrankungen, die infolge eines Mangels dieser lebenswichtigen Substanzen auftreten können.

**3.1.1. Mineralstoffe** sind für den Körper unerläßliche Stoffe (Salze, Säuren, Basen), die ebenso wie die Vitamine einer täglichen Zufuhr bedürfen. Man unterteilt die Mineralstoffe in *Makromineralien* und *Mikromineralien*. Aus den Bezeichnungen (makro: [gr.] "lang, groß", mikro: [gr.] "klein, fein, gering") geht bereits hervor, daß Makroelemente jene Mineralstoffe sind, bei denen ein höherer *Tagesbedarf (über 100 mg)* gegeben ist. Die übrigen Mineralien werden als Mikronährstoffe oder *Spurenelemente* bezeichnet. Zu den *Mineralstoffen* (auch in Verbindungen) gehören: *Wasserstoff* (<sup>1</sup>H, Wasser), *Kohlenstoff* (<sup>6</sup>C), *Stickstoff* (<sup>7</sup>N), *Sauerstoff* (<sup>8</sup>O), *Natrium* (<sup>11</sup>Na), *Magnesium* (<sup>12</sup>Mg), *Phosphor* (<sup>15</sup>P), *Schwefel* (<sup>16</sup>S), *Chlor* (<sup>17</sup>Cl, Chlorid), *Kalium* (<sup>19</sup>K), *Calcium* (<sup>20</sup>Ca). Die gasförmigen Elemente werden nur in ihren Verbindungen aufgenommen.

Die hochgestellten Zahlen sind die Ordnungszahlen im Periodensystem der Elemente (s. Seite 4).

**3.1.2. Spurenelemente** sind Mineralstoffe, die in kleinerer Menge (*Tagesbedarf unter 100 mg*) für den Körper notwendig sind. Man nennt sie auch Mikromineralien. Während bei den Makromineralien dem Körper täglich größere Mengen über die Nahrungsaufnahme zugeführt werden müssen, genügen bei den Mikromineralien bereits Spuren davon deshalb die Bezeichnung 'Spurenelemente'. Zu den *Spurenelementen* gehören: *Fluor* (<sup>9</sup>F), *Silicium* (<sup>14</sup>Si), *Vanadium* (<sup>23</sup>V), *Chrom* (<sup>24</sup>Cr), *Mangan* (<sup>25</sup>Mn), *Eisen* (<sup>26</sup>Fe), *Cobalt* (<sup>27</sup>Co), *Nickel* (<sup>28</sup>Ni), *Kupfer* (<sup>29</sup>Cu), *Zink* (<sup>30</sup>Zn), *Selen* (<sup>34</sup>Se), *Molybdän* (<sup>42</sup>Mo), *Jod* (<sup>53</sup>I).

**3.1.3. Bedeutung.** Wie die Vitamine einzigartige chemische Einheiten sind, die in bestimmten Situationen der Schlüssel zu besonderen biologischen Abläufen sind, so gilt dies auch für Mineralstoffe und Spurenelemente. Kein Mineralstoff kann durch einen anderen ersetzt werden und kein Spurenelement kann durch ein anderes ersetzt werden. Fehlt auch nur ein einziger essentieller (lebenswichtiger) Stoff im Organismus, ist oder wird der Mensch krank. Das ist so sicher wie das Amen in der Kirche.

Von vielen Spurenelementen weiß man, daß sie wirken, weil sie eine wesentliche Rolle in der Enzymstruktur spielen. Enzyme\* sind die 'Katalysatoren' der biologischen Vorgänge im Körper. Ohne sie würden viele wichtige Reaktionen sehr langsam oder erst gar nicht ablaufen. Die Elemente werden auch für den Transport wichtiger Nährstoffe im Körper sowie für die Bildung von Blut, Gewebe und Knochen gebraucht. Von einigen Spurenelementen ist bekannt, daß sie für die Bildung der DNA wichtig sind. Die DNA speichert die gesamte Erbinformation und ist in jeder Zelle enthalten.

Da unser Organismus Mineralstoffe und Spurenelemente (und acht Aminosäuren) nicht selber produzieren kann, sie jedoch stän-

dig ausgeschieden werden, müssen sie permanent ersetzt werden. Der *Tagesbedarf* für die einzelnen Mineralstoffe und Spurenelemente ist je nach Lebenssituation (Schwangerschaft, Stillen, Krankheit, Sport, körperliche Arbeit, Alkoholgenuß usw.) verschieden hoch. Die DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) gibt Richtwerte vor. Anzumerken ist, daß die DGE nicht unabhängig ist. Ihre Dokumentationen und Informationen besorgt *dimdi*, eine Einrichtung des medizinisch-industriellen Komplexes in Köln. Hier haben wir darauf verzichtet, nicht übereinstimmende Werte aus verschiedenen Veröffentlichungen aufeinander abzustimmen; wir haben sie so gelassen, wie wir sie vorgefunden haben. Es gibt zu viele Studien, die sich widersprechen (von sogenannten Experten und Mietmäulern).

Insgesamt kann jedoch festgestellt werden, daß die in unterschiedlichen Ländern (und dadurch bedingt Ernährungsgewohnheiten) durchgeführten Forschungen keine gravierenden Diskrepanzen aufweisen, sondern in ihren Forschungsergebnissen im Wesentlichen übereinstimmen oder zur Übereinstimmung gebracht wurden..

**3.1.4. Ursachen für Mineralstoffmangel.** Um die Lesbarkeit zu erleichtern sind im Nachfolgenden unter der Bezeichnung „Mineralstoffe“ stets *Mineralstoffe und Spurenelemente* gemeint. Diese Vereinfachung ist insofern akzeptabel, weil Spurenelemente ebenfalls Mineralstoffe sind (die der Körper in geringerer Menge benötigt).

Ein Mangel an Mineralstoffen ist meist auf eine *verminderte Aufnahme durch die Nahrung* zurückzuführen. Daneben ist es auch wichtig zu erwähnen, daß durch das Raffinieren von an sich mineralstoffreichen Lebensmitteln viele *Spurenelemente* verlorengehen. Beispielsweise enthält Zucker nach dem Raffinieren nur mehr einen kleinen Bruchteil der Mineralstoffe, welche im Rohzucker noch enthalten waren. Ähnliches gilt für Weizen, Reis und alle übrigen Getreide nach dem Mahlen. Die wertvollsten Stoffe wandern als Kleie ins Tierfutter, nicht in den Organismus der Menschen.

Eine verminderte Aufnahme durch das *Trinkwasser* kann ebenfalls zu einem Mineralstoffmangel führen, da einige Spurenelemente zu einem großen Teil über das Wasser aufgenommen werden, sodaß es bei einem mineralstoffarmen Wasser ebenfalls zu Mangelerscheinungen kommen kann (z.B. bei Jod).

Neben einer verminderten Zufuhr kann auch ein *erhöhter Bedarf* die Ursache für Mineralstoffmangel sein. Ein solcher liegt beispielsweise für Frauen vor in Zeiten der Schwangerschaft, weil schwangere Frauen und stillende Mütter eine größere Menge an Mineralstoffen benötigen. Um wieviel sich der Tagesbedarf bei Schwangeren und stillenden Müttern erhöht hängt vom jeweiligen Mineralstoff/Spurenelement ab und ist auch aus *Tabellen* ersichtlich. Eine *verminderte Aufnahme im Darm* kann einen Mineralstoffmangel verursachen, wenn es bei chronischen Darmerkrankungen zu Absorptionsstörungen kommt.

**3.1.5. Mögliche Maßnahmen um einen Mineralstoffmangel zu verhindern.** Folgende Ratschläge können Ihnen dabei helfen einen Mineralstoffmangel erfolgreich zu vermeiden: *Essen sie vorwiegend Lebensmittel, die reich an Mineralstoffen sind.* Versuchen sie vermehrt Lebensmittel zu essen, die nicht raffiniert sind. Vollkorn und Zucker enthalten z.B. ein Vielfaches an Spurenelementen, wenn sie nicht industriell (raffiniert) behandelt wurden.

Beim *Kochen* oder bei *starkem Erhitzen* gehen einige Vitalstoffe verloren, durch *Pellen* oder *Schälen* werden noch mehr entfernt. Kartoffeln zum Beispiel verlieren durch Schälen 3/4 ihres Fluorgehaltes. Besonders hoch sind die Verluste bei Gemüse, das in Wasser gekocht wird, welches dann noch *weggegossen* wird. Vermeiden sie also (allzulanges) Kochen von Gemüse und essen sie, wenn möglich, die Schale vom Gemüse mit.

Die Aufnahme eines Spurenelementes beeinflusst auch die Aufnahme von anderen und wird wiederum davon beeinflusst. Eisenmedikamente können beispielsweise die Aufnahme von Kupfer\*

negativ beeinflussen. Weiter treten Kobalt und Eisen\* im Darm einen Wettstreit um die Aufnahme an. Auch die sonst sehr gesunden Ballaststoffe verringern eine Aufnahme von Mineralstoffen. *Sie sollten deshalb bei einer ballaststoffreichen Kost auch für die ausreichende Aufnahme von Spurenelementen sorgen.* Erwähnenswert ist auch, daß die Aufnahme von Zink\* und Eisen\* besonders durch Tee und in geringem Maß auch durch Kaffee verhindert wird. Kaffee verursacht zusätzlich eine vermehrte Ausscheidung von Mineralstoffen durch den Harn, da er harntreibend wirkt. Bei regelmäßigem Kaffeegenuß erhöht sich dadurch auch der tägliche Bedarf an Mineralstoffen und Spurenelementen.

**3.1.6. Mineralstoff-Überdosierung.** Grundsätzlich ist bei manchen Mineralstoffen eine Überdosierung möglich, jedoch tritt diese in der Regel nur dann auf, wenn hochdosierte *Mineralstoff-Präparate* in übertriebener Menge eingenommen werden und der *Mineralstoffhaushalt* ins Ungleichgewicht gerät. Zu solchen Ungleichgewichten kann es auch kommen, wenn jahrelang an *einseitigen Ernährungsgewohnheiten* festgehalten wird. Die große Mehrzahl der Menschen, die *sich gesund ernähren*, werden keine Mineralstoffe oder Spurenelemente in Überdosis aufnehmen, aber es kann dennoch zu *Mangelerscheinungen* kommen.

*Erstens*, wenn jemand eine ungesunde, *unausgewogene Kost* mit nur wenigen unterschiedlichen Nahrungsmitteln zu sich nimmt, die reich an einem oder zwei bestimmten Spurenelementen sind. *Zweitens* kann durch menschliche *Fehler bei der Verarbeitung* ein Lebensmittel mit einer zu hohen Menge an einem Spurenelement verdorben sein. Leider gibt es zu häufig Lebensmittelskandale. Jedes verdorbene (verseuchte) Lebensmittel beinhaltet ein gesundheitliches Risiko für den Verbraucher.

Bei normalem Essen kommt es, soweit bekannt ist, zu keiner Überdosierung der nützlichen Mineralstoffe und Spurenelemente, aber verstärkte Forschungen weisen darauf hin, daß selbst normale Kost toxische (giftige) Stoffe enthalten kann. Es ist selbstverständlich sinnvoll Nahrung zu sich zu nehmen, die 'natürlich' belassen und so wenig wie möglich bearbeitet worden ist, aber noch wichtiger ist eine ausgewogene Kost mit verschiedenen Lebensmitteln. Ein Ernährungsproblem bilden die künstlichen Zusatzstoffe, die den Gaumen betrügen. Minderwertige Nahrungsmittel werden oft mit *Aromastoffen* und *Geschmacksverstärkern* manipuliert. Beachten Sie beim Einkauf die Zutatenliste und ziehen Sie natürlich belassene Nahrungsmittel vor.

**3.1.7. Wasserstoff;** chem. Element, Symbol H (Hydrogenium), OZ 1, rel. Atommasse 1,0081, 1-wertig, das leichteste Element; als Molekül (H<sub>2</sub>) das leichteste Gas, in der Luft zu 5 x 10<sup>-5</sup> Vol.% enthalten; farb-, geruch- und geschmacklos, verbrennt (oxidiert) an der Luft zu Wasser; Wasserstoff gemischt mit Sauerstoff\* ist Knallgas. Beim Abbaustoffwechsel von Nährstoffen (v. a. Monosaccharide, Neutralfette, Aminosäuren) entstehen bei Enzymreaktionen (z. B. Glykolyse) Reduktionsäquivalente, die durch Enzyme\* (Dehydrogenasen, Oxidasen; Coenzyme\*) übertragen und in der sogenannten Atmungskette unter ATP-Gewinn (Enzyme\*) zu Wasser oxidiert werden.

**Wasser:** Hydrogeniumoxid (H<sub>2</sub>O); **Vorkommen:** Dreiviertel der Erdoberfläche (Meere), in der Atmosphäre bis zu 4 Vol.% (als Wasserdampf), im menschlichen Körper zu ca. 40-70 % (altersabhängig); chemisch rein nur als destilliertes Wasser, erstarrt bei 0° C (u. 101 kPa bzw. 760 mmHg) zu Eis und siedet bei 100° C, größte Dichte bei +4° C; MG 18,02. Regenwasser, ähnlich dem destillierten Wasser, enthält Staubteilchen und die Luftgase in gelöster Form; Flusswasser enthält 0,01 bis 0,2 % „feste“ Stoffe (Calcium- u. Magnesiumsalze) in gelöster Form; Quellwasser enthält ebenfalls gelöste Salze, bei höheren Konzentration spricht man von Mineralwässern; Meerwasser: enthält bis zu 3,5 % Salze (hauptsächlich Kochsalz).

Trinkwasser ist durch Filtern und andere Reinigungsprozesse (Enteisenung) gereinigtes und (weitgehend) entkeimtes Grund- (Quell-) oder Flusswasser. Die Härte des Wassers wird durch gelöste Salze bedingt; vorübergehende Härte durch Carbonate u.

Bicarbonat kann durch Kochen beseitigt werden. Die bleibende Härte ist überwiegend durch Sulfate (Gipshärte) bedingt, die auch beim Kochen in Lösung bleiben.

**Wasserbedarf:** Die Wassermenge, die täglich zur Erhaltung der Elektrolytkonzentrationen in den einzelnen Zellen des Körpers aufgenommen werden muss; ergibt sich aus Wasserverlust durch Schweiß, Harn und Kot.

**Wasseraufnahme:** Unter normalen Bedingungen setzt sich die aufgenommene Flüssigkeitsmenge (gesamt ca. 2000 ml/d) aus dem Wassergehalt der flüssigen (1000 ml/d) und festen Nahrungsmittel (700 ml/d) sowie dem im Stoffwechsel\* gebildeten sogenannten Oxidationswasser (300 ml/d) zusammen. Der Wasserbedarf reguliert durch das Durstgefühl die Wasseraufnahme; dieses wird durch den Wassergehalt der Zellen, das Plasmavolumen u. a. hervorgerufen. Das Gesamtwasser beträgt beim Erwachsenen ca. 55-60% des Körpergewichts und ist damit Hauptbestandteil. Etwa 63% des Gesamtwassers befindet sich in den Zellen, der Rest außerhalb. Der Wasserverlust kann in Extremfällen (z.B. schw. körperliche Arbeit) bis auf das 20-25fache ansteigen (Schweißsekretion). Mangelndes Durstempfinden bei älteren Menschen entsteht häufig aufgrund vermind. Neurotransmitter im Gehirnstoffwechsel: „Pyridoxin-Tryptophan-Serotonin-Kausalität“

**3.1.8. Kohlenstoff;** Symbol C (Carboneum), OZ 6, rel. Atommasse 12,011; 4-wertiges, reaktionsträges chem. Element; **Grundbaustein aller organischen Verbindungen** und der belebten Materie; natürliches Vorkommen als Ruß, Graphit und Diamant. Die Menge an Kohlenstoff als fossile Biomasse wird auf 5x10<sup>12</sup> t geschätzt.

**3.1.9. Stickstoff;** Symbol N (Nitrogenium), OZ 7, rel. Atommasse 14,007, -3- sowie 1- bis 5-wertiges chemisches Element; farb-, geruch- u. geschmackloses, reaktionsträges, in der Luft zu 78,1 Vol.% vorkommendes Gas; reagiert mit Wasserstoff\* (bei 500° C und 20 MPa in Gegenwart von Katalysatoren) zu Ammoniak (Aminosäuren). Die Differenz von Stickstoffaufnahme (Proteine) und Stickstoffausscheidung (v. a. Harnstoff) wird als *Stickstoffbilanz* bezeichnet; eine positive Stickstoff-Bilanz bezeichnet einen Nettogewinn (z. B. Wachstumsphase), eine negative St.-Bilanz einen Nettoverlust (z. B. Fasten) des Körpers an Stickstoff.

**3.1.10. Sauerstoff;** chem. Element, Symbol O (Oxygenium), OZ 8, rel. Atommasse 15,999; 2-wertiges, zur Gruppe der Chalkogene gehörendes, farb-, geruch- u. geschmackloses, zu 20,93 Vol.% in der Luft enthaltenes Gas, das für die meisten (für alle höheren) Lebewesen lebensnotwendig ist. Sauerstoff kann sich mit allen Elementen mit Ausnahme der Edelgase verbinden (Oxid, Oxidation). Die Sauerstoffmenge pro Zeiteinheit, die vom Organismus verstoffwechselt bzw. chemisch (u. physikalisch) gebunden wird, nennt man *Sauerstoffaufnahme*. Starker Anstieg der S.-Aufnahme bei körperlicher Arbeit, Fieber u. a.. Die metabolische Leistungsfähigkeit bei Normalwerten für Männer des 3. Lebensjahrzehnts ca. 3 l/min, bei Frauen ca. 2 l/min; Leistungssportler können Werte bis 7 l/min erreichen.

**3.1.11. Fluor** (lat. fließen, ausströmen); chem. -1-wertiges Element aus der Gruppe der Halogene, Symbol F, OZ 9, rel. Atommasse 18,998; schwach gelbgrünes Gas, stärkstes chem. Oxidationsmittel, reaktionsfähigstes aller Elemente; Anwendung von Fluorsalzen zur Kariesprophylaxe.

**3.1.12. Natrium;** chemisches Element, Symbol Na, OZ 11, rel. Atommasse 22,990, mit Sauerstoff\* u. Wasser heftig reagierendes, an der Luft unbeständiges Alkalimetall; wichtigstes Kation des Extrazellulärraums; **Funktion:** v. a. Träger der osmotischen Eigenschaft; der Hydratationszustand kann v. a. durch die Plasmakonzentration des Na<sup>+</sup> abgebildet werden: z. B. hypertone Dehydratation (Wassermangel, hohes Plasma-Na<sup>+</sup>), hypotone Hyperhydratation (Wasserüberschuss, niedriges Plasma-Na<sup>+</sup>). Das durch akti-

ven Transport laufend unterhaltene Konzentrationsgefälle zwischen extrazellulärer (ca. 142 mmol/l) und intrazellulärer  $\text{Na}^+$ -Konzentration (ca. 20 mmol/l) ist für die Funktionsfähigkeit bzw. Erregbarkeit der Zellen wichtig (Membranpotential). *Gesamt-Na*: 58 mmol/kg Körpergewicht, fast ausschließlich im Extrazellulär- raum (50 %) und im Knochen (50 %).

Das Verhältnis von im Harn ausgeschiedenem Natrium\* zum Kalium\* zur Beurteilung des Austauschs von  $\text{Na}^+$  u.  $\text{K}^+$  nennt man Natrium/Kalium-Quotient. Bei krankhaften Verhältnis: z.B. Ödembildung\*, Durchfälle, Niernversagen.

**3.1.13. Magnesium**; chem. Element, Symbol Mg, OZ 12, rel. Atommasse 24,305; 2-wertiges Erdalkalimetall; *Funktion*: physioler *Calciumantagonist* und Aktivator von allen Reaktionen, an denen ATP (Phosphatenzym) beteiligt ist. Die Resorption\* von  $\text{Mg}^{++}$  wird durch Thyroxin (Schilddrüsenhormon) gefördert. Eine Mg-Intoxikation (Vergiftung) kann durch Blockierung der Erregungsüberleitung im ZNS zur sog. Magnesiumnarkose führen. *Verwendung* bei Hypomagnesiämie\* (Magnesiummangelsyndrom), beim akuten Herzinfarkt, bei bestimmten Herzrhythmusstörungen u. a..

**3.1.14. Silicium**; chem. Element, Symbol Si, OZ 14, rel. Atommasse 28,086; zur Kohlenstoffgruppe gehörendes 2- u. 4-wertiges Halbmetall; nach dem Sauerstoff\* das meist verbreitete Element; Vorkommen in Sand, Quarz, Bergkristall; Halbleiter; wichtige Verbindung: Kieselsäure; Spurenelement (im Organismus v. a. in Lipoiden gebunden); Si-Mangel führt zu Wachstumsstörungen und Hauterkrankungen [chronische Ekzeme, Pruritus (Hautjucken mit Kratzen) u. a.].

**3.1.15. Phosphor**; chem. Element, Symbol P, OZ 15, rel. Atommasse 30,97; zur Stickstoffgruppe gehörendes, -3-, 3- und 5-wertiges, in mehreren Modifikationen vorkommendes Nichtmetall; bildet die physiologisch wichtigen Derivate der Ortho- und Pyrophosphorsäure (Nukleinsäuren, Phosphorsäureester).

**3.1.16. Schwefel**, chem. Element; Symbol S (Sulfur) OZ 16, rel. Atommasse 32,06; zur Gruppe der Chalkogene gehörendes -1-, 2-, 4- u. 6-wertiges Nichtmetall; Bestandteil einiger Aminosäuren; Anwendung z.B. in der Düngemittel- und Textilindustrie sowie bei der Herstellung von Farbstoffen und Arzneimitteln.

**3.1.17. Chlor**; Chlorum; Symbol Cl; -1-, 1-, 3- bis 7-wertiges Element, OZ 17, rel. Atommasse 35,453; stechend riechendes gelbgrünes, wasserlösliches Gas zur Gruppe der Halogene gehörig. Chlor ist sehr giftig; Anwendung für Desinfektionsmittel. Biologisch wichtig sind die *Chloride*; Salze der Salzsäure; physiologisch z. B. NaCl (Kochsalz, hauptsächlich außerhalb der Zellen); Blutplasma enthält 100-107 mmol/l Chloridionen; von großer Bedeutung u. a. für den Wasser- und Säure-Basen-Haushalt, den Elektrolythaushalt und die Salzsäurebildung im Magen.

**3.1.18. Kalium**; chem. Element, Symbol K, OZ 19, rel. Atommasse 39,10; an der Luft unbeständiges, mit Sauerstoff\* und Wasser heftig reagierendes Alkalimetall (Schmelzpunkt 63,5°C), das (in Verbindungen) in den meisten Mineralien enthalten ist; wichtigstes Isotop K-40; wichtigstes Kation des Intrazellulär- raums, dort insbesondere in Mitochondrien und Ribosomen; Erythrozyten enthalten besonders viel  $\text{K}^+$ . *Funktion*: Aufrechterhaltung des zellulären Ruhepotentials (Membranpotential) und Beteiligung an den elektr. Vorgängen in erregbaren Geweben (Nerven- u. Muskelgewebe); Kaliummangel führt zu Störungen der Erregungs- leitung und der Muskelkontraktion.  $\text{K}^+$  ist außerdem für die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks in der Zelle verantwortlich, am Eiweißaufbau und bei der Kohlenhydratverwertung beteiligt.

**3.1.19. Calcium** (Kalk); Kalzium; chem. Element, Symbol Ca, OZ 20, rel. Atommasse 40,08; mit Sauerstoff\* und Wasser heftig reagierendes, an der Luft unbeständiges, weiches, silberweiß-glänzendes, 2-wertiges Erdalkalimetall (spezif. Gewicht 1,54); im menschlichen Organismus v. a. im Knochengewebe (als Hydroxylapatit) deponiert. Der Calciumbestand (ca. 1,5 % des Körper- gewichts) wird durch das Zusammenwirken von Parathormon, Calcitriol und Calcitonin normalerweise in engen Grenzen konstant gehalten. Im Serum liegt C. zu ca. 55 % in ionisierter Form als  $\text{Ca}^{2+}$  (funkt. wichtig) und zu ca. 40 % an Proteine sowie zu ca. 5 % an organischen Säuren gebunden vor; *Azidose* führt zu Zunahme des ionisierten Calcium\* im Blut, *Alkalose* zu Abnahme und evtl. zu Tetanie\*. *Azidose* und *Alkalose* sind Störung im Säure-Basen-Haushalt des Organismus.

*Funktion*: Calcium\* ist u. a. für die Blutgerinnung und normale Erregbarkeit von Nerven- u. Muskelgewebe sowie für die Muskel- kontraktion (elektromechan. Koppelung) von Bedeutung. Teil- weise antagonistisch (Gegenspieler) zu Calcium\* verhalten sich Kalium\*, Magnesium\*- und Phosphationen. Bei der Osteopo- rose\* werden Calciumsalze in Kombination mit anderen Sub- stanzen eingesetzt.



**Abb.: 1.2.3.** Brüchige Knochen (Osteoporose) bei Vitamin D und Calciummangel.

*Calcitonin*: syn. Thyreocalci- tonin; Abk. CT; auch Kalzi- tonin; Polypeptidhormon, das in den Zellen (C-Zellen) der Schilddrüse gebildet wird; Ausschüttung proportional zur Calciumkonzentration des Blutplasmas; *Wirkung*: schnelle und kurz dauernde Senkung der Calcium- u. Phosphatkon- zentration (antagonistische Wirkung zu Parathormon); analgetischer Effekt; während des Wachstums hemmt CT v. a. die Osteoklastenaktivität, im Erwachsenenalter fördert es den  $\text{Ca}^{2+}$ -Einbau ins Osteoid (Knochen) und wirkt v. a. auf

Nieren und Darm (erhöhte Ausscheidung von Calcium-, Phos- phat- u. Natriumionen). *Verwendung* bei Knochendeformationen, Reflexstörungen, Hyperkalzämiesyndrom, Osteoporose\*.

*Calcitriol*; Hormon des Calcium- u. Phosphatstoffwechsels mit steroidähnlicher Wirkung; Biosynthese aus Cholecalciferol (s. Calciferole\*) durch Hydroxylierung in der Leber und Niere zusam- men mit Parathormon und *Calcitonin* reguliert Calcitriol die Calcium-Resorption\* durch Bildung eines  $\text{Ca}^{2+}$ -bindenden Pro- teins im Darm (-Stoffwechsel\*); extrarenale (Niere) Synthese von Calcitriol bei granulomatösen Erkrankungen (Organe u. a.); *Verwendung* z.B. bei Erkrankungen mit Hypokalzämie\*, renale (Nieren-) Osteopathie\*, Schilddrüse und Osteoporose\*.

*Calciumantagonisten*; syn. Calcium-Kanalblocker; Substanzen, die den Einstrom von Calcium\* in die Zellen (u. damit die elektro- mechan. Koppelung) hemmen; *Wirkung*: Verminderung des Tonus (Anspannung) der Gefäßmuskulatur, der Kontraktilität des Herzmuskels und des Sauerstoffverbrauchs.

**3.1.20. Vanadium** (nach Vanadis, Beiname der altnord. Göttin Freya); chem. Element, Symbol V, OZ 23, rel. Atommasse 50,94; zur Vanadiumgruppe gehörendes Metall; *essentielles* Spurenelement; *Vorkommen* als Beimengung in Eisen-, Kupfer- und Titanerzen sowie in Erdöl; *Verwendung* in der Stahlindustrie, in Katalysatoren; Vanadiumverbindungen (bes. Vanadiumpentoxid) sind starke Reizgifte.

**3.1.21. Chrom**; chem. Element, Symbol Cr, OZ 24, rel. Atom- masse 52,0; zur Chromgruppe gehörendes 2-, 3-, 4- u. 6-wertiges Metall; *essentielles* Spurenelement. Biozyklische Anreicherung in Fischen (bis 200fache Konz.) und in der Nahrungskette (Pflanze- Tier-Mensch) und Konzentration. beim Menschen in Gehirn und

Lunge; Verwendung in der Metallurgie als Korrosionsschutz, Grundstoff zur Herstellung von Farben; Beimetall in der Zahnmedizin auf Nickel- u. Cobaltbasis.

**3.1.22. Mangan;** chem. Element, Symbol Mn, OZ 25, rel. Atommasse 54,94; zur Mangangruppe gehörendes, 1- bis 7-wertiges, silbergraues, hartes und sprödes Schwermetall (rel. Dichte  $7,21 \text{ g/cm}^3$ ); Mn(II) ist *essentielles* Spurenelement (30-40 mg im menschl. Körper, im Blutserum 5-20  $\mu\text{g/dl}$ ), Tagesbedarf ca. 2-5 mg; Mangan\* steigert die Wirkung von Thiamin\*, ist Cofaktor einiger Enzyme\* und aktiviert die Biosynthese von Sacchariden und Glykoproteinen; Anreicherung v. a. über Meeresfrüchte; Nahrungskette (Algen, Schalentiere, Seefisch), aber auch über Pflanzen. *Manganmangel* kann zu Sterilität und Knochenföhlbildung föhren. Durch langjähriige Manganbelastung (Arbeiten im Bereich Elektroschweißen, Eisenindustrie, Farben- u. Batterieherstellung) kann es zu Schwindel, Apathie, Parkinson-Syndrom, akute Psychosen kommen.

**3.1.23. Eisen;** chem. Element, Symbol Fe (Ferrum), OZ 26, rel. Atommasse 55,85; in Verbindungen 2-wertiges (Ferroverbindungen, Reduktionsmittel) und 3-wertiges (Ferroverbindungen, Oxidationsmittel), als  $\text{Fe}^{2+}$  im Magen-Darm-Trakt resorbierbares Metall der Eisengruppe; *essentielles* Spurenelement, kommt im Organismus in Enzymen\*, im Hämoglobin und. Myoglobin (Blut), im Monozyten-Makrophagen-System insbesondere von Leber, Milz u. Knochenmark als Ferritin und. Hämosiderin vor. Der Eisengesamtbestand beträgt beim Erwachsenen ca. 4000-5000 mg; im Hämoglobin sind davon ca. 2500 mg (67 %), in den Eisendepots (Reserveeisen) ca. 1000 mg (27 %), im Myoglobin ca. 130 mg (3,5 %), im sogenannten labilen Eisenpool (Serumeisen) ca. 80 mg (2,2 %) und in eisenhaltigen Enzymen\* ca. 8 mg (0,2 %) enthalten. Im Serum werden Eisen und seine Verbindungen an Transferrin gebunden transportiert.

**3.1.24. Cobalt;** Kobalt; chem. Symbol Co, OZ 27, rel. Atommasse 58,93; zur Eisengruppe gehörendes 2- u. 3-, seltener 1- u. 4-wertiges Element (Schwermetall); *essentielles* Spurenelement. Bestimmung der Vitamin-B<sub>12</sub>-Resorption\* unter Verwendung. von Co-58-Vitamin B<sub>12</sub> (bei Co-58, Vorsicht radioaktiv!)

**3.1.25. Nickel;** chem. Symbol Ni, OZ 28, rel. Atommasse 58,70; zur Eisengruppe gehörendes, silberweißes, stark glänzendes Schwermetall; wird hauptsächlich verarbeitet in Legierungen, zur Oberflächenveredelung, ferner auch in der Batterien- und Akkumulatorenindustrie; gelangt durch Metallhütten, Feuerungs- u. Verbrennungsanlagen in die Umwelt. Nickel und seine Verbindungen und Salze können zu akuten Vergiftungen und chronischen Schäden föhren. Durch Hautkontakt, Hautresorption und Inhalation kann es zu allergischen und entzündlichen Reaktionen, Geschwüren an Haut, Schleimhäuten kommen. Vermehrt beobachtet werden allergische Hautreaktionen durch nickelhaltigen Schmuck. Nickel\* wird als *Spurenelement* benötigt (Enzyme\*, Hormone\*, Blutgerinnung)

**3.1.26. Kupfer;** chem. Element, Symbol Cu (Cuprum), OZ 29, rel. Atommasse 63,55, spezif. Gewicht 8,9; zur Kupfergruppe gehörendes, rotgoldfarbiges, 1- u. 2-wertiges Halbedelmetall von großer Dehnbarkeit und mit guter Leitfähigkeit; *essentielles* Spurenelement. *Vorkommen* bei Wirbellosen (sauerstofftransportierende Substanz); beim Menschen als Bestandteil von Caeruloplasmin (Protein), in Erythrozyten (Blut, Kupfergehalt ca. 0,2 %). Kupfer\* ist als *Spurenelement* für die Erythropoese (Blutbildung) wichtig; täglicher Bedarf etwa 2 mg.

**3.1.27. Zink;** chem. Element, Symbol Zn, OZ 30, rel. Atommasse 65,38; zur Zinkgruppe gehörendes 2-wertiges Metall, *essentielles* Spurenelement; Tagesbedarf ca. 15 mg; Bestandteil vieler Enzyme\* (z. B. Insulin, Carboanhydrase); *Verwendung* als Rostschutz, in der Zahnmedizin usw.. Systematische Anwendung. von Zink-

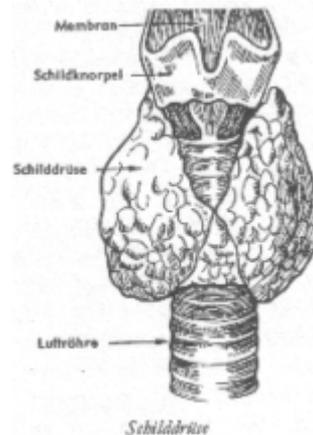
sulfat bei (krankhaftem) Zinkmangelzustand. Bei Überdosierung Metallgeschmack, Kopfschmerz, Erbrechen.

**3.1.28. Selen;** Symbol Se, OZ 34, relative Atommasse 78,96; -2-, 2-, 4- u. 6-wertiges, zur Gruppe der Chalkogene gehörendes chem. Element; *Vorkommen* in zwei metastabilen, nichtmetallischen Formen und als graues Metall (spezif. Gewicht 4,80); *essentielles* Spurenelement, das in Nahrungsmitteln (Fisch, Fleisch, Innereien, Nüssen, Sesam) und Getreideprodukten enthalten ist.

*Biochemische Funktion:* Bestandteil von Glutamin\* (Aminosäure, antioxidative und (Krebs-) vorbeugende Wirkung). *Bedarf* (Erwachsene) 20-100  $\mu\text{g/d}$ ; bei (alimentär bedingtem) Mangel Erkrankungen der Leber, Muskeln, Gehirn, Blut möglich. *Erste Anzeichen:* Nagelveränderungen (weiße Flecken), dünne und blasse Haare, entzündliche Muskeln. Vergiftungen mit der Nahrungsaufnahme sind nicht bekannt; bei Inhalation von Selenstaub Reizung der Atemwege, knoblauchartiger Atemgeruch, Leberzirrhose, Haarausfall, Herz-Insuffizienz\*.

**3.1.29. Molybdän;** chem. Element, Symbol Mo, OZ 42, rel. Atommasse 95,94; zur Chromgruppe gehörendes silberweißes, hartes und sprödes Metall (Dichte  $10,2 \text{ g/cm}^3$ , Schmelzpunkt  $2620^\circ \text{C}$ ); Als *essentielles* Spurenelement Bestandteil der Xanthinoxidase und anderer Molybdoenzyme; tägl. Bedarf ca. 0,1-0,3 mg; Mangelsymptome oder Folgen einer Vergiftung sind nicht bekannt bzw. ungeklärt.

**3.1.30. Iod;** ältere Nomenklatur Jod; chem. Element, Symbol I (ältere Nomenklatur J), OZ 53, rel. Atommasse 126,90; -1-, 1-, 3-, 5- u. 7-wertiges Halogen, in reinem Zustand grauschwarz glänzende Kristalle; 24 Isotope; *essentielles* Spurenelement.



**Abb.: 1.2.3.** Gesunde Schilddrüse durch Jod; wichtig für die Biosynthese des Hormons Thyroxin.

*Verwendung:* Das radioaktive Isotop in Verbindung mit versch. Trägersubstanzen zur Radioiodtherapie und nur noch in Ausnahmefällen bei bestimmten Fragestellungen zur Diagnostik (Schilddrüse, Nebennierenrinde); Vorsicht!; Iod-125 (HWZ 60 Tage) in der Reagenzglas-Diagnostik. Radioaktive Isotope des Iod sind nicht unbedenklich. Vorsicht!

## 3.2. Vitamine

**Vitamine** werden von Pflanzen in geringen Mengen produziert und sind für den normalen Ablauf des Stoffwechsels\* im menschlichen und tierischen Organismus unentbehrlich. Ihr Fehlen föhrt zu *Mangelkrankheiten*, den *Avitaminosen*\*. Für den menschlichen Organismus sind die Vitamine A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C und D besonders wichtig. Das *Vitamin A<sub>1</sub>* ist ein ungesättigter primärer Alkohol C<sub>20</sub>H<sub>30</sub>O, der zur Gruppe der Diterpene gehört. Einen besonders großen Gehalt an Vitamin A<sub>1</sub> haben Lebertran, Eigelb und Milch. Mangel in der Ernährung zeigt sich durch Gewichtsabnahme sowie Degenerationserscheinungen der Schleimhäute, vor allem der Horn- und Bindehaut der Augen. Vitamin A<sub>1</sub> spielt auch beim Aufbau des Sehpurpurs in der Netzhaut eine große Rolle; Mangel föhrt zur Nachtblindheit. Mohrrüben und Tomaten enthalten das  $\beta$ -Karotin oder Provitamin A, aus dem im menschlichen Organismus durch enzymatische Spaltung zwei Moleküle Vitamin A<sub>1</sub> gebildet werden. Dem *Vitamin-B-Komplex* werden zahlreiche

Vitamine zugerechnet, die den unterschiedlichsten Substanzklassen angehören. Das Vitamin B<sub>1</sub>, das *Thiamin*\*, ist ein wichtiger Wachstumsstoff für viele Mikroorganismen, heilt die Polyneuritis und stärkt das Nervensystem. Außerdem fungiert es als Thiaminpyrophosphat als prosthetische Gruppe des bei der alkoholischen Gärung unentbehrlichen Enzyms Kokarboxylase. Das Vitamin B<sub>2</sub>, das *Riboflavin*\*, ist ein gelber Flavinfarbstoff, der reichlich in Leber, Milch, Hefe und Eiern vorkommt. Das *Vitamin B<sub>6</sub>* ist ein Gemisch von drei Verbindungen, die alle Pyridinderivate darstellen von Pyridoxin\*, Pyridoxamin und Pyridoxal. *Vitamin B<sub>12</sub>* wird therapeutisch zur Behandlung von perniziöser Anämie\* herangezogen; dabei genügen Tagesdosen von 3 bis 6 Mikrogramm. Das Vitamin gewinnt man vorwiegend aus Gärprozessen. *Vitamin B<sub>12</sub>* heilt die Blutarmut und fördert die Bildung von Erythrozyten im Knochenmark. *Vitamin C*, die L-Ascorbinsäure, findet sich besonders in frischen Früchten. Mangel an Vitamin C führt zu dem Krankheitsbild des Skorbut\*, das sich durch Haut- und Zahnfleischbluten sowie Mattigkeit zu erkennen gibt. Es kann synthetisch durch Wasserabspaltung aus der 2-Keto- L-Gulonsäure gewonnen werden.



**Abb.: 3.2.1.** Gesunde Ernährung ist ein Heilmittel. Sie ist mit der heutigen Industrienernährung nicht mehr zu erreichen.

*Vitamin E* wird bei allgemeinem Verfall des Organismus und bei Blutarmut verwendet. Die Vitamine der *K-Gruppe* verursachen die Blutgerinnung. Vitamin K<sub>3</sub> ist ein synthetisches Produkt, aus dem man eine Anzahl wertvoller Präparate herstellt, die die natürlichen Vitamine K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub> ersetzen.

*Vitamin D<sub>2</sub>*, dem ein Steroidgerüst zugrunde liegt, wird zur Bekämpfung der Rachitis\* verwendet. Bei Vitamin-D<sub>2</sub>-Mangel ist der Mineralstoffwechsel gestört, und in den Knochen wird Kalk nur in ungenügenden Mengen abgelagert. Das *Vitamin D<sub>3</sub>*, das sich synthetisch aus 7-Dehydro-cholesterin, dem Provitamin D<sub>3</sub>, durch UV-Bestrahlung gewinnen läßt, übertrifft die biologische Aktivität des Vitamins D<sub>2</sub>. Die Glieder der Vitamin-D-Reihe unterscheiden sich nur in der Struktur der Seitenkette.

#### A. fettlösliche Vitamine:

Vitamin A *Retinol*; Calciferol; Tocopherol; Vitamin K *Phyllochinon*

#### B. wasserlösliche Vitamine

Ascorbinsäure; Thiamin; Riboflavin; Nicotinsäure (Niacin) Pyridoxin; Pantothensäure; Biotin; Folsäure, Cobalamin

**3.2.1. Vitamin A (Retinol);** Sammelbezeichnung für natürliche und synthetische Verbindungen mit Retinoid-Struktur; aus biologischer, pharmakologischer und ernährungsphysiologischer Sicht nur Substanzen mit voller Vitamin.-A-Aktivität, d. h. Retinol (Vitamin A1), Retinal u. Retinsäure; *fettlösliches Vitamin*, das auch als Provitamin (Carotinoide, z. B. Alpha-, Beta-, Gamma-carotin) aufgenommen wird;

*Biochemische Funktion:* Insbesondere beteiligt am Sehvorgang (Alltrans-Retinal bildet zusammen mit dem Protein Opsin das Sehpigment Rhodopsin\*), an Wachstum, Entwicklung und Differenzierung von Epithelgewebe\*, Reproduktion (Spermatogenese,

Entwicklung der Plazenta, Fetalentwicklung) sowie Testosteronproduktion; Retinylphosphat besitzt Coenzymfunktion bei der Übertragung von Monosacchariden zur Bildung von Glykoproteinen. Retinsäure unterdrückt in Zellkulturen die Überausprägung von Genen (z. B. in bösartigen Zellen).

*Vorkommen* in Nahrungsmitteln: als Retinol in tierischen Produkten (z. B. Fischleberöl, Leber, Eier, Milch und Milchprodukte), als Vitamin A<sub>2</sub> in Salzwasserfischen sowie als Carotinolde in Gemüse und Obst. *Bedarf* für Erwachsene: 0,8 mg (Frau) - 1,0 mg (Mann) Retinoläquivalente (Abk. RE)/Tag; 1 mg RE entspricht 1 mg (oder 3300 I.E.) Retinol, 6 mg alltrans-13-Carotin oder 12 mg Provitamin-A-Carotinoide;

*Mangelscheinungen:* Vitamin-A-Mangel ist weltweit der häufigste Vitaminmangelzustand; in Industriestaaten eher selten; Risikogruppen sind Frühgeborene, junge Frauen u. Männer >65 Jahre. Folgen langer Mangel- u. Fehlernährung, Maldigestion\* od. Malabsorption\* (Sprue), totaler parenteraler Ernährung, Pankreas-erkrankung oder Alkoholkrankheit\* sind Störung der Dunkeladaptation bis Nachtblindheit als Frühsymptom, Wachstumsstörungen, Differenzierung epithelialer Gewebe (Keratomalazie), Xerophthalmie, Talgdrüsenverhornung, Schleimhaut-Atrophie\*, Störungen der Knochenbildung, der Fortpflanzung und Fehlbildungen beim Fetus.

*Hypervitaminose:* bei lang dauernder Einnahme von >30 mg/Tag Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerz, trockene Haut und Schleimhäute, später auch Schwellungen der Knochenhaut, Blutungen, Haarausfall, Reizbarkeit, Spontanfrakturen;

**3.2.2. Calciferole (syn. Vitamin D);** antirachitisches Vitamin; Bezeichnung für *fettlösliche* steroidähnliche Wirkstoffe zur Regulation des Calcium- u. Phosphathaushalts; die wichtigsten Calciferole\* sind Ergocalciferol (Vitamin D<sub>2</sub>) und Cholecalciferol (Vitamin D<sub>3</sub>), die bei UV-Bestrahlung in der Haut aus Ergosterol (Provitamin D<sub>2</sub>) bzw. tierisch 7-Dehydrocholesterol (Provitamin D<sub>3</sub>) synthetisiert werden. In Leber und Niere entsteht das biologisch aktive Calcitriol.

*Vorkommen* in Nahrungsmitteln v. a. tierischer Herkunft (z. B. Fischleberöl und Fisch, geringe Mengen in Fleisch, Eigelb, Milch und Milchprodukten) und Avocado. *Bedarf* für Erwachsene: 5 µg/d; für Gesunde genügt bei ausreichender Sonnenexposition die Eigensynthese. Die Zufuhr durch Lebensmittel ist unter kritischen Bedingungen (Klima, Lebensweise, Pigmentgehalt der Haut) wichtig.

*Mangelscheinungen* können bei unreifen Frühgeborenen, länger als 6 Monate ausschließlich gestillten Kindern, die keine Ca<sup>2+</sup>-haltige Beikost erhalten, und streng vegetarisch ernährten Kindern vorkommen und zu schweren Mineralisationsstörungen des Skelettsystems (Rachitis\*) mit irreversibler Deformierung der weichen Knochen führen. Bei Erwachsenen kann es infolge ungenügender UV-Exposition oder alimentärer Zufuhr, Malabsorption\*, Maldigestion\*, Leberzirrhose oder Nieren-Insuffizienz\* zu Osteomalazie\* kommen. Zur Vorbeugung wird für reif geborene Säuglinge die tägl. Gabe von 500 I. E. (12,5 µg) Cholecalciferol (evtl. in Kombination mit Fluorid als Kariesprophylaxe) empfohlen.

*Hypervitaminose:* selten bei tägl. Zufuhr von >25 µg mit Appetitlosigkeit, Übelkeit, erhöhtes Harnvolumen, Entkalkung der Knochen und erhöhter Ca<sup>2+</sup>-Konzentration im Plasma (Blut); im Extremfall Calciumablagerungen in der inneren Schicht (Arterien, Venen) von Gefäßen, in Herz, Lungen u. Nierentubuli (Röhren).

**3.2.3. Tocopherole (syn. Vitamin E);** acht natürliche *fettlösliche* Vitamine (α-, β-, γ-, δ-Tocopherol bzw. -Tocotrienol), die aus Chromanring und Isoprenoidseitenkette bestehen; thermostabil und leicht oxidierbar; biologisch am wichtigsten ist RRR-α-Tocopherol. *Biochemische Funktion:* Tocopherole sind Antioxidanzien\* und haben Einfluß auf Proteinsynthese und neuromuskuläres System. *Vorkommen* in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln (Öle, Nüsse, Getreidekeimlinge, Gemüse, Milch,

Butter). *Bedarf* für Erwachsene: 12 mg RRR- $\alpha$ -Tocopheroläquivalent/Tag; 1 mg RRR- $\alpha$ -Tocopheroläquivalent  $\cong$  1 mg (od. 1,49 I.E.) RRR- $\alpha$ -Tocopherol; die Bedarfsdeckung ist bei durchschnittlicher Ernährung gewährleistet.

*Mangelscheinungen:* alimentär selten; Risikogruppen sind Säuglinge und Kleinkinder, die mehrere Monate mit Kuhmilchmischungen ernährt werden. Durch krankhafte Veränderungen der Verdauungs- und Absorptionsprozesse oder totale parenterale Ernährung kann es zu Störungen im Bereich der Reproduktion, Muskulatur, des Nervensystems, des Gehirns, des kardiovaskulären Systems, der Erythrozyten und Leber kommen. *Hypervitaminosen\** nicht bekannt.

**3.2.4. Vitamin K n:** Bezeichnung für fettlösliche Vitamine mit 2-Methyl-1,4-naphthochinon-Grundgerüst: *Vitamin K<sub>1</sub>* (Phyllochinon) besitzt in Position 3 eine Phytyl-, *Vitamin K<sub>2</sub>* (Farnochinon) eine Farnesylseitenkette. Pflanzen produzieren Vitamin K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub> v. a. in grünen Blättern, Bakterien bilden Vitamin K<sub>2</sub>. Synthetisches 2-Methyl-1,4-naphthochinon (*Vitamin K<sub>3</sub>*) ohne Seitenkette wirkt wie natürliches Vitamin K; die Seitenkette wird vom menschlichen Organismus vervollständigt.

*Biochemische Funktion:* 1. Beteiligung an der Aktivierung verschiedener Blutgerinnungsfaktoren (Prothrombin, Faktor VII, IX u. X) in der Leber (Wirkung als Coenzym bei der  $\gamma$ -Carboxylierung von Glutamylresten in Proteinen, die dann Ca<sup>2+</sup> komplexieren können); Antagonisierung (Gegenspieler) der Wirkung von Cumarinderivaten; 2. evtl. Wirkungen in der Atmungskette.

*Vorkommen* besonders in Gemüse, weniger in Obst, Getreide, Milch u. Fleisch. *Bedarf* für Erwachsene: Mann ca. 80  $\mu$ g/d, Frau ca. 65  $\mu$ g/d; für Säuglinge wird eine Vitamin-K-Prophylaxe empfohlen; als Antidot (Gegengift) von Cumarinderivaten (bei Blutungskomplikationen) einmalig 5-10 mg (Wirkung mit einer Latenz von 2-3 Tagen, daher ggf. Kombination mit Heparin).

*Mangelscheinungen:* alimentär selten; verlängerte Blutgerinnungszeit, Blutungen in Gewebe und Organen sowie Hämorrhagie bei geschädigter Darmflora (z. B. durch Antibiotika\*, Sulfonamide), Malabsorption\*, chron. Lebererkrankung und Anwesenheit von Vitamin-K-Antagonisten; bei Säuglingen Hirnblutungen.

*Hypervitaminose:* sehr selten; evtl. Überempfindlichkeitsreaktion. *Vitamin-K-Antagonisten* (Gegner): s. Cumarinderivate.

*Vitamin-K-Test;* Leberfunktionsprüfung bei Verlängerung der Thromboplastinzeit; *Prinzip:* Ausbleiben eines Anstiegs von Prothrombin im Serum nach parenteraler Verabreichung von Vitamin K\* als Hinweis auf eine Leberparenchymschädigung bzw. bei Anstieg Hinweis auf eine Vitamin-K-Resorptionsstörung.

**3.2.5. Ascorbinsäure (syn. Vitamin C);** wasserlösliches, leicht oxidierbares Vitamin, das L-Threohex-2-enon-1,4-lacton und dessen Derivate mit gleicher biologischer Wirkung umfaßt.

*Biochem. Funktion:* Radikal\*-fänger; dient als Redoxcofactor bei Hydroxylierungen (z. B. in der Kollagen-, Carnitin-, Tyrosin\*-, Katecholamin- u. Steroidbiosynthese), ist am mikrosomalen Elektronentransport beteiligt, fördert die Eisen-Resorption\*, hemmt die **Nitrosaminbildung** (Krebs!) und stärkt das Immunsystem. Nitrosamine\* sind nachweislich Krebserreger, daher dient Ascorbinsäure der Vorbeugung von Krebs.

*Vorkommen:* Hauptsächlich in pflanzl. (u. tier.) Lebensmitteln: *Bedarf* für Erwachsene: ca. 75 mg/d; die Empfehlungen der DGE sind wahrsch. zu niedrig angesetzt (200mg in der Diskussion).

*Mangelscheinungen:* Bei Fehl- oder Mangelernährung (z. B. bei Alleinstehenden und Älteren, bei Extremdiät oder Alkoholkrankheit\*), erhöhtem Bedarf (z. B. infolge Schwangerschaft, Dialyse, Nicotinkonsum) und Malabsorption\* kann es zu Skorbut\* kommen; *Hypervitaminose:* Nach lang dauernder Einnahme hoher Dosen (>1 g/d) Harnsteinbildung in den ableitenden Harnwegen möglich.

**3.2.6. Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>);** wasserlösliches Vitamin, das aus einem Pyrimidinring besteht, der über eine Methylengruppe mit

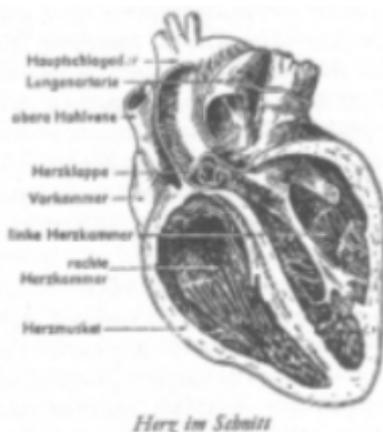


Abb. 3.2.2. Gesundes Herz durch Thiamin.

und der Reaktion der Transketolase.

*Vorkommen* in fast allen tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln, besonders in Vollkorngetreide, Hefe, Hülsenfrüchten, Kartoffeln, Sonnenblumenkernen, Schweinefleisch, Innereien und Fisch. *Bedarf* für Erwachsene: Männer 1,3 mg/d, Frauen 1,1 mg/d.

*Mangelscheinungen:* **Thiamin zählt für alle Altersgruppen zu den kritischen Nährstoffen;** Gewichtsverlust, Appetitlosigkeit, Herabsetzung der Magensaftproduktion, Herz-Kreislauf-Versagen, Muskelschwäche, Muskellähmungen, Wadenkrämpfe, psychische Veränderungen (Müdigkeit, Depressionen, Angstzustände, Reizbarkeit) durch Mangel- u. Fehlernährung (z. B. Alkoholranke), Malabsorption\* bzw. erhöhten Bedarf (z. B. Schwangerschaft, Stillen, chron. Blutdialyse); Beriberi\*, Wernicke\*-Enzephalopathie.

*Hypervitaminose:* alimentär nicht bekannt; bei langdauernder oraler Therapie selten Magenbeschwerden, Kopfschmerz, Schweißausbrüche, Tachykardie, Hautreaktionen mit Juckreiz.

*Thiaminasenkrankheit:* Auftreten eines Bacillus (thiaminolyticus Matsukawa et Misawa) im Darm, welches das Enzym Thiaminase bildet und Thiamin\* vor dessen Resorption\* aufspaltet und unwirksam macht. Zeichen eines Thiaminmangels, der sich bis zu einer Avitaminose\* (s. Beriberi\*) steigern kann.

**3.2.7. Riboflavin (syn. Vitamin B<sub>2</sub>);** Laktoflavin; wasserlösliches gelbes Vitamin. *Biochemische Funktion:* Als Flavinmononucleotid (Abk. FMN) u. Flavinadenindinucleotid (Abk. FAD) Coenzym der Flavinenzyme, die als Oxidoreduktasen z. B. in Atmungskette und Zitronensäurezyklus Reduktionsäquivalente übertragen.

*Vorkommen* in tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln, besonders in Milch und Milchprodukten, Hefe, Fleisch, Ei, Gemüse, Vollkorngetreide u. Fisch. *Bedarf* für Erwachsene: 1,5-2 mg/d.

*Mangelscheinungen* können sein: Wachstumsstörung, entzündliche Veränderung der Schleimhäute, seborrhoische Dermatitis\*, Mundwinkelrisse, in schweren Fällen Anämie\* oder Ariboflavinose\*. Mangelnde Versorgung mit Riboflavin\* kann v. a. bei alten Menschen (karge Ernährung) und jungen Frauen (erhöhter Bedarf bei Schwangerschaft, Antibaby-Pille) vorkommen.

*Hypervitaminosen:* Auch bei hoher Dosis unbekannt.

**3.2.8. Niacin (Vitamin-B-Komplex);** Sammelbezeichnung für Derivate der Pyridin-3-carbonsäure mit Antipellagra-Wirkung; Gruppe wasserlöslicher Vitamine, zu denen Nicotinsäure, Nicotinsäureamid und Pyridinnucleotid-Coenzyme\* zählen. *Biochemische Funktion:* Niacin ist an zahlreichen biologischen Redoxprozessen beteiligt, die in oxidiert Form als Elektronenakzeptoren fungieren. (Pyridinnucleotid-Coenzyme\*).

*Vorkommen* in pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln, bes. in Vollkorngetreideprodukten und Fisch. *Bedarf* für Erwachsene: Männer 18 mg, Frauen 15 mg Niacinäquivalent/Tag; 1 mg Niacinäquivalent  $\cong$  60 mg Tryptophan\*; da Nicotinsäure und -amid aus Tryptophan\* biosynthetisiert werden, hängt der Bedarf auch von der Tryptophanzufuhr ab. *Mangelscheinungen:* Bei Mangel-

einem Thiazolring verbunden ist. Biologisch aktiv als Coenzym ist Thiamindiphosphat (Abk. TPP). Thiamintriphosphat spielt im Nervensystem eine (noch unbekannte?) Rolle.

*Biochemische Funktion:* TPP reagiert mit den Substraten zu einem aktiven Aldehyd und nimmt Elektronen in sein Ringsystem auf, z. B. bei oxidativer Decarboxylierung von Alphaketosäuren

oder Fehlernährung (z. B. einseitiger Verzehr tryptophanarmer Maisprodukte, Alkoholkrankheit\*), Malabsorption\* (z. B. Hartnup-Krankheit\*), erhöhtem Bedarf (z. B. Schwangerschaft, Stillzeit) kann es zu Pellagra\* (3D; Dermatitis\*, Diarrhö\*, Demenz\*) und Depressionen kommen. *Hypervitaminosen\**: Weder alimentär noch bei therapeutisch hoher Dosierung bekannt.

*Nicotinamid*; chem. Nicotinsäureamid; s. Niacin.

*Nicotinsäure*; syn. Pyridin-3-carbonsäure; Vorstufe der Pyridin-nukleotid-Coenzyme\*; rasche Resorption\*, Ausscheidung über Nieren; Wirkung: 1. Gefäßerweiterung, Steigerung der Hautdurchblutung; 2. Lipidsenkung (Blutfette) durch Hemmung der Lipolyse und Verminderung der VLDL- u. LDL-Synthese (Cholesterol- u. Triglyceridsenkung).

*Verwendung*: bei N.-Mangel (Pellagra\*); als Lipidsenker; zur lokalen Hyperämisierung bei rheumatischen und anderen Schmerzen. *Beachte*: Nach Dauertherapie mit überhohen Dosen kann Verschlechterung der Glukosetoleranz (Zuckerspiegel) und Flush (anfallweise Hautrötung mit Hitzegefühl) auftreten.

**3.2.9. Pyridoxin (syn. Vitamin B<sub>6</sub>)**; Sammelbezeichnung für die wasserlöslichen Wirkstoffe Pyridoxol, Pyridoxal, Pyridoxamin und deren 5-Phosphorsäureester, die bei Lichteinwirkung und im alkalischen Milieu schnell zerfallen und im Organismus leicht ineinander umgewandelt werden. *Biochemische Funktion*: Als Pyridoxalphosphat (Abk. PALP) wichtigstes gruppenübertragendes Coenzym bei den Transaminierungs-, Decarboxylierungs- und Eliminierungsreaktionen des Aminosäurestoffwechsels und bei der Synthese der Deltaaminolävulinsäure; PALP und Aminosäure bilden dabei eine Schiff-Base.

*Vorkommen* in tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln, besonders reichlich in Hefe, Leber, Fleisch, Vollkorngetreide, Hülsenfrüchten, Gemüse. *Bedarf* für Erwachsene: 1,6-1,8 mg/d; abhängig vom Proteinumsatz.

*Mangelscheinungen*: Die Aufnahme von P. ist bei 19- bis 35-Jährigen und Alkoholkranken oft unzureichend. Isolierter Pyridoxinmangel ist alimentär selten; durch Mangel- oder Fehlernährung, gesteigerten Bedarf (z. B. Schwangerschaft, Stillen) und chronischer Einnahme von z. B. hormonalen Kontrazeptiva (Antibaby-Pille), Antibiotika\*, kann es zu Dermatitis\* im Nasen- und Augenbereich, Entzündungen im Mund und an den Lippen, Schlaflosigkeit, nervöser Störung, Reizbarkeit, Depressionen, Eisen-Anämie\* und Krämpfen\* im Säuglingsalter kommen. Nachweis von Pyridoxinmangel im Tryptophanbelastungstest.

Pyridoxin\* gehört zu den kritischen Nährstoffen. Ohne P. kein *Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel* (Adipositas) möglich. *Hypervitaminosen\**: Alimentär unbekannt.

**3.2.10. Pantothenensäure (Vitamin-B-Komplex)**; *wasserlösliches*, hitzelabiles Vitamin; besteht aus 2,4-Dihydroxy-3,3-dimethylbutyrat, das über eine Amidbindung mit  $\beta$ -Alanin\* verknüpft ist; nur D(+)-Pantothenensäure ist biologisch aktiv. *Biochemische Funktion*: Bestandteil von Coenzym A\* und Acyl-Carrier-Protein (Fettsäuresynthetase).

*Vorkommen* in pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln; besonders in Hefe, Eigelb, Vollkornprodukten, Hülsenfrüchten; *Bedarf* für Erwachsene: Schätzwert 6 mg/d.

*Mangelscheinungen*: alimentär selten; bei parenteraler Ernährung, chron. Hämodialyse (Blut) und Alkoholkrankheit\* können Abgeschlagenheit, Müdigkeit, Schwäche, Schlafstörung, Dermatitis\* und Sensibilitätsstörungen der Extremitäten (Burning-feet-Syndrom) auftreten. *Hypervitaminose*: Weder alimentär noch bei therap. hohen Dosen bekannt.

**3.2.11. Biotin (Vitamin-B-Komplex)**; 2'-Keto-3,4~imidazolin-2-tetrahydrothiophen-n-valeriansäure; *wasserlösliches* Vitamin; cyclisches Harnstoffderivat mit einem Thiophanring und drei asymmetrischen C-Atomen; nur D-(+)-Biotin ist biologisch aktiv. Biosynthese durch die Darmflora.

*Vorkommen* in Nahrungsmitteln häufig nur in geringer Konzentration; Biotin ist Coenzym und Carboxycarrier der Carboxylasen,

an die es amidartig über einen  $\epsilon$ -Lysinrest gebunden ist. Bei der Katalyse entsteht unter ATP- und Hydrogencarbonatverbrauch N-Carboxybiotin. Bei Glukoneogenese (Pyruvatcarboxylase), Fettsäurebiosynthese (Acetyl-CoA\*-Carboxylase) und Betaoxidation ungeradzahligter Fettsäuren (Propionyl-CoA\*-Carboxylase) werden COO<sup>-</sup>-Gruppen übertragen.

*Bedarf* infolge mikrobieller Biosynthese nicht abschätzbar; bis 200  $\mu$ g/d werden je zur Hälfte über Urin u. Kot ausgeschieden.

*Mangelscheinungen*: Bei extremer Ernährung, z. B. häufigem Verzehr roher Eier (infolge des im Eiklar enthaltenen Avidins, das Biotin bindet), Alkoholkrankheit\* und parenteraler Ernährung (gestörte Darmflora) kann die Bedarfsdeckung gefährdet sein.

*Folgen*: Dermatitis\*, Haarausfall, Appetitlosigkeit, Übelkeit und Depressionen. *Hypervitaminose*: Weder alimentär noch bei therap. Anwendung hoher Dosierungen bekannt.

**3.2.12. Folsäure (Vitamin-B-Komplex)** syn. Pteroylglutaminsäure; Sammelbezeichnung für Verbindungen, die aus Pteridinring, p-Aminobenzoensäure und einem oder mehreren Glutaminsäureresten bestehen; hitze- u. lichtempfindliches, *wasserlösliches* Vitamin; Wuchsstoff für Bakterien. *Biochemische Funktion*: Als biologisch aktive Form ist Tetrahydrofolsäure (Abk. FH<sub>4</sub>) Coenzym bei der Übertragung von C<sub>1</sub>-Gruppen (Methyl, Formyl, Formiat) und der Nukleinsäuresynthese (Purin, Thymin). Folsäure wird v. a. mit der Nahrung aufgenommen (Blattgemüse, Leber, Hefe, Milch) und im Dünndarm bakteriell synthetisiert.

*Bedarf* für Erwachsene: ca. 150  $\mu$ g freie F./Tag (Pteroylmonoglutamat) bzw. Folatäquivalente, die mit 300  $\mu$ g Nahrungsfolat erreicht werden können (Folatäquivalent= Monogluamat + 0,2 x Polyglutamat).

*Mangelscheinungen*: Folsäure zählt allgemein zu den kritischen Nährstoffen fast aller Bevölkerungsgruppen. Zu den Risikogruppen zählen besonders veganisch Ernährte, Kinder in der Pubertät, Schwangere, Stillende und Alkoholranke. Mangel- und Fehlernährung, erhöhter Bedarf und Medikamente (z. B. Antikonvulsiva, hormonale Kontrazeptiva (Antibaby-Pille), Chemotherapeutika und Zytostatika) können megaloblastäre Anämie\*, Leuko- oder Thrombopenie Schleimhautveränderung in Mundhöhle und Magen-Darm-Trakt, Durchfall, neurologische Veränderung, Depressionen, Resorptions\*, Wachstums- und Fortpflanzungsstörung sowie Fehlbildung beim Fetus (Spina bifida) und Frühgeburt auslösen. Mangel an Cobalamin\* führt sekundär zu Folsäuremangel. Ca. 2 Monate vor Konzeption bei geplanter Schwangerschaft und mind. 2 Monate nach Konzeption sollte mit 400  $\mu$ g F./Tag substituiert werden.

*Hypervitaminose*: Alimentär nicht bekannt.

*Folsäureantagonisten*; Analoga und Anti-Metaboliten\* der Folsäure: Sulfonamide hemmen die bakt. Biosynthese der Dihydrofolsäure; Diaminobenzylpyridine hemmen die Dihydrofolatreduktase. **Folsäure zählt für alle Gruppen zu den kritischen Nährstoffen. Nur ein sehr kleiner Prozentsatz der Bevölkerung ist richtig versorgt.**

**3.2.13 Cobalamin (syn. Vitamin B<sub>12</sub>)**; Sammelbezeichnung für *wasserlösliche* Corrinoiden, deren Pyrrotringsystem Cobalt\* als Zentralatom enthält; der sechste Ligand des Cobaltatoms kann eine 5'-Desoxyadenosyl-, Cyano-, Methyl- od. Hydroxylgruppe sein. *Biochemische Funktion*: Methycobalamin ist Coenzym bei der Methylierung von Homocystein zu Methionin\* (u. a. wichtig für die Biosynthese der Folsäure). 5'-Desoxyadenosyl-C. ist Coenzym bei der intramolekularen Umlagerung von Methylmalonyl-CoA\* zu Succinyl-CoA\* (beim Abbau ungeradzahligter Fettsäuren und von Methionin\*, Valin\* und Isoleucin\*).

*Vorkommen* in Nahrungsmitteln: C. wird ausschließlich von Bakterien synthetisiert und kommt daher insbesondere in tierischen Lebensmitteln (Leber, Niere, Muskelfleisch, Fisch, Eier, Milch u. Milchprodukte) vor; in geringen Mengen auch in vergorenen pflanzlichen Produkten (z. B. Sauerkraut, Bier) sowie in Wurzeln von Pflanzen, die C. aus Bodenbakterien aufnehmen.

Bedarf für Erwachsene: 3,0µg/d; während Schwangerschaft und Stillzeit wird einem 0,5µg/d höhere Zufuhr empfohlen.

**Mangelscheinungen:** Selten; nach 5-10-jähriger cobalaminfreier Ernährung bei sich streng vegetarisch Ernährenden und Alkoholkranken; bei Mangel- und Fehlernährung, Resorptionsstörungen (z. B. Intrinsic-Faktor\*-Mangel) oder C.-Transportstörung kann es zu *perniziöser Anämie\** mit Leuko- und Thrombopenie sowie zur Degeneration\* der Hinter- und Seitenstränge des Rückenmarks (funikuläre Myelose\*) oder zu geschwürartigen Veränderungen der Schleimhaut des Verdauungstrakts kommen. *Hypervitaminose* weder alimentär noch bei therap. Anwendung hoher Dosierungen bekannt.

### 3.3. Aminosäuren (Peptidbindung, Eiweiße) und essentielle Fettsäuren

**3.3.1. Einleitung.** Neben den Kohlenhydraten und Fetten sind die Eiweißstoffe die Hauptbestandteile der menschlichen und tierischen Nahrung. Sie geben bei ihrer Oxydation nicht nur eine Energie von 4,1 cal (neue Bezeichnung ist Joule) je Gramm, sondern sind zugleich Bestandteile von Hormonen\* und Enzymen\*. Als *Eiweißstoffe* bezeichnet man hochmolekulare kolloide Naturprodukte, die sich aus einer großen Anzahl von α-Aminosäuren als Grundbausteinen zusammensetzen.

Die α-Aminosäuren leiten sich von den Karbonsäuren ab, indem ein H-Atom am α-Kohlenstoffatom durch eine Aminogruppe -NH<sub>2</sub> substituiert wird. Die einfachste Säure ist das Glyzin, das wie alle α-Aminosäuren in Betastruktur vorliegt; dadurch wird der relativ hohe Schmelzpunkt der Aminosäuren bedingt. Außer Glyzin haben alle α-Aminosäuren ein asymmetrisches C-Atom und sind daher optisch aktiv; alle natürlichen Aminosäuren gehören der L-Reihe an. Die optisch aktiven α-Aminosäuren können als Gemisch der D- und L-Form entweder durch Umsetzung von Halogensäuren mit Ammoniak oder nach der Streckerischen Synthese aus Aldehyden durch Addition von Blausäure in Gegenwart von Ammoniak erhalten werden. Eine Trennung in D- und L-Form erfolgt durch Kristallisation mit einer optisch aktiven Base.

Das charakteristische Merkmal der Eiweiße oder Peptide ist die Laktam- oder Säureamidgruppierung -CO-NH- an der Verknüpfungsstelle zweier Aminosäuren. Eine derartige Verknüpfung wird auch als Peptidbindung bezeichnet. Synthetisch kann eine Peptidverbindung dadurch geknüpft werden, daß das Hydrochlorid eines Aminosäurechlorids mit einem Aminosäureester zur Reaktion gebracht wird. Durch verschiedene Polypeptidsynthesen ist der Chemiker in der Lage, einzelne einfache Eiweiße zu synthetisieren.

Das Hormon *Insulin*, das den Zuckerhaushalt reguliert und die spezifische Therapie der Zuckerkrankheit ermöglicht, ist das chemisch am besten untersuchte Protein. Es wird in den *Langerhansschen Zellen* der Bauchspeicheldrüse erzeugt. Das Insulin hat ein Molekulargewicht von rund 5700 und enthält 51 Aminosäuren, die sich auf zwei Polypeptidketten verteilen, die durch Disulfidbrücken zusammengehalten werden. Die Disulfidbrücken entstehen durch Oxydation des Zystein zu Zystin, die beide ein reversibles Redoxsystem bilden.

Synthetisch wurde **Insulin erstmals 1963** von ZAHN, MEIENHOFER und SCHNABEL hergestellt. Synthetisches Insulin ist keine Erfingung der Genforschung.

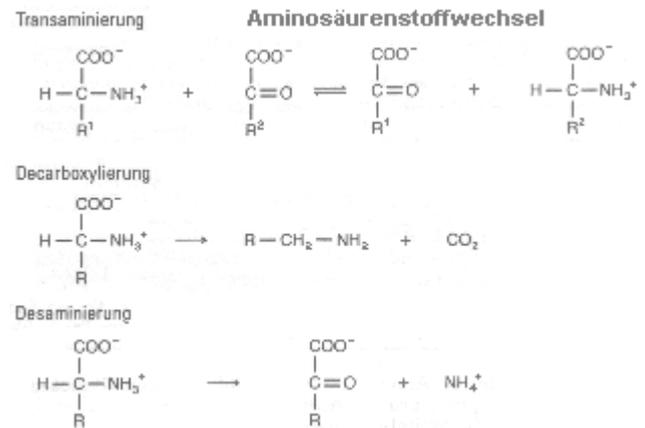
Es gibt 20 verschiedene Aminosäuren, aus denen sich sämtliche Proteine im menschlichen Organismus bilden. Zwölf davon kann der Organismus selbst bilden, sie heißen nichtessentielle Aminosäuren, weil sie durch die körpereigene Biosynthese ersetzbar sind. Die restlichen acht essentiellen (unentbehrlichen) Aminosäuren kann der Körper nicht selbst synthetisieren, sie müssen mit der Nahrung zugeführt werden.

**3.3.2. Minimalbedarf (g/d)** an für den Menschen *essentiellen* Aminosäuren; die empfohlene Tageszufuhr beträgt das Doppelte.

*Isoleucin* 0,7g; *Leucin* 1,1g; *Lysin* 0,8g; *Methionin* 1,1g; *Phenylalanin* 1,1g; *Threonin* 0,5g; *Tryptophan* 0,25g; *Valin* 0,8g.

*Histidin*, *Arginin*, *Tyrosin* (essentiell für Säuglinge, abhängig von der Phenylalanin-Zufuhr).

**3.3.3. Aminosäurestoffwechsel;** zusammenfassende Bezeichnung für Reaktionen des katabolen (abbauend) und anabolen (aufbauend) Umbaus von Aminosäuren. Die wichtigsten **Formen:** 1. Transaminierung (katalysierter Austausch); 2. Decarboxylierung; Biosynthese biogener Amine; 3. oxidative Desaminierung. (s. Abb. 3.3.1.)



**Abb.: 3.3.1. Transaminierung,** reversible, von Transaminasen katalysierte Übertragung der Aminogruppe einer Aminosäure auf eine Alpha-ketosäure; **Decarboxylierung,** Kohlendioxidabspaltung aus einer Carbonsäure, die in die Verbindung mit der nächst niedrigeren C-Zahl übergeht; **Desaminierung,** Abspaltung von NH<sub>3</sub> aus Aminen durch Elimination, Oxidation oder Hydrolyse.

**3.3.4. Essentielle Aminosäuren** müssen dem Organismus täglich mit der Nahrung zugeführt werden. Anders als bei *Hormonen\** und *Enzymen\** ist der menschliche Organismus nicht in der Lage, sie selbst herzustellen. Aminosäuren sind die Grundlage für die Biosynthese der Eiweißverbindungen (Proteine, Peptide).

**3.3.4.1. Isoleucin;** Abk. Ile, I; L-α-Amino-β-methylpentansäure; proteinogene, *essentielle*, aliphat. und neutrale Aminosäure; gluko- und ketoplastisch; *Anwendung* zur parenteralen Ernährung.

**3.3.4.2. Leucin;** Abk. Leu, L; α-Aminoisocaproinsäure, L-2-Amino-4-methylpentansäure; *essentielle*, proteinogene, neutrale Aminosäure. Vorkommen der D-Form in Peptidantibiotika; *Anwendung* als Lebertherapeutikum.

**3.3.4.3. Lysin;** Abk. Lys, K; basische *essentielle* Aminosäure; Vorkommen in den meisten tierischen (Myosin, Kollagen, Histone), weniger in pflanzlichen Proteinen; Decarboxylierung ergibt Cadaverin (Eiweißfäulnis, Leichengift); Abbau in der Leber über Pipecolinsäure zu Acetoacetyl-CoA\* bzw. Acetyl-CoA\*

**3.3.4.4. Methionin;** Abk. Met, M; α-Amino-γ-methyl-mercaptoputtersäure; *essentielle* schwefelhaltige proteinogene Aminosäure, aus der durch Reaktion mit ATP (Phosphatverbindung) der Methylgruppendonator Adenosylmethionin entsteht; *Tagesbedarf:* 1-2 g; mit bakteriostatischer Wirkung; *Verwendung* bei Harnwegentzündung und chron. Nierenminderleistung. *Bei Resorptionsstörungen im Darm:* Geistige Behinderung, Krämpfe\*, stinkende Durchfälle, weiße Haare.

**3.3.4.5. Phenylalanin;** Abk. Phe, F; L-α-Amino-β-phenyl-propionsäure; *essentielle*, proteinogene, aromatische Aminosäure; Abbau über Tyrosin\* u. Fumarsäure zu Acetessigsäure.

**3.3.4.6. Threonin;** Abk. Thr, T; L-threo- $\alpha$ -Amino- $\beta$ -hydroxybuttersäure, (2S, 3R)-2-Aminohydroxybutansäure; *essentielle* proteinogene Aminosäure mit zwei asymmetrischen C-Atomen; Abbau zu CoA\*-aktiver Propionsäure oder zu Glycin\* und Acetaldehyd.

**3.3.4.7. Tryptophan;** Abk. Trp, W; *essentielle*, proteinogene, aromatische Aminosäure; Ausgangssubstanz für die Biosynthese von *Serotonin*, *Melatonin*, *Nicotinsäure*; Abbau durch Kynureninase (abhängig von Pyridoxalphosphat, *Vitamin B6*); bakterieller Abbau (Darmflora) zu *Tryptamin*, Skatol u. Indol (Eiweißfäulnis); Resorptionsstörung bei Hartnup-Krankheit\*. *Verwendung* zur Aminosäuresubstitution, als *Antidepressivum* und Schlafmittel. *Tryptamin*; biogenes Amin, das durch Decarboxylierung aus Tryptophan entsteht; stimuliert die Kontraktion (Blutdurchfluß) der glatten Gefäß- und Uterusmuskulatur. Tryptamin ist auch bakteriologisches Abbauprodukt und kann zu *Serotonin* hydroxyliert werden.

**3.3.4.8. Valin,** Abk. Val, V; *essentielle* Aminosäure; Vorkommen in fast allen Proteinen; Abbau über CoA\*-aktivierte *Methylmalonsäure* zu Succinyl-CoA\*  
*Methylmalonsäure* in aktiver Form ein CoA\*. Zwischenprodukt beim Abbau von Methionin\*, Isoleucin\*, Valin und ungeradzahligere Fettsäuren. Erhöhte Konzentration bei Blutanämien; abhängig von Cobalamin\*.

### 3.3.5. nichtessentielle Aminosäuren

*Histidin*, *Arginin* und *Tyrosin* sind essentiell für Säuglinge, abhängig von der Phenylalanin-Zufuhr.

**3.3.5.1. Histidin;** Abk. His, H; Imidazolylalanin, 2-Amino-3-(4-imidazolyl)propansäure; proteinogene, z. T. essentielle Aminosäure. *Vorkommen* besonders reichlich in Hämoglobin; als 3-Methylhistidin in Aktin u. Myosin (Muskelproteine, Kontraktion); Decarboxylierung ergibt *Histamin*.

*Histamin*; durch Histidindecarboxylase aus Histidin gebildetes biogenes Amin; Gewebeshormon, Neurotransmitter\*; *Vorkommen* in den Mastzellen (Blut), in geringer Menge in Thrombo- und Leukozyten; in Neuronen des hinteren Hypothalamus; *Freisetzung* durch endogene und exogene Histaminliberatoren, z. B. IgE (Immunreaktion), Verbrennung und Entzündung. Abbau in Niere und Gehirn, Magen und Darm, durch Darmbakterien). *Wirkungen* über Rezeptoren: Kontraktion glatter Muskulatur in Darm, Uterus, Bronchien, großen Gefäßen, Dilatation kleiner Gefäße, Hautrötung Quaddelbildung), Adrenalinausschüttung, Schmerzen, Juckreiz durch Wirkung auf sensible Nervenenden.

**3.3.5.2. Arginin;** Abk. Arg, R;  $\alpha$ -Amino- $\delta$ -guanidinovaleriansäure, 2-Amino-5-guanidinopentansäure; stark basische, proteinogene und glukogene Aminosäure; Zwischenprodukt im Harnstoffzyklus; Ausgangsstoff der Biosynthese von Stickstoffmonoxid (NO); beteiligt an Biosynthese: Antioxidanzie, Muskelentspannung, Neurotransmitter\*.

**3.3.5.3. Tyrosin;** Abk. Tyr, Y; aromatische., ketogene und proteinogene Aminosäure; entsteht durch Hydroxylierung von Phenylalanin\* und ist Vorstufe der Biosynthese von *Dopamin*, *Adrenalin*, *Thyroxin* und der *Melanine*. Abbau durch Tyrosintransaminase zu 4-Hydroxyphenylbrenztraubensäure und über Homogentisinsäure zu Maleylacetoacetat; Abbau i. R. der Eiweißfäulnis zu Kresol und Phenol; Anwendung bei Schilddrüsenerkrankungen.

Die Hormone\* (*Adrenalin*, *Dopamin*, *Thyroxin*, *Melatonin*) haben Einfluß auf mentale Vorgänge im Hirnstoffwechsel (Demenz\*, Parkinson, Depressionen usw.).

**3.3.5.4. Glycin;** Abk. Gly, G; Aminoessigsäure; einfachste und einzige nicht optisch aktive proteinogene Aminosäure; süßer Geschmack. Vorkommen z. B. in Hippursäure, Glutathion- und

Glykocholsäuren. Glycin fungiert als hemmender Neurotransmitter in Rückenmark und Hirnstamm (Kontrolle der Motorik) u. als Koppelung für Rezeptoren.

**3.3.5.5. Alanin;** Abk. Ala, A;  $\alpha$ -Aminopropionsäure, 2-Aminopropansäure; proteinogene Aminosäure. Bildet Enzyme\*, die als Katalysatoren wirken. Erhöhte Werte bei Leberproblemen.

**3.3.5.6. Serin;** Abk. Ser, S; L- $\alpha$ -Amino- $\beta$ -hydroxypropionsäure; proteinogene und glukogene Aminosäure; Serin wird u. a. zur Biosynthese von Sphingosin, Colamin, Cholin und der Kepheline (Zwischenprodukte, z.B. Cholinmangel führt zur Fettleber) benötigt; Abbau zu Pyruvat (Salz) oder Umbau zu Glycin\*.

**3.3.5.7. Asparaginsäure;** Abk. Asp, D;  $\alpha$ -Aminobernsteinsäure, 2-Aminobutan-2-aminocarbonsäure; saure proteinogene Aminosäure; Aminogruppendonor bei Transaminierung wichtig im Harnstoffzyklus und zur Biosynthese der Purin- und Pyrimidinbasen).

**3.3.5.8. Asparagin;** Abk. Asn od. Asp(NH<sub>2</sub>), N; 2-Aminobernsteinsäure-4-amid; proteinogene Aminosäure, Semiamid der Asparaginsäure; freies Asparagin kommt z. B. im Spargel vor.

**3.3.5.9. Glutaminsäure;** Abk. Glu, E;  $\alpha$ -Aminoglutarsäure, 2-Aminopentandisäure; proteinogene Aminosäure, die biosynthetisch durch Transaminierung aus Alphaketoglutarsäure entsteht; Synthese v. a. in Leber, Niere, Gehirn und Lunge; Abbau im Citratzyklus nach Transaminierung zu Alphaketoglutarsäure oder Decarboxylierung zu 4-Aminobuttersäure, die weiter zu Bernsteinsäure umgesetzt wird. *Bedeutung*: Vorstufe der Biosynthesen von GABA, Ornithin, Prolin\*, Hydroxyprolin; Baustein der Folsäure; Neurotransmitter\*; als Natriummonoglutamat Geschmacksverstärker in der Lebensmittelindustrie (China-Restaurant-Syndrom).

**3.3.5.10. Glutamin;** Abk. Gin od. Glu(NH<sub>2</sub>), Q; 2-Aminoglutarsäure-5-amid; proteinogene Aminosäure, Amid der Glutaminsäure\*; zentraler Metabolit\* im Stickstoffmetabolismus der Pflanzen und Tiere; Aminogruppendonor bei vielen biochemischen Reaktionen (z. B. Transaminierung, Purin-, Tryptophan\*, Glukosaminsynthese); die Glutaminsynthetase katalysiert die Amidbildung aus Glutaminsäure\* und NH<sub>4</sub><sup>+</sup> unter ATP-Verbrauch (Enzym) und dient damit v. a. in der Muskulatur der Ammoniakentgiftung.

**3.3.5.11. Cystein;** Abk. Cys, C;  $\alpha$ -Amino- $\beta$ -mercaptopropionsäure, 2-Amino-3-mercaptopropansäure; proteinogene Aminosäure; zentrale Verbindung im Schwefelstoffwechsel; für Disulfidbindung in Proteinen verantwortlich; Oxidation zu *Cystin*. *Therap. Anwendung* als Bestandteil von Infusionslösungen, zur Prophylaxe (Vorbeugung) von Strahlenschäden; s. Aminosäuren.

*Cystin*; durch Oxidation der SH-Gruppe von Cystein entstandenes Disulfid; Vorkommen in vielen Proteinen, besonders in Keratinen.

**3.3.5.12. Prolin;** Abk. Pro, P; Pyrrolidin-2-carbonsäure; einzige proteinogene Aminosäure mit sekundärer Aminogruppe; glukoplastisch; als nicht helixbildende Aminosäure besondere Bedeutung bei der Ausbildung der Tertiärstruktur der Peptide.

Biosynthese aus Glutaminsäure\* oder aus exogen zugeführtem Ornithin; Vorkommen, besonders in Kollagen (zusammen mit Hydroxyprolin).

### 3.3.6. Essentielle Fettsäuren [Omega-3- (6-) Fettsäuren]

Da der Körper einige Fette nicht synthetisieren kann, müssen sie ihm mit der Nahrung zugeführt werden. Zu diesen Fettsäuren gehören die Linol-, Linolen- und Arachidonsäure, die als essentielle Fettsäuren bezeichnet werden (früher Vitamin F). Strenggenommen ist aber nur die **Linolensäure** essentiell, da der Organismus die anderen beiden aus der Linolensäure herstellen kann. Es sind mehrfach ungesättigte Fettsäuren (in Pflanzen, Seefisch).

## 4. Merkmale des Lebens (Biochemie)

Das Leben ist die komplizierteste Bewegungs- und Existenzform der Materie, die wir kennen. Sein Wesen ist durch rein naturwissenschaftliches Herangehen zugänglich, ohne daß es dazu Hilfsannahmen metaphysischer Art, wie etwa der einer besonderen „Lebenskraft“, bedarf.

Die Träger des Lebens, die lebenden Organismen, stellen ein äußerst verwickeltes System von Struktur und Funktion dar, das auch in seiner primitivsten Ausprägung geologische Zeiträume benötigt hat, um durch „Erfinden und Ausprobieren“ das heutige Entwicklungsniveau zu erreichen.

Im Vergleich mit der unbelebten Natur fallen eine Reihe von Eigenschaften auf, die allen lebenden Organismen, dem Bakterium, der Pflanze, dem Tier und damit natürlich auch dem Menschen, gemeinsam sind. Diese Eigenschaften kennzeichnen das für das Leben Wesentliche, sie sind trotz der sonstigen Variationsfreudigkeit der lebenden Systeme konstant beibehalten worden.

Bis jetzt gibt es noch keine allgemein anerkannte Definition vom Wesen des Lebens. Sofern die Versuche dazu nicht in banalen oder aber zu einseitigen Formulierungen auslaufen, erschöpfen sie sich regelmäßig in der Aufzählung eben dieser für alle Lebewesen verbindlichen Eigenschaften, die im folgenden kurz skizziert werden sollen.

Das charakteristische *Baumaterial* der Lebewesen wird von Nucleinsäuren, Proteinen (Eiweiße), Lipiden (Fettstoffe) und Polysacchariden (hochmolekulare Kohlenhydrate) gestellt.

Die Nucleinsäuren enthalten, in molekularer Form verschlüsselt, die *genetische Information*, den *Struktur- und Funktionsplan* des lebenden Organismus. Nach einem von den Nucleinsäuren gelieferten Programm werden u.a. spezifische Enzyme synthetisiert, die als katalytisch wirkende Eiweiße auf chemischem Wege den Struktur- und Funktionsplan verwirklichen. Auf diese Weise werden die angeführten Baumaterialien zusammen mit einer Vielzahl weiterer organischer und anorganischer Verbindungen zu einer strukturellen und funktionellen Einheit, zur *Zelle*, vereinigt. Die Zelle gilt als kleinste lebensfähige Einheit.

Die Dynamik der Zelle zeigt sich im *Stoffwechsel*. Durch Enzyme werden die dabei ablaufenden chemischen Umsetzungen katalysiert, reguliert und gesteuert. Die Zellsubstanz wird fortwährend auf- und abgebaut und befindet sich in einem ständigen *Fließgleichgewicht*. Die beim Abbau entstehenden niedermolekularen Spaltprodukte und weitere organische und anorganische Verbindungen werden laufend mit dem umgebenden Milieu ausgetauscht. In der Regel nimmt die Zelle mehr aus der Umgebung auf, als sie wieder abgibt - ein Prozeß, der das Wachstum zur Folge hat. Im allgemeinen ist der Energiegehalt der Stoffe, die von der Zelle ausgeschieden werden, geringer als der der zuvor aufgenommenen. In Form eines *Energiewechsels* wird die mit der Nahrung aufgenommene Energie zur Synthese zelleigener Stoffe verwendet oder als Wärme, seltener in anderen Energieformen, wieder an die Umgebung abgegeben. Bei der Photosynthese der Pflanzen wird Lichtenergie statt chemischer von außen aufgenommen und zur Bildung organischer Substanz aus anorganischem Material genutzt.

Die *Reproduktion* der Organismen wird durch die „Niederschrift“ ihres Bau- und Funktionsplans als Nucleinsäurekode ermöglicht, der „wortgetreu“ vervielfältigt werden kann und auf die Nachkommen vererbt wird. Nach diesem von den Eltern vorgegebenen Programm, der genetischen Information, wird im Verlauf der *Ontogenese*, der Individualentwicklung, der Tochterorganismus aufgebaut. Gleichzeitig wird damit zunächst an einer einmal erreichten Entwicklungsstufe festgehalten. Durch Veränderungen der Erbinformation, durch *Mutationen*, entstehen Nachkommen mit neuen, erblichen Eigenschaften. Bei der Fortpflanzung kann diese erbliche Variabilität der Nachkommen durch Kombination mit anderen Erbanlagen noch erhöht werden. Von der Umwelt

werden die neuen, von denen der Eltern abweichenden Eigenschaften nach dem *Selektionsprinzip* auf ihre Lebensdienlichkeit, ihre Zweckmäßigkeit hin geprüft. Über viele Generationen hinweg macht die Verkettung geeigneter, „Erfindungen“ die *phylogenetische* oder *stammesgeschichtliche Entwicklung* aus, in der das Individuum nicht mehr als ein Kettenglied darstellt.

Gegenüber mechanischen, chemischen, elektromagnetischen und anderen Erscheinungen im Umweltfeld oder im Körperinnern weisen die Organismen *Reizbarkeit* auf. In vielen Fällen lösen Änderungen innerer oder äußerer Zustände ganze Reaktionsketten aus, deren Endergebnis durch Rückkopplung wiederum von dem reizaufnehmenden System erfaßt wird und so lange eine Antwort auslöst, bis im Sinne einer *Regulation* ein vom Organismus vorgegebener Sollwert erreicht ist.

Die aktive *Bewegung* zu den Kriterien des Lebendigen zu rechnen, ist umstritten. Trotzdem ist sie eine allgemeine Eigenschaft des Protoplasmas und für viele Organismen, insbesondere für die Tiere, charakteristisch. In den meisten Fällen ermöglicht sie Ihnen die Ortsbewegung, ein Verhalten, das oft auch bei niederen Pflanzen vorkommt, bei höheren aber auf Grund ihrer Lebensweise unzweckmäßig wäre und auch nicht beobachtet werden kann.

### 4.1. Bausteine des Lebens

Die belebte Materie ist in der Produktion chemischer Verbindungen unvergleichbar „erfinderischer“ als die unbelebte Natur. Jedoch ist das charakteristische Baumaterial der Lebewesen auf wenige Typen zumeist hochpolymerer organisch-chemischer Verbindungen zurückzuführen.

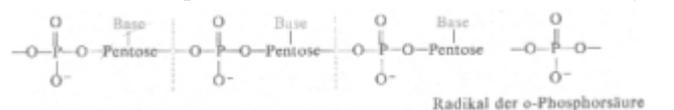
#### 4.1.1. Die Nucleinsäuren

Wohl auf keinem anderen Gebiet der Naturwissenschaften ist in den letzten Jahrzehnten soviel Neues von grundsätzlicher Bedeutung entdeckt worden wie auf dem der Nucleinsäureforschung. Die durch sie eingeleitete *molekularbiologische Betrachtungsweise* ist von entscheidendem Einfluß auf die Wandlung der Biologie von einer deskriptiven zu einer exakten Wissenschaft. Ein großer Teil der Untersuchungen zur Struktur und Funktion der Nucleinsäuren ist an Viren und Bakterien durchgeführt worden, die als einfache Lebensformen gegenüber höheren Organismen noch relativ übersichtliche Verhältnisse zeigen

Die Nucleinsäuren sind die *genetischen Informationsträger* und -überträger. Sie enthalten, als Nucleinsäurekose in molekularer Form verschlüsselt, den Bau- und Funktionsplan des jeweiligen Organismus. Infolge ihrer Fähigkeit zur *identischen Replikation* oder Selbstverdoppelung können Nucleinsäuren diese Information auf Tochterorganismen vererben. Sie übertragen auch die genetische Information zur Bildung spezifischer Proteine an die Syntheseorte im Zytoplasma. Die meisten dieser Proteine lenken als *Enzyme*, als Biokatalysatoren, die Stoffwechsel- und Differenzierungsprozesse und ermöglichen somit letztlich die Realisierung der genetischen Information. Veränderungen in der Struktur der Nucleinsäuren haben Änderungen im Informationsgehalt zur Folge. Die dadurch bedingte Bereitstellung neuer, vererbbarer Anlagen wird als einer der wichtigsten Faktoren in der phylogenetischen Entwicklung angesehen.

**4.1.1.1. Struktur der Nucleinsäuren.** Die Nucleinsäuren sind Makromoleküle, die durch lineare Verknüpfung von *Mononucleotiden* entstehen. Ein solches (Mono-) Nucleotid setzt sich aus drei Komponenten zusammen. Die Anordnung der Nucleotide im Polynucleotidstrang wird als *Primärstruktur* der Nucleinsäure bezeichnet.

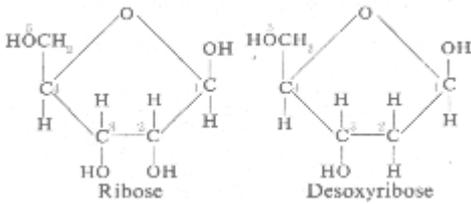
Zucker und Phosphorsäure wechseln in monotoner Reihenfolge,



während die Besetzung mit vier Basentypen variabel ist und der

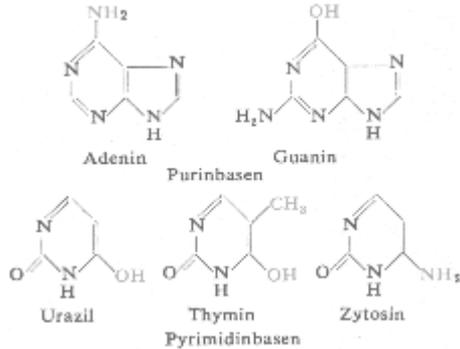
Verschlüsselung der genetischen Information dient.

Die Pentose, ein einfaches Kohlenhydrat (Monosaccharid), liegt entweder als Ribose oder, wenn dieser am 2. Kohlenstoffatom ein Sauerstoffatom fehlt, als Desoxyribose vor.



Nach der Art der Pentose unterteilt man die Nucleinsäuren in Ribo(se)nucleinsäuren (RNS) und Desoxyribo(se)nucleinsäuren (DNS).

Den Basen liegen zwei stickstoffhaltige heterozyklische Verbindungen zugrunde, das Purin und das Pyrimidin. Als Derivate kommen in der DNS die Purinbasen Adenin (A) und Guanin (G) und die Pyrimidinbasen Thymin (T) und Zytosin (C) vor. Bei der RNS ist Thymin gegen die Pyrimidinbase Urazil (U) ausgetauscht.



Die DNS fungiert bei allen Organismen, mit Ausnahme der RNS-haltigen Viren, als genetischer Informationsträger. Sie besteht aus wahren Riesenmolekülen; z. B. sind bei dem Bakterium *Escherichia coli* 2 Millionen Nucleotide zu einem Polynucleotidstrang verbunden. Die Gesamtlänge einer DNS-Moleküle einer Zelle liegt in der Größenordnung von Zentimetern bis zu Metern und ist vom Umfang des Informationsgehalts abhängig. Die Zellen höherer Organismen enthalten demzufolge mehr DNS als solche weniger komplizierter Lebewesen. Der Zellkern ist der typische Ort ihres Vorkommens.

Ein geringer Anteil, 1 bis 5% der gesamten DNS der Zelle, kommt in zytoplasmatischen Strukturen vor, wie Mitochondrien und Plastiden. Wesentlich geringere Ausmaße haben die RNS-Moleküle. Sie werden nach Struktur und Funktion unterschieden in

- a) Boten-RNS, engl. messenger-RNS' Abk. mRNS;
- b) Transport- oder lösliche RNS, engl. transfer-oder soluble-RNS' Abk. tRNS bzw. sRNS;
- c) Ribosomen-RNS' ribosomale RNS, Abk. rRNS.

RNS ist in nahezu allen Zellstrukturen zu finden.

Die für die DNS typische Sekundärstruktur kommt dadurch zustande, daß sich jeweils zwei DNS-Moleküle zu einem Doppelmolekül vereinigen. Dieses besteht aus zwei parallel zueinander gelagerten Polynucleotidsträngen, die miteinander eine Doppelspirale, die DNS-Doppelhelix, bilden. Die Verbindung der beiden benachbarten Stränge erfolgt zwischen den Basen über Wasserstoffbrückenbindungen. Dabei bilden aus räumlichen und chemischen Gründen immer nur Adenin und Thymin bzw. Guanin und Zytosin komplementäre Paare.

Die RNS dagegen liegt meist als einfacher Polynucleotidstrang vor, der aber ebenfalls spiralförmig gewunden sein kann.

**4.1.1.2. Beziehungen zwischen Struktur und Funktion der Nucleinsäuren.** Aus den typischen Strukturmerkmalen ergibt sich eine Reihe von funktionellen Konsequenzen, die die Nucleinsäuren als genetisches Substrat geradezu prädestinieren.

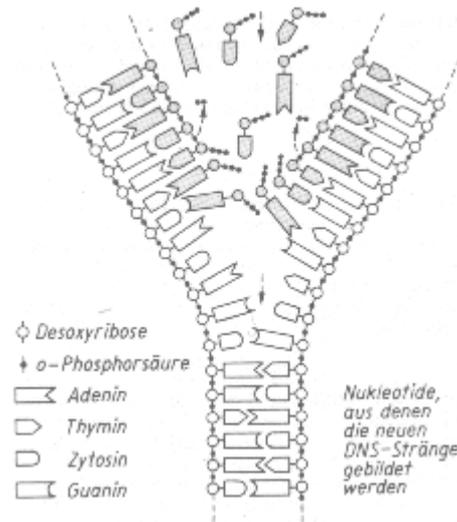
**1. Die identische Replikation (Selbstverdupplung) der DNS.** An den Stellen der DNS-Doppelhelix, an denen sich die beiden benachbarten Polynucleotidstränge entspiralisieren und ausein-

anderweichen, kommt es mit frei in der Zelle vorliegenden Mononucleotiden zur Neubildung von Paaren komplementärer Basen. Die dabei „eingefangenen“ Mononucleotide werden mit Hilfe eines Enzyms, der DNS-Polymerase, untereinander verknüpft. Schließlich entstehen auf diese Weise zwei neue DNS-Doppelstränge, die dem Original exakt gleichen.

Jeder Tochterdoppelstrang besteht aus einem DNS-Elternmolekül und einem DNS-Tochtermolekül. Wie nach einem Positiv-Negativ-Abdruckverfahren haben die Elternmoleküle gleichsam als Matrize die Synthese von jeweils komplementären Tochtermolekülen bewirkt.



**Abb. 4.1.1.** Ausschnitt aus einer DNS-Doppelhelix; schematische Darstellung der Desoxyribose-Phosphorsäure-Ketten als durchlaufende Bänder und der 4 Basentypen



**Abb. 4.1.2.** Schema der identischen Replikation der DNS

**2. Der genetische Kode.** Ähnlich wie in Form der Morseschrift mit Hilfe der beiden Zeichen Punkt und Strich und einem dritten Zeichen, dem Raum zwischen zwei Wörtern, das gesamte menschliche Wissen niedergeschrieben werden könnte, so erlaubt die Verwendung von vier verschiedenen Basen als molekulare Zeichen die „Niederschrift“ des gesamten Bau- und Funktionsplans eines Organismus. Tatsächlich liegt auch hier der Informationsschlüssel allein in der Sequenz, in der Reihenfolge der Basen Adenin, Guanin, Zytosin, Thymin bzw. Urazil.

Die Gruppierung von drei miteinander zu einem Triplet verknüpften Mononucleotiden ergibt die Bedeutung eines genetischen Wortes. Da jedes Mononucleotid eines Triplets Träger von einer der vier verschiedenen Basen ist, lassen sich für eine solche Dreiergruppe  $4^3 = 64$  verschiedene Kombinationsmöglichkeiten konstruieren. Wie eingangs schon angedeutet wurde, ist die Realisierung der genetischen Information mit der Synthese von Proteinen, insbesondere von spezifischen Enzymproteinen, aufs engste verbunden. Die Eigenschaft der Proteine aber hängt letztlich von ihrer Primärstruktur ab, d. h. von der Sequenz ihrer

Grundbausteine. Als Grundbausteine kommen jedoch im gesamten Organismenreich nur 20 verschiedene Aminosäuren in Frage, so daß im Prinzip 20 verschiedene Triplets genügen würden, um das Programm für die Synthese jedes beliebigen Proteins zu liefern. Tatsächlich aber dienen 61 der 64 möglichen Triplets als *Amino-*

		Zweites Nukleotid im Kodon			
		U	C	A	G
Erstes Nukleotid im Kodon	U	UUU Phenylalanin UUC Phenylalanin UUA Leucin UUG Leucin	UCU Serin UCC Serin UCA Serin UCG Serin	UAU Tyrosin UAC Tyrosin UAA Pankt UAG Pankt	UGU Zystin UGC Zystin UGA Pankt UGG Tryptophan
	C	CUU Leucin CUC Leucin CUA Leucin CUG Leucin	CCU Prolin CCC Prolin CCA Prolin CCG Prolin	CAU Histidin CAC Histidin CAA Glutamin CAG Glutamin	CGU Arginin CGC Arginin CGA Arginin CGG Arginin
	A	AUU Indolisin AUC Indolisin AUA Indolisin AUG Methionin	ACU Threonin ACC Threonin ACA Threonin ACG Threonin	AAU Asparagin AAC Asparagin AAA Lysin AAG Lysin	AGU Serin AGC Serin AGA Arginin AGG Arginin
	G	GUU Valin GUC Valin GUA Valin GUG Valin	GCU Alanin GCC Alanin GCA Alanin GCG Alanin	GAU Asparaginsäure GAC Asparaginsäure GAA Glutaminsäure GAG Glutaminsäure	GGU Glyzin GGC Glyzin GGA Glyzin GGG Glyzin
		Drittes Nukleotid im Kodon			
		U	C	A	G

**Tab. 4.1.3** Aminosäurekode; die Angaben beziehen sich auf die in der mRNA und in der Virus-RNS enthaltenen Kodons. In der DNS enthalten die entsprechenden Kodons Thymin an Stelle von, Urzyl: U Urzyl, C Zytosin, A Adenin, G Guanin

*säurekodon*. Die meisten der Aminosäuren werden deshalb von mehreren solcher Triplets kodiert. Die restlichen 3 Triplets wirken als Punktzeichen bei der Proteinbiosynthese; treten sie auf, wird die Bildung der Aminosäureketten gestoppt.

In den Jahren 1965/66 konnte der Aminosäurekode vollständig aufgeklärt werden; er ist offenbar vom Virus bis zum Menschen identisch, d. h., bei allen Organismen werden für die einzelnen Aminosäuren die gleichen Triplets verwendet. Daraus läßt sich ein Hinweis auf den gemeinsamen Ursprung aller Lebewesen ableiten.

**3. Messenger-RNS-Synthese.** Der Proteinbiosynthese geht die Bildung einer spezifischen Messenger-RNS (mRNA) voraus. Mit Ausnahme einiger RNS-haltiger Viren, z. B. den Erregern von Kinderlähmung, Grippe und Schnupfen, findet bei allen Organismen die mRNA-Synthese an der DNS statt. Hierbei wird die Basensequenz der DNS und damit die Reihenfolge der Aminosäurekodons in komplementärer Form auf die mRNA gleichsam als Bauanweisung für die zu bildenden Eiweiße „überschrieben“. Dieser als *Transkription* bezeichnete Vorgang ist dem der DNS-Replikation weitgehend analog. Abweichungen ergeben sich daraus, daß die RNS nur an einem der beiden Stränge der DNS-Doppelhelix synthetisiert und daß auf der Seite der RNS Urzyl statt Thymin eingebaut wird. Auch bei der mRNA-Synthese bewirkt ein Enzym, die RNS-Polymerase, die Verknüpfung der Mononukleotide.

Die mRNA verläßt den Ort ihrer Bildung und überbringt ihre von der DNS überschriebene Information zum Ort der Eiweißsynthese. Von dieser Funktion her rührt die Bezeichnung Boten- oder Messenger-RNS.

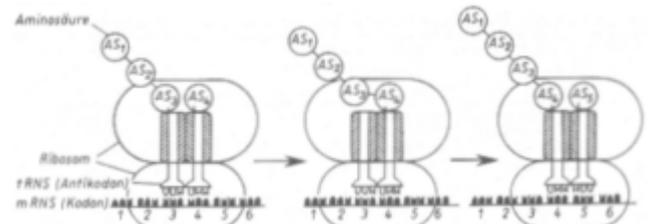
**4. Die Realisierung der genetischen Information.** Die in den Nukleotidsequenzen verschlüsselte genetische Information liefert ein Programm, das durch die Produktion spezifischer Eiweiße realisiert wird. Entsprechend der Sequenz der Aminosäurekodons in der mRNA, werden hierbei die Grundbausteine der Eiweiße, die Aminosäuren, linear aufgereiht und miteinander verknüpft. Bei diesem als *Translation* bezeichneten Prozeß wird also die Sequenz der Nukleinbasen in eine Sequenz von Aminosäuren übersetzt, die ihrerseits ausschlaggebend für die Spezifität des Eiweißes ist.

Die Proteinbiosynthese vollzieht sich an den Ribosomen, die sehr zahlreich in jeder Zelle vorkommen. An diese Ribosomen wird die mRNA angelagert. Ein zweiter RNS-Typ, die *Transport-RNS* (tRNA), übernimmt den Antransport der frei im Zellplasma vorliegenden Aminosäuren.

Die tRNA besteht aus 70 bis 85 Nukleotiden. Für jede Aminosäureart gibt es mindestens eine spezifische tRNA. Diese trägt an exponierter Stelle ein dem Kodon der zugehörigen Aminosäure

komplementäres Triplett, das als *Antikodon* bezeichnet wird. Mit Hilfe eines Enzyms aus der Gruppe der Aminoacyl-tRNA-Synthetasen, das jeweils nur mit einer bestimmten Aminosäure und der dazu passenden tRNA reagiert, erfolgt die Kopplung der Partner.

Am Ribosom werden die mit „ihrer“ Aminosäure beladenen tRNA-Moleküle über das Antikodon nach dem Prinzip der Bildung komplementärer Basenpaare an die entsprechenden Kodons der mRNA gebunden. Auf diese Weise kommt es zur linearen Anordnung der Aminosäuren, deren Reihenfolge exakt der Sequenz der Aminosäurekodons in der mRNA und demzufolge in der DNS entspricht. Nach der Art eines Fließbandes werden die Aminosäuren enzymatisch miteinander verknüpft und von ihrem Träger, der tRNA, getrennt.



**Abb. 4.1.4.** Am Ribosom ablaufende Prozesse bei der Proteinbiosynthese

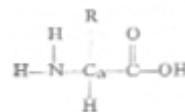
#### 4.1.2. Proteine

Die Proteine oder Eiweiße bilden den meist überwiegenden Anteil der organisch-chemischen Verbindungen eines lebenden Organismus. Sie sind als *Enzyme* für die Katalyse und, zusammen mit *Eiweißhormonen*, für die Regelung und Steuerung von Stoffwechselprozessen von entscheidender Bedeutung. Weitere wichtige Funktionen haben die Proteine beim *Transport chemischer Verbindungen*. Als Antikörper und Gifte dienen sie der *chemischen Abwehr*. Andere Proteine sind als *Gerüstsubstanzen* maßgeblich an der Strukturbildung des Organismus beteiligt. Besondere Arten von Strukturproteinen, z. B. die Muskelweiße, ermöglichen die *Kontraktilität*, die Fähigkeit zur Zusammenziehung, und damit die aktive Bewegung von Organismen. Auch als *Reservestoffe* spielen Proteine eine Rolle, beispielsweise im Eiklar des Vogeleies oder im Speichergewebe der Hülsenfrüchte.

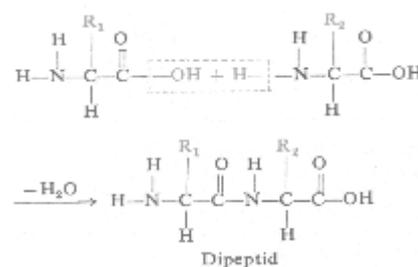
Die große Bedeutung der Eiweiße für Struktur und Funktion des lebenden Organismus ist relativ früh erkannt worden; dieser Bedeutung wegen erhielten sie die Bezeichnung Proteine [*protos* griech., erster, frühester].

**4.1.2.1. Primärstruktur der Proteine.** Proteine sind Makromoleküle, die durch Verknüpfung von Aminosäuren entstehen.

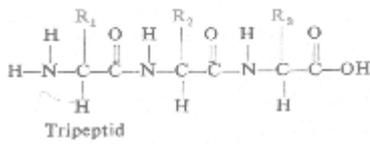
Die Aminosäuren tragen eine Carboxylgruppe  $-\text{COOH}$ , an deren benachbartem ( $\alpha$ -) Kohlenstoffatom sich eine Aminogruppe  $-\text{NH}_2$  befindet. Die allgemeine Formel dieser ( $\alpha$ -) Amino(karbon)Säuren lautet:



Für R könnten ganz beliebige Substituenten eingesetzt werden. Da aber in den Proteinen, ganz gleich welcher Herkunft, nur etwa 20 verschiedene Aminosäuren zu finden sind, kommen für R auch nur 20 verschiedene Reste in Frage. Lediglich einer der Eiweißbausteine, das Prolin, weicht von dieser allgemeinen Formel ab. Die Aminosäuren können unter Abspaltung von Wasser und Aus-



bildung einer *Peptidbindung*  $-\text{CONH}-$  zu *Peptidketten* vereinigt werden. Zunächst entsteht ein *Dipeptid*, das dann mit einer dritten Aminosäure zu einem *Tripeptid* reagieren kann usw.



Übereinkunftsgemäß bezeichnet man Verbindungen aus einer relativ geringen Anzahl von Aminosäuren und einer Molmasse bis zu 10000 als *Peptide*, solche mit

höherer Molmasse, mitunter bis zu mehreren Millionen, als *Proteine*.

Die für die jeweilige Aminosäure charakteristischen und in der Formel als R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> und R<sub>3</sub> bezeichneten Substituenten ragen als *Seitenketten* aus dem Peptidstrang heraus und sind als Träger funktioneller Gruppen von besonderer Bedeutung.

Aus der Sequenz der Aminosäuren in einer Peptidkette ergibt sich deren *Primärstruktur*. Schon ein relativ kleines Eiweißmolekül aus 100 Aminosäuren könnte bei Verwendung aller 20 verschiedenen Aminosäurearten 20<sup>100</sup> verschiedene Primärstrukturen aufweisen - eine wahrhaft astronomische Zahl! Die Primärstruktur ist von erster Bedeutung für die spezifischen Eigenschaften der Proteine. Da sie bei der Proteinbiosynthese durch die Sequenz

Tab. 4.1.1. Aminosäuren

Name	Rest R	Abkürzung
Glyzin	—H	Gly
Alanin	—CH <sub>3</sub>	Ala
Serin	—CH <sub>2</sub> OH	Ser
Threonin	—CH(OH)—CH <sub>3</sub>	Thr
Zystein	—CH <sub>2</sub> SH	Cys
Valin	—CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Val
Leuzin	—CH <sub>2</sub> —CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Leu
Isoleuzin	—CH(CH <sub>3</sub> )—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	Ileu
Methionin	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —S—CH <sub>3</sub>	Met
Phenylalanin	—CH <sub>2</sub>	Phe
Tyrosin	—CH <sub>2</sub>	Tyr
Tryptophan	—CH <sub>2</sub>	Trp
Histidin	—CH <sub>2</sub>	His
Lysin	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —NH <sub>2</sub>	Lys
Arginin	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —NH—C(NH)—NH <sub>2</sub>	Arg
Glutaminsäure	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —COOH	Glu
Glutamin	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CONH <sub>2</sub>	GluN
Asparaginsäure	—CH <sub>2</sub> —COOH	Asp
Asparagin	—CH <sub>2</sub> —CONH <sub>2</sub>	AspN
Prolin	—	Pro

der Nukleinbasen festgelegt wird, sei an dieser Stelle noch einmal auf das Primat der Nucleinsäuren hingewiesen. Aus den artspezifischen Unterschieden in der genetischen Information resultiert die *Artspezifität* der Proteine. Sogar die Proteine von Individuen innerhalb einer Organismenart unterscheiden sich in ihrer Primärstruktur mehr oder weniger stark. Aus diesem Grunde treten z.B. bei Organtransplantationen von Mensch zu Mensch größte Schwierigkeiten auf, da die Eiweiße des gespendeten Organs im Organismus des Empfängers als „fremd“ erkannt werden und in Form der Immunreaktion die Bildung von Immunzellen und Antikörpern, hochspezifischen Abwehrmechanismen, anregen.

**4.1.2.2. Höhere Strukturformen und ihre Beziehungen zur Funktion.** Die Peptidketten der Proteine bilden aus räumlich-

chemischen Gründen in den meisten Fällen eine langgestreckte Spirale, die *α-Helix*. Diese als *Sekundärstruktur* bezeichnete räumliche Anordnung kann an manchen, insbesondere an den prolinreichen Stellen Unregelmäßigkeiten aufweisen. Hier kommt es zu Biegungen, und durch eine Vielzahl solcher Biegungen kann



Abb. 4.1.5. Modell eines Myoglobinmoleküls

die gesamte Peptidkette die Form eines Knäuels annehmen. Die meisten Proteinmoleküle weisen eine solche Knäuelform auf, die ihnen eine äußerlich mehr oder weniger kugelförmige, *globuläre* Gestalt verleiht. Die Form des Knäuels, die als *Tertiärstruktur* bezeichnet wird, ist keineswegs zufällig, sondern von der Primärstruktur des Eiweißes abhängig und deshalb für jeden Eiweißtyp spezifisch. Die Tertiärstruktur wird dadurch gebildet und stabilisiert, daß zwischen ganz bestimmten *Seitenketten* von Aminosäuren chemische Bin-

dungen errichtet werden, die die einzelnen Abschnitte der geknäuelten Peptidkette miteinander verknüpfen. So können von zwei in der Peptidkette gegenüberliegenden Zysteinresten Disulfidbrücken ausgehen, während zwischen den basischen Gruppen von Lysin oder Arginin und den sauren Gruppen von Asparagin- oder Glutaminsäure Ionenbeziehungen entstehen und andere sich gegenüberliegende Seitenketten untereinander Wasserstoffbrücken und apolare Bindungen ausbilden. Schon der Einbau einer einzigen „falschen“ Aminosäure kann demzufolge Veränderungen in der räumlichen Struktur eines Eiweißes verursachen und damit oft Einschränkungen oder gar Verlust der Funktionstüchtigkeit verursachen. Sind solche „Fehler“ im genetischen Material begründet, so resultieren daraus *Molekularkrankheiten*. Die bekannteste ist die Sichelzellanomalie, eine schwere hämolytische Anämie des menschlichen Blutes, die auf den Austausch einer einzigen Aminosäure im Hämoglobin, dem roten Blutfarbstoff der Erythrozyten, zurückzuführen ist.

Auch durch Hitze, Chemikalien oder andere Einwirkungen können Struktur und Funktion der Proteine geändert werden. Beim Hartkochen der Eier ist dieser als *Denaturierung* bezeichnete Vorgang täglich zu beobachten.

Die Seitenketten haben neben der Fixierung der räumlichen Struktur von Proteinmolekülen noch andere wesentliche Funktionen. So können z. B. Enzyme mit ihrer Hilfe andere Moleküle an sich binden und nachfolgend katalytisch deren stoffliche Umsetzung bewirken. Aber auch dabei ist die Struktur von größter Bedeutung, eine Deformierung würde gleichzeitig eine Veränderung am Bindungsort des Enzymmoleküls nach sich ziehen und so dessen Funktionstüchtigkeit in Frage stellen.

Für die Strukturproteine, die Bausteine z. B. der Haare, Federn, Muskelsehnen oder Seidenfäden, ist die fadenförmige oder *fibrilläre* Molekülform charakteristisch. Die große äußere Oberfläche schafft einen engen Kontakt zwischen den Eiweißfadenmolekülen, der den Strukturen vor allem Festigkeit und relative Unlöslichkeit verleiht.

Schließlich weist ein Teil der Proteine eine *Quartärstruktur* auf, die bei der Vereinigung von zwei oder mehreren Proteinmolekülen zu einem hochkomplizierten Supermolekül entsteht.

Die Proteine sind oftmals durch die Seitenketten ihrer Aminosäuren mit einem Nichteiweißanteil, einer *prosthetischen Gruppe*, gekoppelt. Unter anderen gibt es Verbindungen zwischen Eiweiß und Nucleinsäuren (Nucleoproteide), Lipiden (Lipoproteide), Kohlenhydraten (Glykoproteide) und Farbstoffen (Chromoproteide).

#### 4.1.3. Lipide

Alle Baustoffe eines Organismus, die in Wasser schlecht, in orga-

nischen Lösungsmitteln, wie Äther, Chloroform und Benzin, dagegen gut löslich sind, werden als *Lipide* bezeichnet. Ihre wichtigste Funktion haben die Lipide als Bestandteile von Membranen zu erfüllen, die den Innenraum der Zelle in verschiedene Reaktionsräume aufgliedern und die die Zelle nach außen umgeben.

Allgemein bekannte Lipide sind *Fette*, *fette Öle* und *Wachse*. Sie bestehen aus Fettsäuren, die bei den Fetten und Ölen mit dem 3wertigen Alkohol Glyzerin und bei den Wachsen mit einem höheren Alkohol verestert sind. Die Fette und Öle stellen eine wichtige *Nahrungsreserve* dar, z. B. im Speichergewebe von Pflanzensamen oder im Fettgewebe der Tiere. Ferner dienen sie auf Grund ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit als *Kälteschutz* bei warmblütigen Tieren. Die Wachse sind insbesondere als *Verdunstungsschutz* an Oberflächen pflanzlicher Organe von Bedeutung. Verbindungen von Fettsäuren und Alkoholen mit einer weiteren Komponente werden als *komplexe Lipide* oder *Lipoide* bezeichnet. Je nach Vorkommen von Phosphorsäure oder Kohlenhydraten teilt man sie in Phospho- oder Glykolipide ein. Beide Substanzgruppen sind von größter Wichtigkeit für den Aufbau zellulärer Membranen.

Eine ganz andere Gruppe von Lipiden stellen die *Isoprenoide*, Polymerisationsprodukte des Isoprens, dar. Sie lassen sich hinsichtlich ihres chemischen Baus unterteilen in:

- a) *Steroide*: Cholesterin, ein wichtiger Membranbaustoff; verschiedene Hormone, z. B. das Häutungshormon der Insekten, Nebennierenrinden- und Sexualhormone der Wirbeltiere; Vitamine der D-Gruppe; Gallensäuren und herzwirksame Steroidglykoside, wie Strophanthus-, Digitalis-, Krötengifte;
- b) *Terpene*: ätherische Öle der Pflanzen, z. B. Pfefferminz-, Eukalyptusöl;
- c) *Kautschuk*: Gewinnung aus dem Milchsaft verschiedener Pflanzenfamilien;
- d) *Karotinoide*: Pflanzenfarbstoffe, wahrscheinlich als Sensibilisatoren bei der Photosynthese von Bedeutung. Bei Säugetieren Vorstufe des Vitamin A.

Die Lipide sind auch untereinander gut löslich. So deutet z. B. die gelbe Farbe des tierischen Fettgewebes, des Milchfettes und des Eidotters auf das Vorkommen von Karotinoiden hin, die zusammen mit der pflanzlichen Nahrung aufgenommen worden sind.

#### 4.1.4. Polysaccharide

Den Polysacchariden liegen einfache Kohlenhydrate, sogenannte Einfachzucker oder *Monosaccharide*, zugrunde. Neben ihrer Rolle als Polysaccharidbausteine sind sie im Stoffwechselgeschehen der Organismen von größter Bedeutung.

Ein beträchtlicher Teil der Monosaccharide läßt sich durch die allgemeine Formel  $C_n(H_2O)_n$  darstellen, aus der sich der Name Kohlenhydrate ableitet. Die *Pentosen* bestehen aus einer Kette von fünf, die *Hexosen* aus sechs Kohlenstoffatomen, die mit Wasserstoffatomen und Hydroxylgruppen OH — verbunden sind. Ein Teil der Kohlenstoffkette ist über ein Sauerstoffatom zu einem Ring vereinigt. Wichtige Hexosen sind Glukose (Traubenzucker), Fruktose (Fruchtzucker) und Galaktose. Die Pentosen *Ribose* und *Desoxyribose* sind Grundbestandteile der Nukleinsäuren.

Meist geht die Ringbildung über eine Sauerstoffbrücke vom 1. Kohlenstoffatom aus. Seine OH-Gruppe ist besonders reaktionsfreudig und wird als *glykosidische Hydroxylgruppe* bezeichnet. Sie ist in der Lage, sich unter Wasserabspaltung mit Hydroxylgruppen anderer Monosaccharide zu verbinden. Bei Vereinigung zweier Einfachzuckermoleküle durch eine solche glykosidische Bindung entstehen *Disaccharide*; z. B. entstehen aus Glukose und Fruktose die Saccharose, der Rohrzucker, und aus zwei Glukosemolekülen die Maltose, der Malzzucker.

In den *Polysacchariden* sind oftmals Tausende von Monosacchariden glykosidisch miteinander verbunden. Derartige Makromoleküle spielen als Reservestoffe für den Zuckerstoffwechsel oder als Gerüstsubstanzen eine große Rolle.

Das mengenmäßig bedeutendste Polysaccharid und die auf der

Erde häufigste organische Verbindung überhaupt ist die *Zellulose*. Sie bildet die Gerüstsubstanz der pflanzlichen Zellwände und damit auch die Hauptmasse des Holzes. In einem einzigen Zellulosemolekül sind bis zu 10000 Glukosemoleküle vereinigt, die eine gerade, unverzweigte Kette liefern. Die Zellulosemoleküle schließen sich zu Fibrillen zusammen, die sich untereinander vernetzen und damit die große Festigkeit zellulosehaltiger Strukturen erklären.

Ebenfalls nur aus Glukoseeinheiten bestehen die wichtigen Reservestoffe *Stärke* bei Pflanzen und *Glykogen* bei Tieren, die jedoch gegenüber der Zellulose eine geringere Molmasse und eine globuläre Molekülform aufweisen.

Der Zellulose ähnlich ist das *Chitin*, die Gerüstsubstanz der Arthropoden (Insekten, Spinnen u. a.) und vieler Pilze. Allerdings tragen die Glukoseeinheiten am 2. Kohlenstoffatom statt einer Hydroxyl- eine azetylierte Aminogruppe. Damit wäre das Chitin chemisch als Polyazetylglukosamin zu bezeichnen.

Andere Polysaccharide sind im chemischen Aufbau weniger einheitlich, d. h., sie setzen sich aus verschiedenen Monosacchariden oder deren Derivaten zusammen. Vertreter dieser Gruppe sind die Pektine, die Mukopolysaccharide und die Zellwandsubstanzen der Bakterien. Die *Pektine* beteiligen sich bei Pflanzen am Aufbau der Zellwände, oder sie kommen im Zellsaft gelöst vor. In dieser Form verursachen sie das Gelieren von Fruchtsäften. Die *Mukopolysaccharide* der tierischen Organismen haben, oftmals in Verbindung mit Proteinen, als Grundsubstanz des Bindegewebes und Knorpels und als Schleimstoffe Bedeutung. Komplizierter Natur sind die Zellwandsubstanzen der Bakterien. Neben reinen Polysacchariden in der äußeren Kapsel kommt in der inneren Hülle der Bakterien eine Verbindung aus Polysacchariden und Peptiden vor, die als *Murein* bezeichnet wird. Das Murein besteht aus den unverzweigten Ketten zweier Monosaccharidderivate, dem N-Azetyl-Glukosamin und der N-Azetyl-Muraminsäure, die untereinander durch Ketten aus jeweils acht z. T. ungewöhnlichen Aminosäuren verknüpft sind. Murein kann als ein einziges Riesenmolekül aufgefaßt werden, das das Bakterium wie ein Beutel umhüllt. Es ist maßgeblich für dessen äußere Form und die mechanische Festigkeit der Bakterienzellwand verantwortlich.

## 4.2. Organisation der lebenden Materie

Die Nukleinsäuren, Proteine, Lipide und Polysaccharide liefern zusammen mit anderen organischen und anorganischen Verbindungen das chemische Substrat für die Lebensvorgänge. Jedoch: so wie ein Haufen aus Ziegeln, Sand und Kalk noch kein Haus darstellt, sowenig repräsentieren diese Bausteine des Lebens ein Lebewesen.

**Erst die Zelle erfüllt den Anspruch, ein Lebewesen zu verkörpern. Dazu bedarf es der Ordnung ihrer Baustoffe nach einem bestimmten Struktur- und Funktionsprinzip, das die Ausprägung aller Lebensmerkmale gewährleistet. Die Untereinheiten der Zelle, die Zellorganellen, sind zwar ebenfalls durch Struktur und Funktion gekennzeichnet, für sich auf die Dauer jedoch nicht lebensfähig, da sie jeweils nur einen Teil der Merkmale des Lebens aufweisen.**

Viele Organismen bestehen lediglich aus einer einzigen Zelle. Auf Grund ihrer mikroskopischen Kleinheit werden sie als *Mikroorganismen* oder *Mikroben* bezeichnet. Dazu gehören Bakterien und primitive Pilze, einzellige Algen und einzellige Tiere. Alle übrigen Lebewesen sind aus einer Vielzahl von Zellen aufgebaut, der Mensch z. B. aus mehreren Billionen. Jedoch haben diese Zellen ihre Selbständigkeit aufgegeben, indem sie sich mehr oder weniger stark spezialisiert haben. Ihre *Differenzierung*, ihre Unterschiede hinsichtlich Struktur und Funktion, ist im Rahmen der Aufgaben im Gesamtorganismus zu verstehen.

Die Größe der Zellen schwankt zwischen 0,000.1 mm bei kleinsten Bakterien und einigen Zentimetern bei den Eizellen der Vögel und Reptilien; ja sogar meterlange Fortsätze einzelner Nervenzellen sind möglich. Jedoch liegt die Größenordnung der

meisten Zellen im Bereich von 0,01 bis 0,1 mm. Die äußere Form der Zelle zeigt starke Abhängigkeit von ihrer Funktion, bei Einzellern von der Lebensweise und bei vielzelligen Organismen von der Art ihrer Verbindung zu den Nachbarzellen.

#### 4.2.1. Struktur und Funktion der Zelle

Die Lehre von der Zelle, die *Zytologie*, hat in den letzten beiden Jahrzehnten einen gewaltigen Umfang angenommen. Sowohl in der *Morphologie*, der Strukturforschung, als auch bei der Aufklärung der stofflichen Zusammensetzung der Zellbestandteile und ihrer Funktion durch die *Biochemie* und die *Biophysik* sind zahlreiche neue Methoden entwickelt worden, die sich bahnbrechend ausgewirkt haben. Dazu gehören vor allem die Elektronenmikroskopie, die eine nahezu millionenfache effektive Vergrößerung erlaubt, und moderne chemische und physikalische Nachweis-, Trenn- und Meßmethoden. Dem Prinzip der Einheit von Struktur und Funktion entsprechend, stützen und fördern sich die Ergebnisse der genannten biologischen Disziplinen gegenseitig und gipfeln schließlich in der Schaffung neuer, gemeinsam erworbener Erkenntnisse.

Hinsichtlich des inneren Baues der Zellen lassen sich zwei Grundtypen von Organismen unterscheiden, *Eukaryoten* und *Prokaryoten*.

Die *Eukaryoten* verfügen über einen membranbegrenzten Zellkern (Nukleus, Karyon). Zu ihnen gehören alle Lebewesen mit Ausnahme der Bakterien und Blaualgen, die als *Prokaryoten* bezeichnet werden. Deren Zellen sind wesentlich einfacher strukturiert, ein typischer Zellkern fehlt; jedoch besitzen sie ein stoffliches und funktionelles Kernäquivalent.

Die Eukaryotenzelle ist nach folgendem Prinzip aufgebaut: Der als *Protoplasma* bezeichnete Zellinhalt ist nach außen durch eine Membran, die *Zell-* oder *Plasmamembran*, begrenzt. Auch innerhalb des Protoplasmas gibt es Membranen. Der *Zellkern* wird z. B. durch solche Membranen vom übrigen Protoplasma, dem *Zytoplasma*, abgeteilt. Das Zytoplasma besteht aus einem strukturlos erscheinenden *Grundzytoplasma*, dem *Hyaloplasma*, in das weitere Zellbestandteile eingelagert sind. Dazu gehören aus Membranen gebildete Schläuche und Bläschen, die als *endoplasmatisches Retikulum* bezeichnet werden. Oft sind mit ihnen kleine rundliche Partikel, die *Ribosomen*, verbunden, jedoch kommen diese auch frei im Grundzytoplasma vor. Besonders augenfällige Membranstrukturen werden vom *Golgi-Apparat* und von den *Mitochondrien* gebildet. Weitere Zellbestandteile von allgemeiner Bedeutung sind *Lysosomen*, *Mikrotubuli* und *Zentralkörperchen*. Daneben können als *Paraplasma* Stoffwechselprodukte, Nahrungseinschlüsse, Sekrete, Exkrete u. a. im Zytoplasma gefunden werden, die teils mit, teils ohne Membran die Form von Körnchen, Tröpfchen, Bläschen, Fäden, Kristallen und dergleichen haben können.

Erst in den letzten Jahren ist die *Dynamik* der Zellstrukturen voll erkannt worden. Mit Ausnahme der DNS wird das Baumaterial der einzelnen Zellbestandteile ständig ausgetauscht. Dabei bleibt aber ihr Strukturprinzip nach der Art eines *Fließgleichgewichts* erhalten, zu dem die Flamme einer Kerze ein Analogon ist. Ihre stoffliche Grundlage, die glühenden Gasteilchen, wird fortlaufend durch den Zustrom flüssigen Paraffins und dessen Oxydation erneuert, die Struktur der Flamme jedoch bleibt dabei erhalten. — Dennoch verändern die Zellbestandteile in einem gewissen Umfang ständig Ort, Form und Größe sowie ihre funktionelle Aktivität und können sich dadurch der jeweiligen Bedarfssituation anpassen. Im folgenden sollen Struktur und Funktion der wichtigsten Zellbestandteile erläutert werden.

**4.2.1.1. Zelluläre Membranen.** Die Zelle ist außen von einer dünnen Membran, der *Zell-* oder *Plasmamembran*, umgeben, deren Struktur im wesentlichen der der Membranen im Zellinnern entspricht. Dieser Grundtyp führt die Bezeichnung *Elementarmembran*.

Die Aufgabe der äußeren Zellmembran besteht darin, den Aus-

tausch von Stoffen nach Art und Bedarf zwischen dem inneren und dem äußeren Milieu zu verhindern, zu beschränken oder aber mit Hilfe besonderer Transportmechanismen zu fördern. Im Zellinnern wirken die Membranen in der gleichen Weise. Durch sie werden Reaktionsräume, sogenannte *Kompartimente*, geschaffen, die einen störungsfreien, synchronen Ablauf von sehr verschiedenen Stoffwechselprozessen innerhalb einer Zelle gestatten. Oft sind an solche Membranen Enzyme gekoppelt, die dadurch zu Funktionseinheiten zusammengefaßt werden und in ihrer räumlichen Anordnung als Leitschiene für Stoffwechselreaktionsketten dienen.

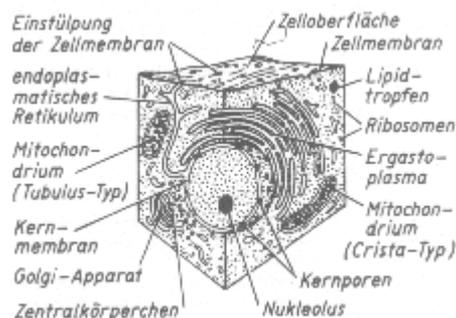


Abb. 4.2.1. Struktur einer Zelle im Elektronenmikroskop; schematischer blockförmiger Ausschnitt

**4.2.1.1.1. Struktur der Elementarmembran.** Die Elementarmembran ist in der lebenden Zelle etwa 10 nm (0,000.01 mm) dick und läßt sich deshalb erst im Elektronenmikroskop sichtbar machen. Die Elementarmembranen bestehen aus einer mittleren Lipidschicht, die jederseits von einer Proteinschicht flankiert wird. Neben Cholesterin und (Neutral)fetten kommen in der Mittelschicht insbesondere Phospho- und Glykolipide vor. Diese haben Ionen- oder Dipolcharakter und treten deshalb mit den Wassermolekülen oder anderen, in Wasser löslichen polaren Stoffen in Beziehung. Im Gegensatz zu diesem *hydrophilen*, wasserfreundlichen Teil des Molekül wirkt der andere *hydrophob*, wasserabstoßend, und nimmt lediglich zu anderen hydrophoben Molekülen oder Molekülanteilen Beziehungen auf.

Solche Substanzen bilden in wäßrigen Lösungen doppelmolekulare Schichten aus, in denen die hydrophoben Anteile zueinandergekehrt, gleichsam ineinander gelöst sind, während sich die hydrophilen Gruppen nach außen richten und zu gleichfalls hydrophilen Seitenketten von Proteinen Beziehungen aufnehmen. Daraus erklärt sich die Dreischichtung der Elementarmembran: Protein — Lipid — Protein.

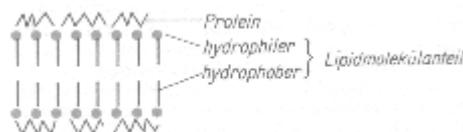


Abb. 4.2.2. Modell einer Elementarmembran

**4.2.1.1.2. Funktionsmechanismus.** Das äußere und innere Milieu der Zelle stellt eine wäßrige Lösung dar von Stoffen, die, wie das Wasser selbst, Träger elektrischer Ladungen sind. Zwischen ungleichnamig geladenen Gruppen entstehen Anziehungskräfte, denen die hydrophobe, praktisch ladungsfreie Zone der Lipidschicht nichts entgegenzusetzen hat. So wird verhindert, daß ladungstragende Teilchen in die hydrophobe Zone eindringen und dabei die Elementarmembran durchwandern.

Jedoch ist diese Barriere nicht absolut. Sie weist Poren auf, durch die kleine Teilchen, z. B. Wassermoleküle, hindurchdringen können. Auch lipidlösliche Substanzen werden beim Durchsetzen der Membran kaum behindert. Eine bedeutsame Rolle kommt Transportsystemen, *Pumpmechanismen*, zu, die aktiv, also unter Energieverbrauch, nach Bedarf jeweils ganz bestimmte Stoffe auch gegen ein Konzentrationsgefälle durch die Membran hindurch befördern. Auf diese Weise vermögen die Zellen bzw. die Kom-

partimente in diesen Zellen einen von ihrer Umgebung unterschiedenen Stoffbestand aufzubauen. Dabei können Ungleichverteilungen von Ionen entstehen, die zur Bildung eines elektrischen Potentials zwischen der inneren und der äußeren Membranoberfläche führen und für die Erregungsbildung und -leitung von höchster Bedeutung sind.

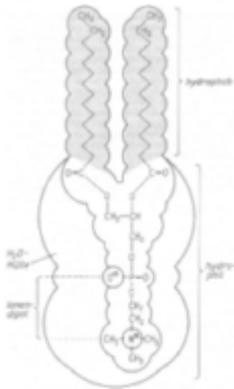


Abb. 4.2.3. Modell eines Phospholipides (Lezithin)

**4.2.1.2. Der Zellkern.** Der Zellkern oder *Nukleus* enthält den weitaus größten Anteil der DNS der Zelle, der genetischen Information. Durch eine Doppelmembran wird der Zellkern vom Zytoplasma abgegrenzt. An der DNS erfolgt die Bildung der mRNA für die Proteinbiosynthese, und daraus läßt sich die Rolle des Zellkerns als *Stoffwechselzentrum* ableiten. Daneben produziert er u. a. ribosomale RNS (rRNS), die sich mit Proteinen zu kleinen Körnchen, Granula, verbindet, die ihrerseits offenbar in direkter Beziehung zu den Ribosomen des Zytoplasmas stehen. Die rRNS-Protein-Granula lagern sich an ihrem Entstehungsort im Kern zusammen und bilden auf diese Weise ein oder mehrere *Kernkörperchen*, die *Nukleolen*.

Die DNS des Kerns ist an besondere Strukturen, die *Chromosomen*, gebunden, die normalerweise stark verquollen sind und sich erst bei der Kernteilung, die der Zellteilung vorausgeht, beobachten lassen. Die Chromosomen sind für die exakte Verteilung des genetischen Materials auf die Tochterzellen von großer Bedeutung.

**4.2.1.3. Das Grundzytoplasma.** Der Zellkern ist wie alle anderen Zellbestandteile in eine homogen erscheinende, wäßrige Flüssigkeit eingebettet, die eine Vielzahl gelöster organischer und anorganischer Stoffe enthält und Grundzytoplasma oder *Hyaloplasma* genannt wird. Die in ihm gelösten Eiweiße gehen untereinander flüchtige Bindungen ein. Ist der Vernetzungsgrad hoch, dann resultiert ein zähflüssiges, gelartiges Grundzytoplasma, im umgekehrten Fall entsteht ein dünnflüssiger, solartiger Zustand. Beide Zustandsformen können sich in Abhängigkeit von funktionellen Bedingungen rasch ineinander umwandeln.

**4.2.1.4. Ribosomen, endoplasmatisches Retikulum und Golgi-Apparat.** Die drei genannten Strukturen bilden bei der Synthese von Proteinen eine funktionelle Einheit, daneben werden von ihnen aber auch andere Aufgaben erfüllt.

**4.2.1.4.1. Die Ribosomen** liegen als meist sehr zahlreiche kleine Körnchen von ungefähr 15 nm Durchmesser im Grundzytoplasma. Sie bestehen zu etwa gleichen Gewichtsanteilen aus Protein und rRNS und sind der Ort der Proteinbiosynthese. Mehrere Ribosomen können perlschnurartig an einem mRNA-Molekül aufgereiht sein und ergeben dann ein *Polysom*. Sowohl die einzelnen Ribosomen als auch die Polysomen liegen entweder frei im Zytoplasma vor oder sind an die Membranen des endoplasmatischen Retikulums gebunden.

**4.2.1.4.2. Das endoplasmatische Retikulum** bildet ein System aus membranbegrenzten Schläuchen und mehr oder weniger abgeflachten Bläschen, das sich zumeist über das gesamte Grundzytoplasma erstreckt. Ein spezialisierter Teil, der aus Stapeln flacher Bläschen besteht und mit Ribosomen besetzt ist, wird begrifflich als *Ergastoplasma* vom übrigen endoplasmatischen Retikulum abgegrenzt. Als eine besondere Bildung des endoplasmatischen Retikulums kann die *Kernmembran* aufgefaßt werden. In ihr lassen sich eine Reihe von Poren beobachten, über die der Zellkern mit dem Zytoplasma in direkter Verbindung steht. Höchstwahrscheinlich sind alle Teile des endoplasmatischen Retikulums untereinander verbunden und haben über Poren in der Zellmembran mit dem äußeren Milieu der Zelle Kontakt.

Die Funktion des endoplasmatischen Retikulums, insbesondere des Ergastoplasmas, wird in Zusammenhang mit der Protein-

biosynthese gesehen. Seine Beteiligung am Lipidstoffwechsel ist ebenfalls nachgewiesen; auch für den Stofftransport innerhalb der Zelle erscheint es prädestiniert. Weiterhin wird dem endoplasmatischen Retikulum eine Rolle bei der Erregungsleitung im Zellinneren beigemessen.

**4.2.1.4.3. Der Golgi-Apparat** stellt ein auffälliges System aus Stapeln flacher Bläschen dar, die stets frei von Ribosomen sind. Seine Funktion ist nur ungenügend bekannt. Offenbar aber beteiligt er sich an der Bildung von Sekreten, die von ihm verdichtet und in Form von Bläschen „abgepackt“ werden, um dann schließlich aus der Zelle ausgeschleust zu werden. Auch mit der Bildung der pflanzlichen Zellwandsubstanzen und der Synthese der Kohlenhydratanteile von Proteiden wird er in Verbindung gebracht.

**4.2.1.5. Mitochondrien.** Die Mitochondrien sind äußerst charakteristische Organellen des Zytoplasmas. Sie haben kugelige bis fadenförmige Gestalt, ihre Dicke schwankt zwischen 0,5 und 2 µm, während sie bis 10 µm lang werden können. Die Mitochondrien sind von einer Doppelmembran begrenzt, deren innere leisten- oder röhrenförmige Strukturen, *Cristae* bzw. *Tubuli*, ausbildet. Eine besonders wichtige Rolle spielen die Mitochondrien, insbesondere ihre Membranen, als Träger der Enzyme des oxydativen Zellstoffwechsels. Die Mitochondrien sind der Ort der Umwandlung der in den Nahrungsstoffen enthaltenen Energie in eine für die Zelle verwertbare Form und werden deshalb gern als die „Kraftwerke“ der Zelle bezeichnet. Daneben sind sie für den Auf- und Abbau verschiedener Aminosäuren und für den Lipidstoffwechsel von Bedeutung.

Von großem Interesse ist das Vorkommen von DNS in den Mitochondrien (1 bis 2% der Gesamt-DNS der Zelle). Daraus resultiert die Möglichkeit einer autonomen, d. h. vom Zellkern und dem übrigen Zytoplasma weitgehend unabhängigen, Proteinbiosynthese, durch die ein Teil der Struktur- und Enzymeiweiße des Mitochondriums gebildet werden. Die *DNS* liegt ähnlich der der Bakterien als ringförmiges Doppelmolekül vor; das unterstützte die Hypothese, nach der Mitochondrien ursprünglich aus Bakterien hervorgegangen seien, die mit der Wirtszelle in Symbiose (Lebensgemeinschaft) lebten.

**4.2.1.6. Weitere Zellbestandteile.** Neben den vorgenannten Strukturen sind im Zytoplasma Lysosomen, Mikrotubuli und Zentralkörperchen allgemein verbreitet.

**4.2.1.6.1. Als Lysosomen** werden rundliche Gebilde bezeichnet, die von einer Membran umgeben sind und im typischen Fall Substanzen enthalten, die sie mit Hilfe eines charakteristischen „Enzymbestecks“ abbauen. Auf diese Weise werden von außen aufgenommene, meist gröbere Nahrungsbestandteile in den *Nahrungsvakuolen* verdaut oder aber in der Zelle selbst entstandene Produkte abgebaut. Beim Tod des Organismus werden die Enzyme aus den Lysosomen frei und führen zur Selbstzersetzung, zur Autolyse.

**4.2.1.6.2. Die Mikrotubuli** sind dünne Röhren von 20 bis 26 nm Durchmesser, die die Fähigkeit zur Kontraktion haben. Auf sie führt man die *Kontraktilität* des Plasmas zurück, die unter anderem die kriechende Bewegung von Amöben und Blutzellen ermöglicht. Auch besondere *Fortbewegungsorganellen*, die als Geißeln oder Wimpern über die Oberfläche der Zelle hinausragen, sind aus Mikrotubuli aufgebaut, denen sie die Fähigkeit zur aktiven Bewegung verdanken. Auch für den Stofftransport in Nervenfasern scheinen die Mikrotubuli, hier Neurotubuli genannt, verantwortlich zu sein. Von großer Bedeutung sind sie als *Spindelfasern* bei der Kernteilung.

**4.2.1.6.3. Zentralkörperchen** oder *Zentriolen*, die ebenfalls bei der Kernteilung mitwirken, sind in gleicher Weise aus Mikrotubuli zusammengesetzt.

## 4.2.2. bleibt frei

#### 4.2.3. Besonderheiten der tierischen Zelle

Den Zellen der Tiere, selbstverständlich auch des Menschen, fehlen die starre Zellwand, die zentrale Zellsaftvakuole, die Plastiden und im allgemeinen auch der Turgor, die die Pflanzenzelle kennzeichnen. Da den tierischen Zellen prinzipiell die Fähigkeit zur Photosynthese abgeht, sind Tiere stets auf Zulieferungen von Nahrungsstoffen durch andere Organismen angewiesen. Ihre Ernährungsweise wird im Gegensatz zu der der autotrophen Pflanzen als *heterotroph* bezeichnet.

Infolge des Fehlens einer starren Zellwand sind die tierischen Zellen flexibel und häufig in der Lage, aktiv ihre Form zu ändern. Viele Zelltypen können sich deshalb nach Art der Amöben kriechend vorwärtsbewegen. Oftmals sind aber auch Geißeln (Flagellen) oder Wimpern (Zilien) vorhanden, die entweder der Ortsbewegung des Tieres, z. B. der Protozoen und der Strudelwürmer, oder aber dem Herbeistrudeln von Nahrungsteilen und Atemwasser bei Schwämmen und Muscheln dienen. Auch beim Menschen kommen zellentragende Zellen vor, sie kleiden die Atemwege und die inneren Hirnhohlräume aus.

Die Fähigkeit, kleine Teilchen und Tröpfchen durch Einstülpen der Zelloberfläche von außen aufzunehmen, die Vorgänge der *Phagozytose* (Zellfressen) bzw. *Pinozytose* (Zelltrinken), sind ebenfalls an die Flexibilität der äußeren Zellgrenzschicht gebunden.

Die Neigung zur Spezialisierung ist bei tierischen Zellen besonders stark ausgeprägt. Aus einer schwer übersehbaren Anzahl von Zelltypen entstehen hochspezialisierte Gewebe und Organe, die an Vielfalt die der Pflanzen meist weit übertreffen.

#### 4.2.4. Besonderheiten der Bakterienzelle

Gegenüber den Zellen höherer Organismen, einschließlich der einzelligen Pflanzen und Tiere, ist die Bakterienzelle einfacher konstruiert. Ihre mittlere Größe beträgt 1  $\mu\text{m}$ , ist also wesentlich geringer als die der Eukaryotenzelle. Die DNS des Bakteriums bildet ein *Zellkernäquivalent*, das *Nukleoid*, das nicht durch eine Membran vom übrigen Plasma abgetrennt ist (Protokaryoten). Ferner existieren Membranbildungen, die funktionell als Mitochondrienäquivalente aufzufassen sind. Daneben sind noch Ribosomen und plasmatische Einschlüsse von Reservestoffen und Stoffwechselprodukten nachzuweisen.

Komplizierter dagegen ist der Aufbau der *Bakterienzellwand*. Die innerste Zellgrenzschicht besteht wie bei allen anderen Zelltypen aus einer Elementarmembran, an die eine Vielzahl von Enzymen gekoppelt ist. Darauf folgt eine Hülle aus *Murein*, der weitere Schichten aus Lipoproteiden, Lipopolysacchariden, Proteinen, Lipiden oder Polysacchariden aufgelagert sind. Darüber hinaus kann eine äußere, gallertige *Kapsel* vorhanden sein, die meist aus Polysacchariden besteht. Bei der Synthese der Zellwand blockiert das Antibiotikum *Penizillin* die Verknüpfung der Murein-Untereinheiten und hemmt damit das Bakterienwachstum. Das *Lysozym* hingegen, ein antibakterielles Eiweiß, das in vielen tierischen Geweben gefunden werden kann, löst bereits gebildetes Murein wieder auf.

Eine Reihe von Bakterien ist durch eine oder mehrere *Geißeln* aktiv beweglich.

Trotz der einfach anmutenden Innenstruktur ist die winzige Bakterienzelle zu erstaunlichen Leistungen befähigt. Alle lebensnotwendigen Stoffwechselreaktionen finden in einer solchen „einfachen“ Zelle statt, und es gibt kaum eine organische Verbindung, die nicht von Bakterien umgesetzt werden könnte. Selbst vor Kunststoffen machen sie nicht halt. Es gibt auch Formen, die Chlorophyll enthalten und damit zur Photosynthese befähigt sind. Eine nicht unbedeutende Anzahl von Bakterien ist *pathogen*, d.h., sie parasitiert in Pflanzen, Tieren und Menschen und verursacht dort Krankheiten. Andere Bakterien gehen mit ihrem Wirt eine Lebensgemeinschaft, eine *Symbiose*, ein; z. B. erhalten die Bakterien des Magen-Darm-Trakts der Wiederkäuer vom Wirtorganismus Nahrung und einen Lebensraum und spalten ihrerseits die in der Nahrung enthaltene Zellulose auf, die damit für den Wirt nutzbar wird.

Der Mensch macht sich die Leistungen der Bakterien in immer stärkerem Maß zunutze. In besonderen technischen Anlagen produzieren die Bakterienzellen, gleichsam als Kleinstlaboratorien, Arzneimittel, wie Antibiotika, *Vitamine*, Hormone, aber auch *Enzyme* und andere technisch wichtige organisch-chemische Verbindungen. In der Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft werden Bakterien schon seit langem genutzt.

#### 4.2.5. Viren

Die Viren nehmen in der belebten Natur eine Sonderstellung ein. Sie enthalten nur eine der beiden Nukleinsäuretypen, entweder DNS oder RNS. Das betreffende Nukleinsäuremolekül ist der Träger der genetischen Information des Virus und von einer schützenden Hülle aus Proteinmolekülen umgeben. Den Viren fehlt ein eigener Stoffwechsel, so daß sie ihre genetische Information in fremden Zellen realisieren müssen, deren Stoffwechselperipherie sie sich zu diesem Zweck „ausborgen“.

Sie sind, von Ausnahmen abgesehen, kleiner als Bakterien und sind mit Maßen von 10 bis 400 nm im allgemeinen nur im Elektronenmikroskop sichtbar.

Viren können sowohl in pflanzlichen und tierischen, einschließlich menschlichen, Zellen als auch in Bakterien vorkommen. Bakterienviren haben eine verhältnismäßig komplizierte Struktur und werden *Bakteriophagen*, Bakterienfresser, oder kurz *Phagen* genannt.

Der Weg, auf dem das Virus in die Wirtszelle gelangt, ist unterschiedlich. Von tierischen bzw. menschlichen Zellen werden die

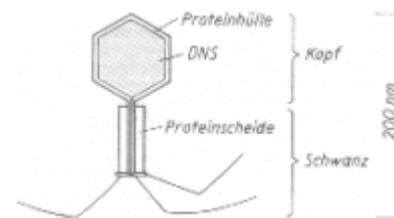


Abb. 4.2.4. Struktur eines Bakteriophagen (schematisch)

Viren „in Unwissenheit“, gleichsam als Trojanisches Pferd, wahrscheinlich aktiv durch Phago- oder Pinozytose aufgenommen, währenddessen sie in Pflanzenzellen erst nach mechanischer Verletzung der Zellwand gelangen, beispielsweise mit dem Stich eines säftesaugenden Insekts wie der Blattlaus. Für viele Bakteriophagen hingegen ist ein aktives Eindringen nachgewiesen, indem sie sich mit ihrem Schwanz an die Bakterienzellwand heften und mit Hilfe eines viruseigenen Enzyms, z.B. dem Lysozym, ein Loch in diese „bohren“. Durch diese Verletzungsstelle wird die im Kopfteil des Phagen befindliche Nukleinsäure in das Bakterium eingespritzt.

Für diese als *Infektion* bezeichneten Vorgänge genügt das Eindringen allein der Virusnukleinsäure, eine Feststellung, die durch das Experiment gesichert ist und die in glänzender Weise die Bedeutung der Nukleinsäuren als Vererbungssubstanz, d. h. als stoffliche Grundlage der genetischen Information, bestätigt.

Die DNS-haltigen Viren erzeugen zunächst mRNA und verwenden dazu Material und Enzyme von der Wirtszelle, während die Nukleinsäure der RNS-Viren selbst als mRNA fungieren kann. Nach dem Muster der Virus-mRNA werden von der Wirtszelle virusspezifische Eiweiße gebildet, die z. T. als Enzyme für die Replikation der Virusnukleinsäuren oder als Hüllproteine Verwendung finden. Schließlich vereinigen sich die durch Replikation neu entstandenen Virus-Nukleinsäuremoleküle mit den Hüllproteinen und bilden neue komplette Viren. Diese befreien sich aus der Zelle und stehen zur Infektion anderer Zellen bereit.

Für die Wirtszelle kann das Eindringen eines Virus die völlige Umstellung ihres Stoffwechsels zugunsten der Virusvermehrung bedeuten, was mit Krankheit bzw. Zelluntergang verbunden ist. In anderen Fällen ist der Einschnitt in das Leben der Zelle weniger markant, und die Virusinfektion kann lange Zeit verborgen bleiben, bis sie durch den aktivierenden Einfluß einer andersartigen Zellschädigung plötzlich offenbar wird.

Zu den bekanntesten *Virosen* (Viruskrankheiten) des Menschen zählen so gefürchtete wie Pocken, Kinderlähmung und Tollwut, aber auch Schnupfen und Warzen. Für die Landwirtschaft sind die Maul- und Klauenseuche und eine große Anzahl durch Viren verursachter Pflanzenkrankheiten von Bedeutung, z. B. die für die Forschung so außerordentlich wichtige Mosaikkrankheit des Tabaks. **Gegenwärtig wird den Viren auch in der Krebsforschung große Aufmerksamkeit geschenkt, da sie in einer Reihe von Fällen als Ursache für die Entstehung bösartiger Geschwülste erkannt werden konnten.**

Die Stellung der Viren im System der Organismen ist von jeher Streitobjekt. Am ehesten sind sie als zelluläre Teilchen aufzufassen, die bei ihrer Vermehrung auf den Stoffwechselapparat fremder Zellen angewiesen sind und leicht von einer Zelle in eine andere gelangen können. Die Viren auf Grund des Fehlens einiger charakteristischer Lebenskriterien, wie Stoffwechsel und Reizbarkeit, als Bindeglied zwischen belebter und unbelebter Materie aufzufassen, ist sehr problematisch, es sei denn, man wollte beispielsweise isolierten Zellkernen eine ähnliche Stellung beimessen.

### 4.3. Stoffwechsel

Die Gesamtheit der im lebenden Organismus ablaufenden chemischen Reaktionen wird unter dem Begriff Stoffwechsel erfaßt. **Aufbauende oder *anabolische* und abbauende, *katabolische*, Prozesse wechseln einander ständig ab, binden Energie oder geben Energie ab. Zu den Nukleotiden gehörende Überträgerstoffe spielen in diesem, die Stoffwechselreaktionen begleitenden *Energie-stoffwechsel* eine wichtige Vermittlerrolle. Da die Zelle in ständigem stofflich-energetischem Austausch mit ihrer Umwelt steht, gilt sie als *thermodynamisch offenes System*.**

Der Auf- und Abbau der vielfältigen am Stoffwechsel der Zelle beteiligten Substanzen zeichnet sich durch eine hohe Ökonomie aus. Nach einer Art „Baukastenprinzip“ entstehen auch die kompliziertesten Verbindungen aus einfacheren Grundbausteinen, deren Umsetzung untereinander sich im Rahmen des *Zwischenstoffwechsels* auf relativ wenigen Reaktionswegen vollzieht. Diese stellen gleichsam die Hauptstraßen dar, die zwischen den Ausgangs- und Endprodukten befahren werden. Von größter Bedeutung für den Stoffwechsel sind die *Enzyme*, die katalytisch die Umsetzung der Reaktionspartner, der *Substrate*, beschleunigen. Diese Reaktionen sind im Prinzip immer auch reversibel und würden schließlich nach genügend langer Zeit zur Ausbildung eines statischen Gleichgewichts führen. Tatsächlich aber wird im lebenden Organismus durch ständigen Zu- und Abfluß der Reaktionspartner ein solcher Zustand kaum jemals erreicht, es kommt vielmehr zur Bildung von *dynamischen* oder *Fließgleichgewichten*, die neben einer Vielzahl weiterer Mechanismen eine *Selbst- oder Autoregulation* des Stoffwechselgeschehens möglich machen.

#### 4.3.1. Enzyme (Fermente)

Die Reaktionsbedingungen im Organismus sind durch relativ niedrige Temperaturen zwischen 0 und 40° C und durch Normaldruck gekennzeichnet. Unter solchen Verhältnissen sind nur *exergone* (Energie liefernde) *chemische Umsetzungen* möglich. *Endergone* (Energie verbrauchende) Reaktionen, denen Energie zugeführt werden muß, müssen deshalb mit exergonen Umsetzungen gekoppelt werden. Jedoch laufen auch exergone Reaktionen meist nicht spontan oder aber mit einer für die Belange des Organismus viel zu geringen Geschwindigkeit ab.

Um z. B. das Verbrennen eines Stückes Holz in Gang zu bringen, muß zunächst *Aktivierungsenergie* beim Anzünden so lange zugeführt werden, bis die beim Verbrennen freiwerdende Wärmeenergie in der Art einer Kettenreaktion die Aktivierungsenergie für noch nicht brennende Teile liefert. Auch für die Stoffwechselprozesse ist Aktivierungsenergie notwendig, ihr Bedarf wird aber durch die Enzyme als *Biokatalysatoren* wesentlich her-

abgesetzt. Im *aktiven Zentrum* des Enzymmoleküls verbindet sich eine besondere Haftstelle kurzzeitig mit den an der Umsetzung teilnehmenden Partnern, den Substraten, und bewirkt nachfolgend deren Reaktion. Das dabei entstehende Reaktionsprodukt wird an der Haftstelle durch neue Substratmoleküle verdrängt, die wiederum in der gleichen Weise reagieren, ohne daß dabei das Enzymmolekül eine bleibende Veränderung erfährt. Für die Stoffwechselprozesse werden immer nur geringste Enzymmengen gebraucht, in Extremfällen können einzelne Moleküle bestimmter Enzyme in einer Minute Millionen von Substratmolekülen umsetzen. Stets aber können Enzyme nur die Geschwindigkeit der dem Gleichgewicht zustrebenden Reaktion erhöhen und niemals eine energetisch unmögliche Umsetzung oder Reaktionsrichtung herbeiführen.

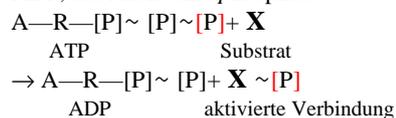
In welcher Weise die Substrate reagieren, hängt von der Art des Enzyms ab, das die Aktivierungsenergie jeweils nur für eine der verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten herabsetzt. Auch verbinden sich die einzelnen Enzyme meist nur mit ganz bestimmten Substraten. Ohne diese *Reaktions- und Substratspezifität* wären die Regulation und Steuerung von Stoffwechselprozessen in der Zelle nicht denkbar.

Bislang sind ungefähr 1000 verschiedene Enzyme entdeckt worden. Sie alle sind von Proteinnatur, ein großer Teil aber ist mit einem Nichteiweißanteil verbunden, der in Abhängigkeit von der Art der Bindung *Aktivator, Koenzym* oder *prothetische Gruppe* genannt wird. Bis auf wenige Ausnahmen enden die Bezeichnungen der Enzyme auf „ase“, z. B. Protease (Enzym, das Proteine spaltet), Transaminase (Enzym, das Aminogruppen überträgt).

#### 4.3.2. Energiestoffwechsel

Der in der belebten Natur weitaus verbreitetste Weg, Energie für die Lebensprozesse zu gewinnen, ist der der „Verbrennung“, der Oxydation der Nahrungsstoffe. Diese biologische Oxydation erfolgt vielstufig mit Hilfe von Enzymen. Dabei wird auch nur ein Teil der freiwerdenden Energie als Wärmeenergie abgegeben. Der für die Zelle wichtigere Energieanteil wird von bestimmten Überträgerstoffen chemisch gebunden, die zwischen energieliefernden Reaktionen, wie Zellatmung, Gärung, Photosynthese, und energiefordernden Reaktionen, z. B. Synthesen, aktiven Membranprozessen, Bewegungsvorgängen, vermitteln.

Der wichtigste Überträgerstoff ist das Adenosintriphosphat (ATP); es gilt als allgemeine chemische „Energiewährung“ der Zelle. Das ATP ist ein Nukleotid, das aus Adenin (A), Ribose (R) und drei Phosphorsäureresten [P], die im neutralen Milieu der Zelle als Phosphat vorliegen, besteht. Die Phosphatreste sind untereinander mit hohem Energieaufwand verbunden. Ihre Bindungsenergie kann durch Anhängen eines oder mehrerer Phosphatreste oder auch des Nukleotidrestes an andere Substanzen übertragen werden. Deren Energiegehalt erhöht sich dadurch - sie werden aktiviert, d. h. zu weiteren Umsetzungen befähigt. In vielen Fällen wird nur ein Phosphatrest übertragen; dabei entsteht aus ATP das ADP, das Adenosindiphosphat:



Bei energieliefernden Reaktionen wird umgekehrt aus ADP und anorganischen Phosphationen wieder ATP synthetisiert. Auf diese Weise werden im Menschen täglich etwa 70 kg ATP umgesetzt!

Im Unterschied zur offenen Verbrennung stellt für die Zelle nicht der Kohlenstoff, sondern der Wasserstoff die eigentliche Energiequelle dar. An den verschiedensten Stellen des Zwischenstoffwechsels wird er durch *Dehydrierungsreaktionen* den Substraten entzogen und in den meisten Fällen auf *Nikotinsäureamid-adenin-dinukleotid (NAD)*, ein Koenzym der dehydrierenden Enzyme, der Dehydrogenasen, übertragen. Von hier aus wird er bzw. sein Elektron über ein als *Atmungskette* bezeichnetes Redoxsystem weitergeleitet. Am Ende der Atmungskette werden die Elektronen auf Sauerstoff übertragen, der sich schließlich mit den durch Elektronentzug entstandenen Wasserstoffionen zu Wasser verbindet.

Mit der Atmungskette sind drei Phosphorylierungsreaktionen gekoppelt. Durch sie wird mit Hilfe der bei der Wasserstoffoxydation schrittweise freiwerdenden Energie aus ADP und anorganischen Phosphationen ATP synthetisiert. Dieser als *oxydative Phosphorylierung* bezeichnete Vorgang ist in den Mitochondrien lokalisiert und stellt die wichtigste Energiequelle der atmenden Zelle dar.

#### 4.3.3. Allgemeine Stoffwechselwege

Die Reaktionswege im Stoffwechsel sind zu meist in beiden Richtungen „befahrbar“ und untereinander stark vernetzt, dadurch wird die gegenseitige Umwandlung von Stoffwechselprodukten möglich. Die Kreuzungsstellen werden von Substanzen gebildet, die Schlüsselpositionen für sehr verschiedene Reaktionswege innehaben.

Eine solche Schlüsselsubstanz von erstrangiger Bedeutung ist der durch Bindung an Koenzym A aktivierte Essigsäurerest, die Acetylgruppe, das *Acetyl-Koenzym A*. Es entsteht beim Abbau von Kohlenhydraten, Fetten und einigen Aminosäuren und läßt sich andererseits in diese Verbindungen umwandeln. Die Acetylgruppe kann aber auch in den *Zitronensäurezyklus*, auch Ziträt-, Trikarbonsäure- oder - nach seinem Entdecker - Krebs-Zyklus genannt, einmünden und hier über neun verschiedene Stufen vollständig abgebaut werden.

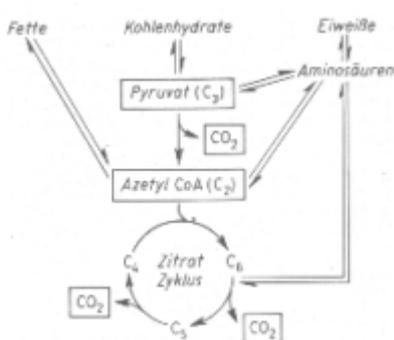


Abb. 4.3.1. Schema der allgemeinen Stoffwechselwege

Der erste Schritt im Zitronensäurezyklus ist die Vereinigung der Acetylgruppe mit Oxalacetat, einer C<sub>4</sub>-Verbindung, zu Ziträt (C<sub>6</sub>). In den nachfolgenden Reaktionen werden Kohlendioxid und Wasserstoff abgespalten, der Wasserstoff an die Atmungskette weitergeleitet und für die ATP-Synthese genutzt. Beim letzten Schritt entsteht

wiederum Oxalacetat, das für die Bindung eines neuen Acetylrestes bereitsteht. Insgesamt können mit Hilfe des Zitronensäurezyklus durch den Abbau eines solchen Acetylrestes 12 ATP-Moleküle gebildet werden.

Auch beim Abbau der *Kohlenhydrate* bis zum vorläufigen Endpunkt, dem Pyruvat, einem Salz der Brenztraubensäure, wird ATP gewonnen. Unter anaeroben (sauerstofffreien) Bedingungen werden beim Abbau von einem Molekül Glukose nur zwei Moleküle ATP gebildet. Der beim Kohlenhydratabbau freiwerdende Wasserstoff wird auf das Pyruvat übertragen, das dadurch zum Laktat, dem Salz der Milchsäure, reduziert wird. Dieser als *Milchsäuregärung* oder *Glykolyse* bezeichnete Prozeß ist nicht nur für verschiedene anaerob lebende Bakterien, z.B. die Milchsäurebakterien, von Bedeutung, auch der Muskel arbeitet bei hoher Belastung vorübergehend unter Sauerstoffmangel und muß dann seinen Energiebedarf durch Glukose decken. **Bösartige Geschwülste, Tumoren, weisen ebenfalls eine hohe Glykolyserate auf.** Unter aeroben oder Sauerstoffbedingungen wird normalerweise der beim Kohlenhydratabbau freiwerdende Wasserstoff auf die Atmungskette übertragen und dient also ebenfalls der Energieproduktion. Auch bei der Bildung von Acetyl-Koenzym A aus Pyruvat wird neben Kohlendioxid Wasserstoff freigesetzt und veratmet.

Nach dem folgenden Schema werden die Fettsäuren der *Lipide* direkt bis zum Acetylrest abgebaut bzw. aus solchen Bausteinen aufgebaut. Die *Aminosäuren* hingegen leiten sich auf Grund ihrer unterschiedlichen Struktur von verschiedenen Stellen im Zwischenstoffwechsel ab. Sie entstehen aus  $\alpha$ -Ketosäuren, deren Ketogruppe durch die Transaminierungsreaktion gegen eine Aminogruppe ausgetauscht wird. Die Aminogruppenspender sind ebenfalls Aminosäuren. Die Aminogruppen entstammen bei

heterotrophen Organismen letztlich den Nahrungseiweißen, bei den autotrophen aus mineralischen Stickstoffverbindungen.



#### 4.3.4. Ontogenese oder Individualentwicklung

An die eigentliche Fortpflanzung schließt sich bei vielzelligen Organismen eine Entwicklungsphase an, in deren Verlauf sich der Tochterorganismus aus der Zygote bzw. aus einzelnen Körperzellen oder Zellkomplexen herausbildet. Sein Phänotyp wird unter modifizierendem Einfluß der Umwelt im wesentlichen von den Erbanlagen geprägt.

Mit anderen Worten Ob aus einer befruchteten Eizelle ein Apfelbaum oder ein Mensch entsteht, hängt von der genetischen Information ihrer DNS ab. Die Wuchsrichtung des Baumes aber wird von der Lichteinstrahlung bzw. die charakterlichen Eigenschaften des Menschen werden von der sozialen Umwelt mit beeinflußt.

Die Ontogenese wird durch lebhaft mitotische Teilungen eingeleitet, aus denen zunächst ein Keimling, der *Embryo*, hervorgeht. Tierische Organismen durchlaufen dabei Stadien, die in vereinfachter und abgekürzter Form charakteristischen, frühzeitigen phylogenetischen Entwicklungsstufen entsprechen - eine Beobachtung, die bereits 1866 von E. HAECKEL als *biogenetisches Grundgesetz* formuliert wurde.

Die Entwicklung zum erwachsenen Organismus wird häufig an bestimmten Stadien unterbrochen. Die Keimlinge der Blütenpflanzen z. B. machen eine unterschiedlich lange *Samenruhe* durch, bei Tieren wird durch Ausbildung einer *Larve* oft erst eine Freißperiode eingelegt, bevor die Entwicklung weiterlaufen kann. Der Höhepunkt der Ontogenese ist durch die *Fortpflanzungsreife* gegeben. Danach setzt die Phase des *Alterns* ein, die allgemein durch Verlust an Funktionstüchtigkeit gekennzeichnet ist und in gesetzmäßiger Weise durch den Tod des Individuums beendet wird. Der *Individualtod* ist hinsichtlich der Evolution als notwendig zu verstehen, da dadurch den Nachkommen und Trägern möglicherweise günstigerer erblicher Eigenschaften Lebensraum freigemacht wird.

Im Laufe der Embryonalentwicklung kommt es in einem als *Differenzierung* bezeichneten Prozeß zur Spezialisierung der einzelnen Zellen, die sich anschließend zu Geweben und Organen zusammenschließen. Die Differenzierung von Zellen ist mit bedeutenden Einschränkungen der in ihren Erbanlagen verankerten Möglichkeiten, der erblichen Potenz, verbunden. Beispielsweise haben Nerven- und Darmzellen eines Individuums die gleichen Erbanlagen, jedoch völlig unterschiedliche Struktur und Funktion. Das wird dadurch erklärt, daß große Teile ihrer DNS gehemmt (reprimiert) und nur einzelne, für die jeweilige Funktion erforderliche Abschnitte RNS-syntheseaktiv sind. Höchst verwickelte komplexe Wechselwirkungen von Nukleinsäuren, Enzymen, Stoffwechselprodukten und Hormonen werden für die räumlichen und zeitlichen Differenzierungsprozesse verantwortlich gemacht. Dabei beeinflussen sich die Zellen durch Kontakt- und Fernwirkung gegenseitig und liefern in ihrem Zusammenwirken schließlich ein sinnvolles Ganzes.

Abartig und deshalb biologisch interessant verhalten sich die Zellen *bösartiger Geschwülste*, die *malignen Tumoren*. Sie entstehen aus normalen Zellen und werden aus noch immer ungeklärter Ursache *regulationstaub*. Deshalb vermehren sie sich unaufhörlich und führen schließlich, wenn sie nicht entfernt oder abgetötet werden können, zum Tod des Gesamtorganismus.

## 4.4. Reizbarkeit

Unter dem Begriff Reizbarkeit ist die Fähigkeit eines Organismus zu verstehen, durch bestimmte äußere oder innere Einflüsse Informationen über die Situation in der Umwelt oder im Körperinneren zu gewinnen und darauf aktiv zu reagieren. Derartige Einflüsse, auf die der Organismus mit Reaktionen antwortet, werden als *Reiz* bezeichnet. Der Reiz hat immer nur eine *Auslöserfunktion*, d.h. die Energie für die Reizantwort wird nicht vom Reiz selbst, sondern von der gereizten Zelle geliefert.

Ein Reiz kann u. a. mechanischer, optischer, chemischer, osmotischer, thermischer, elektrischer oder akustischer Natur sein. Fast immer aber reagieren die einzelnen Zellen nur auf eine ihnen *adäquate Reizart*. So sind die Riechzellen der Nasenschleimhaut nur durch Geruchsreize, nicht aber durch Licht ansprechbar. Ob eine Zelle auf einen Reiz reagiert, hängt außerdem von der *Reizquantität*, d. h. der Stärke und Dauer des Reizes, von der Anstiegssteilheit, also der Geschwindigkeit, mit der der Reiz einsetzt, und mitunter auch von zeitlichen Intensitätsveränderungen ab.

Die Reize lösen oft ganze Reaktionsketten aus, die bei vielzelligen Organismen mit der Reizaufnahme durch eine spezialisierte *Sinneszelle*, einen *Rezeptor*, beginnt.

### 4.4.1. Reizbarkeit bei Tieren

Aufgrund der komplizierten Lebensweise, die im typischen Fall durch aktives Aufsuchen der Nahrung, freie Ortsbewegung und -damit verbunden - ständige Veränderung ihrer Umwelt gekennzeichnet ist, spielt bei den Tieren die Reizbarkeit eine besondere Rolle.

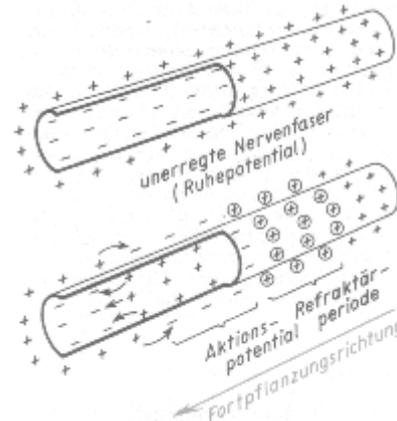
Die Rezeptoren der vielzelligen Tiere sind häufig zu *Sinnesorganen* zusammengeschlossen, die je nach Entwicklungsstand ein mehr oder weniger umfassendes Abbild von der Umwelt vermitteln. Zunächst muß der Reiz im Rezeptor in eine dem Organismus „verständliche“ Form, in die *Erregung*, umgewandelt werden, die daraufhin durch das auf Reizbarkeit spezialisierte Nervensystem fortgeleitet und verarbeitet wird. Zumeist endet die durch den Reiz ausgelöste Reaktionskette an einem Erfolgsorgan, z. B. einem Muskel oder einer Drüse.

**4.4.1.1. Erregungsbildung und -leitung.** Diese Prozesse lassen sich auf elektrochemische Vorgänge an der Zellmembran zurückführen. Unter Verbrauch von chemischer Energie in Form von ATP vermögen besondere Ionenpumpmechanismen der Zellmembran in das Zellinnere Kaliumionen und nach außen Natriumionen zu transportieren. Die daraus entstehende asymmetrische Ionenverteilung bewirkt außen eine positive und innen eine negative Ladung. Ein solches elektrisches Potential kann bei fast allen lebenden Zellen nachgewiesen werden und wird bei erregbaren Strukturen als *Ruhepotential* bezeichnet. Die Verringerung des Ruhepotentials, die *Depolarisation*, führt in den langen Fortsätzen der Nervenzellen, den Nervenfasern, Neuriten oder Axonen, von einem bestimmten *Schwellenwert* an zur Bildung eines *Aktionspotentials*. Es entsteht durch kurzzeitiges Öffnen der Membranschranke, so daß Natrium- und Kaliumionen entsprechend dem elektrischen und dem Konzentrationsgefälle plötzlich ungehindert die Membran durchsetzen können. Das führt zum Zusammenbruch des ursprünglichen Potentials und sogar zur Umpolarisierung - ein Prozeß, der der *Erregung* gleichzusetzen ist.

Das Aktionspotential induziert in den benachbarten Abschnitten desselben Axons eine Depolarisation, diese bilden daraufhin ebenfalls ein Aktionspotential aus. Auf diese Weise wird die Erregung in einer Nervenfasern fortgeleitet. Nach einer kurzen Erholungspause, der *Refraktärperiode*, wird durch die Tätigkeit der Ionenpumpen das Ruhepotential und damit der Ausgangszustand wiederhergestellt. Die Geschwindigkeit der *Erregungsleitung* kann mehrere Meter, in einigen Fällen mehr als 100 m in der Sekunde betragen.

Die Erregung einer Sinneszelle äußert sich in einer Schwankung ihres Ruhepotentials, die als *Generatorpotential* bezeichnet wird und durch direkte oder indirekte Einwirkung des Reizes auf die

Zellmembran zustande kommt. Der Umfang der Potentialschwankung, die Größe des Generatorpotentials also, hängt in erster Linie von der Reizstärke ab. Überschreitet ein Reiz einen bestimmten Schwellenwert, die *Reizschwelle*, so genügt die Höhe des dadurch ausgelösten Generatorpotentials, um in der von der Sinneszelle wegführenden Nervenfasern ein Aktionspotential auszulösen. Mitunter reichen geringste Reizintensitäten aus, um eine Erregung auszulösen. Zum Beispiel genügen den Männchen des Seidenspinners für die Geruchswahrnehmung einzelne Moleküle eines von den Weibchen ausgeschiedenen Duftstoffes, dem Bombykol. Ähnlich extreme Fälle sind für den Licht-Sinn bekannt, der auf einzelne Lichtquanten anspricht.



**Abb. 4.4.1.** Schema zur Erregungsleitung; das Ruhepotential beträgt rund 80 mV (außen positiv), das Aktionspotential (Potentialunterschied im Zustand der Erregung) rund 30 mV (außen negativ); (+) die Faser ist noch nicht wieder erregbar (refraktär), wodurch die Umkehrung der Fortpflanzungsrichtung verhindert wird

**4.4.1.2. Das Zentralnervensystem.** Über die zu Nerven gebündelten Nervenfasern gelangen die Erregungen in das Zentralnervensystem, auf dessen Nervenzellen sie über besondere Verbindungsstücke, die *Synapsen*, übertragen werden. Im Zentralnervensystem gibt es erregende und hemmende Synapsen. Die über erregende Synapsen einlaufenden Aktionspotentiale induzieren durch Depolarisation bei entsprechender Summierung erneut Aktionspotentiale. Hingegen bewirken die hemmenden Synapsen einen der Erregung durch Depolarisation entgegen gerichteten Vorgang, die *Hemmung* durch *Hyperpolarisation*.

Im Zentralnervensystem der höheren Tiere und des Menschen erfährt die Reizbarkeit die höchste Form ihrer Ausprägung. Jedoch sind selbst die kompliziertesten Leistungen eines menschlichen Gehirns auf die Elementarprozesse Erregungsbildung, Erregungsleitung und Hemmung, letztlich auf Depolarisation und Hyperpolarisation, zurückzuführen.

Allein auf dieser Grundlage arbeiten die auf Reizbarkeit spezialisierten Strukturelemente des Nervensystems, die *Neuronen*. Erst deren komplexes Zusammenwirken, das Analogien zu den Schaltplänen in elektronischen Datenverarbeitungsanlagen aufweist, liefert die Voraussetzung für die Verarbeitung der Informationen durch das Zentralnervensystem.

Sinneszellen können als *Enterorezeptoren* auch über die Situation im Körperinneren informieren. Häufig dienen sie als *Meßfühler* in *Regelkreisen*. Beispielsweise gibt es beim Menschen in der Wandung der Halsschlagader Rezeptoren, die bei Dehnung erregt werden. Hoher Blutdruck führt zu einer starken Wandeckung und damit zur verstärkten Reizung dieser Rezeptoren, die durch eine erhöhte Anzahl von Aktionspotentialen, d. h. eine erhöhte Impulsfrequenz, diesen Zustand dem Kreislaufzentrum im Gehirn mitteilen. Dieses bewirkt seinerseits eine Verminderung der Herzleistung und damit ein Absinken des Blutdrucks. Sinkt er jedoch zu stark ab, kommt es zu einer entsprechend verringerten Impulsfrequenz der Blutdruckrezeptoren und so lange zu einer Verstärkung der Herzarbeit, bis durch ständige *Rückkopplung* der *Sollwert* erreicht ist.

## 4.5. Gewebe

Alle Funktionen des Organismus beruhen letztlich auf den Leistungen der Einzelzelle.

Mit der Entwicklung von Einzellern zu Mehrzellern ist der Zusammenschluß gleichartig differenzierter Zellen zu Geweben und deren Vereinigungen zu Organen untrennbar verbunden. Erst das geordnete und koordinierte Zusammenwirken dieser qualitativ unterschiedlichen Organisationseinheiten in Funktionssystemen führt zu den vielfältigen und komplizierten Leistungen des höheren Organismus.

### 4.5.1. Gewebe

Aus einzellig differenzierten Protophyten und Protozoen, die man auch unter dem Begriff der Protisten zusammenfaßt, haben sich im Verlauf der Phylogenese höher organisierte, mehrzellig differenzierte Pflanzen und Tiere entwickelt. Die Formbildung der Einzeller vollzieht sich auf dem Einzellstadium. Die Vielzeller, zu denen alle übrigen Organismen zählen, bilden ihre Individualität auf einem Mehrzellstadium aus.

Mehrzellige Organismen entwickeln sich im Verlauf der Ontogenese aus der Eizelle über charakteristische Zwischenstufen zu mehrzelligen Stadien, von denen die Formbildung zum Individuum eingeleitet wird. Während der Ontogenese wird fortschreitend die *prospektive Potenz* von Zellen zugunsten ihrer *prospektiven Bedeutung* eingeschränkt; d. h., eine befruchtete Eizelle hat die Fähigkeit, einen vollständigen Organismus zu bilden, sie ist totipotent.

Die im Verlauf der Ontogenese aus der Eizelle hervorgehenden Einzelzellen, die *Blastomeren*, werden in ihrer Potenz immer mehr auf eine spezifische Leistung eingeschränkt. Mit der Länge des Entwicklungsweges nimmt die Anzahl der unterschiedlich differenzierten Zellgruppen zu, die damit Maßstab für die Organisationshöhe eines Organismus sind.

Ursprüngliche Formen mehrzellig-differenzierter Organismen bestehen aus einem lockeren Verband noch weitgehend selbständiger Zellen, die nicht die Organisationshöhe echter Gewebe erreichen. Mit fortschreitender Entwicklung kommt es zu einer engen Beziehung und gegenseitigen Abhängigkeit von Zellen und Zellgruppen. Die Einschränkung einzelner Zellgruppen auf ganz spezifische Leistungen während der Phylogenese und Ontogenese führt schließlich zur Bildung echter Gewebe.

### 4.5.2. Gewebe als Zellverband

Ein Gewebe wird als Zellverband gleicher ontogenetischer Herkunft, gleicher Differenzierung und einheitlicher Funktion charakterisiert. Es ist das „Baumaterial“ des Organismus, das in zahlreichen Erscheinungsformen auftreten kann.

In einem Gewebe sind die Zellen in Form und Funktion genau aufeinander abgestimmt. Diese engen Beziehungen kommen morphologisch in zahlreichen charakteristischen Verbindungen zwischen benachbarten Zellen zum Ausdruck, woraus sich der Begriff des Zellverbandes ableitet. Die in sich geschlossene Einheit und Individualität der Zelle bleibt erhalten, ist aber nur im Verband des Gewebes bestandsfähig. Ausgenommen hiervon sind Zellverbände, deren Einzelzellen durch Auflösung der Zellgrenzen zu einem vielkernigen Gebilde, einem *Synzytium*, verschmelzen. Entsteht hingegen ein vielkerniger Plasmakörper durch fortgesetzte Teilung der Zellkerne ohne anschließende Zytoplasmateilung, spricht man von einem *Plasmodium*.

Während bei Protisten und embryonalem Gewebe die freie Beweglichkeit der Zellen und ganzer Zellverbände recht erheblich sein kann, ist die Lage der ausdifferenzierten Zelle des Gewebeverbandes im allgemeinen fixiert. Die Unbeweglichkeit ist an die Existenz im Verband gekoppelt und auf eine Hemmung der Zellen untereinander zurückzuführen. Künstlich isolierte Zellen erlangen ihre Beweglichkeit, oft unter Verlust ihrer typischen Form, zurück. Auch im Organismus ist eine Lösung von Zellen aus dem Verband eine natürliche Erscheinung. Die Blutzellen des tierischen Organismus sind frei beweglich, bilden jedoch funk-

tionell eine Einheit.

Der Zusammenhalt von Zellen des gleichen Gewebes scheint sich auf eine spezifische *Affinität der Zelloberfläche* zu gründen. So konnte beobachtet werden, daß sich in einem Gemisch von isolierten Zellen nur Zellen des gleichen Gewebes wieder zu neuen Komplexen vereinigen. Die Auflösung des Zellverbandes zieht in der Regel das Zugrundegehen der Einzelzelle nach sich.

Unter experimentellen Bedingungen gelingt es, isolierte Zellen und Gewebe in einer Gewebekultur, losgelöst vom Gesamtorganismus, am Leben zu erhalten. Das Kulturmedium ersetzt der Zelle die Bedingungen, die zu ihrer Existenz, zum Wachstum und zur Vermehrung erforderlich sind. Eine hochspezialisierte Gewebezelle ist in ihrer Variationsbreite stark eingeschränkt und auf bestimmte Leistungen anderer Zellen und Gewebe im Organismus angewiesen. Losgelöst aus diesem äußerst fein abgestimmten System, kann sie nur existieren, wenn ihr ähnliche Bedingungen wie im definitiven Gewebeverband geboten werden. In der Kultur sind die für eine bestimmte Zelleistung notwendigen Bedingungen nur annähernd zu erreichen und bedürfen einer ständigen Überwachung. Ein Vergleich zwischen einem Gewebe in der Kultur und dem gleichen Gewebe im Organismus ist deshalb nur mit Einschränkungen möglich.

Viele Zellen und Gewebe behalten auch in der Kultur einige typische Eigenschaften, andere entarten oder sind überhaupt nicht zu kultivieren. Oft bedingt erst die Lage im Gewebeverband den spezifischen Bau und die Leistung einer Zelle. Losgelöst vom Verband, kann die Zelle einen Teil oder ihre gesamte ursprüngliche Potenz zurückerlangen.

Ursprüngliche Vielzeller, z. B. die Schwämme, haben oft noch totipotente Zellen, die in der Lage sind, einen gesamten Organismus neu zu differenzieren. Bei höher differenzierten Gewebetieren ist die Totipotenz im allgemeinen auf die Keimzellen bzw. auf die Blastomeren einiger früher Furchungsstadien beschränkt. Im Unterschied zum tierischen Organismus ist bei Pflanzen neben den Keimzellen auch die Mehrzahl der lebenden Körperzellen totipotent, und eine pflanzliche Gewebezelle kann nach Isolierung in der Gewebekultur eine vollständige Pflanze hervorbringen.

Die Einteilung der Gewebe berücksichtigt die funktionelle Dynamik und Vielseitigkeit einer lebenden Zelle nur ungenügend. So erfüllen Gewebe ursprünglicher Mehrzeller oft Funktionen, die bei höher entwickelten Formen von verschiedenen, in ihrer Potenz weiter eingeschränkten Geweben übernommen werden. Die Tracheide der Nachtsamer vereinigt z. B. gleichermaßen die Funktionen der Wasserleitung und der Festigung in sich; eine Zelle aus dem Gastrallager, das den Innenraum der Hohltiere auskleidet, ist gleichzeitig resorbierende Epithelzelle und kontraktile Muskelzelle. Im Verlauf der Phylogenese entstehen jedoch hochspezialisierte Gewebe, die nur eine dieser Funktionen übernehmen und damit von Leistungen anderer Gewebe abhängig werden.

Obwohl die phylogenetische Entwicklung von einzellig- zu mehrzellig-differenzierten Organismen im Tier- und Pflanzenreich grundlegende Gemeinsamkeiten hat, treten auf Grund der unterschiedlichen Existenzformen zahlreiche Abweichungen auf.

### 4.5.3. Tierische Gewebe

Eine Vorstellung von der Entstehung der Zellverbandstiere oder Metazoa aus einzelligen Organismen vermitteln die *Zellaggregattiere*, zu denen z. B. die Schwämme zählen. Sie bilden einen lockeren Zellverband, der mit seinen weitgehend selbständigen Einzelzellen noch nicht die Organisation eines echten Gewebes erreicht.

Alle Metazoa sind durch einen sehr charakteristischen *Schichtenbau* gekennzeichnet und unterscheiden sich darin weitgehend von pflanzlichen Mehrzellern. Grundsätzlich stellt die Haut die äußere Körperschicht und die Darmwand mit allen daraus entstehenden Bildungen die innere Körperschicht dar. Schon während der Embryonalentwicklung erfolgt gleichsam als Leitstrang eine Vororientierung der Zellen in zwei epithelial angeordnete *Keimblätter*. Aus dem außen gelegenen *Ektoderm* geht durch weitere Differenzierung die äußere Körperschicht hervor, während sich aus dem

innen gelegenen *Entoderm* die innere Körperschicht ableitet. In die *primäre Leibeshöhle*, die vom Ektoderm und Entoderm begrenzt wird, schieben sich Gewebe ein, die als *Mesenchym* bezeichnet werden. In Abhängigkeit von der phylogenetischen Organisationsstufe kann zwischen den zwei ursprünglichen Keimblättern ein drittes Keimblatt, das *Mesoderm*, gebildet werden, das die immer dabei entstehende *sekundäre Leibeshöhle* begrenzt.

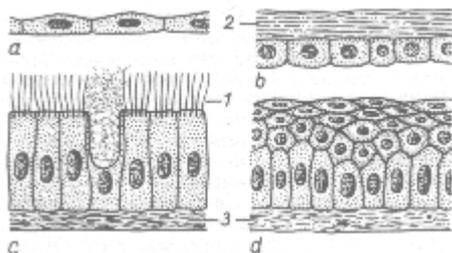
Auf der Grundlage dieser Keimblätter vollzieht sich über spezifische Larvenstadien die Formbildung zum Individuum.

Die Keimblätter bilden die Ausgangsbasis für die Organdifferenzierung. Das Schicksal der Einzelzelle wird allein aufgrund ihrer Lage innerhalb eines Keimblattes und wiederum durch dessen Lage im Gesamtkeim entschieden. Mit der Zuordnung zu einem bestimmten Keimblatt wird die Potenz der Einzelzelle in einer bestimmten Weise eingeschränkt.

Die Einteilung der tierischen Gewebe in Epithelgewebe, Stützgewebe, Muskelgewebe und Nervengewebe erfolgt weitgehend nach morphologischen Gesichtspunkten und erfüllt kein einheitliches Prinzip. Die Einordnung eines Zelltyps in ein bestimmtes Gewebe läßt daher keine Schlußfolgerungen über seine ontogenetische und phylogenetische Herkunft zu; z. B. können Epithelgewebe aus allen drei Keimblättern gebildet werden. Die Mehrzahl der sogenannten Tiefengewebe, wie Muskulatur und Bindegewebe, entsteht aus dem Mesoderm. Das schließt jedoch nicht aus, daß Muskelzellen bei den Organismen mit zwei Keimblättern vom Ekto- und Entoderm differenziert werden und bei Wirbeltieren einzelne Muskelgewebe im Kopfbereich aus dem Ektoderm entstehen. Auch Nervengewebe, das fast ausschließlich vom Ektoderm differenziert wird, kann bei den Hohltieren z. B. aus dem Entoderm entstehen.

**4.5.3.1. Epithelgewebe** sind der phylogenetisch und ontogenetisch ursprünglichste Gewebetyp.

**4.5.3.1.1.** Als *Grenzflächengewebe*, das alle inneren und äußeren Oberflächen des tierischen Organismus auskleidet, fügen sich die Zellen lückenlos zu einem geschlossenen, flächig ausgebreiteten Zellverband zusammen. In der Regel sind die Zellen in einen der freien Oberfläche zugewandten *Zellapex* und einen basalen Ab-



**Abb. 4.5.1.1. Epithelgewebe;** a - c: einschichtiges Epithel; a Plattenepithel; b kubisches Epithel mit Kutikula (2); c zylindrisches Flimmerepithel mit Becherzelle; d mehrschichtiges Epithel; 1 Zilien, 3 Basalmembran

schnitt unterteilt. Der Apex differenziert häufig funktionsbedingte Strukturen. Die *Epidermis*, die als Epithel die gesamte Körperoberfläche bedeckt, ist Umwelteinflüssen unmittelbar ausgesetzt und bildet eine schützende *Kutikula* aus. Durch Einlagerung von Chitin und Kalk entsteht daraus bei den Gliederfüßern ein festes Außenskelett. Das *Wimperepithel* ist an seiner Oberfläche dicht mit Zilien besetzt, die durch synchrone Bewegungen einen extrazellulären Flüssigkeitsstrom erzeugen. Im Darm und in der Niere wird die Oberfläche *resorbierender Epithelien* durch Bürsten- und Stäbchensäume vergrößert. Der Apex besteht hier aus stäbchenförmigen Ausbuchtungen der Zellmembran, den *Mikrovilli*. Epithelgewebe werden an ihrer Basis von Bindegewebe gestützt, und die Zellmembran scheidet hier eine *Basalmembran* ab, ein außerordentlich dichtes Gitternetz feinsten Fäserchen. Der enge Zusammenhalt der einzelnen Epithelzellen wird durch eine innige Verzahnung der Zellmembran erreicht. Gürtelartige *Schlußleisten* schließen die sehr feinen Interzellularspalten am Apex gegen die freie Oberfläche ab. Unregelmäßig

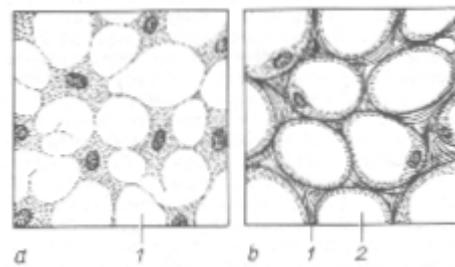
geformte Zellen sind durch ständig wechselnde *Interzellularbrücken* verbunden, die an ihren Kontaktstellen *Desmosomen* ausbilden, Plasmaverdickungen, in die zahlreiche Epithelfasern, sogenannte *Tonofibrillen*, eintreten.

Die Klassifizierung der Epithelien erfolgt unabhängig von der Gestaltung des Apex nach Schichtung und Form der Zellen. Man unterscheidet *einschichtige* und *mehrschichtige Epithelgewebe*. Wirbeltiere bilden neben einschichtigen auch mehrschichtige Epithelien aus; z. B. ist die Epidermis bei wirbellosen Tieren stets einschichtig, bei Wirbeltieren immer mehrschichtig.

Nach der Form unterscheidet man folgende, nicht immer streng zu trennende Epithelien: Die stark abgeflachten Zellen des *Plattenepithels* finden sich z. B. als Auskleidung der Lungenalveolen und der Blut- und Lymphgefäße. Im letzteren Fall wird es als *Gefäßendothel* bezeichnet. *Kubisches* und *Zylinderepithel* sind geschlossene Zellverbände, die den darunterliegenden Geweben mechanischen Schutz geben, darüber hinaus aber einen intensiven Stoffaustausch ermöglichen. Sie bilden z. B. die Epidermis und kleiden u. a. das gesamte Gastrovaskularsystem aus. In Organen, die starken Volumenschwankungen unterworfen sind, z. B. in der Harnblase und den ableitenden Harnwegen, wechseln die Zellen des auskleidenden Epithels ihre Gestalt von der flachen bis zur hochzylindrischen Form, man bezeichnet sie daher als *Übergangsepithelien*.

**4.5.3.1.2. Drüsenzellen** stellen eine besondere Differenzierungsform der Epithelzellen dar. Ursprünglich liegen im Epithelverband einzellige Drüsen, z. B. die schleimbildenden *Becherzellen* des Darms und der Luftwege. Erst sekundär vereinigen sich viele Einzelzellen zu einem Drüsenorgan mit einem gemeinsamen Ausführungsgang. Werden die synthetisierten Sekrete über einen Ausführungsgang an freie Oberflächen abgegeben, spricht man von *exokrinen Drüsen* im Unterschied zu *endokrinen Drüsen*, die ihr Sekret in die Blut- oder Lymphbahn freisetzen.

**4.5.3.2. Stützgewebe** erfüllen neben mechanischen bzw. statischen Aufgaben auch Funktionen im Stoffwechsel und im Abwehrsystem des Körpers. Im Unterschied zum Epithelgewebe sind die zwischen den Zellen gelegenen *Interzellularräume* besonders ausgeprägt und bedingen wesentliche Eigenschaften dieser Gewebe. Sie werden von *Gewebeflüssigkeit* oder einer *Grundsubstanz* ausgefüllt, in die *Fasern* eingelagert sein können. Je nach dem Anteil, mit dem einzelne Elemente am Aufbau des Stützgewebes beteiligt sind, unterscheidet man zellreiches, faserreiches und grundsubstanzreiches Stützgewebe.



**Abb. 4.5.2. Stützgewebe;** a embryonales Bindegewebe; b Fettgewebe; 1 Interzellular Substanz, 2 Fettkugeln

**4.5.3.2.1. Zellreiches Stützgewebe.** Das *embryonale Bindegewebe* oder *Mesenchym* ist ein Füllgewebe, dessen sternförmig verzweigte Zellen ein dreidimensionales Gitterwerk bilden. Die Interzellularräume sind mit einer Gewebeflüssigkeit erfüllt. Die stark teilungsfähigen Zellen neigen zur Orts- und Formveränderung. Alle übrigen Stützgewebe gehen aus diesem Gewebe hervor.

Einen ganz ähnlichen Aufbau findet man beim *retikulären Bindegewebe*. Die gitterartig angeordneten Retikulumzellen sind an ihrer Oberfläche aber von einem Netzwerk zugelassteter *Retikulinfasern* umgeben. Die Retikulumzellen sind in hohem Maße zur Aufnahme, d. h. zur *Phagozytose*, und zur Speicherung von Stoffen befähigt. In dieser Eigenschaft, die sie mit den Histio-

zyten teilen, bilden sie das *retikulo-histiozytäre System*, das neben zahlreichen anderen Aufgaben eine entscheidende Rolle als Abwehrsystem des Organismus spielt.

Das retikuläre Bindegewebe baut Knochenmark, Milz und Lymphknoten auf und bedingt deren spezifische Funktionen.

Aus dem retikulären Bindegewebe leitet sich das *Fettgewebe* ab. In den Zellen lagern sich anfänglich feinste Fetttropfen ab, die später zu einer einzigen großen Fettkugel zusammenfließen und unter gleichzeitiger Abrundung der Zellen das Zytoplasma mit dem Kern auf eine dünne Oberflächenschicht zusammendrängen. Das Fettgewebe hat besondere Bedeutung für den Fettstoffwechsel, den Wärmehaushalt und als druckelastisches Baumaterial.

**4.5.3.2.2. Faserreiches Stützgewebe.** Das in diese Gruppe einzuordnende *Bindegewebe* baut sich aus Zellen, den *Fibrozyten*, einer geformten Interzellularsubstanz, den *Fasern* und aus einem Filtrat des Blutplasmas, der *Gewebe Flüssigkeit*, auf. Nach Anordnung und Beteiligung einer Faserart am Aufbau unterscheidet man lockeres, straffes und elastisches Bindegewebe.

Die Fibrozyten des *lockeren Bindegewebes* sind langgestreckte abgeflachte Zellen, die über lange Fortsätze zu einem Netzwerk verknüpft sind. Gegenüber diesen sogenannten fixen Zellen enthalten die Interzellularräume eine Anzahl frei beweglicher Zellen, wie *Histiozyten*, *Plasmazellen*, *Gewebemastzellen*, *Granulozyten* und *Chromatophoren*.

Den größten Anteil an der geformten Interzellularsubstanz haben die äußerst zugfesten *Kollagenfasern*. Sie bestehen aus sehr feinen Fibrillen, die durch eine organische Kittsubstanz zusammengehalten werden. Beim Kochen entsteht ein gallertartiger Leim, woraus sich ihr Name [*kollagen*, leimgebend] herleitet.

Die Enden der Kollagenfasern spalten sich in *Gitterfasern* auf, die nach Behandlung mit Silber Salzen eine schwarze Färbung annehmen und daher auch als argyrophile Fasern bezeichnet werden. Sie treten als Gitterwerk immer dort auf, wo lockeres Bindegewebe an andere Gewebe grenzt.

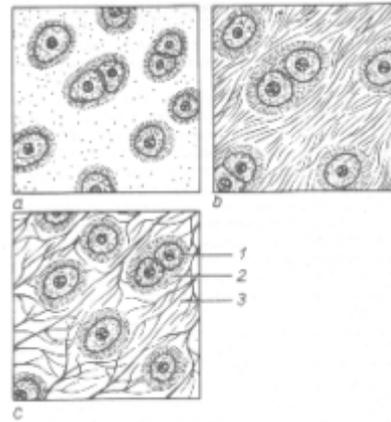
Das dritte geformte Element, die *elastischen Fasern*, ist lichtmikroskopisch homogen. Das reichverzweigte Netzwerk dieser hochelastischen Fasern stellt die funktionelle Ergänzung der zugfesten Kollagenfasern dar.

Das lockere Bindegewebe erfüllt gleichsam als Mittler die Räume zwischen Organen und Organelementen und ermöglicht gegeneinander bewegliche Verbindungen. Neben zahlreichen Stoffwechselfunktionen und der Bekämpfung von Krankheitsherden ist vor allem die Beteiligung an der Regeneration der Stützgewebe von Bedeutung.

Im *straffen Bindegewebe* liegen die zahlenmäßig überwiegenden Kollagenfasern in paralleler Anordnung oder in geordneten Flechtwerken entsprechend der mechanischen Beanspruchung und werden von den zahlenmäßig geringeren *elastischen Fasern* begleitet. Es treten in geringerer Anzahl die gleichen *Zellelemente* wie im lockeren Bindegewebe auf. Die hohe Festigkeit der Lederhaut bei Wirbeltieren ist z. B. durch die Eigenschaften des straffen Bindegewebes bedingt. In den *Organkapseln* von Gallenblase, Lunge, Milz u. a. wirken die zugresistenten Kollagenfasersysteme einer Überdehnung entgegen. Die elastischen Gitterfasern sorgen nach Entleerung der Organe für Rückkehr in die Ausgangslage. Auch die *Sehnen* sind eine Erscheinungsform des straffen Bindegewebes. Die als *Sehnenfasern* bezeichneten parallel angeordneten Kollagenfaserbündel dienen der Übertragung des Muskelzugs auf den Knochen.

Im *elastischen Gewebe* überwiegen elastische Fasern. Sie sind parallel angeordnet, z. B. im Nackenband des Rindes, oder netzförmig verknüpft, z. B. in Blutgefäßen und Lungenbläschen.

**4.5.3.2.3. Grundsubstanzreiches Stützgewebe.** Das *Knorpelgewebe* ist eine charakteristische Differenzierung der Wirbeltiere. Außerhalb der Wirbeltierreihe sind Knorpelbildungen weitgehend unbekannt, und nur die Kopfkapsel der Cephalopoden und die Radula der Gastropoden machen hiervon eine Ausnahme.



**Abb. 4.5.3.** *Knorpelgewebe*; a hyaliner Knorpel; b Faserknorpel; c elastischer Knorpel; 1 Knorpelzelle, 2 Knorpelkapsel, 3 Chondromukoid

Die abgerundeten Zellen des Knorpelgewebes liegen in Aussparungen der Interzellularsubstanz, den *Knorpelhöhlen*, und werden von einem Ring dichter Grundsubstanz, der *Knorpelkapsel*, umgeben.

Die großen Interzellularräume sind von einer gallertigen Grundsubstanz, dem *Chondromukoid*, ausgefüllt, das auf Grund seines hohen Gehalts an Chondroitinschwefelsäure mit basischen Farbstoffen spezifisch anfärbbar ist. Diese Grundsubstanz bedingt die druckelastischen Eigenschaften des Knorpelgewebes. Nach Art der in das Chondromukoid eingelagerten Fasern unterscheidet man drei Typen von Knorpelgewebe.

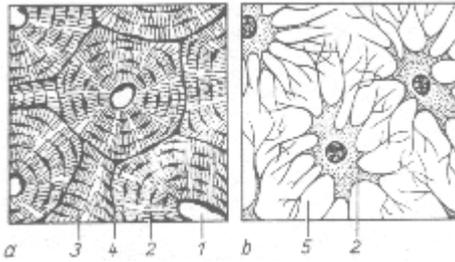
Die kollagenen Fasern des *hyalinen Knorpels*, der weitaus häufigsten Form, haben die gleichen lichtbrechenden Eigenschaften wie das Chondromukoid und sind deshalb ohne besondere Vorbehandlung nicht sichtbar, sie sind „maskiert“.

Knorpelfische behalten zeitlebens ein Skelett aus hyalinem Knorpel, während höhere Wirbeltiere das embryonale knorpelige angelegte Skelett durch Knochengewebe ersetzen. Als Reste hyalinen Knorpels erhalten sich bei ihnen u. a. der Rippen- und Gelenknorpel sowie Bauelemente der Luftwege.

Der seltene *Faser- oder Bindegewebeknorpel* weist nur wenige Knorpelzellen auf, die, einzeln oder zu kleinen Gruppen vereint, von der Knorpelkapsel umgeben werden. Die reichlich in die Grundsubstanz eingelagerten Kollagenfasern sind nicht maskiert und unterscheiden sich darin deutlich von den anderen Knorpelarten. Das Gewebe nimmt eine gewisse Mittelstellung zwischen hyalinem Knorpel und Sehngewebe ein und tritt z. B. in den Zwischenwirbelscheiben und der Schambeinfuge auf.

Der *elastische Knorpel* entspricht in seinem Aufbau weitgehend dem hyalinen Knorpelgewebe. In der Grundsubstanz findet man neben den maskierten Kollagenfasern ein Netzwerk elastischer Fasern, auf die z. B. die Elastizität der Ohrmuschel von Säugtieren zurückzuführen ist.

Das *Knochengewebe* besteht ebenso wie das Knorpelgewebe aus Zellen, den *Osteozyten*, die in Aussparungen der Interzellularsubstanz, den *Knochenhöhlen*, liegen. Durch feine Zytoplasmfortsätze der Osteozyten entstehen in der Grundsubstanz sternförmige Aussparungen, die *Knochenkanälchen*. Dieses reichverzweigte Spaltssystem ermöglicht die Ernährung und Kontaktnahme zwischen den einzelnen Knochenzellen. Erreicht der Knochen eine bestimmte Ausdehnung, wird das Gewebe von größeren Kanälen, den sogenannten *Haversschen Kanälchen*, durchzogen, in die Blutgefäße und Nerven eintreten. Die Interzellularräume enthalten eine organische, mit phosphor- und kohlenstoffhaltigen Salzen durchsetzte Grundsubstanz, das *Ossein*, das dem Knochen seine Festigkeit verleiht. Nach der Anordnung der in die Grundsubstanz eingebetteten Kollagenfasern unterscheidet man *Faser- oder Geflechtknochen* mit parallel oder kreuzweise angeordneten Fasern, die bei niederen Wirbeltieren, z. B. Amphibien, das Skelett aufbauen. Der *Schalen- oder Lamellenknochen* macht den überwiegenden Anteil der Skelettelemente höherer Wirbeltiere aus. Die Fasern verlaufen hier in konzentrischen Schichten um die *Haversschen Kanälchen* und werden als *Haverssche Lamellen* bezeichnet. Ein Haversscher Kanal mit dem umgebenden Lamellensystem stellt ein *Osteon* dar, das durch eine Kittfläche gegen benachbarte Osteone abgegrenzt ist. Die Räume zwischen diesen Einheiten werden von Schaltlamellen ausgefüllt.



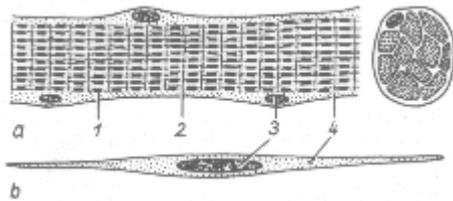
**Abb. 4.5.4. Knochengewebe;** a Osteone aus dem kompakten Anteil eines Säugetierknochens; b Osteozyten; 1 Haversscher Kanal, 2 Osteozyten, 3 Schalllamelle, 4 Kittfläche, 5 Ossein

Ebenso wie der aus Bindegewebeverknöcherungen hervorgehende Deck- oder Bindegewebsknochen entstehen auch die Ersatzknochen immer aus Knochenbildungszellen, den *Osteoblasten*.

Der Knochen bildet als höchstdifferenziertes Stützgewebe das eigentliche Skelettsystem der höheren Wirbeltiere, das Zug-, Druck-, Torsions- und Biegebelastrungen unterworfen ist. Knochengewebe sind auch im ausgewachsenen Organismus keine starren und endgültigen Bildungen. Auf Grund einer biologischen Plastizität können sie sich einer veränderten Beanspruchung durch den Umbau ihrer architektonischen Innenstruktur anpassen.

**4.5.3.3. Muskelgewebe.** Muskelgewebe dienen der Körperbewegung tierischer Vielzeller. Ihre Bauelemente sind hochdifferenzierte Muskelzellen mit *kontraktilen Myofibrillen*.

Die ektodermalen und entodermalen *Epithelmuskelzellen* der Hohltiere tragen basal einen oder mehrere spindelförmige Fortsätze mit kontraktilen Fasern. Als Zeichen ihrer geringen Spezialisierung erfüllen sie jedoch gleichzeitig mehrere Funktionen, die von Muskel-, Drüsen- und Stützzenen.



**Abb. 4.5.5. Muskelgewebe;** a Teil einer quergestreiften Muskelfaser, rechts Querschnitt; b glatte Muskelzelle; 1 Aktin, 2 Myosin, 3 Zellkern, 4 Sarkoplasma

Die Muskelzellen höher differenzierter Tiere sind ausschließlich für die Bewegungsfunktion spezialisiert. Man unterscheidet glatte Muskelgewebe und quergestreifte Muskelgewebe. Diese Einteilung wird jedoch nicht allen im Tierreich auftretenden Muskelgeweben gerecht, da bei Wirbellosen auch Muskelzellen mit anderen Ordnungsprinzipien auftreten.

**4.5.3.3.1. Glattes Muskelgewebe.** Es setzt sich aus spindelförmigen Zellen zusammen, die bis zu 1 mm Länge erreichen können. Das Zytoplasma, das als *Sarkoplasma* bezeichnet wird, enthält den zentral gelegenen Kern und im polarisierten Licht einheitlich doppelbrechende *Myofibrillen*. Die Myofibrillen, die parallel zur Längsachse der Zellen verlaufen, bestehen wiederum aus mehreren, 5 nm dicken Proteinfäden, den *Myofilamenten*.

Die langsam kontrahierenden glatten Muskeln entfalten ihre Wirkung in engem Zusammenhang mit dem Bindegewebe. Sie haben bei Wirbellosen eine weite Verbreitung und treten bei Wirbeltieren als Eingeweide-, Uterus-, Haut- und Gefäßmuskulatur auf. Glatte Muskelzellen sind zu einem *Sperrtonus* befähigt, d. h., sie können ohne nennenswerten Energieverbrauch einen Spannungszustand aufrechterhalten. Als Beispiel sei der Schalenschließmuskel der Muscheln genannt, der auch bei langandauernder Belastung keine Stoffwechselsteigerung oder Ermüdung zeigt.

**4.5.3.3.2. Quergestreiftes Muskelgewebe.** Das Muskelgewebe der Skelettmuskulatur baut sich aus bis 12 cm langen vielkernigen Plasmasträngen, den *Muskelfasern*, auf, die nach Art ihrer Ent-

stehung aus einkernigen Myoblasten ein Plasmodium darstellen. Die Muskelfaser wird von einer Bindegewebehülle, dem *Sarkolemm*, umschlossen, das durch zahlreiche Einfaltungen am Muskelende auch die Verbindung zur Sehne herstellt. Das Sarkoplasma enthält an der Faserperipherie die länglich-ovalen Kerne und eine große Anzahl zur Längsachse orientierter Myofibrillen.

Der sarkoplasmatische Raum zwischen den Myofibrillen ist durch Mitochondrien, hier *Sarkosomen* genannt, und durch endoplasmatisches Retikulum, hier *sarkoplasmatisches Retikulum*, ausgefüllt. Diese Strukturen sind verantwortlich für Energiehaushalt und Erregungsleitung im Muskel.

Die Myofibrillen zeigen eine charakteristische Querstreifung, die durch ideale Parallelisierung der Fibrillen auf die gesamte Muskelfaser übertragen wird. Im polarisierten Licht tritt alternierend ein doppelbrechender oder *anisotroper A-Abschnitt* und ein einfachbrechender oder schwach doppel brechender *isotroper I-Abschnitt* auf. Die polarisationsoptischen Eigenschaften der Myofibrille werden durch zahlreiche in Längsrichtung orientierte Myofilamente verursacht, die im A-Abschnitt aus dem Protein *Myosin*, im I-Abschnitt aus dem Protein *Aktin* bestehen.

Nach der *Gleittheorie* von HUXLEY gleiten während der ATP-abhängigen Muskelkontraktion die dünneren Aktinfilamente zwischen die dickeren Myosinfilamente und verbinden sich dabei zeitweilig zu einem *Aktomyosinkomplex*. Durch diesen Prozeß verkürzt sich die Myofibrille und damit letztlich der gesamte Muskel.

Quergestreifte Körpermuskulatur tritt vereinzelt auch bei Wirbellosen auf. Bei Gliederfüßern ist sie hochentwickelt und zeigt weitgehende Ähnlichkeit mit der Skelettmuskulatur der Wirbeltiere. Die *elektrischen Organe* einiger Fische entstehen als spezielle Differenzierungen aus quergestreifter Muskulatur.

Das *quergestreifte Herzmuskelgewebe* der Säugetiere zeigt gegenüber der Skelettmuskulatur einige Besonderheiten. Die Muskelzellen sind über Fortsätze, sogenannte *Anastomosen*, zu einem Netzwerk verflochten. Die Kontaktzone von zwei Zellen ist durch eine enge Verzahnung der Zellmembran gekennzeichnet und lichtmikroskopisch als sogenannter *Glanzstreifen* sichtbar. Der zentral gelegene Zellkern wird von einem faserfreien Sarkoplasma umgeben. Die quergestreiften Muskelfibrillen liegen peripher und dringen nicht über die Glanzstreifen in die Nachbarzelle vor.

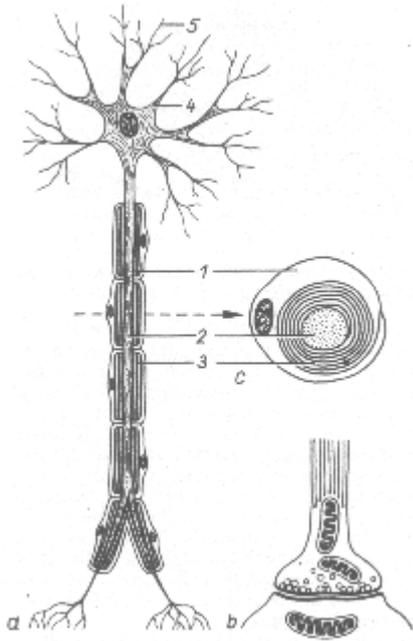
Neben der Arbeitsmuskulatur weist das Herz ein spezialisiertes Muskelgewebe auf, das aus sarkoplasmareichen Zellen mit schwacher Querstreifung gebildet wird und der autonomen Erregungsentstehung und Erregungsleitung dient.

**4.5.3.4. Nervengewebe.** Von den Hohltieren an wird bei allen Vielzellern Erregbarkeit, Erregungsleitung und Erregungsverarbeitung von einem Nervensystem übernommen, dessen Bestandteile das eigentliche Nervengewebe und ein gefäßreiches Bindegewebe sind. Nervengewebe setzt sich immer aus *Nervenzellen* und aus Stützzenen, der *Neuroglia*, zusammen.

Eine primitiv organisierte Form des Nervensystems tritt bei den Hohltieren in Form des *diffusen Nervensystems* auf, das über seine nicht polarisierten Zellen eine ungerichtete Ausbreitung der Erregung ermöglicht. Alle höher entwickelten Tiere haben neben einem diffusen Nervensystem ein hochentwickeltes *zentrales Nervensystem* mit polar differenzierten Nervenzellen, die eine gerichtete Erregungsleitung über Neuronketten erlauben .

Die Nervenzelle, das *Neuron*, entsteht aus Nervenbildungszellen, den *Neuroblasten*.. Nervenzellen höher entwickelter Tiere und ausnahmslos aller Wirbeltiere verlieren im ausdifferenzierten Zustand ihre Teilungsfähigkeit, und Verluste können nicht ersetzt werden. Im Zentralnervensystem des Menschen gehen ab 30. Lebensjahr täglich etwa 30000 bis 50000 Nervenzellen zugrunde.

Im typischen Fall besteht eine Nervenzelle aus einem kernhaltigen Zelleib von 6 bis 130 µm Durchmesser, dem *Perikaryon*, und den davon abgehenden Fortsätzen. Das Perikaryon enthält mit basischen Farbstoffen stark anfärbare Bezirke, sogenannte *Nissl- oder Tigroidschollen*, die sich elektronenmikroskopisch als dicht gelagertes Ergastoplasma erweisen.



**Abb. 4.5.6.** Nervengewebe; a Neuron; b Synapse; c markhaltiger Neurit (Querschnitt); 1 Schwannsche Zelle, 2 Axon, 3 Myelinscheide, 4 Perikaryon, 5 Dendrit

Nach der Anzahl ihrer Fortsätze unterteilt man die Nervenzellen in *unipolare* mit einem Fortsatz, *bipolare* mit zwei Fortsätzen, die bei *pseudounipolaren* eine kurze Strecke gemeinsam verlaufen und sich dann erst teilen, und *multipolare* Nervenzellen mit mehr als zwei Fortsätzen. Die

Mehrzahl gehört dem letzteren Typ an, bei dem man den *Neuriten*, einen sehr langen, in der Regel unverzweigten Fortsatz, und zahlreiche kurze, stark verästelte Ausläufer, die *Dendriten*, unterscheidet.

Im gesamten Zytoplasma der Nervenzelle einschließlich ihrer Fortsätze treten feinste Bündel von *Neurofibrillen* auf, die mögliche Stützstrukturen der stark verzweigten Nervenzelle sind. Neben Nervenzellen, die nur der Erregungsleitung dienen, treten bei Wirbellosen und bei Wirbeltieren Zellen auf, die ein *Neurosekret* produzieren. Das im Sekret enthaltene Hormon, z. B. Vasopressin, Oxytozin, wird über die Zellfortsätze in die Blutbahn abgegeben.

Der Neurit wird in der Regel von einer isolierenden Gliahülle umgeben, die durch Anlagerung von sogenannten *Schwannschen Zellen* entsteht und als *Schwannsche Scheide* bezeichnet wird. Bei *markhaltigen Nervenfasern* bilden die Schwannschen Zellen um jeweils einen Neuriten, der auch *Axon* genannt wird, eine spiralförmige Zytoplasmawicklung, die *Myelinscheide*. Dort, wo in der Längsausdehnung zwei Schwannsche Zellen aneinanderstoßen, entsteht eine unmyelinisierte Einkerbung, der *Ranviersche Schnürring*. Die Erregung springt bei diesen schnellleitenden Fasern von Schnürring zu Schnürring und wird als saltatorisch bezeichnet. Werden mehrere Axone ohne Myelinisierung von einer Schwannschen Zelle lediglich eingebettet, sind sie *marklos*. *Nackten Nervenfasern* oder Faserabschnitten fehlt jegliche Gliaumhüllung.

Mehrere Nervenfasern werden von einer Bindegewebehülle, dem *Perineurium*, zu einem *Nervenbündel* zusammengeschlossen. Bei Vereinigung mehrerer Bündel entsteht ein *Nerv*.

Die Endaufzweigungen des Neuriten bilden an ihren Berührungspunkten mit anderen Nervenzellen bzw. dem Erfolgsorgan vielgestaltige, aber charakteristische Grenzstrukturen, die *Synapsen*, und erst diese ermöglichen eine gerichtete Erregungsübertragung. *Synapsen* sind kolbige Endfüßchen des Axons mit zahlreichen Mitochondrien und synaptischen Bläschen. Letztere enthalten *Transmittersubstanzen*, d. h. Überträgerstoffe wie Azetylcholin, Adrenalin u. a., die, während einer Erregung freigesetzt, zur Erregung der angrenzenden Zelle führen.

Die *Neuroglia* füllt im Zentralnervensystem lückenlos die Räume zwischen den Nervenzellen aus, so daß bis auf submikroskopisch kleine Spalten keine Interzellularräume entstehen. Außer der Rolle eines Stützgewebes kommen der Neuroglia wichtige Aufgaben im Stoffwechsel der Nervenzellen zu. Über die weitere funktionelle Bedeutung ist sehr wenig bekannt. Die Vielgestaltigkeit der Glia, die z. B. in Form der Schwannschen Zellen als Isolator auftritt, als Ependym die Hohlräume im Zentralnervensystem der Wirbeltiere epithelartig auskleidet, an den Grenzflächen zu Gefäßen und Bindegewebe glöse Membranen bildet, ist Ausdruck ihrer unter-

schiedlich funktionellen Differenzierung.

## 4.6. Organe

Verschiedene Gewebe vereinigen sich bei Mehrzellern zu einem Organ, das innerhalb des Gesamtorganismus eine gut abgrenzbare Struktur mit einer bestimmten Funktion darstellt. Die Gewebe bilden das spezifische Baumaterial, das erst in der sinnvollen Vereinigung des Organs ein funktionsfähiges System, das „Werkzeug“ des arbeitenden Organismus, ergibt. Der Begriff Organ leitet sich vom griechischen *organon* (Werkzeug) ab.

Ein Organ setzt sich in der Regel aus einem funktionsbestimmenden *Hauptgewebe* zusammen, dessen Leistung durch mehr oder weniger zahlreiche *Nebengewebe* unterstützt oder überhaupt erst ermöglicht wird. Die Teilleistungen hochspezialisierter Einzelgewebe ergeben in ihrer Gesamtheit die *Organleistung*.

Ein tierisches Drüsenorgan ist z. B. erst funktionsfähig, wenn das Hauptgewebe, ein sekretorisches Epithel, durch Blutgefäße und Bindegewebe ergänzt wird. Das Blatt der Pflanze wird als Photosyntheseorgan in der Hauptsache von einem Assimilationsparenchym aufgebaut, dessen Tätigkeit aber in der typischen Ausprägung eines Kormophytenblattes nur im Zusammenhang mit der Epidermis und einem Leitgewebe möglich ist. Im Verlauf der phylogenetischen Entwicklung nimmt die Anzahl unterscheidbarer Gewebetypen in einem Organ zu, so daß komplexere Organe mit höheren Leistungen entstehen.

Die verschiedenen Leistungen der Sehorgane bei einzelnen Tiergruppen sind nicht von einer unterschiedlichen Leistung der Lichtsinneszellen abhängig. Hell-Dunkel-Sehen, Richtungssehen und Bildsehen sind jeweils qualitativ neuartige Leistungen, die sich allein aus der Anzahl und Anordnung der am Aufbau des Sehorgans beteiligten Gewebe, d. h. aus dessen Konstruktion, erklärt. Dabei können mit unterschiedlichen Konstruktionen durchaus gleichwertige Leistungen erreicht werden, wie z. B. ein Vergleich des Kameraauges der Wirbeltiere mit dem Komplexauge der Gliederfüßer zeigt.

Mit der zunehmenden Komplexität eines Organs wird die Funktion der am Aufbau beteiligten Gewebe bzw. der jeweiligen Einzelzellen spezifischer, und damit vereinfacht sich deren morphologische Gestaltung. Die Einschränkung auf ganz spezifische Aufgaben macht Zellen und Gewebe von den Leistungen anderer Gewebe abhängig.

Eine Nervenzelle im Zentralnervensystem eines Säugers ist z. B. auf die Erregungsleitung spezialisiert, während ihr Stoffwechsel ausschließlich auf die Bereitstellung von Glukose durch die Leber angewiesen ist. Ein Einzeller muß alle lebensnotwendigen Leistungen mit einer einzigen Zelle erbringen, die demzufolge in der Regel ein hochkompliziertes System darstellt. So ist die Vielfalt der Stoffwechselleistungen und der morphologischen Strukturen bei einem Geißeltierchen weitaus größer als bei einer Drüsenzelle im Wirbeltierorganismus.

So wie einzelne Gewebe sich immer mehr auf spezifische Leistungen einschränken, können auch Funktionen, die ursprünglich von einem Organ wahrgenommen wurden, im Verlauf der Entwicklung von mehreren getrennten Organen erfüllt werden. Deutlicher als bei Pflanzen ist bei tierischen Organismen mit der Entwicklung eine Zunahme von spezialisierten Einzelorganen zu beobachten.

Der Darm ist z. B. bei niederen Tieren einheitlich gestaltet und übernimmt gleichzeitig alle Funktionen, die mit der Aufbereitung der Nahrung im Zusammenhang stehen. Das Verdauungssystem der Wirbeltiere dagegen ist in charakteristische Abschnitte gegliedert, die sich aus einem einheitlichen Darmtrakt differenziert haben und die Organisation getrennter Organe, wie Magen, Darm, Leber und Bauchspeicheldrüse, erreichen.

Die Aufgliederung von Funktionsabläufen in Teilschritte, die von getrennten Organen übernommen werden, führt zu einer engen morphologischen und physiologischen Verknüpfung der Einzelorgane in einem *Funktions-* bzw. *Organsystem*.

Nach ihren Funktionen faßt man die tierischen Organe in folgenden Systemen zusammen:

**Darmsystem, Exkretionssystem, Respirationssystem, Zirkulationssystem, Fortpflanzungssystem, Skelettsystem, Muskelsystem, Nervensystem, Sinnessystem und endokrines System.**

Das Zusammenwirken bestimmter morphologischer Einheiten beschränkt sich aber keineswegs auf die Funktionseinheit in einem System. Verschiedene Systeme sind in ihrer Funktionsfähigkeit durchaus voneinander abhängig. So faßt man z. B. das Skelett- und Muskelsystem zum Bewegungsapparat zusammen. Ein Beugermuskel ist nach seiner Kontraktion auf einen antagonistisch wirkenden Streckermuskel angewiesen, der ihn in seine entspannte Ausgangslage zurückzieht. Diese Muskeln können aber wiederum nur arbeiten, wenn sie Ansatzflächen an einem Skelett finden, sei es in Form eines Außenskeletts bei Gliederfüßern oder eines Innenskeletts bei den Wirbeltieren.

Die hochleistungsfähige Flugmuskulatur einiger Insekten ist nur im Zusammenhang mit leistungsstarken Sinnesorganen denkbar. Das Komplexauge schnellfliegender Insekten hat gegenüber dem Wirbeltierauge ein hohes zeitliches Auflösungsvermögen, das den Tieren eine rasche Orientierung während des Fluges ermöglicht. Die ständig steigende Komplexität einzelner Organe, von Organsystemen oder von ganzen Funktionsabläufen in einem Organismus führt über eine ständige Leistungssteigerung zu qualitativ neuen Leistungen. Das Nervensystem von Wirbellosen, niederen Wirbeltieren und Säugetieren einschließlich des Menschen unterscheidet sich in seinen grundsätzlichen Bauelementen nicht. Die Leistungen werden aber immer umfassender und reichen von einem einfachen Reflexbogen über ein Gedächtnis, das bei Ringelwürmern, Weichtieren, Gliederfüßern und Wirbeltieren auftritt, bis zur Denkleistung des Menschen, die die Fähigkeit zur Abstraktion einschließt. Diese stufenweise erreichten, qualitativ neuen Leistungen werden nicht durch Erfindung eines neuen Baumaterials erreicht, sondern entstehen durch Vermehrung, Zentralisierung und Korrelation von Nervenzellen einheitlicher Leistung.

Solche hochgradig verknüpften Funktionssysteme sind einer funktionellen Analyse nur schwer zugänglich. Die Klärung von biologischen Grundfunktionen ist deshalb oft nur an einfach gebauten Organismen zu erreichen, und erst auf der Grundlage solcher Ergebnisse ist ein Einblick bzw. das Verständnis eines komplizierten Säugetierorganismus möglich. Zahlreiche biologische Kenntnisse von außerordentlicher Wichtigkeit und Tragweite, auch für den Menschen, sind durch Arbeiten an „einfach“ gebauten Organismen, wie Bakterien und Algen gewonnen worden

**Die Entwicklung von Organen erfolgt keineswegs immer in einer progressiven Form im Sinne einer Steigerung der Grundfunktion. Neben einer *Funktionseinschränkung* zugunsten einer *Spezialisierung* tritt auch der umgekehrte Fall einer *Funktionserweiterung* auf.**

Die Nase dient den Fischen z. B. als Geruchsorgan, bei Luftatmern kommt die Funktion der Atemluftaufnahme hinzu.

In engem Zusammenhang damit steht der *Funktionswechsel* eines Organs, der sich aus einer Nebenfunktion ableiten kann. Aus Nebengewebe können funktionsbestimmende Hauptgewebe werden und eine weitgehende Umgestaltung der Organstruktur mit sich bringen. Unter dem Abschnitt Muskulatur wurde bereits auf die Entstehung elektrischer Organe bei Fischen hingewiesen. Knochen des primären Kiefergelenks niederer Wirbeltiere rücken bei Säugetieren ins Innenohr und beteiligen sich an der Bildung von Gehörknöchelchen. Pflanzen reduzieren in Trockengebieten oft ihre reichlich Wasser verdunstenden Blätter. Zur Aufrechterhaltung der Assimilation flacht sich der Sproß zu einem assimilierenden blattähnlichen Flachsproß, Platykladium, ab. Die Blätter des fleischfressenden Sonnentaus bilden sich zu einem drüsigen Fang- und Verdauungsapparat um.

**Der Funktionswechsel eines Organs drückt sich immer in einer morphologischen Strukturveränderung aus.**

Erreichen Organe unterschiedlich entwicklungsgeschichtlicher Herkunft aufgrund gleicher Funktion eine weitgehende Ähn-

lichkeit, so werden sie als *analoge Organe* bezeichnet. So ist z. B. der Insektenflügel dem Vogelflügel analog, während der Vogelflügel und die Vorderextremität eines Säugetiers *homologe Organe* sind; sie sind phylogenetisch und ontogenetisch gleichen Ursprungs.

Unter veränderten Umweltverhältnissen werden Organe funktionslos und bilden sich zurück. Solche *rudimentären Organe* sind besonders charakteristisch für Parasiten und täuschen bei diesen Organismen nicht selten einen ursprünglich einfachen Bau vor. Auch Formen, die unter extremen Lebensbedingungen existieren, zeigen häufig einen Verlust bestimmter Organe. So können Pflanzen in Trockengebieten ihre Blätter reduzieren, während Wassertiere in absolut dunklen Höhlengewässern ihre Augen zurückbilden.

**Die Organbildung aus Geweben verläuft bei Pflanze und Tier nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten. Abhängig von ihrer Ernährungsweise streben Pflanzen mit ihren Organbildungen eine stark gegliederte äußere Oberfläche an, während Tiere eine stark gegliederte innere Oberfläche bilden.**

## 5. Chemische Zusammensetzung und Aufbau des menschlichen Körpers

Der Mensch hat eine Sonderstellung auf diesem Planeten. Die Menschen der Gegenwart bilden im Sinne der Ontologie und der zoologischen Systematik eine Art, die den Namen *Homo sapiens*, d.h., „der vernunftbegabte Mensch“, nicht verdient. Von *Albert Einstein*, Physiker und Nobelpreisträger, stammt die Erkenntnis: „Zwei Dinge scheinen unendlich, das Universum und die menschliche Dummheit“. Beim Universum war er sich nicht sicher.

Wie viele Menschen gibt es, die seine „Spezielle Relativitätstheorie“ begriffen haben, und wie viele Menschen haben seine „Allgemeine Relativitätstheorie“ in ihrer mathematischen Form je nachgerechnet? Man kann sie an den Fingern einer Hand abzählen.

Das Relativitätsprinzip: „Es ist unmöglich, aufgrund irgendwelcher medizinischen Erscheinungen ein absolutes Bezugsorgan zu bestimmen“, d. h., „alle Krankheiten sind in bezug auf alle medizinischen Vorgänge völlig gleichwertig“. Das bringen Sie mal einem deutschen Arzt oder Politiker bei - die kapierten das nie.

### 5.1. Die chemischen Bestandteile des menschlichen Körpers

Die besondere stoffliche Zusammensetzung des menschlichen Körpers ist die Voraussetzung für den Ablauf aller Lebensprozesse. Ein Erwachsener von 70 kg Körpermasse besteht aus rund 46 l Wasser und 24 kg fester Körpermasse, die sich aus etwa 12 kg Eiweißstoffen, 7,5 kg Fett, 3,8 kg Salzen und 0,7 kg Zucker zusammensetzt.

**Tab. 5.1.1.** Organische und anorganische Stoffgruppen in %

	Erwachsener	Neugeborenes
Wassergehalt	60 ... 70	66 ... 70
Kohlenhydrate	0,6	0,6
Fett	10	7
Eiweiße	15	12
Minerale	5	3

**Tab. 5.1.2.** Die elementare Zusammensetzung des menschlichen Körpers in %

Sauerstoff	56,1	Phosphor	1
Kohlenstoff	28	Schwefel, Eisen,	
Wasserstoff	9,3	Natrium,	
Stickstoff	2	Helium,	
Kalzium	2	Magnesium,	
Chlor	2	Fluor	0,6

**Tab. 5.1.3.** Prozentualer Aufbau des Knochen- und Zahngewebes; ein Bruchteil des Kalziums im Skelett und in den Zähnen ist als Fluorverbindung vorhanden; eine optimale Menge Fluor macht die Zähne widerstandsfähiger gegen Karies

	Knochen	Zahnbein	Zahnschmelz
organische Stoffe	32	29,1	6,9
Kalk, CaO	32	38,2	50,2
Magnesium, MgO	1	1,5	0,7
Phosphorpentoxid P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35	30,2	40,7

**Tab. 5.1.4.** Prozentualer Wassergehalt einiger Organe; das Wasser ist innerhalb der Zellen und Gewebe meist kolloidal gebunden; nur ein kleiner Teil ist tropfbar flüssig, etwa 3 Liter im Blut, 1 Liter in der Lymphe

Blut	78 ... 84	Fettgewebe	7 ... 40
Muskel	75 ... 80	Zahnbein	10
Skelett	22 ... 34	Zahnschmelz	0,2

### 5.2. Skelett und Gebiß

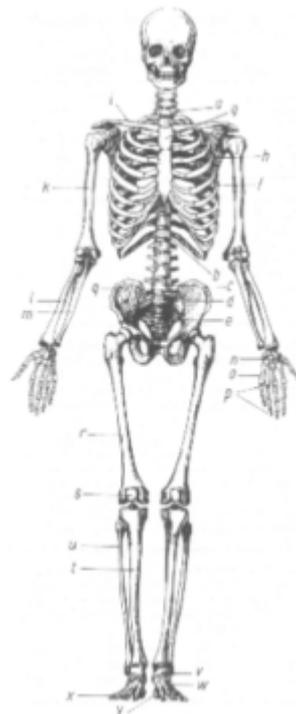
Skelett und Gebiß sind Hartgebilde des menschlichen Körpers mit typischem Aufbau der Zwischenzellsubstanz, in die Kalksalze eingelagert sind.

**5.2.1. Knochen.** Das menschliche Skelett besteht aus 223 Knochen, die Stütz- und Tragfunktionen haben. Ihre Grundform ist anlagebedingt, jedoch sind sie durch Muskelzug und -druck, durch das Körpergewicht u. a. während des ganzen Lebens modellierbar. Sie entstehen aus Gewebeverdichtungen gegen Ende des zweiten Schwangerschaftsmonats. Die Dichte des Knochens beträgt beim Neugeborenen 1,67, beim Erwachsenen 1,85.

Die Festigkeit der Knochen ist unterschiedlich; z. B. hält die Knie- scheibe einen Druck oder Zug von 600 kp aus, der Oberschenkel- knochen 1.500 kp und das Schienbein 1.650 kp.

**5.2.2. Gelenke.** In Gelenken sind zwei oder mehrere Knochen beweglich verbunden. Beim *Sattelgelenk*, z. B. dem Daumen- grundgelenk, ist eine Bewegung in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen möglich, beim *Drehgelenk* zwischen 1. und 2. Halswirbel und zwischen Speiche und Elle unterhalb des Ellen- bogengelenks ist eine begrenzte Rotation möglich. *Wackelgelenke* in den Handwurzel-Mittelhand-Gelenken ermöglichen nur geringe Verschiebungen. Beim *Kugelgelenk*, z.B. dem Schultergelenk, be- wegt sich ein kugelförmig gestaltetes Gelenkende, der Gelenk- kopf, in einer Hohlform, der Gelenkpfanne, beim *Scharniergelenk*, z. B. dem Kniegelenk, ein walzenförmiges Gelenkende, die Rolle, in einem Walzenmantel. Die Berührungsflächen sind über- knorpelt, damit sie besser aneinander gleiten; eine Gelenkkapsel umschließt beide Teile, eine Flüssigkeit (Synovia) bildet ein Gleit- mittel.

Die wichtigsten *Knorpel* sind die Nasenknorpel der Scheidewand und der Nasenspitze, der Ohrknorpel, die Kehlkopfknorpel, der Luftröhrenknorpel, die Rippenknorpel sowie die Zwischenwirbel- scheiben. Zu den Kehlkopfknorpeln gehören der Schild-, der Ring-, der Gießbecken und der Kehldeckelknorpel.



**Abb. 5.2.1.** Menschliches Skelett

*Knochen des Rumpfes; a* letzter Halswirbel, *b* letzter Brustwirbel, *c* vorletzter Lendenwirbel, *d* letzter Lendenwirbel, *e* Kreuzbein und Steißbein, *f* Rippen, *g* Brustbein

*Schultergürtel und Arme; h* Schulterblatt, *i* Schlüsselbein, *k* Oberarmknochen, *l* Speiche, *m* Elle, *n* Handwurzelknochen, *o* Mittelhandknochen, *p* Fingerknochen

*Beckengürtel und Beine; q* Becken, *r* Oberschenkelknochen, *s* Knie- scheibe, *t* Schienbein, *u* Waden- bein, *v* Fußwurzelknochen, *w* Mit- telfußknochen, *x* Zehenknochen, *y* Fersenbein

**5.2.3. Gebiß.** Das *Milchgebiß* besteht aus 20 Zähnen; jeder Kiefer enthält 4 Schneide- oder Vorderzähne, 2 Eckzähne und

4 kleine oder falsche Backen- oder Lückzähne.

Das *bleibende Gebiß* besteht aus 32 Zähnen; jeder Kiefer enthält 4 Schneide- oder Vorderzähne, 2 Eckzähne, 4 kleine oder falsche Backenzähne (Lückzähne) und 6 echte Backen- oder Mahlzähne.

Zahnformel:

$\frac{2}{1} \frac{1}{2} \frac{2}{1} \frac{3}{3}$   
Milchgebiß  $\frac{2}{1} \frac{1}{2} \frac{2}{1} \frac{3}{3}$ , bleibendes Gebiß  $\frac{2}{1} \frac{1}{2} \frac{2}{1} \frac{3}{3}$

Die *Zeit des Zahndurchbruchs* erstreckt sich mit großer Schwan-

kunftsweite beim Milchgebiß etwa vom 4. bis 34. Lebensmonat, beim bleibenden Gebiß etwa vom 6. bis 30. Lebensjahr.

Jeder Zahn besteht aus *Zahnbein*, dem Dentin, einem besonders harten Knochen mit etwa 70% anorganischen Substanzen, das von feinen Kanälchen durchzogen wird. Es sitzt mit der ein- oder mehrästigen Wurzel in einer Höhlung des Kieferknochens (Alveole) und ragt mit der *Krone* aus dem Zahnfleisch hervor. Die *Zahnhöhle* in seinem Innern ist von Bindegewebe, dem *Zahnmark* (Pulpa), ausgefüllt. Durch feine Wurzelkanäle, die an den Spitzen der Wurzeläste münden, treten Blutgefäße und Nerven in die Zahnhöhle ein. Die *Zahnwurzel* besteht außen aus Zement, einer Knochensubstanz, dem Zahnkitt, und ist von der Wurzelhaut umgeben, die am Rand der Alveole in das Zahnfleisch übergeht. Die *Zahnkrone* ist von Schmelz (Email) überzogen. Dieses wasserärmste Gewebe des menschlichen Körpers ist durch seine außerordentliche Härte in der Lage, großen Druckkräften standzuhalten. Beim Kauen beträgt die Druckkraft im Schneidezahngebiet bis 20 kp, im Backenzahngebiet bis 72 kp. Der Kraftbedarf zum Zerkleinern von gebratenem Fleisch beträgt 10 bis 15 kp, von hartem Backwerk 20 bis 50 kp und von harter Brotrinde über 100 kp; er ist nur durch wiederholte Drücke zu bewältigen.

### 5. 3. Muskulatur

Die gewöhnlich als „Fleisch“ bezeichnete Muskulatur macht mit etwa zwei Fünftel die Hauptmasse des Körpers aus. Die Muskeln sind von faseriger Struktur und in einzelnen Strängen angeordnet. Dank ihrer Fähigkeit zur Kontraktion können sie Gelenke bewegen sowie Hohlräume verengen und erweitern. Jede Bewegung im Körper bedarf der Mitwirkung von Muskeln und natürlich Nerven, sei es mit oder ohne unseren Willen.

Als quergestreifte *Skelettmuskulatur* verbinden die Muskeln die Knochen untereinander und ermöglichen ihre Bewegungen; die Übertragung der Zugkräfte auf die Knochen erfolgt durch die *Sehnen*, zähe, nicht elastische, bandartige Gebilde, in die die Muskelfasern an ihren Enden übergehen. Die Anzahl der Skelettmuskeln beträgt rund 500.

Die glatten *Eingeweidemuskeln* umziehen die Körperhöhlräume in dichten Schichten; die quergestreifte und in sich verflochtene *Herzmuskulatur* treibt den Blutkreislauf an. Dabei unterliegt nur die Skelettmuskulatur, vom Zentralnervensystem aus gesteuert, dem menschlichen Willen.



**Abb. 5.3.1.** Die äußere Skelettmuskulatur des Menschen

**Kopf und Hals;** 1 Stirnmuskel, 2 Schließmuskel des Auges, 3 Schließmuskel des Mundes, 4 Schläfenmuskel, 5 Kaumuskel, 6 Kopfnicker, 7 Trapezmuskel (Teil)

**Brust und Bauch;** 8 Großer Brustmuskel, 9 Großer Sägemuskel, 10 Gerader Bauchmuskel, 11 Schräger Bauchmuskel

**Arme;** 12 Schultermuskel, 13 Zweiköpfiger Armmuskel (Bizeps), 14 Innerer Armbeuger, 15 Dreiköpfiger Armstrecker (Trizeps), 16 Beugemuskeln, 17 Streckmuskeln für die Finger, 18 Aufwärtswender

**Beine;** 19 Streckmuskeln, 20 Drehmuskeln, 21 Gerader Schenkelmuskel, 22 Innerer Schenkelmuskel, 23 Äußerer Schenkelmuskel, 24 Schneidemuskel, 25 Vorderer Schienbeinmuskel, 26 Wadenmuskel, 27 Langer Zehenstrecker, 28 Beuger der großen Zehe

**5.3.1. Muskelspannung.** Auch in der Ruhelage steht jeder Muskel unter einer Grundspannung, einer Art Bereitschaft zur Leistung, *Tonus* genannt. Bei der Leistung verkürzt sich seine Länge und verdickt sich sein Querschnitt. Zur Deckung des Energiebedarfs tritt ein Verbrauch insbesondere an Sauerstoff und *Glykogen* ein. Dabei ermüden Muskeln, die nur für vorübergehende Leistungen beansprucht werden, rascher als Muskeln, die wie die glatte Muskulatur zur Dauerverkürzung befähigt sind und nur sehr langsam oder gar nicht ermüden.

**5.3.2. Leistungsfähigkeit der Muskeln.** Die mit der Muskel-tätigkeit verbundene Beschleunigung der Atmung bewirkt die Zufuhr von Sauerstoff und die Ausscheidung von Kohlendioxid. Die funktionelle Eigenart des Muskels besteht in der Fähigkeit, chemische Energie in mechanische umwandeln zu können.

Die *absolute Muskelkraft* ist die höchstmögliche Kraftentwicklung, berechnet auf 1 cm<sup>2</sup> des Muskelquerschnitts. Sie beträgt beim Menschen 5 bis 12 kp, beim Frosch 2 bis 3 kp.

Als *Wirkungsgrad* oder Nutzeffekt bezeichnet man das Verhältnis der in nutzbare Arbeit verwandelten zur aufgewendeten Energie. Er beträgt beim Muskel 25 bis 35%, bei der Dampfmaschine 10 bis 15 % und beim Dieselmotor 35 bis 40%.

**5.3.3. Muskelkontraktion.** Bei Reizung beginnt das Zusammenziehen, die Kontraktion, eines Muskels an einem Punkt und pflanzt sich von dort wellenförmig fort (Kontraktionswelle). In der glatten, also der nicht dem Willen unterworfenen, sondern vom sympathischen Nervensystem beeinflussten Muskulatur (Eingeweidemuskulatur) breitet sich die Kontraktionswelle in 1 Sekunde nur 10 mm aus, in der Skelettmuskulatur dagegen 10 bis 15 m. Die schnellsten Muskeln sind die der lautbildenden Organe.

### 5.4. Haut und Hornbildungen

Die Haut und ihre Anhangsgebilde, besonders auch Behaarung und weibliche Brustdrüsen, stellen ein „*Signalorgan*“ dar, d. h., sie lösen einen Schlüsselreiz aus, nach dem sich viele unserer sozialen Verhaltensweisen richten.

**5.4.1. Bau der Haut.** Die Haut besteht aus Oberhaut, Lederhaut und dem Unterhautgewebe und überdeckt als feste und elastische Schutzhülle den ganzen Körper. Die tote äußere Schicht der Oberhaut, die *Hornhaut* oder *Epidermis*, schützt zugleich gegen das Eindringen von Bakterien. Durch die Talg- und Schweißdrüsen wirkt die Haut als Absonderungsorgan für Schlackenstoffe. Blutgefäße und Schweißsekretion sorgen für den Wärmeausgleich; sie schützen gegen Überhitzung, eine Drosselung der Hautdurch-



**Abb. 5.4.1.** Schnitt durch die menschliche Haut; a Haar, b Schweißdrüse, c Gefäße, d Haarzybel und Haarpapille, e Talgdrüse, f kolbenförmige Nervenendapparate

blutung aber kann Wärmeverluste verhindern. Als Sinnesorgan wirkt die Haut durch die Nervenendigungen, die in großer Anzahl über die ganze Fläche verteilt sind. In den tiefsten Hautschichten können 10 bis 15 kg Fettgewebe abgelagert sein, so daß die Haut auch als Speicherorgan fungiert. Ein Quadratmeter Haut enthält rund 6 Millionen Zellen und 1.500 Sinneskörperchen, 200

Schmerzpunkte, 500 Schweißdrüsen, durchschnittlich 25 Druckpunkte, auf der Hand aber 100 bis 200, 15 Talgdrüsen, im Gesicht 12 Kältepunkte und am Finger 2 Wärmepunkte.

**5.4.1.1. Die Papillarmuster oder Dermatoglyphen** auf den Fingern und Zehen und auf den Hand- und Fußflächen entstehen durch Leistenbildungen der verhornenden Oberhaut; sie lassen sich in Typen einteilen, sind aber bei jedem Menschen verschieden und haben daher für die Kriminalistik und andere Zwecke der Identifikation große Bedeutung. Die Mustertypen sind auch in den verschiedenen Regionen der Erde in unterschiedlicher Häufigkeit verteilt.

**5.4.1.2. Die Hautfarbe** der verschiedenen Menschenrassen beruht auf einer unterschiedlich starken Einlagerung von *Pigment*, des Farbstoffs *Melanin*, in der Oberhaut. Die Farbe schwankt je nach Dichte der einzelnen Pigmentkörner vom hellsten Gelb bis zum dunkelsten Braun. Neugeborene sind bei allen Rassen pigmentärmer und erscheinen daher bei den weißen Rassen mehr oder weniger rot, bei den schwarzen Rassen dunkelrot. Bei sehr dunklen Rassen ist auch die Schleimhaut der Lippen dunkelviolett gefärbt. Am dunkelsten sind stets die Brustwarzen, die Haut der Achselhöhle und der äußeren Geschlechtsorgane und dann die dem Sonnenlicht ausgesetzten Körperteile. Am hellsten sind Hand- und Fußflächen und die Beugeseiten der Glieder. Umwelteinflüsse, z. B. Sonnenbestrahlung, können die rassebedingte Pigmentstärke verändern.

**5.4.1.3. Die Schweißdrüsen** sind die Poren der Haut. Sie scheiden Stoffwechselschlacken aus und regulieren den Wasserhaushalt. Ihre Gesamtzahl beträgt etwa  $4 \cdot 10^6$ . Auf  $1 \text{ cm}^2$  Hautfläche entfallen:

Hohlhand, Fuß (Unterseite)	300 ...	400
Handrücken		200
Hals		150
Stirn		170
Vorderarm (Beugeseite)		150
Brust und Bauch	50 ...	100
Vorderarm (Streckseite)		120
Fußrücken		120
Ober- und Unterschenkel		70
Wangen		75
Nacken, Rücken, Gesäß		50

**5.4.2. Haare und Nägel.** Haare und Nägel sind elastische faden- bzw. plattenförmige Hornbildungen der Haut.

**5.4.2.1. Haare** finden sich als Wollhaar, von wenigen Stellen abgesehen, auf der ganzen Körperoberfläche. An den Augenbrauen und Wimpern, an Nase und Ohr treten *Kurzhaare* auf und auf dem Kopf sowie als Bart die *Langhaare*. Die nach der geschlechtlichen Reifung entstandene Behaarung der Schamgegend und der Achselhöhlen und die derbere Behaarung des Rumpfes und der Extremitäten wird als *Terminalhaar* bezeichnet.

Die Dicke des menschlichen Haares schwankt zwischen 0,07 und 0,17 mm, je nach Körpergegend und Farbe. Ein Haar kann ein Gewicht von etwa 60 p tragen und ist dehnbar.

Die Gesamtzahl der Haare auf dem Kopf liegt etwa zwischen 80.000 und 140.000. Das Kopfhaar wächst täglich 0,2 bis 0,3 mm, das Barthaar 0,4 bis 0,6 mm. - Die *Augenwimpern* begrenzen als Schutz vor Fremdkörpern die Lidränder; ihre Anzahl beträgt am Oberlid 140 bis 200, am Unterlid 50 bis 100.

**5.4.2.2. Nägel** schützen die sehr empfindlichen Fingerendglieder; sie bestehen aus verhornten Zellen. Die Zehennägel sind stärker als die Fingernägel und wachsen infolgedessen langsamer; der tägliche Zuwachs eines Fingernagels beträgt 0,086 mm, der eines Zehennagels 0,05 mm.

## 5.5. Nervensystem

Das Nervensystem kann durchaus begründet mit einer Datenverarbeitungsmaschine gewaltigen Leistungsvermögens verglichen

werden. Es besteht aus ungefähr 15 Milliarden *Neuronen*, Nervenzellen mit allen ihren Fortsätzen. Sie sind die wesentlichen strukturellen und funktionellen Elemente des Nervensystems. Ihre Verschaltung ist höchst komplex und kann zudem noch ständig variiert werden.

Die Aufnahme der „Daten“ aus Umwelt oder Körperinnerem erfolgt durch Reize, die in eigens dafür konstruierten Sinneszellen, in Ausnahmefällen auch direkt in freien Nervenendigungen, einen elektrochemischen Membranprozeß, die Erregung, veranlassen. Vom *peripheren Nervensystem* werden die Erregungen zum *Zentralnervensystem*, dem Rückenmark und Gehirn, geleitet. Die dafür verwendeten Nerven werden nach ihrer Leitungsrichtung als *zentripetal* oder *afferent* bzw. nach der Art der von ihnen beförderten Informationen als sensibel bezeichnet. Im Zentralnervensystem erfolgt die Verarbeitung und häufig auch die Speicherung der Information. Ebenfalls durch das periphere Nervensystem werden vom Zentralnervensystem weg, *zentrifugal* oder *efferent*, Erregungen zu den *Erfolgsorganen* geleitet. Nerven, die zur Muskulatur ziehen, bezeichnet man als *motorisch*, solche, die Drüsen innervieren, als *sekretorisch*. Derjenige Anteil des Nervensystems, der die Umweltbeziehung des Organismus, die Sinneswahrnehmung und die Bewegung der quergestreiften Skelettmuskulatur ermöglicht, wird als *animales Nervensystem* dem *vegetativen Nervensystem* gegenübergestellt, das die Beziehung zwischen Zentralnervensystem und den Drüsen, der glatten Muskulatur der Hohlorgane, dem Herzen und allen anderen inneren Organen herstellt.

### 5.5.1. Bauprinzipien des Nervensystems

Es gibt nahezu keinen Bereich im Organismus, in dem nicht nervöse Strukturen anzutreffen wären. In den allermeisten Fällen handelt es sich nur um die langen Fortsätze der Nervenzellen, die *Neuriten* (Nervenfasern, Axonen), die zu *Nerven* gebündelt sind. Die eigentlichen *Nervenzellkörper*, die Perikaryon (Sing. das Perikaryon), sind im Zentralnervensystem zusammengefaßt. Ein geringer Teil der Neuronen liegt jedoch völlig außerhalb des Zentralnervensystems. An die Peripherie verlagert, bilden sie *Nervenknoten* (Ganglien). In der Darmmuskulatur vereinen sie sich zu diffusen Nervenzellnetzen (Plexus). Der größte Teil der Nervenzellen aber liegt mit allen seinen Fortsätzen, den Neuriten und den sich in der Nähe des Perikaryons stark verästelnden *Dendriten*, vollständig im Zentralnervensystem eingebettet.

Mit wenigen Ausnahmen sind die Neuronen stets mit *Gliazellen* vergesellschaftet, die eine Mittlerrolle spielen für den Stofftransport zwischen Blut und Nervenzelle. Darüber hinaus verhindern bestimmte Gliazelltypen das Übergreifen von Erregungen auf benachbarte Axonen, indem sie diese mit lipidreichen Membranen umwickeln. Die auf solche Weise „*markhaltig*“ gewordenen Axonen verleihen den Nerven eine gelblich-weiße Färbung. Ebenso zeichnen sich diejenigen Bereiche innerhalb des Zentralnervensystems aus, die vorwiegend aus Nervenleitungsbahnen, kurz Bahnen, bestehen. Sie werden als *weiße Substanz* der *grauen*, in der die Perikaryon lokalisiert sind, gegenübergestellt.

### 5.5.2. Struktur des Zentralnervensystems

Das Zentralnervensystem bildet sich auf frühembryonaler Stufe aus dem *Neuralrohr*, das auf der Rückenseite des Keimlings aus der Neuralrinne durch Zusammenwachsen ihrer Ränder entstanden ist. Beim Erwachsenen ist in den meisten Abschnitten des Rückenmarks ein Rest des ehemaligen Neuralrohrvolumens als *Zentralkanal* erhalten geblieben. Im Gehirn jedoch erfährt es eine Erweiterung zu *Ventrikeln* (Hirnkammern) unterschiedlicher Größe.

Besondere Stellen in der Ventrikelwandung produzieren eine lymphähnliche, klare Flüssigkeit, den *Liquor*, der das gesamte Ventrikelsystem ausfüllt. Über Löcher im Dach des IV. Ventrikels gelangt er in den Raum zwischen Zentralnervensystem und Schädelkapsel bzw. Wirbelkanal, so daß das Zentralnervensystem gleichsam in Liquor schwimmt, wodurch es gegen schädigende mechanische Einwirkungen geschützt ist. Das Zentralnervensystem ist von mehreren Schichten bindegewebiger Häute um-

hüllt, die Sitz schwerer Entzündungen (Hirnhautentzündung) sein können.

**5.5.2.1. Das Rückenmark.** Das Rückenmark liegt im Wirbelkanal der Wirbelsäule, ist ungefähr 45 cm lang und 1 bis 1,4 cm dick. Vorn und hinten treten beiderseits *Nervenwurzeln* aus, die sich beim Durchtritt durch die Zwischenwirbellöcher zu den insgesamt 31 *Rückenmarksnerven* vereinigen.

Auf der Querschnittsfläche des Rückenmarks ist zu erkennen, daß die graue Substanz, die die Nervenzellkörper enthält, zentral gelegen ist und an eine Schmetterlingsfigur erinnert. Die „Flügel“ werden als *Hörner* bezeichnet. Die Vorderhörner enthalten die *motorischen Nervenzellen*, deren Neuriten die vorderen Nervenwurzeln bilden und schließlich an der Muskulatur enden. Die Zellkörper der *sensiblen Nervenzellen* dagegen, deren Neuriten dem Zentralnervensystem die von den Sinnesorganen stammenden Erregungen zuleiten, liegen außerhalb des Rückenmarks in den Zwischenwirbellöchern; ihre Ansammlungen werden als *Spinalganglien* bezeichnet. Von ihnen gehen die Hinterwurzeln aus, die in die Hinterhörner des Rückenmarks einstrahlen. Um die graue Substanz herum liegt die weiße, die vorwiegend aus Bahnen markhaltiger Neuriten besteht. Ein Teil der Bahnen ist *absteigend*, d. h., er kommt vom Gehirn, strahlt in jeweils unterschiedlicher Höhe in die graue Rückenmarksubstanz ein und endet an den motorischen Vorderhornzellen. Eine andere Gruppe von Leitungsbahnen ist *aufsteigend*. Ihre Neuriten stammen entweder direkt von den sensiblen Nervenzellen der Spinalganglien oder von den Hinterhornzellen und enden im Gehirn.

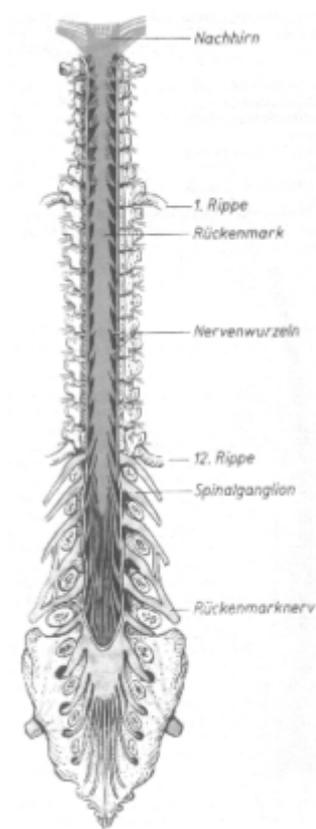


Abb. 5.5.1. Rückenmark; der Wirbelkanal ist von hinten geöffnet

Daneben weist das Rückenmark einen *Eigenapparat* von Neuronen auf, die weder mit der Peripherie noch mit dem Gehirn Verbindung haben, sondern die Nervenzellen im Rückenmark untereinander verschalten.

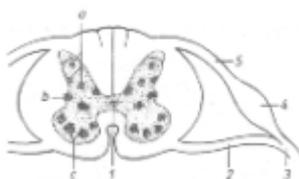


Abb. 5.5.2. Querschnitt durch das Rückenmark; a sensible Zellgruppen im Hinterhorn, b vegetative Zellgruppen im Seitenhorn, c motorische Zellgruppen im Vorderhorn; 1 Zentralkanal, 2 Vorderwurzel, 3 Rückenmarksnerv, 4 Spinalganglion, 5 Hinterwurzel

**5.5.2.2. Das Gehirn.** Das Gehirn wird vom knöchernen Hirnschädel geschützt; es besteht aus fünf Teilen.

**5.5.2.2.1. Nachhirn.** Das Rückenmark geht im Bereich des ersten Halswirbels und des Hinterhauptlochs ohne scharfe Grenze in das Gehirn über. Der erste Hirnabschnitt ist dem Rückenmark noch sehr ähnlich und wird als *Nachhirn*, verlängertes Mark, Myelencephalon oder *Medulla oblongata* bezeichnet. Der Zentralkanal des Rückenmarks erweitert sich im Nachhirn zum IV. Ventrikel. Neben einer Vielzahl von Leitungsbahnen, die von höheren Hirnzentren zum Rückenmark oder in umgekehrter Richtung ziehen, enthält das Nachhirn Nervenzellansammlungen, sogenannte *Kerne*, die u. a. die Atem-, Herz- und Kreislauffähigkeit regulieren.

Von den insgesamt 12 *Hirnnerven*, die im Gegensatz zu den Rückenmarksnerven direkt dem Gehirn entspringen und insbesondere die Kopforgane innervieren, haben die Hirnnerven V-XII ihren Ursprung in den Kernen des Nachhirns, die sich jedoch bis in die Höhe des folgenden Hirnabschnitts fortsetzen.

**5.5.2.2.2. Hinterhirn.** Dem Nachhirn schließt sich das Hinterhirn (Metencephalon) an. Es besteht aus der *Brücke* (Pons) und dem *Kleinhirn* (Zerebellum). Die in der Brücke gelegenen Kerngebiete dienen vorwiegend der Umschaltung von Bahnen, die vom Großhirn zum Kleinhirn ziehen. Das Kleinhirn weist wie das Großhirn eine gefurchte Rinde auf, d. h. eine äußere Schicht grauer, also nervenzellhaltiger Substanz. Hauptaufgaben des Kleinhirns sind die Automatisierung und Koordination von Bewegungen sowie die Aufrechterhaltung und Regulation des Körpergleichgewichts und des Muskeltonus.

**5.5.2.2.3. Mittelhirn.** An die Brücke schließt sich das Mittelhirn (Mesencephalon) an. Das Dach des Mittelhirns wird auf Grund charakteristischer Wölbung als *Vierhügelplatte* bezeichnet. Die Nervenzellen der beiden vorderen Hügel sind u. a. Ursprung der optischen, die der beiden hinteren Hügel Ursprung der akustischen Reflexbahn, die das schnelle Reagieren auf optische bzw. akustische Reize ermöglichen. Der zentrale Anteil des Mittelhirns, die *Haube* (Tegmentum), enthält u. a. die Kerne für die Augenmuskulbewegung und den *roten Kern*, der Verbindungen mit Groß- und Kleinhirn hat und der wichtigste Ursprung von zum Rückenmark ziehenden Bahnen ist, die unwillkürliche und automatisierte Bewegungen ermöglichen. Am Grunde des Mittelhirns ziehen in Form der beiden *Hirnschenkel* dicke, vom Großhirn kommende Leitungsbahnen zu tiefer gelegenen Abschnitten, zur Brücke, zum Nachhirn und zum Rückenmark.

**5.5.2.2.4. Zwischenhirn.** Der letzte Hirnabschnitt vor dem Großhirn wird vom Zwischenhirn (Diencephalon) gebildet. Sein umfangreichster Teil, der *Thalamus*, besteht aus großen Kernen, die der Umschaltung von Bahnen vom und zum Großhirn dienen. Aus dem Dach des Zwischenhirns wölbt sich nach hinten die *Zirbeldrüse* (Epiphyse). Der untere Abschnitt des Zwischenhirns wird *Hypothalamus* genannt und enthält Kerngebiete mit vegetativer Funktion, d. h. solche, die der Wärmeregulation, dem Wasser- und Salzhaushalt, der Darm- und Blasen-tätigkeit und den Sexualfunktionen dienen. Bei experimenteller Reizung bestimmter hypothalamischer Gebiete lassen sich auch Schlaf („Schlafzentrum“) und emotionale Reaktionen, wie Wut und Ängstlichkeit, hervorrufen. Darüber hinaus ist der Hypothalamus als

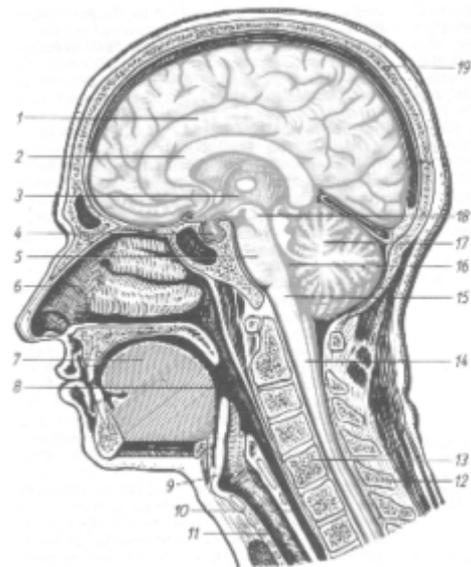


Abb. 5.5.3. Längsschnitt durch den Kopf; 1 Großhirn, 2 Balken, 3 Zwischenhirn, 4 Hypophyse, 5 Brücke, 6 Nasenhöhle, 7 Zunge, 8 Rachenhöhle, 9 Kehlkopf, 10 Speiseröhre, 11 Luftröhre, 12 Dornfortsatz, 13 Wirbelkörper, 14 Rückenmark, 15 Nachhirn, 16 IV. Ventrikel, 17 Kleinhirn, 18 Mittelhirn, 19 Schädeldecke

Nahtstelle zwischen nervöser und hormonaler vegetativer Regulation anzusehen. Eine gestielte Aussackung des Hypothalamus bildet den Hinterlappen der *Hypophyse*, der Hirnanhangdrüse.

**5.5.2.2.5. Großhirn.** Es ist beim Menschen und den höheren Wirbeltieren der größte Hirnteil und wird auch als Telenzephalon oder Zerebrum bezeichnet. Das Großhirn besteht aus zwei Hälften, den *Hemisphären*, die durch eine dicke Platte von Nervenfasern, den *Balken*, in Verbindung stehen. Die Oberfläche der *Rinde* ist durch *Furchen*, deren Fläche 2/3 der Gesamtoberfläche ausmacht, stark vergrößert. Im Innern des Großhirns, in der weißen Substanz, befinden sich ebenfalls Nervenzellen, die zu großen Kerngebieten, den *Basalganglien*, zusammengeschlossen sind und die für Automatie, Koordination, Antrieb und Bremsung von Bewegungen verantwortlich sind; auch angeborene Mitbewegungen und die Mimik sind ihrer Funktion zuzuschreiben. Infolge der Ausdehnung des menschlichen Großhirns sind bis auf das Kleinhirn alle übrigen Hirnteile, die begrifflich als *Hirnstamm* zusammengefaßt werden, mehr oder weniger verdeckt.

### 5.5.3. Das Funktionsprinzip des Nervensystems

Die Leistungen des Nervensystems kommen erst durch die Verschaltung seiner Elemente, der Neuronen, durch ihre Integration zu einem harmonischen Ganzen, zustande.

**5.5.3.1. Das Neuron.** An den Dendriten und am Zellkörper jeder Nervenzelle setzen Hunderte, Tausende, sogar Zehntausende Endknöpfe von Neuriten anderer Nervenzellen an und bilden *Synapsen*, Schaltstellen, aus.

Die Endknöpfe bilden einen Überträgerstoff, einen *Transmitter*, der, sobald eine Erregung (Aktionspotential) über ihren Neuriten einläuft, in den Spalt zwischen Endknopf und Nervenzellkörper bzw. Dendrit abgegeben wird. Transmittersubstanzen von Endknöpfen erregend wirkender (*exzitatorischer*) Neuronen verursachen eine zunächst örtlich begrenzte Depolarisation. Unmittelbar vorausgegangene Depolarisationen oder gleichzeitig über andere exzitatorische Synapsen eintreffende Erregungen addieren sich in ihrer Wirkung auf das Membranpotential der Nervenzelloberfläche, d. h., sie bewirken eine *zeitliche* bzw. *räumliche Summation*. Dem gegenüber erhöhen Transmitter von Endknöpfen hemmender (*inhibitorischer*) Neuronen das Membranpotential der Nervenzelle; sie bewirken ihre Hyperpolarisation. Auf diese Weise treten sie in Konkurrenz zu den exzitatorischen Neuronen.

An jeder Nervenzelle laufen über eine Vielzahl von *Synapsen* ständig zur gleichen Zeit erregende und hemmende Impulse ein, deren Wirkung sich auf der Nervenzelloberfläche addiert bzw. subtrahiert, also gleichsam verrechnet wird. Sofern die exzitatorische Synapsenwirkung, die auch als *Bahnung* bezeichnet wird, überwiegt und die Depolarisation der Nervenzelle einen solchen Umfang erreicht, daß über Stromschleifen das Ursprungsgebiet ihres Neuriten erreicht wird. bildet dieser nach dem Alles-oder-Nichts-Gesetz von einem bestimmten Schwellenwert an ein Aktionspotential aus, das in peripherer Richtung fortgeleitet wird.

**5.5.3.2. Neuronale Schaltungen.** Die Aktionspotentiale werden in den Neuriten mit Geschwindigkeiten von mehreren Metern bis zu 120 m/s fortgeleitet. Die Aufzweigungen des Neuriten können wiederum mit Hunderten weiterer Nervenzellen Synapsen aus-

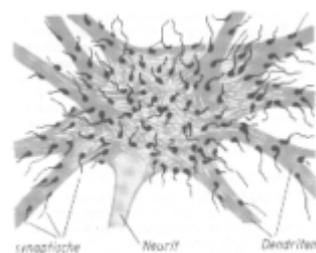


Abb. 5.5.4. Nervenzelle mit synaptischen Endigungen

bzw. deren lawinenartige Ausbreitung und sind unbedingter Bestandteil eines sinnvollen Gesamtablaufs.

bilden und dort Bahnung bzw. Hemmung bewirken. Auf diese Weise entstehen im Zentralnervensystem Schaltungen, deren einzeln Elemente, die Neuronen, sich in ihrer Aktivität gegenseitig bedingen oder durch Erregungen von seiten der peripheren Sinnesorgane stimuliert werden. Hemmende Neuronen verhindern dabei das Überschießen von Erregungen

### 5.5.4. Koordinative Leistungen des Zentralnervensystems

Die Arbeitsweise des Zentralnervensystems ist naturgemäß außerordentlich komplex. Die Zerlegung in Teilprozesse stößt meist auf größte Schwierigkeiten, ist aber unbedingte Voraussetzung für die Erforschung der Nerventätigkeit.

**5.5.4.1. Reflexe.** Die nach Reizung der Rezeptoren gegebenen Antwortreaktionen eines Organismus, die unter Beteiligung des Nervensystems ablaufen und bei erneuter Reizung gesetzmäßig wiederkehren, nennt man Reflexe.

**5.5.4.1.1. Unbedingte Reflexe** sind stets angeboren. Hierher gehören der Nies-, Husten-, Schluck-, Pupillen- und Lidschlußreflex. Fußsohlenreflex, Gleichgewichts- und Haltungsreflexe, vegetative Reflexe, wie Gefäßreflexe und reflektorische Speichel- und Magensaftsekretion. Für die unbedingten Reflexe ist ein starrer Ablauf innerhalb einer vorgeschriebenen *Reflexbahn* charakteristisch, die vom Rezeptor über die afferente Bahn, d. h. einen sensiblen Nerv, zum Zentralnervensystem und über eine efferente Bahn, d. h. einen motorischen oder sekretorischen Nerv, zum Erfolgsorgan, z. B. einem Muskel oder einer Drüse, führt.

**5.5.4.1.2. Bedingte Reflexe** werden im Gegensatz zu den unbedingten Reflexen erst im Laufe des Lebens erworben. Bedingte Reflexe entstehen bei wiederholter Kombination von Reizen, die unbedingte Reflexe auslösen, mit dafür zunächst bedeutungslosen, *indifferenten* Reizen. So kann im Experiment die Fütterung eines Hundes mit einem Klingelzeichen kombiniert werden, und nach einiger Zeit läßt sich die Speichel- und Magensaftproduktion auch allein durch das Klingelzeichen auslösen. Für den Menschen haben bedingte Reflexe gerade in Hinsicht auf die vegetative Steuerung oft auch in negativer Hinsicht große Bedeutung. **Psychische Fehlhaltungen können auf dem Wege der Ausbildung bedingter Reflexe zu Fehlsteuerungen innerer Organe führen. Dies geschieht durch die Ausschüttung von Streßhormonen und -proteinen, die wiederum essentielle Stoffe verbrauchen.<sup>1</sup>**

Die Bedeutung der bedingten Reflexe ist jedoch zeitweise auch überschätzt worden bzw. bezog man häufig angrenzende Begriffe, wie Lernen, Gedächtnis, Assoziation und Automatismen, in nicht ganz korrekter Weise mit ein.

**5.5.4.2. Die Leistungen der Großhirnrinde.** Der wichtigste Teil des Großhirns, die graue, mehrere Millimeter dicke Rinde (Kortex), läßt sich in meist relativ unscharf begrenzte, z. T. überlappende Funktionsgebiete, *Felder*, aufgliedern.

**5.5.4.2.1. Sensorische Projektionsfelder.** Die meisten afferenten Bahnen, die die Meldungen von den Sinnesorganen zum Zentralnervensystem leiten, enden nach Umschaltung in den Kerngebieten des Rückenmarks oder Hirnstamms bzw. in beiden, in den sensorischen Projektions- oder Repräsentationsfeldern der Großhirnrinde.

Das Projektionsfeld der Hautrezeptoren z. B. ergibt ein karikaturähnlich verzerrtes Bild von der Körperoberfläche, da Hautstellen, die reich an Rezeptoren sind, wie Gesicht, Zunge und Fingerbeeren, einen wesentlich größeren Anteil im Projektionsfeld ausmachen als beispielsweise Rumpf und Beine.



Abb. 5.5.5. Wichtige Rindenfelder des Großhirns; 1 Zentrum für die Augenmuskeln, 2 motorisches Projektionsfeld der Hautrezeptoren, 3 sensorisches Projektionsfeld der Hautrezeptoren, 4 Lesezentrum (Assoziationsfeld), 5 Sehzentrum, 6 akustische Erinnerung und Sprachzentrum (Assoziationsfeld), 7 Hörzentrum, 8 motorisches Sprachzentrum, 9 Kleinhirn, 10 Brücke 11 Nachhirn

<sup>1</sup> Gestörter Hirnstoffwechsel; Mangel an Serotonin in den Synapsen

**5.5.4.2.2. Motorische Projektionsfelder.** Die Ursprungsorte der Bahnen für die willkürlichen Bewegungen liegen ebenfalls in umgrenzten Rindenfeldern. Sie werden als motorische Projektions- oder Repräsentationsfelder bezeichnet. Analog zur sensorischen Projektion werden die einzelnen Körperteile auch hier von bestimmten Arealen repräsentiert.

**5.5.4.2.3. Assoziationsfelder.** Es ist nicht möglich, die gesamte Rinde in Projektionsfelder aufzugliedern: es bleiben „weiße Flecke“ übrig, die als Assoziationsfelder bezeichnet werden. Ihre Neuronen stehen mit den Projektionsfeldern und mit Kernen des Hirnstammes in Verbindung. Insbesondere die *Kerne des Thalamus* und die sogenannte *retikuläre Formation*, ein Maschenwerk aus Neuronen, das den gesamten Hirnstamm durchzieht und sich in Gestalt des Eigenapparats auf das Rückenmark ausdehnt, sind für den ständigen Informationsaustausch mit der Großhirnrinde von Bedeutung: die Partner beeinflussen sich dabei in ihrer Aktivität gegenseitig. Auf jeder Stufe des Austausches erfolgen Rückmeldungen zu den Assoziationsfeldern der Großhirnrinde, und erst die *Integration* aller dieser Meldungen durch das Assoziationsystem ermöglicht so komplexe Vorgänge wie bedingte Reaktionen, Lernen, Erkennen, Lenken der Aufmerksamkeit und letztlich auch das Denken.

Den Assoziationsfeldern im vorderen Großhirnteil, dem Stirnhirn, werden besonders hohe, spezifisch menschliche Qualitäten, wie Persönlichkeitsempfinden, Wille, Denken, Gesinnung, Kontrolle und Regulation des Gefühls- und Trieblebens, zugeschrieben.

**5.5.4.2.4. Gedächtnis.** Über die dem Gedächtnis zugrunde liegenden Mechanismen ist noch nichts Sicheres bekannt. Neben ständig kreisenden Erregungen und langdauernden Veränderungen an Synapsen wird auch die Bildung spezifischer chemischer Substanzen diskutiert.

### 5.5.5. Das vegetative Nervensystem

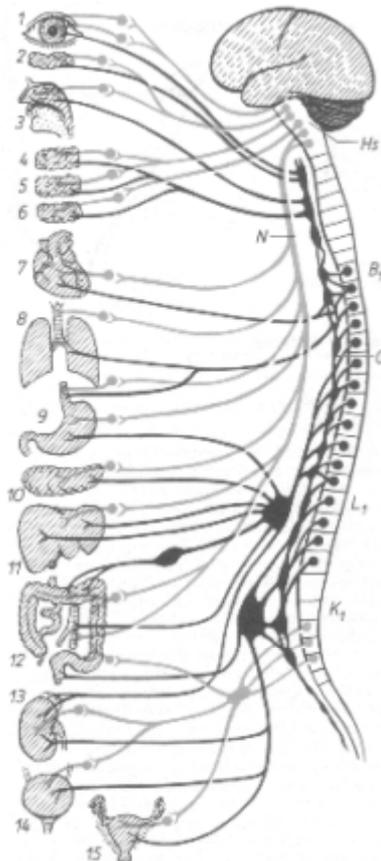
Die Tätigkeit der Drüsen und der Muskulatur innerer Organe wird vom vegetativen Nervensystem gesteuert. Seine Zentren sind über das gesamte Zentralnervensystem verteilt.

**5.5.5.1. Übergeordnete Zentren.** Es gibt eine Vielzahl vegetativ wirksamer Gebiete im Großhirn. Dabei kommt dem *limbischen System* eine besondere Bedeutung zu. Ein Teil davon gehört zur Rinde und ist gürtelförmig um den Balken und den Hirnstamm gelagert, ein anderer wird von Kernen in der Tiefe des Großhirns gebildet.

Mit dem limbischen System des Großhirns eng verbunden ist der *Hypothalamus*, ein ebenfalls der vegetativen Steuerung übergeordneter Hirnteil. Der Hypothalamus steht seinerseits in engster Beziehung zum Hormonsystem. Ein Teil seiner Nervenzellen bildet selbst Hormone, die entweder direkt auf den Organismus oder aber auf andere Hormondrüsen einwirken, so daß er als Nahtstelle zwischen nervöser und hormonaler Steuerung und Regelung des vegetativen Systems anzusehen ist.

Darüber hinaus lassen sich experimentell durch Reizung bestimmter Regionen des limbischen Systems und des Hypothalamus *Emotionen*, wie Angst, Wut, sexuelle Lustgefühle, Appetit und Durst, erzeugen, die einerseits von den Assoziationsfeldern dem Großhirn, also willkürlich zu beeinflussen sind und andererseits deutliche Auswirkungen auf das vegetative System haben. Limbisches System und Hypothalamus stellen auf diese Weise Verbindungen zwischen Bewußtseinsvorgängen und dem vegetativen Nervensystem her. Daraus erklärt sich u. a. die Beschleunigung des Herzrhythmus nach Eintreffen einer unangenehmen Nachricht. Beim Bewußtwerden des Inhalts der Nachricht durch Assoziationsleistungen des Großhirns entsteht in den erwähnten tieferen Bezirken beispielsweise das Gefühl der Angst, das seinerseits über hypothalamische Kerngebiete eine Herzbeschleunigung bewirkt.

**5.5.5.2. Sympathikus und Parasympathikus.** Die inneren Organe sind im Regelfall durch zwei strukturell und funktionell unterscheidbare Systeme doppelt innerviert, durch den Sympathikus und den Parasympathikus. Ihre Zentren befinden sich in den tieferen Hirnteilen bzw. im Rückenmark.



**Abb. 5.5.6.** Sympathikus (schwarz) und Parasympathikus (rot);  $B_1$  erstes Brustsegment,  $L_1$  erstes Lendensegment,  $K_1$  erstes Kreuzbeinsegment,  $Hs$  Hirnstamm,  $Gs$  Grenzstrang,  $N$  Nervus vagus; 1 Auge, 2 Tränendrüse, 3 Rachen-Atmungswege, 4 - 6 Speicheldrüsen, 7 Herz, 8 Lunge, 9 Magen, 10 Bauchspeicheldrüse, 11 Leber, 12 Darm, 13 Niere u. Nebenniere, 14 Harnblase, 15 Geschlechtsorgane

**5.5.5.2.1. Sympathikus.** Die Zentren des Sympathikus liegen im Rückenmark zwischen den Vorder- und Hinterhörnern und erstrecken sich vom Segment des untersten Halsnerven über die Brustsegmente bis zu den Segmenten der oberen drei Lendennerven. Nach dem Austritt der sympathischen Nervenfasern aus dem Rückenmark bilden sie eine der Wirbelsäule beidseitig aufliegende Ganglienkette, den *Grenzstrang*, von dem aus, z. T. unter nochmaliger Umschaltung in peripheren sympathischen Ganglien, die Innervierung der inneren Organe erfolgt. Meist wird durch sympathische Erregung die Arbeitsleistung des Organismus verstärkt, beispielsweise die Herz- und Kreislauf-tätigkeit gesteigert, die Verdauungstätigkeit und die Blutzufuhr zu den Verdauungsorganen zugunsten der arbeitenden Skelettmuskulatur gehemmt.

**5.5.5.2.2. Parasympathikus.** Seine Zentren liegen teils im Hirnstamm, im Mittelhirn und in den Kernen am Boden des IV. Ventrikels, teils im untersten Abschnitt des Rückenmarks. Der Hauptnerv des parasympathischen Systems ist der *Nervus vagus*.

Die Wirkung der parasympathischen Erregung ist meist der der sympathischen antagonistisch und führt zur Schonung des Organismus sowie zur Wiederherstellung seiner Leistungsfähigkeit durch Förderung der Verdauungstätigkeit.

## 5.6. Sinnesorgane

Die Sinnesorgane bilden die einzigen Kanäle, durch die die Außenwelt in das menschliche Bewußtsein dringt. Sie liefern dem Menschen mehr oder weniger adäquate Abbilder der Außenwelt, die auf Grund der gesellschaftlichen und geschichtlichen Praxis und des Denkens der Menschen ein Vordringen zum Wesen der Erscheinungen gestatten.

### 5.6.1. Das Auge

Das Aufnahmeorgan für Licht ist das Auge. Es liegt in der Augenhöhle und besteht aus dem durch Muskeln beweglichen Augapfel und seinen ihn schützenden Organen. Zu ihnen zählen die den Stirnschweiß ableitenden *Augenbrauen*, die *Augenlider*, die innen mit einer auch den vorderen Teil des Augapfels noch bedeckenden Schleimhaut, der *Augenbindehaut*, bekleidet und außen mit *Wimpern* als Staubfilter besetzt sind, und die *Tränendrüsen*, deren salzige Absonderung durch feine Kanäle über die vordere Fläche des Augapfels verteilt wird und insbesondere die

Hornhaut immer feucht hält. Sie fließt durch den Tränen-Nasen-Kanal in die Nasenhöhle ab.

Der *Augapfel* hat annähernd die Gestalt einer Kugel von etwa 25 mm Durchmesser und liegt, in Fettgewebe eingebettet, im Schutz der knöchernen Augenhöhle. Er ist umkleidet von der harten Lederhaut, der Aderhaut und der Netzhaut. Die *harte Lederhaut* oder *weiße Haut*, das Weiße des Auges, verleiht ihm seine Festigkeit und zeigt vorn eine kreisrunde Öffnung, die durch die kristallklare, leicht nach vorn gewölbte *Hornhaut* abgeschlossen ist. Die *Aderhaut* versorgt das Auge mit Blut, und die *Netzhaut* besteht aus einer großen Anzahl feinsten Nervenendigungen des *Sehnervs*, von denen die *Stäbchen* lichtempfindlicher sind als die *Zapfen*, die dagegen farbempfindlich sind, d. h., von verschiedenen Farben verschieden gereizt werden. Die nach außen durch die Hornhaut abgeschlossenen *Augenkammern* sind mit einer klaren Flüssigkeit gefüllt und werden durch die *Iris* oder *Regenbogenhaut* voneinander getrennt, die dem Auge seine Farbe gibt, ihr Schloch, die *Pupille*, wirkt wie die Blende einer Kamera, ihre Öffnung paßt sich unwillkürlich den Veränderungen des Lichteinfalls an. Der Linse der Kamera entspricht die doppelt gewölbte, vollkommen durchsichtige *Linse* des Auges, hinter der das Augennere von dem ebenfalls durchsichtigen *Glaskörper*, einer gallertartigen Masse, ausgefüllt wird.

Die in das Auge einfallenden Lichtstrahlen werden durch die lichtbrechenden Schichten Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper gesammelt und so auf die Netzhaut gelenkt, daß dort wie auf der Mattscheibe einer Kamera ein umgekehrtes Bild entsteht. Die *Netzhaut* (Retina) ist die lichtempfindliche Schicht des Auges. Sie enthält die eigentlichen Sinneszellen, die *Stäbchen* und die *Zapfen*. Diese werden bei Lichteinfall erregt und übertragen die Erregung auf Nervenzellen, die sich ebenfalls in der Netzhaut befinden. Die Fortsätze der Nervenzellen ziehen zum hinteren Pol des Auges und werden dort zum *Sehnerven* gebündelt. Die Stelle, an der der Sehnerv aus dem Auge austritt, wird *blinder Fleck* genannt, da hier die Lichtsinneszellen fehlen. Die Sehnerven beider Augen kreuzen sich z.T. auf ihrem Weg zum Gehirn; es laufen also Fasern vom linken Auge zur rechten Hirnhälfte und umgekehrt. Das auf der Netzhaut entstandene Bild wird von den Lichtsinneszellen in einzelne Bildpunkte zerlegt, die in Form von Erregungen über den Sehnerv, der aus 1 Million Nervenfasern besteht, zum Gehirn geleitet werden, das die Einzel-erregungen gleichsam wieder zu einem Bild zusammensetzt.

**5.6.1.1. Akkommodation.** Mit Hilfe eines Muskels im Strahlenkörper der Aderhaut kann die Krümmung der Augenlinse und damit ihre Brennweite  $f$  geändert werden. Damit wird eine scharfe Abbildung von Gegenständen in verschiedenen Entfernungen erreicht. In Ruhestellung beträgt der reziproke Wert  $1/f$  der Brennweite  $f$  in Metern 60 Dioptrien, kann aber im jugendlichen Alter auf 74 Dioptrien erhöht werden. Die *Anpassungsbreite* oder *Breite der Akkommodation* beträgt dann 14 Dioptrien. Sie hängt von der Elastizität der Linse und damit vom Alter des Menschen ab. Als Nahpunkt bezeichnet man die geringste Entfernung, in der ein Gegenstand noch scharf abgebildet wird.

**Tab. 5.5.1.** Die Anpassungsbreite des Auges

Alter in Jahren	Anpassungsbreite in Dioptrien	Nahpunkt in cm
10	14	6,5
15	12,5	7,5
20	11	8 ... 12
25	10	13
30	9	14 ... 15
40	6	20 ... 30
50	2	60 ... 100
60	0 ... 1	

Die immer geringer werdende Anpassungsbreite und die dadurch eintretende *Altersweitsichtigkeit* kann nur durch künstliche Anpassung der Augenlinse mittels Augenglasses behoben werden, das die verlorengegangene Krümmungsfähigkeit der Augenlinse durch

eine mehr oder weniger stark brechende Sammellinse ausgleicht und so die Lichtstrahlen, deren Vereinigungspunkt sonst hinter der Netzhaut läge, wieder auf der Netzhaut vereinigt. Demgegenüber beruhen die *Über- oder Weitsichtigkeit* und die *Kurzsichtigkeit*, bei der die Lichtstrahlen bereits vor der Netzhaut vereinigt werden, auf normaler Gestalt des Augapfels.

**5.5.1.2. Adaptation.** Das menschliche Auge kann bei extrem schwacher und bei starker Beleuchtung noch sehen. Diese Anpassungsfähigkeit wird *Adaptation* genannt und beruht darauf, daß beim Nachtsehen nur die stark helligkeitsempfindlichen, aber farbumempfindlichen Stäbchen der Netzhaut, beim Tagsehen die weniger heilighits-, dafür aber farbempfindlichen Zapfen wirksam sind. Außerdem verengt sich bei größerer Beleuchtungsstärke die Pupillenöffnung, während sie sich bei verringerter Beleuchtungsstärke erweitert.

**5.6.1.3. Die Empfindlichkeit für Licht.** Die zur Reizung des Auges nötige Energieschwelle liegt so niedrig, daß sie kaum mit den empfindlichsten physikalischen Instrumenten festgestellt werden kann. Das normale Auge kann ein nur 0,05 s lang blitzendes Licht von 1,5 Candela Leuchtkraft noch auf eine Entfernung von etwa 3 km erkennen. Dauerlicht kann sogar bei noch geringerer Leuchtkraft wahrgenommen werden. Jeder einmal empfundene Lichteindruck hält eine gewisse Zeit an, bei gewöhnlicher Lichtstärke 0,1 s. Hierauf beruht in der Kinematographie die Verschmelzung der einzelnen Filmbilder zu einem Gesamteindruck.

**5.6.1.4. Die Farbempfindlichkeit.** Das Auge kann 130 bis 250 Spektralfarben in einem Wellenlängenbereich von 360 bis 780 nm wahrnehmen. Ultraviolett und Ultrarot bleiben für den Menschen unsichtbar im Unterschied z.B. zur Honigbiene. Die Regenbogenfarben werden dabei durch mittlere Wellenlängen  $\gamma$  bestimmt; diese betragen für Violett 400 nm, für Blau 470 nm, für Grün 520 nm, für Gelb 585 nm, für Orange 600 nm und für Rot 683 nm. Durch Mischung der einzelnen Farbtöne kann die Anzahl der unterscheidbaren Farben auf etwa 17.000 steigen. Dazu kommen noch für jede Farbe rund 300 Abstufungen bei Licht und Schatten, so daß das menschliche Auge im ganzen rund 5 Millionen Farbnuancen empfinden kann.

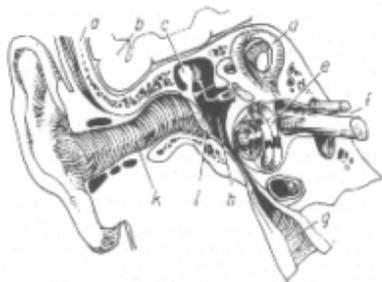
**5.6.1.5. Farbsehstörungen.** Bei den erblichen Farbsehstörungen, von denen 8% aller Männer, aber nur 0,4% aller Frauen betroffen sind, ist das Auge für einen Teil des Spektrums unempfindlich bzw. nur schwach empfindlich. Totale Farbblindheit, d. h. das Unvermögen, überhaupt Farben wahrzunehmen, ist selten. Für einen Teil der Farbsehgestörten ist das Spektrum im langwelligen roten Teil verkürzt, während im Gebiet des Blaugrün eine neutrale, farblose Zone besteht, in der eine Farbempfindung fehlt. Im farbigen Spektrum werden dann nur Blau und Gelb erkannt. Zwischen ihnen liegt eine farblose Zone; Rot, Grün und Grau werden bei dieser *Rotblindheit* miteinander verwechselt. Bei der *Grünblindheit* dagegen ist das Spektrum an beiden Enden verkürzt, das Gebiet des Grün erscheint aber als neutrale, farblose Zone. Nur sehr selten tritt die *Ultraviolettblindheit* auf, eine Unempfindlichkeit bzw. Unterempfindlichkeit für Violett und Blau.

**5.6.1.6. Optische Täuschungen** sind Vorgänge im Auge, die auf verschiedenen Ursachen beruhen, z. B. auf Kontrastwirkungen oder auf der Tatsache, daß man geneigt ist, Eigenschaften eines Ganzen auf seine Teile zu übertragen.

## 5.6.2. Das Ohr

Das Aufnahmeorgan für Schall ist das Ohr. Man unterscheidet das äußere, das mittlere und das innere Ohr. Zum *äußeren Ohr* gehören die Ohrmuschel als Schallfänger, der drüsenreiche Gehörgang und das Trommelfell, zum *mittleren Ohr* die Paukenhöhle, zum *inneren Ohr*, dem Labyrinth, der Vorhof, die Schnecke als Sitz des Hörsinns, die Vorhofsäckchen als Sitz des Gleichgewichtssinns und die Bogengänge, der Sitz des Drehsinns. Das Vorhandensein zweier Ohren erlaubt es, die Richtung eines Schalles zu erkennen. Das *Trommelfell* ist eine dünne Haut, die wie eine Membran durch Schallwellen in Schwingungen

versetzt wird und diese nach innen weiterleitet. Es schließt den äußeren Gehörgang gegen die *Paukenhöhle* ab. In der Paukenhöhle liegen die drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboß und Steigbügel, die, hebelartig ineinandergreifend, die Schwingungen des Trommelfells an das innere Ohr weitergeben. Dabei liegt der Hammer dem Trommelfell an, während der Steigbügel mit seiner Fußplatte in das ovale Fenster, eine Öffnung des inneren Ohres, eingelassen ist. Durch den Kanal der Ohrtrumpete steht die Paukenhöhle mit der Rachenhöhle zum Luftdruckausgleich in Verbindung.



**Abb. 5.6.1.** Schnitt durch das innere Ohr; a Schläfenbeinschuppe, b Schläfenlappen des Großhirns, c Gehörknöchel: Hammer, Amboß, Steigbügel, d Bogengangapparat des Innenohrs, e Schnecke, f Gehörnerv, g Ohrtrumpete (Eustachische Röhre), h Paukenhöhle, i Trommelfell, k äußerer Gehörgang

Das *innere Ohr* ist ein gewundener häutiger Schlauch, die *Schnecke*, die von einer Knochenkapsel umschlossen und mit Lympflüssigkeit gefüllt ist. Dieses Gehörwasser überträgt die Schall-schwingungen auf die Hörzellen, die Enden des Hörnervs, der die aufgenommenen Reize in das Gehirn leitet, das sie als Ton oder Geräusch deutet.

**5.6.2.1. Die Tonempfindungen.** Das Ohr nimmt Luftdruckschwankungen einer bestimmten

Frequenz und Mindeststärke als Geräusche, Klänge oder Töne wahr. Sehr kurz dauernde, nicht kräftige und sich nicht regelmäßig wiederholende Luftdruckstöße führen zu Geräuschen; 8 bis 10 Luftdruckstöße in der Sekunde werden als getrennte Einzelpfindungen wahrgenommen. Bei etwa 16 gleichmäßigen Stößen in der Sekunde verschmelzen die Einzelpfindungen zu einer einheitlichen Tonempfindung, zu der des tiefsten wahrnehmbaren Tones. Mit wachsender Frequenz  $\nu$ , d. h. Anzahl der Stöße je Sekunde, steigt die Höhe des wahrgenommenen Tones. Seit 1939 wird der Kammerton  $a^1$  durch die Frequenz von 440 Hz festgelegt. Zwei Töne, von denen der eine die doppelte Frequenz des anderen hat, bezeichnet man als Oktave.

**5.6.2.2. Leistungen des Gehörorgans.** Das menschliche Unterscheidungsvermögen für Tonhöhen ist sehr fein ausgebildet, am feinsten für Töne im Bereich von 80 bis 600 Hz. Die Unterscheidungsschwelle beträgt hier etwa 0,1%. Das bedeutet, daß 80 Hz und 80,08 Hz oder 100 Hz und 100,1 Hz als verschiedene Töne wahrgenommen werden. Zwischen 600 und 3000 Hz beträgt die Unterschiedsschwelle 0,3 bis 0,5% über 3000 Hz und unterhalb von 80 Hz bis zu 1%. Im ganzen kann der Mensch 3000 bis 4000 Tonhöhen voneinander unterscheiden.

Die Hörschwelle gibt den kleinsten Schalldruck an, der bei einer bestimmten Frequenz einen Ton hörbar macht. Die Reihe der schwächsten, eben noch hörbaren Töne gibt ein Maß für die *Hörschärfe*. Sie ist am größten für Töne zwischen 1 000 und 4000 Hz, insbesondere zwischen 2000 und 2300 Hz, sie vermindert sich für die tieferen und höheren Töne. Unterhalb der Hörschwelle wird kein Ton mehr wahrgenommen, obwohl das Ohr von Luftschwingungen getroffen wird. An der *Fühlschwelle* oder *Schmerzgrenze* ist der Ton zu laut; es treten kitzelnde, flatternde und schmerzhaft empfindungen ein. Zwischen Hör- und Fühlschwelle können bei mittleren Tönen von 1000 bis 2000 Hz mehr als 350 Stärkestufen unterschieden werden, bei den höchsten und tiefsten nur wenige. Der Umfang der Gehörwahrnehmungen wird durch die Gesamtzahl der nach Höhe und Stärke unterscheidbaren Töne bestimmt und beträgt etwa 300.000. Ein Schall wird nicht sofort beim Auftreffen auf das Gehörorgan wahrgenommen, sondern erst nach einer *Empfindungszeit* von 35 bis 175 ms; danach vergehen noch weitere 180 bis 500 ms, die *Einstellzeit des Ohres*, bis zur größten Stärke der Empfindung. Das Abklingen, der Nachhall, nach Aufhören eines kurzen starken Schalles kann bis

zu einigen Sekunden dauern. Bei längerer Einwirkung eines Tones läßt die Hörschärfe für diesen Ton allmählich nach. Die Übertragung der Schallschwingungen bis zu einer Frequenz von etwa 2000 Hz erfolgt durch das Trommelfell und die Gehörknöchel. Schwingungen höherer Frequenz, etwa 2000 bis 21.000 Hz, werden durch Knochenleitung über die Schädelknochen auf das Innenohr übertragen.

Die Tonempfindlichkeit des Ohres nimmt mit dem Alter stark ab. Das führt dazu, daß hohe Töne, z. B. das Zirpen der Grillen, S-Laute, T-Laute u.a., nicht mehr wahrgenommen werden. Vorübergehendes Absinken der oberen Tongrenze findet sich bei Allgemeinerkrankungen und bei Sauerstoffmangel, z. B. beim Aufenthalt in großen Höhen; bei 7000 bis 8000 m Höhe sinkt die Tongrenze um 2000 bis 3000 Hz.

Die obere Tongrenze beträgt bis etwa zum 20. Lebensjahr 20.000 Hz, sinkt im 35. Jahr auf 15.000 Hz, im 50. Jahr auf 12.000 Hz und liegt im Greisenalter bei 5.000 Hz.

**5.6.2.3. Lärmschäden.** Lärm in den menschlichen Umgangsformen, Lärm im Straßenverkehr, Lautsprecherlärm, Maschinenlärm gefährden die Gesundheit, und zwar nicht nur das Hörorgan, sondern auch die Regulation des Nervensystems, und beeinträchtigen das menschliche Zusammenleben. Der Messung der Schallintensität in Phon kommt für den Gesundheitsschutz deshalb eine steigende Bedeutung zu.

**5.6.2.4. Der Gleichgewichts- und Drehsinn.** Das Gleichgewicht ist wegen der geringen Sohlenfläche als Standfläche beim Menschen labil und bedarf zu seiner Erhaltung bzw. Wiederherstellung besonderer Sinnesorgane, deren Wirksamkeit durch das Muskel- und Sehnengefühl, d. h. die Tiefensensibilität, und den Gesichtssinn unterstützt wird.

Das *Gleichgewichtsorgan* liegt im Labyrinthvorhof und besteht aus zwei Säckchen, dem *Sacculus* und dem *Utriculus*. In diesen befinden sich je ein Kalkkörper, der *Statolith*, der einer darunterliegenden Sinneszellgruppe aufliegt und diese entsprechend der Lage des Kopfes mehr oder weniger stark reizt. Auf diese Weise wird die Lage des Körpers im Raum signalisiert.

Von einem der Säckchen, dem Utriculus, nehmen drei Bogengänge, die Organe des *Drehsinns*, ihren Ursprung. Sie liegen in den drei Ebenen des Raumes. Drehbewegungen des Körpers bzw. des Kopfes allein, macht die Lympflüssigkeit, die sich in dem der jeweiligen Drehebene zugehörigen Bogengang befindet, infolge ihrer Trägheit nur zögernd mit. Es kommt dabei zu einer der Drehrichtung entgegengesetzten Lymphströmung, durch die die Sinneszellen des betreffenden Bogengangs gereizt werden.

Die von den Gleichgewichts- und Drehsinnesorganen ausgehenden Erregungen werden zusammen mit denen des Hörorgans im 8. Hirnnerven zum Zentralnervensystem geleitet. Ein Teil der Informationen gelangt zum Großhirn und tritt dadurch ins Bewußtsein; ein anderer erregt die Zentren für die Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts im Kleinhirn, das seinerseits zweckentsprechende Tonusänderungen und reflektorische Bewegungen der Skelettmuskulatur auslöst. Auch eine Beeinflussung des vegetativen Nervensystems findet statt, das bei zu starker Beanspruchung durch die Labyrinthorgane mit den Erscheinungen der *See- bzw. Luft- oder Autokrkrankheit* reagiert.

### 5.6.3. Der Geruchssinn

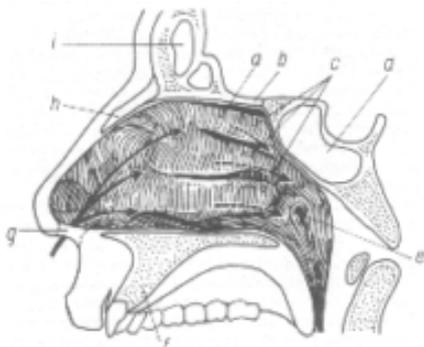
Im oberen Teil der Nasenhöhle, dicht unter dem Siebbein, liegt die Riechfläche der Nasenschleimhaut, in die sich der Riechnerv des Gehirns mit seinen Endigungen, den Riechzellen, verzweigt (Abb. 6.5.3-1). Diese werden durch auf dem Luftwege transportierte Geruchsmoleküle gereizt, die Reize werden über das Großhirn als Geruch empfunden. Die gesamte Riechfläche besteht bei einer ungefähren Größe von 5 cm<sup>2</sup> aus etwa einer Million Riechzellen.

**5.6.3.1. Geruchssinn und Gesamtbefinden.** Die Geruchsempfindungen sind nicht ohne Einfluß auf das Gesamtbefinden. Es gibt kaum einen Geruch, der nicht Lust oder Unlust erregt und dadurch auf das vegetative Nervensystem einwirkt. So lösen Speisedüfte die Absonderung von Verdauungssäften aus, und be-

stimmte andere Gerüche fördern oder hemmen die Vorgänge des Geschlechtslebens. Ekelerregende Gerüche können die Tätigkeit der Verdauungsdrüsen hemmen, zu Erbrechen führen, den Blutkreislauf stören und Schwindelgefühle hervorrufen, während sogenannte Lieblingsgerüche die Leistungsfähigkeit anregen oder fördern. Gegenüber den makrosmatischen Tieren, Säugetieren mit hochentwickeltem Geruchsvermögen, ist beim Menschen die Leistung des Geruchsorgans stark vermindert; auch im Hirnbau drückt sich das aus (Tab. 6.5.3-2).

**Tab. 5.6.1.** Die Empfindlichkeit des Geruchssinns in ng ( $10^9$  ng = 1 g) je Liter Luft

Azeton	4	Valeriansäure	0,0021
Nitrobenzol	0,041	Vanillin	0,000 5
Kampfer	0,016	Skatol	0,00035



**Abb. 5.6.2.** Schnitt durch die Nasenhöhle; a Nasenschleimhaut, b vordere Schädelgrube, c Nasenmuscheln, d Keilbeinhöhle, e Mündung der Ohrtrumpete (Eustachische Röhre), f Oberkiefer und Gaumenbein, g äußere Nasenöffnung, h Nasenbein, Stirnhöhle

**5.6.3.2. Geruchsqualitäten.** Nach neueren Forschungen unterscheidet man sieben Grundgerüche, und zwar den kampfer-, moschus-, pfefferminz-, äther- und blütenartigen Geruch, wobei die Gestalt der Moleküle den Duft bestimmt, und den von der elektrischen Ladung der Moleküle abhängigen stechenden und fauligen Geruch.

Geruchsempfindungen sind nicht nur hinsichtlich der Intensität, sondern auch der Qualität beim einzelnen Menschen unterschiedlich. Auch verschieden starke Konzentrationen eines Stoffes können unterschiedliche Geruchsempfindungen auslösen: z. B. ist Skatol, ein Abbauprodukt der Aminosäure Tryptophan, bei hoher Konzentration übelriechend, während es bei sehr geringer Konzentration nach Jasmin duftet.

#### 5.6.4. Der Geschmackssinn

Sitz des Geschmackssinns ist die Zunge. Sie trägt auf ihrer Oberfläche die in kleine Warzen verschiedener Form eingebetteten *Geschmacksknospen* oder *-papillen*, in deren Innerem die Fasern der Geschmacksnerven endigen. Die in den 10 bis 40 Sinneszellen jeder Geschmackspapille erzeugten Reize kommen über das Gehirn als Geschmacksempfindungen zum Bewußtsein.

**5.6.4.1. Die Empfindlichkeit des Geschmackssinns.** Die Anzahl der reinen Geschmacksempfindungen ist sehr gering; es lassen sich nur die vier Grundformen süß, sauer, salzig, bitter feststellen. Jede wird von besonderen Rezeptoren wahrgenommen; doch können in den einzelnen Geschmackspapillen auf der Zunge Sinnesorgane für zwei oder drei verschiedene Geschmacksqualitäten nebeneinanderliegen. Sie sprechen auf verschiedene Minimalreize an; in einem Kubikzentimeter Flüssigkeit werden z. B. 1 mg Kochsalz, 0,01 mg Salzsäure, 0,004 mg Chinin oder 0,001 mg Saccharin wahrgenommen.

**5.6.4.2. Geschmacksqualitäten.** Viele chemische Stoffe lassen

sich nach dem Geschmack nicht einwandfrei erkennen, da derselbe Stoff je nach Konzentration zwei bis drei verschiedene Geschmacksqualitäten in sich vereinigen kann; z. B. schmeckt Saccharin in stark verdünnter Lösung süß, in konzentrierter Lösung dagegen bitter. Bromsalze rufen je nach Konzentration die Empfindung süß, salzig oder bitter hervor (Tab. 6.5.4-1).

**Tab. 5.6.2** Geschmack von Bromsalzen bei verschiedener Konzentration *c* in %

<i>c</i>	NaBr	KBr	LiBr
0,01	süßlich	süß	schwach süß
0,02	süß-salzig	süß-bitterlich	schwach süß
0,04	salzig	bitter-salzig	salzig-süß
0,20	salzig	salzig	salzig

Auch Temperatur und mechanische Beschaffenheit der Speisen und Getränke sind für die Geschmacksempfindung wichtig. Die Stärke des Geschmacks „süß“ z. B. nimmt mit der Temperatur zu, während Stoffe in kolloidaler Lösung an Geschmacksstärke einbüßen. Die feineren Geschmacksnuancen werden durch Mitbeteiligung des Geruchssinns vermittelt, der z. B. bei einem starken Schnupfen völlig ausgeschaltet ist.

#### 5.6.5. Sinnesorgane der Haut

Die Haut dient dem Körper nicht nur als Schutzhülle, Regler des Wärmeausgleichs und Teilglied im Stoffwechselprozeß, sondern ist auch ein Organ für wichtige Sinne wie *Druck-* oder *Tastsinn*, *Wärme-*, *Kälte-* und *Schmerzsinn*. Als Rezeptoren fungieren feinste Nervenverästelungen, die in den verschiedenen Schichten der Haut unmittelbar oder in bestimmt geformten Gebilden, den Endkörperchen, enden.

**5.6.5.1. Der Tastsinn.** Die Tastempfindungen werden durch Druck- und Berührungsreize der an den Papillen sitzenden Tastkörperchen der Haut erregt. Die diesen entsprechenden Druckpunkte sind ungleichmäßig über die ganze Haut verteilt. Am dichtesten sitzen sie an Zunge, Lippen und Fingerspitzen. An den behaarten Teilen der Haut sind die Druckpunkte stets den Haarbälgen zugeordnet, so daß die Haare auf jede leise Berührung reagieren. Die nervalen Manschettenstrukturen an den Haarbälgen und -wurzelscheiben vermitteln aber nicht nur Druck und Berührung, sondern auch Empfindungen für Temperatur und Schmerz.

Die *Dichte der Druckpunkte* auf der behaarten Haut, d. h. auf 95% der Körperoberfläche, beträgt 25/cm<sup>2</sup>, auf der unbehaarten Haut 100/cm<sup>2</sup>, am Daumenballen 110 bis 135/cm<sup>2</sup> und in der Tastfläche der Hand 100 bis 200/cm<sup>2</sup>. Die *Empfindlichkeit für Berührungsreize* wird durch die Entfernung zweier punktförmiger Berührungsreize, die noch getrennt wahrnommmn werden, gemessen. Diese simultane Raumschwelle ist für verschiedene Hautstellen unterschiedlich; sie beträgt für

Zungenspitze	1 mm,	Handrücken	32 mm,
Fingerspitze	2 mm,	Unterarm	40 mm,
die Lippe	4 mm,	Rücken	60 70 mm.
Nasenspitze	7 mm,		

Ein *Berührungsreiz* wird empfunden, wenn ein Mindestdruck ausgeübt und dem Druckpunkt eine Mindestmenge an Energie, etwa 0,02 bis 0,4 erg, zugeführt wird. Ein dauernd wirkender gleichmäßiger Druck wird nicht mehr empfunden, wohl aber bereits eine sehr geringe Änderung dieses Druckes, die man *Unterschiedsschwelle* nennt; sie beträgt etwa 0,04% seiner Größe.

**5.6.5.2. Der Wärme- und Kältesinn.** Temperaturreize werden von eigenen Sinnesorganen wahrgenommen. Für die Kälte- und für die Wärmeempfindung sind dabei getrennte Sinneszellen vorhanden. In den oberflächlichen Hautschichten liegen die *Kältepunkte*, in den tieferen Schichten, der Lederhaut, die *Wärmepunkte*. Die inneren Organe haben keine solche Zellen; sie sind daher temperaturunempfindlich.

Als Reiz werden nur Temperaturveränderungen wahrgenommen. In der Haut besteht ständig ein Temperaturgefälle; die Temperatur beträgt im Innern 37° C, an der Körperoberfläche etwa 20° C. Wird dieses Gefälle geringer oder tritt gar eine Umkehrung ein, so daß außen eine höhere Temperatur herrscht als innen, so kommt eine Wärmeempfindung zustande. Wird das Temperaturgefälle aber steiler, dann entsteht ein Kälteempfinden. Ob ein berührter Gegenstand als kalt oder warm empfunden wird, hängt nicht von dessen Eigentemperatur ab, sondern vor allem von seinem Wärmeleitvermögen und dem jeweiligen Temperaturzustand der Haut. Ein Gegenstand mit 10° C Eigentemperatur wird für gewöhnlich als „kalt“ empfunden; taucht man aber die Hand eine Zeitlang in eiskaltes Wasser und berührt dann den gleichen Gegenstand, so ruft er jetzt die Empfindung „warm“ hervor. Absolute Temperaturen lassen sich deshalb durch die Sinnesorgane nicht feststellen. In der Haut sind durchschnittlich 250.000 *Kältepunkte* und 30.000 *Wärmepunkte* vorhanden. Auf 1 cm<sup>2</sup> Haut entfallen im Durchschnitt 6 bis 23 Kältepunkte, jedoch auf die Hand 4 bis 5 und das Gesicht 12; dazu kommen 0 bis 3 Wärmepunkte, am Vorderarm 0,3 und im Gesicht 1,7. An Lippe, Augenlid und Nasenflügel sitzen die Wärmepunkte so dicht, daß eine Abgrenzung im einzelnen oft unmöglich ist.

**5.6.5.3. Der Schmerzsin.** Schmerzempfindungen kommen durch freie Nervenendigungen zustande. In der Haut kommen sie nur an bestimmten *Schmerzpunkten* vor, die den Oberflächenschmerz vermitteln. Die *Schmerzempfindungen der inneren Organe* werden durch Schmerzfasern im vegetativen Nervensystem weitergeleitet und treten als Tiefenschmerz ins Bewußtsein.

Die Schmerzempfindungen entstehen wahrscheinlich auf chemischem Wege, indem durch mechanische Reize, z. B. durch Stich oder Schnitt, durch thermische Reize, z. B. starke Hitze oder Kälte, oder durch elektrische Reize in den betroffenen Oberflächenzellen bestimmte Stoffe gebildet oder durch Zerstörung dieser Zellen freigesetzt werden, die an den Nervenendigungen als Reiz wirken. Damit ließe sich auch erklären, daß oft eine Latenzzeit von mehreren Sekunden vergeht, ehe ein Stich oder Schnitt als Schmerz empfunden wird, während die Latenzzeit bei der direkten Einwirkung von Chemikalien sehr kurz ist.

Auf 1 cm<sup>2</sup> Haut finden sich etwa 50 bis über 200 Schmerzpunkte. Sie stehen dichter als die Druckpunkte. Schmerzempfindlich sind außer der gesamten Oberhaut des menschlichen Körpers auch die Knochenhaut, das Brust- oder Rippenfell, das Bauchfell, die Hirnhäute, nicht aber das Gehirn selbst, und die größeren Gefäße, z. B. die Adern. Unter bestimmten Bedingungen können auch sonst schmerzunempfindliche Organe, z. B. Muskeln, sich plötzlich als schmerzempfindlich erweisen.

## 5.7. Blut, Kreislauf und Atmungsorgane

### 5.7.1. Blut

Das Blut ist ein außerordentlich kompliziert zusammengesetztes Organ. Es dient nicht nur dem Transport des Sauerstoffs und der Aufbaustoffe, Enzyme, Hormone, Vitamine und Stoffwechselabbauprodukte, sondern auch der Wärmeregulierung, der Abwehr eindringender körperfeindlicher Organismen und Substanzen.

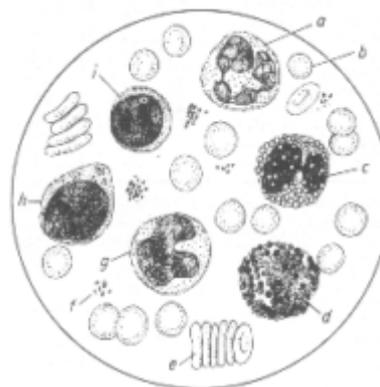
Seine Gesamtmenge beträgt mit etwa 4,5 bis 5 l ungefähr 1/12 der Körpermasse. Es besteht zu rund 45% aus den festen, zelligen Blutkörperchen und Blutplättchen und zu rund 55% aus dem flüssigen Blutplasma. Das *Blutplasma* setzt sich zusammen aus 90% freiem oder kolloidal gebundenem *Wasser*, 7% *Eiweiß*, das als Fibrinogen, Albumin oder Globulin auftritt, 2,2% mit dem Blutplasma *transportierten Stoffen*, z. B. 0,1% Zucker, Milchsäure, Fetten und stickstoffhaltigen Stoffen sowie 0,8% Salzen, die die Elemente Cl, Na, K, Ca, Mg und P enthalten.

Die *roten Blutkörperchen* (Erythrozyten, Tab. 6.6.1-2) des Menschen sind kleine runde Scheiben von 0,0078 mm Durchmesser und einer Masse von 0,000.000.08 mg. Sie sind Träger des roten Blutfarbstoffs, des Hämoglobins, das sich mit Sauerstoff, im geringen Umfang auch mit Kohlendioxid verbindet. Kohlendioxid

wird durch Vermittlung der Erythrozyten vorwiegend im Blutplasma transportiert. Infolge ihrer großen Anzahl von 25\*10<sup>12</sup> und einer Gesamtoberfläche von 3.000 m<sup>2</sup> vermögen die roten Blutkörperchen große Sauerstoffmengen zu binden. Gebildet werden sie im roten Mark der Knochen, aufgelöst nach mehrmonatiger Lebensdauer in Milz und Leber.

Die 3\*10<sup>10</sup> *weißen Blutkörperchen* (Leukozyten) werden ebenfalls im Knochenmark, daneben auch in den Lymphknoten gebildet. Sie sind formenreicher und im allgemeinen auch größer als die roten Blutkörperchen, haben die Fähigkeit der Formveränderung und der aktiven Bewegung und vermögen so, Fremdkörper, wie Bakterien, zu umhüllen und unschädlich zu machen. Bestimmte Leukozyten, die Plasma- und die Lymphzellen, produzieren bzw. transportieren Antikörper und sind somit für die *Immunreaktion* des Körpers verantwortlich. Den größten Teil ihres Lebens kommen die Leukozyten außerhalb des Blutes im Bindegewebe und in den lymphatischen Organen vor.

Die *Blutplättchen* erfüllen eine wichtige Rolle bei der Blutgerinnung.



**Abb. 5.7.1.** Geformte Blutbestandteile; a neutrophiler Granulozyt, b Erythrozyten, c eosinophiler Granulozyt, d basophiler Granulozyt, e Erythrozyten von der Seite, f Blutplättchen, g Monozyt, h großer Lymphozyt, i kleiner Lymphozyt

**Tab. 5.7.1.** Anzahl N der Blutkörperchen in 1 mm<sup>2</sup> Blut und ihr Ø in µm

	N	Ø
Erythrozyten Mann	5*10 <sup>6</sup>	7 ... 8
Frau	4,5*10 <sup>6</sup>	
Leukozyten	4900 ... 5600	
davon		
neutrophil	3500 ... 3900	10 ... 14
eosinophil	100 ... 200	10 ... 14
basophil	25 ... 30	10 ... 14
Monozyten	300 ... 450	20 ... 24
Lymphozyten	1000 ... 1400	10 ... 14
Blutplättchen (Thrombozyten)	300.000	2 ... 4

**5.7.1.1. Blutgerinnung.** Außerhalb des Körpers leiten Enzyme in den Blutplättchen die *Thrombokinase* ein, bei der unter Mitwirkung des Vitamins K und der Ca-Ionen des Blutplasmas *Prothrombin* entsteht, das mit dem Fibrinogen des Blutplasmas einen Faserstoff, das *Fibrin*, bildet. In dessen netzförmig verflochtenen Fasern verfangen sich weitere Blutzellen. Der entstandene *Blutkuchen* bringt den Blutstrom zum Stehen. Dieser Vorgang tritt bei Zimmertemperatur nach 5 bis 7 Minuten ein. Nach einigen Stunden beginnt der Blutkuchen zu schrumpfen, und ein klares, gelbliches Serum setzt sich aus dem Blutplasma ab. In Wirklichkeit wirken allerdings noch mehrere Faktoren beim Gerinnungsvorgang mit, wie sich bei der Untersuchung erblicher Gerinnungsstörungen, wie der Bluterkrankheit, gezeigt hat.

**5.7.1.2. Blutuntersuchung.** Zahlreiche Untersuchungsmethoden geben Aufschlüsse über die Zusammensetzung des Blutes und damit über krankhafte Vorgänge im Körper.

Zum *Blutbild* gehören Angaben über den *Hämoglobingehalt* des Blutes, Angaben über die Anzahl der roten, der weißen Blutkörperchen und der Blutplättchen sowie über die Differenzierung, d. h. über die Aufteilung der weißen Blutkörperchen in ihre einzelnen Arten. Dabei enthalten 100 g Blut beim Mann 14,5 bis 17,6

g oder, gemessen am Normalwert, 90 bis 110%, bei der Frau dagegen 12,8 bis 16 g oder 80 bis 100% des Normalwertes. Aus dem Blutbild kann nur in einzelnen Fällen auf Krankheiten geschlossen werden.

Die *Blutsenkung* gibt ebenfalls Hinweise auf verschiedene Erkrankungen. Das Blut stellt eine Aufschwemmung von Blutzellen dar. Wie alle festen Körper in einer Suspension haben auch die Blutzellen die Neigung, sich als Bodensatz abzulagern. Die gleichartige elektrische Oberflächenladung der roten Blutkörperchen verzögert aber diesen durch die Schwerkraft bedingten Vorgang. Wenn bei gewissen Erkrankungen die Globuline gegenüber den Albuminen im Blutplasma zunehmen, dann verändern sich auch die elektrischen Membraneigenschaften der roten Blutkörperchen. Sie ballen sich leichter zusammen und werden somit schwerer: Es kommt zur erhöhten Senkungsgeschwindigkeit, die mit verschiedenen Apparaten gemessen werden kann.

**5.7.1.3. Blutgruppen.** Im Jahre 1900 zeigte LANDSTEINER, der später den Nobelpreis für Medizin erhielt, daß die roten Blutkörperchen sich zusammenballen, agglutinieren, wenn sie dem Serum eines anderen Menschen zugesetzt wurden. Das führte zu der Entdeckung der Blutgruppen A, B, AB und 0. Später wurden noch weitere Blutgruppen und -faktoren gefunden. Mit A und B bezeichnet man dabei zwei verschiedene agglutinierbare Substanzen. Sie können einzeln oder gemeinsam auf der Oberfläche der Blutkörperchen vorkommen oder beide fehlen. Entsprechend diesen vier Möglichkeiten unterscheidet man nach dem ABO-System die Blutgruppen A, B, AB und 0. Die Blutkörperchen der Gruppe 0 enthalten keine agglutinierbaren Substanzen, die Blutkörperchen der anderen Gruppen sind agglutinierbar, und zwar mit denjenigen Blutseren, die die für sie passenden Agglutinine, Antigene oder Ballungsstoffe, enthalten. Diese Agglutinine bezeichnet man mit Anti-A, Anti-B und AB 0; dabei bedeutet AB 0, daß sowohl Anti-A wie Anti-B fehlen. Da ein Blutserum stets nur jene Agglutinine enthalten kann, die auf die eigenen Blutkörperchen nicht wirken, ergibt sich folgende Zuordnung der Blutgruppen zu den Agglutininen des Serums:

A → Anti-B; B → Anti-A; AB → keine Agglutinine bzw. AB0 und 0 → Anti-A und Anti-B.

**5.7.1.3.1.** Die *Blutgruppenbestimmung* wird mit Hilfe von hochkonzentrierten Testseren durchgeführt.

Mischt man je eine Probe der Blutkörperchen, deren Gruppenzugehörigkeit zu bestimmen ist, mit je einem bekannten agglutinierenden Serum vom Typ Anti-A und Anti-B, dann ergeben sich vier Möglichkeiten, wenn das Agglutinieren durch + angegeben wird:

Anti-A	Anti-B	Blutgruppe
-	-	0
+	-	A
-	+	B
+	+	AB

Gibt man zu einer Probe vom bekannten Typ A und zu einer zweiten vom bekannten Typ B je eine Probe des Serums oder auch des wäßrigen Auszugs eines Blutflecks einer unbekanntes Blutgruppe, so läßt sich diese bestimmen, wenn wieder die eingetretene Agglutination durch + bezeichnet wird:

Typ A	Typ B	Blutgruppe
+	+	0
-	+	A
+	-	B
-	-	AB

**5.7.1.3.2.** Die *prozentuale Blutgruppenhäufigkeit* zeigt interessante Unterschiede in der Verteilung bei Menschen verschiedener Völkergruppen, aus denen Rückschlüsse auf die verwandtschaftlichen Beziehungen benachbarter Völker gezogen werden können.

**5.7.1.3.3.** Die Blutgruppenbestimmung ist notwendig vor Blutübertragungen und wichtig in der gerichtlichen Medizin. Zur Feststellung der Vaterschaft kann allerdings die *Vererbung der Blutgruppen* nur negative Aussagen machen; z. B. kann ein Kind mit der Blutgruppe A nicht von Eltern stammen, die beide die

Blutgruppe B oder 0 haben oder von denen ein Elternteil die Blutgruppe B und der andere die Blutgruppe 0 hat.

Neben den vier Hauptgruppen des Blutes hat man noch zwei andere Faktoren, M und N, entdeckt. Ihre Bedeutung für die Feststellung der Elternschaft ist groß. Ein N-Kind kann keinen M-Vater haben; hat der Vater M und die Mutter N, so hat das Kind MN, also beide Faktoren im Blut. Auch der Faktor P gewinnt neuerdings für die Feststellung der Elternschaft Bedeutung; z. B. muß bei einem P-Kind wenigstens ein Elternteil P haben.

Größte Bedeutung besitzt weiter die *Rhesus-Eigenschaft Rh* der roten Blutkörperchen. Sie spielt ebenfalls für die Feststellung der Elternschaft eine Rolle; auch hier muß bei einem Rh-Kind wenigstens ein Elternteil Rh haben. Im Gegensatz zu M, N und P immunisiert die Rh-Eigenschaft den Menschen, d. h., sie bewirkt eine Antikörperbildung gegen Rh; hierauf beruht sowohl ein Teil der Zwischenfälle bei Bluttransfusionen als auch das Krankheitsbild der Erythroblastose, die sich unter anderem als schwerste Gelbsucht der Neugeborenen äußert. Deshalb werden in der Schwangerenberatung heute die Schwangeren auf Rh+ oder rh- getestet; notfalls wird beim Neugeborenen eine sogenannte Austauschtransfusion vorgenommen. Die für die BRD erlassenen Richtlinien für die Durchführung der Immunprophylaxe unterstützen entscheidend das rechtzeitige Erkennen und Verhindern einer durch Rh-Unverträglichkeit hervorgerufenen schweren Gelbsucht.

**5.7.1.3.4.** Eine *Blutübertragung (Transfusion)* kann nur dann vorgenommen werden, wenn das Spenderblut von den Agglutininen des Empfängers nicht geballt werden kann. Daher soll der Spender möglichst der gleichen Blutgruppe angehören wie der Empfänger. Der *Universalspender* ist Blutgruppe 0, da diese keine ballbaren Stoffe (Agglutinogene) hat, jedoch nur unter der Bedingung, daß der Agglutiningehalt des Spenderserums gering ist, da sich bei höherem Gehalt die Zusammenballung der Blutkörperchen eines A-, B- oder AB-Empfängers durch die Agglutinine des Spenderserums störend auswirkt. Der am *wenigsten geeignete* Spender ist Blutgruppe AB wegen ihrer beiden ballbaren Stoffe A und B, die von allen drei fremden Gruppen geballt werden können. Dagegen ist die Blutgruppe AB der *Universalempfänger*, da sie keinerlei Agglutinine aufweist, jedoch auch nur unter der Bedingung, daß das Blut der Spender anderer Gruppenzugehörigkeit ebenfalls nur niedrigeren Agglutiningehalt hat.

Außerdem muß bei der Blutspende auf Rh geprüft werden, da es, wenn der Spender Rh+ ist und der Empfänger rh-, also Rh-Antikörper hat, zu Transfusionszwischenfällen kommen kann.

Die letzte Entscheidung über die Verträglichkeit von Empfänger- und Spenderblut bringt der vor jeder Blutspende durchzuführende Kreuzversuch durch Zugabe von Blutkörperchen des Spenders zum Serum des Empfängers und umgekehrt.

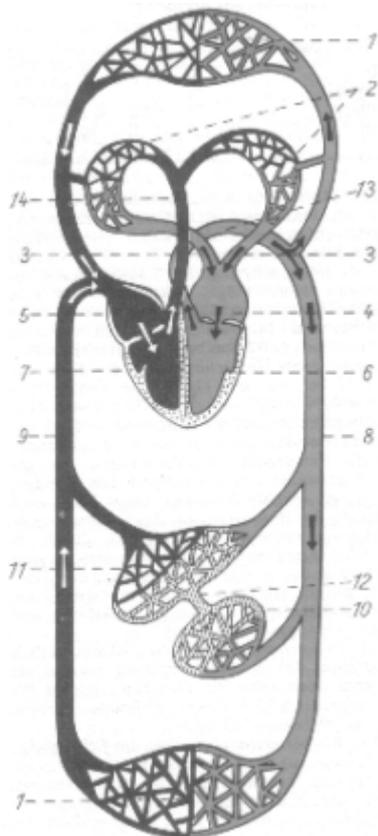
## 5.7.2. Blutkreislauf

Das Blutgefäßnetz ist ebenso wie das Lymphgefäßnetz ein in sich geschlossenes Röhrensystem mit einem eigenen Antriebsorgan, dem Herzen. Das Herz pumpt das Blut in den *kleinen* und in den *großen Körperkreislauf*. Die mittlere Kreislaufdauer der zirkulierenden Blutmenge beträgt 23 s.

**5.7.2.1. Kleiner Körperkreislauf.** Aus der rechten Herzkammer kommt das venöse, d. h. verbrauchte, sauerstoffarme, kohlendioxidreiche Blut in die Lungenarterie, die sich in die Lungenkapillaren verästelt. Hier nimmt das Blut Sauerstoff auf und gibt Kohlendioxid ab, es wird arteriell und sammelt sich in den Lungenvenen. Diese leiten das Blut zum linken Herzvorhof, von hier gelangt es in die linke Herzkammer, die demnach arterielles Blut erhält.

**5.7.2.2. Großer Körperkreislauf.** Aus der linken Herzkammer gelangt das arterielle Blut in die Hauptschlagader (Aorta), die sich dann in die Arterien und weiter in die feinen Körperkapillaren, die Haargefäße, verzweigt. Bei einem Durchmesser von 5 bis 25 µm beträgt die Gesamtoberfläche der Kapillaren 21.900 m<sup>2</sup>. Die Körperkapillaren versorgen die Organe und Gewebe mit Sauer-

stoff und den im Blut enthaltenen Nährstoffen und führen nach einer „haarnadelförmigen“ Umkehr durch Gas- und Stoffaustausch die Abfallstoffe des Stoffwechsels fort. Das dadurch venös gewordene Blut der Kapillaren sammelt sich in den Venen, und diese führen das Blut, in der großen Hohlvene vereinigt, nach der rechten Herzvorhofkammer und Herzkammer. Die rechte Herzhälfte führt demnach venöses Blut. Das venöse Blut des Darmes gelangt auf dem Umweg über die Leber, nachdem es dort entgiftet wurde, in die rechte Herzkammer.



**Abb. 5.7.2.** Blutkreislauf des Menschen; 1 Haar gefäße, 2 Lunge, 3 Lungenvenen, 4 linke Vorkammer, 5 rechte Vorkammer, 6 linke Herzkammer 7 rechte Herzkammer, 8 Arterie, 9 Vene, 10 Darmgefäßnetz, 11 Lebergefäßnetz, 12 Pfortader 13 Hauptschlagader (Aorta), 14 Lungenarterie (rot sauerstoffreiches, schwarz sauerstoffarmes Blut)

des Blutvolumens, das während eines Herzschlags ausgeworfen wird, d. h. durch *erhöhtes Schlagvolumen*. Der Untrainierte reagiert vorwiegend durch erhöhte Frequenz, der Trainierte durch erhöhtes Schlagvolumen. Pulsregistrierungen spielen daher in der Arbeits- und Sportphysiologie eine große Rolle.

Die *Arbeitsleistung des Herzens* beträgt täglich 20.000 kpm; für einen Herzschlag beträgt sie 0,19 kpm oder 0,003 PS. Das Herz pumpt bei durchschnittlich 70 Schlägen je Minute ungefähr 4,9 l, in 70 Jahren 189 Mill l.

**Tab. 5.7.2.** Druck  $p$  in Torr und mittlere Stromgeschwindigkeit  $v$  in cm/s des Bluts von normalen jugendlichen Menschen

	$p$	$v$
Aorta	170	50
Armarterie	120	35
Kapillaren	25	0,05 ... 0,2
Venen	20 ... 0	20 ... 30

**5.7.2.4. Körpertemperatur.** Wie die Schlagfolge des Herzens, so wird auch die Körpertemperatur über das vegetative Nervensystem gesteuert. Die mittlere Körpertemperatur beträgt, in der Achselhöhle gemessen, 37° C, im Mastdarm bis 37,4° C. Die Körpertemperatur schwankt täglich zwischen 36,5 bis 37,2° C.

Die mittlere Körpertemperatur des Kindes ist um 0,3 grd höher als die des Erwachsenen, die des Greises um 0,5 grd niedriger. Die täglichen Schwankungen der Körpertemperatur beim Säugling betragen nur 0,5 grd.

**5.7.2.5. Lymphgefäßsystem.** Die farblos-wasserhelle *Lymph*e oder Gewebeflüssigkeit, die der Blutflüssigkeit entstammt, dringt durch die Wände der Haargefäße in die feinen Spalten und Lücken zwischen den Zellen der Gewebe, an die das in den Blutgefäßen kreisende Blut nicht herankommt, und dient dort der Zufuhr von Nährstoffen und dem Abtransport von Abbaustoffen. Die mit ihnen angereicherte Lymphe sammelt sich in einem eigenen Lymphgefäßnetz, das, einem Kanalisationsystem vergleichbar, von feinsten Lymphhaargefäßen zu den großen Lymphstämmen, dem Lymphbrustgang, auch Brustmilchgang genannt, aufsteigt, die die Lymphe in die Venen zurückleiten.

In die Lymphbahnen sind an zahlreichen Stellen hirse Korn-bohnengroße *Lymphknoten* eingeschaltet, die massenhaft weiße Blutkörperchen (Lymphozyten) erzeugen und als Filter fremde, in die Lymphbahn geratene Stoffe und Stoffwechselgifte, auch Bakterien, abfangen und unschädlich machen. Lymphknoten befinden sich besonders am Hals, in den Achselhöhlen, den Leistenbeugen, aber auch an vielen Stellen des Körperinneren. Den Lymphknoten gleichen in Bau und Funktion die Gaumen- und Rachenmandeln.

Die *Milz* ist ein Lymphorgan, das unmittelbar in die Blutbahn eingeschaltet ist. Im linken oberen Bauchraum gelegen, spielt sie eine Rolle als Blutspeicher, baut gealterte rote Blutkörperchen ab, bildet Lymphozyten und ist an der Abwehr von Infektionskrankheiten stark beteiligt.

### 5.7.3. Atmung

Bei der Atmung handelt es sich um einen Gasaustausch von Sauerstoff gegen Kohlendioxid; der dabei eingeatmete Sauerstoff wird jeweils nur zu etwa 1/5 verbraucht.

**Tab. 5.7.1.** Prozentuale Zusammensetzung (schwarz) der ein- und (rot) der ausgeatmeten Luft

Sauerstoff	21,0	16,0
Kohlendioxid	0,03	4,1
Stickstoff	78,07	79,0
Edelgase	0,9	0,9

Der Gasaustausch vollzieht sich einmal in der Lungenatmung zwischen Lungenluft und Blut, zum anderen in der Gewebeatmung zwischen Blut und dem Gewebe der Körperorgane. Die Gewebeatmung wird durch den Blutkreislauf in Gang gehalten, die Lungenatmung dazu noch durch Atembewegungen, die durch Kohlendioxidanhäufung im Blut gesteuert werden. Diese regt das Atemzentrum an und setzt damit die Atemmuskeln in Tätigkeit. Die Menge des in 24 Stunden ausgeschiedenen Kohlendioxids beträgt im Alter von 15 Jahren im Durchschnitt 765 g; sie steigt zwischen dem 18. und 40. Lebensjahr auf mehr als 1.000 g an, sinkt im Alter von 40 bis 60 Jahren auf 887 g und von 60 bis 80 Jahren auf 808 g ab.

**5.7.3.1. Luftwege.** Der Weg der eingeatmeten Luft führt durch die Nasenhöhle, bei deren Verstopfung auch durch die Mundhöhle, durch den Rachen, den Kehlkopf und die Luftröhre in die beiden Lungen.

Die *Luftröhre* hat eine Länge von 12 cm und einen Durchmesser von 2 cm; sie besteht aus 16 bis 20 Knorpelhalbringen, die auf der Hinterseite durch Hautbrücken verbunden sind. Sie gabelt sich nach unten in zwei Äste, die *Hauptbronchien*, von denen jeder in eine der beiden Lungen führt.

**5.7.3.2. Lungen.** Die beiden Lungen bilden das eigentliche Atmungsorgan mit einer Atmungsfläche von rund 150 m<sup>2</sup>. Sie ruhen im Brustraum mit ihrer Basis auf dem Zwerchfell und umgeben mit ihren Innenflächen das Herz. Tiefe Furchen teilen sie in einzelne Lappen, die rechte in drei, die linke, die dem größeren Teil des Herzens Raum lassen muß und deshalb kleiner ist, in

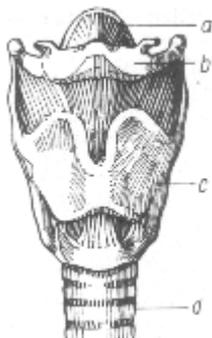
zwei. Umkleidet werden die Lungen vom *Brustfell*, der *Pleura*, dessen Teile je nach ihrer Lage als *Lungen-* oder *Rippenfell* unterschieden werden. In den Lungen verzweigen sich die von der Luftröhre kommenden *Bronchien* bis in feinste Verästelungen, denen die von Haargefäßen umspinnenen *Lungenbläschen* ansitzen, insgesamt etwa 180 Mill. Durch die hauchdünnen Wände der Bläschen und Gefäße, in denen die das Kohlendioxid abgebenden und den Sauerstoff aufnehmenden Blutkörperchen kreisen, findet der Gasaustausch statt.

Bei den Atembewegungen verhält sich die Lunge passiv. Bei der Einatmung wird der Brustraum durch Muskelkraft, insbesondere des Zwerchfells und der Zwischenrippenmuskeln, erweitert; die der Brustwand anliegende Lunge wird dabei ausgedehnt und dadurch Außenluft durch die Luftröhre in die Lungenbläschen gesaugt. Die durchschnittliche Tagesleistung der Atemmuskeln beträgt etwa 25.000 kpm.

Die Ausatmung erfolgt in der Regel dadurch, daß die bei der Einatmung aus ihrer Lage gebrachten Brustwandungen nach dem Erschlaffen der Muskeln durch ihre Schwere und Elastizität wieder in ihre frühere Lage zurückkehren. Dabei werden der Brustraum sowie der Raum der Lunge verkleinert und ein Teil der in ihr enthaltenen Luft ausgetrieben.

**5.7.3.2.1.** Der *Atemumfang* paßt sich dem Atembedarf an. Er kann bei starken körperlichen Leistungen vom Normalumfang von 7 bis 8 l bis auf 90 l je Minute ansteigen. Der größere Atemumfang kommt entweder durch Zunahme der Atemtiefe, insbesondere bei körperlich trainierten Menschen, oder durch Zunahme der Atemfrequenz zustande. Die *Respirationsluft* mit 0,5 l wird bei jedem Atemzug aus- und eingeatmet; die *Ergänzungs-* oder *Komplementärluft* mit 2 l kann nach normaler Einatmung durch Anstrengung noch eingeatmet werden; die *Reserveluft* mit 2 l kann nach normaler Ausatmung durch höchste Anstrengung zusätzlich ausgeatmet werden. Die *Vitalkapazität*, die größtmögliche Ein- und Ausatmung, beträgt demzufolge 4,5 l, und nach stärkster Ausatmung bleiben in der Lunge 1,2 l als *Rest-* oder *Residualluft* zurück.

**5.7.3.2.2.** Die *Atemfrequenz* als Anzahl der Atemzüge je Minute ist altersabhängig; sie beträgt z. B. beim einjährigen Kind 44, beim zehnjährigen 20 bis 25 und beim Mann etwa 16, bei der Frau 18 bis 22. Außerdem zeigt sie zwischen Ruhezustand (10 bis 15) und intensiver Muskeltätigkeit (etwa 50) eine starke Beschleunigung.



**Abb. 5.7.3.** Kehlkopf mit Luftröhre, von vorn gesehen (schematisch); a Kehldeckel, b Zungenbein, c Schildknorpel, d Luftröhre

**5.7.3.3. Kehlkopf und Stimme.** Der Kehlkopf am oberen Ende der Luftröhre dient auch der Erzeugung von Tönen und damit der Stimmbildung. Er besteht aus Knorpeln, Bändern und Muskeln. Der größte Knorpel, der *Schildknorpel*, bildet beim Mann am Vorderhals den sogenannten Adamsapfel. Mit dem *Ringknorpel* sitzt der Kehlkopf auf der Luftröhre auf (Abb. 6.6.3-2). Der *Kehldeckel* schützt ihn vor dem Eindringen von Fremdkörpern und schließt sich beim Schlucken von selbst. Die Knorpel des Kehlkopfes können durch Muskeln gegeneinander bewegt werden. Dadurch verengt oder erweitert sich die Stimmritze, spannen sich oder erschlaffen die Stimmänder. Diese werden durch die ausströmende Atemluft in Schwingungen versetzt und erzeugen so die Vokale und stimmhaften Konsonanten der menschlichen Sprache.

Die Knorpel des Kehlkopfes können durch Muskeln gegeneinander bewegt werden. Dadurch verengt oder erweitert sich die Stimmritze, spannen sich oder erschlaffen die Stimmänder. Diese werden durch die ausströmende Atemluft in Schwingungen versetzt und erzeugen so die Vokale und stimmhaften Konsonanten der menschlichen Sprache.

## 5.8. Verdauungs- und Ausscheidungsorgane, Stoffwechsel und Ernährung

### 5.8.1. Verdauung

Im Verdauungssystem tritt eine große Anzahl verschiedenartiger Organe zu einer funktionellen Einheit zusammen. Dadurch wird die aus oft sehr komplexen chemischen Substanzen bestehende Nahrung mittels mechanischer und chemischer Vorgänge so weit abgebaut, daß sie von den Zellen assimiliert werden kann. Die Umwandlung in eine lösliche und damit allein verwertbare Form erfolgt durch mechanische Zerkleinerung beim Kauen und durch chemische Einwirkung der von den Verdauungsdrüsen ausgeschiedenen Verdauungssäfte Speichel, Magensaft, Bauchspeicheldrüsensaft, Galle und Darmsaft. Die chemischen Umsetzungen bestehen in der Aufspaltung (Abbau) der *Eiweiße* bis zu den Aminosäuren, der *Kohlenhydrate* zu einfachen Zuckerarten und der *Fette* in Glycerin und Fettsäuren. Diese Spaltung erfolgt unter Wasseraufnahme und wird durch Verdauungsenzyme in Gang gebracht. *Enzyme*, früher als Fermente bezeichnet, sind wichtige Wirkstoffe im Stoffwechselprozeß und von meist noch unbekannter komplizierter chemischer Struktur. Sie entstehen nur in lebenden Zellen und bewirken als biologische Katalysatoren chemische Umsetzungen, indem sie die meist ihrerseits kompliziert aufgebauten und in dieser Form für den Körper nicht verwertbaren organischen Verbindungen der Nahrungsmittel in einfachere, für den Körper verwertbare Stoffe aufspalten, ohne sich dabei selbst zu verändern. Im Tier- und Pflanzenreich sind heute mehr als 700 Enzyme bekannt.

Meist führt das einzelne Enzym nur einen Teil des Abbaus herbei, so daß nacheinander mehrere Enzyme wirksam werden müssen, um den Abbau zu beenden.

**Tab. 5.8.1.** Die wichtigsten Verdauungsenzyme

Name	enthalten im	Wirkung
<i>Ptyalin</i>	Speichel	← wandelt Stärke in Dextrin (Zwischenstufe zum Traubenzucker) um
<i>Labferment</i>	Magensaft (des Säuglings)	bringt Milcheiweiß zum Gerinnen (Parakasein)
<i>Pepsin</i>	Magensaft	wandelt Eiweißstoffe in Peptone um
<i>Trypsin</i> und <i>Chymotrypsin</i>	Bauchspeichel (Pankreassaft)	spaltet Eiweiß
<i>Lipase</i>	Bauchspeichel (durch Galle aktiviert)	zerlegt Fette
<i>Amylase</i>	Pankreassaft	spaltet Stärke

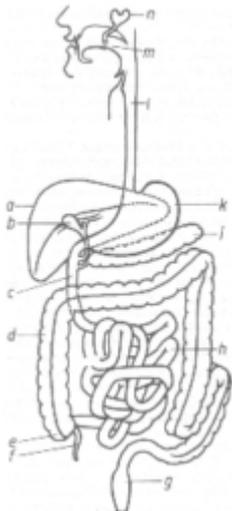
**5.8.1.1. Mundhöhle, Schlund und Speiseröhre.** In die Mundhöhle sondern mehrere *Speicheldrüsen*, darunter deren größte, die vor dem Ohr liegende Ohrspeicheldrüse, den Speichel ab, der die Verdauung durch die beginnende Umwandlung der Kohlenhydrate einleitet und unlösliche Stärke durch das Enzym *Ptyalin* in lösliche Zucker, Dextrin und Malzzucker, verwandelt. Die Zusammensetzung des Speichels wechselt je nach Art des Reizes, der den Speichelfluß auslöst (Abwehr- oder Spülspeichel, Verdauungsspeichel), nach der Art der aufgenommenen Nahrung u. a. Im Durchschnitt enthält die Trockensubstanz des Speichels 60 organische Bestandteile, wie den Schleimstoff Muzin, Eiweißkörper, z. B. Albumine, das kohlenhydratspaltende Enzym *Ptyalin*, und 40% anorganische Bestandteile, z. B. Salze. Die täglich abgesonderte Speichelmenge beträgt etwa 700 ml.

Die Mundhöhle führt nach hinten in den Schlund oder Rachen, der sich nach unten in die Speiseröhre fortsetzt. Diese liegt in der Brusthöhle hinter der Luftröhre und führt durch einen Schlitz des Zwerchfells zum Magen. Die Speiseröhre ist ein häutiger, mit glatter Muskulatur versehener Schlauch, der eine Länge von etwa 25 cm und einen Durchmesser von 1,5 cm hat. Beim Schluckakt verschließt der Kehldeckel den Eingang zum Kehlkopf und

schützt so die Atmungsorgane vor dem Eindringen von Fremdkörpern ( Abb. 6.6.3-2).

**5.8.1.2. Magen.** Der Magen ist ein häutiger, durch mehrere Muskelschichten verstärkter Sack von etwa 2500 cm<sup>3</sup> Rauminhalt. Er liegt in der Bauchhöhle unterhalb des die Bauchhöhle von der Brusthöhle trennenden Zwerchfells auf der linken Seite. Form und Lage im einzelnen ändern sich mit dem Ausmaß der Füllung, die Lage auch mit zunehmendem Alter. Der Magen ist unterhalb seines Eingangs, des *Magenmundes*, am weitesten; er verengt sich nach seinem Ausgang, dem *Pfortner*, zu, dessen ringförmiger Schließmuskel den Speisebrei in Abständen in den Zwölffingerdarm eintreten läßt.

Im Magen wird der Speisebrei durch den von den Magendrüsen in einer täglichen Menge von etwa 1500 ml abgesonderten *Magensaft* chemisch weiter zersetzt. Regelmäßige Bewegungen der Magenmuskulatur, die *Magenperistaltik*, sorgen dafür, daß der Mageninhalt mit Magensaft durchmischt wird. Der Magensaft besteht im wesentlichen aus Wasser, enthält aber an wichtigen Bestandteilen Salzsäure, eine Voraussetzung für die Eiweißverdauung und außerdem antibakteriell wirkend, und das Enzym Pepsin. Dieses spaltet die Eiweißstoffe in ein Gemisch von Polypeptiden. Verschluckter Speichel setzt den Stärkeabbau fort. Im Säuglingsmagen findet man das *Labferment*, das das Milcheiweiß zum Gerinnen bringt.



**Abb. 5.8.2.** Der Verdauungskanal des Menschen; a Leber, b Gallenblase, c Zwölffingerdarm, d Dickdarm, e Blinddarm, f Wurmfortsatz, g Mastdarm, h Dünndarm, i Bauchspeicheldrüse, k Magen, l Speiseröhre, m Mundhöhle, n Ohrspeicheldrüse

**5.8.1.3. Darm.** Man unterscheidet am Darm zwei Abschnitte: den glatten, etwa 2 bis 3 m langen *Dünndarm* mit Zwölffinger- (weil etwa 12 Fingerbreiten lang), Leer- (weil bei Leichen meist ohne Inhalt) und Krummdarm, die in zahlreichen beweglichen Schlingen die Bauchhöhle ausfüllen, und den durch Einschnürungen gekennzeichneten, etwa 1,50 m langen *Dickdarm* mit Blind-, Grimm- und Mastdarm. Die Einmündungsstelle des Krummdarmes in den aufsteigenden Grimmdarm, der mit seinen drei Teilen wie ein Rahmen die ganze Bauchhöhle umspannt, liegt seitlich etwas oberhalb von dessen unterem Ende. Dadurch entsteht der sackartige *Blinddarm*, von dem der etwa 5 cm lange Wurmfortsatz, fälschlich oft „Blinddarm“ genannt, ausgeht. Dünndarm wie Dickdarm sind je an einer nach Art einer Halskrause gefalteten Bauchfellfalte, Gekröse genannt, an der hinteren Rumpfwand befestigt, innerhalb deren dem Darm die Blut- und Lymphgefäße sowie die Nerven zugeführt werden. Durch die Darmperistaltik, die wellenförmigen Zusammenziehungen der Darmmuskulatur,

wird der Darminhalt weiterbefördert und mit den Verdauungssäften durchwirkt. Er verbleibt im Dünndarm 4 bis 5 Stunden, im Dickdarm 8 bis 12 Stunden.

**Tab. 5.8.2.** Die Verweildauer verschiedener Nahrungsmittel im Magen (in Stunden)

1	2	3	4	5
Wasser	Kaffee	Huhn	gebratenes	
Milch	mit Sahne	gekochtes	Rindfleisch	
Wein	Rührei	Rindfleisch	Gänse-	
Bier	Kalbshirn	Schinken	braten	
schwarzer	Kochfleisch	Kalbs-	Enten-	
Kaffee	Blumen-	braten	braten	
Fleisch-	kohl	Schwarz-	Salzhering	
brühe	Kartoffeln	brot	Linsen	

Reis	Weißbrot	Kohlrabi	Erbsenbrei
Eier,		Möhren	Schnitt-
weich		Spinat	bohnen
gekocht		Radischen	Pökel-
		Äpfel	fleisch
		Gurken-	
		salat	

In den *Zwölffingerdarm*, das obere Teilstück des Dünndarms, münden die Ausführungsgänge der *Bauchspeicheldrüse* (Pankreas) und der Lebergallengang. Der Bauchspeichel baut, ähnlich dem Mundspeichel, mit seinen Enzymen die Stärke in verschiedenen Stufen zu dem von den Körperzellen unmittelbar resorbierbaren Traubenzucker ab, spaltet die durch den Gallensaft zuvor in eine Emulsion verwandelten Fette in Glycerin und Fettsäuren, das Eiweiß in Polypeptide auf. Das Enzym *Erepsin* beendet schließlich die Eiweißverdauung und baut Polypeptide zu Aminosäuren ab. Die Resorption der durch Spaltung entstandenen Nährstoffe in den Säftestrom des Körpers findet im wesentlichen nur im oberen Teil des Dünndarms statt. Dort weist die Schleimhaut des Dünndarms sehr dicht stehende, in den Darminnenraum vorspringende feinste Fortsätze, die *Darmzotten*, auf, deren Blut- und Lymphgefäße die Nährstoffe aufnehmen. Die Fettsäuren wandern dabei in die Lymphbahn, die *Aminosäuren* und der Traubenzucker durch ein dichtes Netzwerk von Haargefäßen unmittelbar in die Blutbahn.

Im Dickdarm wird u. a. Wasser resorbiert; es findet keine eigentliche Verdauung mehr statt. Durch Gärungs- und Fäulnisbakterien, insbesondere durch *Bacterium coli commune*, *Bacterium loctis aerogenes*, *Bacillus putrificus*, werden die letzten noch verwertbaren Stoffe zersetzt; das eingedickte Endprodukt, der *Kot*, wird durch Mastdarm und After ausgeschieden.

Die tägliche Kotmenge beträgt 100 bis 1000 g. Vorwiegend vegetarische Kost gibt ein hohes Kotgewicht. 75 bis 85% beträgt der Wasseranteil des Kotes, 15 bis 25% der Anteil an Trockensubstanz. Diese setzt sich aus unverdauten Nahrungsbestandteilen, wie Pflanzen- und Fleischfasern, aus festen Bestandteilen nicht resorbierbarer Verdauungssäfte und zu 1/4 bis 1/8 aus Bakterien zusammen.

**5.8.1.4. Leber.** Die Leber ist mit einer Masse von etwa 1500 g die größte Drüse des menschlichen Körpers. Sie liegt auf der rechten Seite der Bauchhöhle, vom Herzen nur durch die dünne Sehnenplatte des Zwerchfells getrennt. In den mehr als 1 Million Läppchen, aus denen sich die Leber zusammensetzt, sind die einzelnen Leberzellen von Haargefäßen umspinnen, die aus den Blutadern des Darmes rote Blutkörperchen heranführen, aus denen die *Gallenflüssigkeit* gebildet wird. Diese sammelt sich in *Gallengängen*, die sich schließlich im Lebergallengang vereinigen, der gemeinschaftlich mit dem Ausführungsgang der Gallenblase in den Zwölffingerdarm mündet. Die täglich abgesonderte Gallenmenge beträgt etwa 900 g.

Außer zur Erzeugung der für die Fettverdauung unentbehrlichen Gallenflüssigkeit dient die Leber als Filter zwischen Darm und Blutkreislauf, das dauernd von dem aus Magen, Darm und MiIz stammenden Blut passiert wird und dieses von ungeeigneten Stoffen reinigt. Weiterhin dient die Leber als Staubbecken für die Blutregulierung des Herzens und als Speicher für Fette und Kohlenhydrate, insbesondere für das *Glykogen*, den gespeicherten Treibstoff für die arbeitenden Muskeln, zu dem sie einen Teil des vom Blut empfangenen Traubenzuckers umwandelt.

Die *Gallenblase*, an der unteren Leberfläche gelegen, ist ein birnenförmiges häutiges Säckchen, das überschüssige Galle sammelt und eindickt, um sie nach Bedarf in den Zwölffingerdarm abzugeben. Sie hat einen Rauminhalt von 40 cm<sup>3</sup>.

**5.8.1.5. Bauchspeicheldrüse.** Die Bauchspeicheldrüse (Pankreas) ist ein Organ von etwa 15 cm Länge, 3 bis 9 cm Breite, einer Dicke von 2 bis 3 cm und einer Masse von 60 bis 100 g. Sie liegt dicht hinter dem Magen in Höhe des 2. Lendenwirbels. Sie entleert täglich etwa 600 bis 800 ml des von ihr abgesonderten Sekrets, den Bauchspeichel, in den Zwölffingerdarm, wo es wich-

tige Aufgaben bei der Verdauung zu erfüllen hat. Darüber hinaus ist die Bauchspeicheldrüse auch ein Organ mit innerer Sekretion, das den Zuckerstoffwechsel reguliert.

### 5.8.2. Ausscheidungsorgane

Jede Flüssigkeit, die der Körper aufnimmt, nimmt ihren Weg über Magen, Darm, Blutkreislauf bis zu den Nieren, von denen sie ausgeschieden wird.

**5.8.2.1. Nieren.** Zu den größten Drüsen des menschlichen Körpers rechnen auch die beiden Nieren, bohnenförmige, 120 bis 200 g schwere Organe, die, von einem Fettpolster umgeben, außerhalb der vom Bauchfell ausgekleideten Bauchhöhle an der hinteren Bauchwand zu beiden Seiten der oberen Lendenwirbelsäule sitzen. Das äußere Nierengewebe oder *Rindengewebe* besteht aus einer überaus großen Anzahl feinsten Kanälchen, die in das *Nierenbecken*, einen Hohlraum an der Nierenwurzel, münden. Von hier führt der Harnleiter zur Blase. Die Nieren stellen ein Filter dar, durch das täglich rund 1000 l Blut strömen und die nicht verwendbaren oder schädlichen Stoffwechselprodukte, insbesondere Salzlösungen, mit denen es beladen ist, absetzen. Der *Harnbildungsprozess* spielt sich in den Kanälchen ab, in deren becherartige Erweiterungen Gefäßknäuel der Schlagadern hineinragen, durch deren Wände hindurch die schädlichen und überflüssigen Stoffe aus dem Blut austreten. Das von den Harnbestandteilen gereinigte Blut fließt durch ein Haargefäßnetz in die Venen und damit in den Körperkreislauf zurück. Der im Nierenbecken gesammelte Harn gelangt von hier tropfenweise durch den Harnleiter in die Blase.

**5.8.2.2. Harnleiter und Harnblase.** Die Harnblase ist ein im kleinen Becken gelegener häutigmuskulöser Sack von kugelförmiger bis eiförmiger Gestalt, der sehr dehnbar ist; ihr Fassungsvermögen beträgt 200 bis 450 ml. Sie ist durch die beiden Harnleiter mit den Nieren verbunden. Der Harn fließt durch die Harnröhre ab, wenn der Blasenschließmuskel den Abfluß freigibt.

Der in 24 Stunden entleerte Harn des Erwachsenen enthält durchschnittlich 60 g gelöste Substanzen: davon entfallen auf

Kalium	2 ... 3
Natrium	4 ... 5,5
Ammoniak	0,3, 1,2
Kalzium CaO	0,16
Magnesium MgO	1,23
Kochsalz NaCl	6 ... 15
Schwefelsäure	0,2 ... 2,5
Phosphorsäure	2,5 ... 3,5
Harnstoff	20 ... 30
Harnsäure	0,2 ... 1
Kreatinin	0,5 ... 1
Hippursäure	0,1 ... 1

**5.8.2.3. Der Wasserhaushalt.** Weil sich alle Stoffwechselprozesse in wäßriger Lösung vollziehen und Wasser im Körper nur in geringem Maße gespeichert werden kann, werden an den Wasserhaushalt hohe Anforderungen gestellt. Man bezeichnet damit die Gesamtheit der Vorgänge im Körper, die Aufnahme, Transport, Verwertung und Abgabe von Wasser betreffen. Ein Erwachsener nimmt im Verlauf von 24 Stunden etwa 1300 ml Wasser mit Getränken und 1000 ml mit sonstigen Speisen auf; 350 ml fallen bei den Verbrennungsvorgängen während der Verdauung an. Ausgeschieden werden die insgesamt 2650 ml zu rund 1500 ml mit dem Harn, 450 ml scheidet die Haut aus, 550 ml werden mit der Atemluft ausgeschieden und nur rund 1150 ml mit dem Kot.

In Krankheitsfällen oder bei starker Belastung unterliegen diese Zahlen erheblichen Veränderungen. So scheiden Zuckerkrankt täglich bis zu 10.000 ml Harn, Ruhrkrankt nur einige 100 ml Harn, dafür aber bis zu 3.000 ml Wasser mit dem Kot aus. Bei starkem Schwitzen werden im Laufe eines Tages über 1000 ml Schweiß abgesondert.

### 5.8.3. Stoffwechsel und Ernährung

Der Stoffwechsel umfaßt die Gesamtheit der chemischen Vorgänge, die der Aufnahme, der Umsetzung und dem Abbau derjenigen Stoffe dienen, die für das Bestehen des Organismus und zur Aufrechterhaltung seiner Funktionen notwendig sind. Die im Stoffwechsel verbrauchte Energie stammt aus dem schrittweisen enzymatischen Abbau körpereigener Stoffe. Diese müssen daher laufend durch die Nahrung ersetzt werden. Auch bei völliger Ruhe wird vom Organismus zur Aufrechterhaltung seiner Funktionen Energie verbraucht.

**5.8.3.1. Grundumsatz.** Der Energieumsatz des Körpers bzw. der Kalorienbedarf, angegeben in Kilokalorien (kcal) des ruhenden, nüchternen Menschen wird als Grundumsatz bezeichnet. Er läßt sich durch den Verbrauch an Sauerstoff bestimmen und ist von Alter und Geschlecht abhängig. Er ist am höchsten in der Kindheit, da dort des Wachstums und der größeren Beweglichkeit wegen der Kalorienbedarf relativ am größten ist.

**Tab. 5.8.3.** Grundumsatz je 1 m<sup>2</sup> Körperoberfläche in 24 Stunden

Alter	Mann	Frau
14 Jahre	1100 kcal	1030 kcal
18 Jahre	980 kcal	920 kcal
30 Jahre	930 kcal	880 kcal
50 Jahre	900 kcal	820 kcal
60 Jahre	860 kcal	810 kcal

**5.8.3.2. Kalorienbedarf.** Die Grundbestandteile der Nahrung, Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße, stellen die notwendigen Kalorien bereit. Eine Kilokalorie bezeichnet diejenige Wärmemenge, die notwendig ist, um die Temperatur von 1 kg Wasser um 1 grad zu erhöhen. Es entsprechen 1 g Kohlenhydrat bzw. 1 g Eiweiß 4,1 kcal, 1 g Fett 9,3 kcal.

Bei der Errechnung des Gesamtkalorienbedarfs geht man von dem Kalorienverbrauch aus, den der Mensch ohne Arbeitsleistung hat. Als Norm gelten für Männer 1700 kcal, für Frauen 1300 kcal, bezogen auf 24 Stunden. Von diesen Mittelwerten gelangt man durch Zuschläge je nach Berufsschweregrad zu brauchbaren Richtsätzen, die zwar den persönlichen Bedarf des einzelnen nicht berücksichtigen, aber für volks- und ernährungswirtschaftliche Überlegungen gute Durchschnittswerte darstellen. Bei sehr schwerer körperlicher Arbeit oder hohem Wärmeverlust können unter Umständen 5000 und mehr Kilokalorien benötigt werden. Außerdem braucht der menschliche Körper täglich 10 bis 20 g Kochsalz und einige andere Salze, die u. a. Kalium und Kalzium enthalten müssen.

**5.8.3.3. Kaloriengehalt.** Wenn auch der Kaloriengehalt wichtige Aufschlüsse über den Nährwert der Nahrungsmittel gibt, so ist es doch im Interesse einer optimalen Ernährung von Bedeutung zu wissen, in welchem Verhältnis sie die Grundbestandteile Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate und Wasser enthalten.

**5.8.3.4. Vitamine.** Vitamine sind lebensnotwendige organische Verbindungen von meist komplizierter chemischer Zusammensetzung, die, ohne selbst für den Aufbau der Zellen in Frage zu kommen, als reine Wirkstoffe für einen normalen Ablauf des Zellstoffwechsels und damit für Wachstum und Erhaltung des Körpers unentbehrlich sind. **Sie sind schon in sehr kleinen Mengen wirksam. Viele von ihnen stehen in enger Beziehung zu wichtigen körpereigenen Enzymen und Hormonen.** Manche Vitamine kann der Körper aus unwirksamen Vorstufen, den Provitaminen, selbst synthetisieren. Ein großer Teil des Vitaminbedarfs wird durch die Darmbakterien gedeckt. Im allgemeinen ist er jedoch auf die Zufuhr durch die Nahrung angewiesen. Man unterscheidet fettlösliche (A, D, E, K) und wasserlösliche Vitamine (B, C). Die hier aufgeführten Vitamine sind z. T. Vertreter ganzer Vitamingruppen (B-, D-Gruppe).

### Tab 5.8.4. Vitamine

Vitamin A ( <i>Retinol, Beta-Carotin</i> )	Vitamin B1 ( <i>Thiamin</i> )
Vitamin C ( <i>Ascorbinsäure</i> )	Vitamin B2 ( <i>Riboflavin</i> )
Vitamin D ( <i>Calciferol</i> )	Vitamin B3 ( <i>Niacin</i> )
Vitamin E ( <i>Tocopherol</i> )	Vitamin B5 ( <i>Pantothen</i> )
	Vitamin B6 ( <i>Pyridoxin</i> )
Vitamin F ( <i>Fettsäuren</i> )	Vitamin B12 ( <i>Cobalamin</i> )
Vitamin K ( <i>Phytomenadion</i> )	Vitamin B ( <i>Folsäure</i> )
Vitamin P ( <i>Permeabilität</i> )	Vitamin H ( <i>Biotin</i> )

Bei vernünftiger, vielseitiger Ernährung reichen in fast allen Fällen die in der Nahrung enthaltenen Mengen für den gesunden Erwachsenen aus. Ungenügende Zufuhr führt meist zu schweren Störungen. Einige Vitamine, z. B. A und D, können auch dann zu Krankheitserscheinungen führen, wenn sie im Übermaß aufgenommen werden. Viele Vitamine werden heute bereits synthetisch hergestellt.

Der *Vitaminbedarf* ist nicht gleichbleibend. Er hängt vom Lebensalter ab und erhöht sich durch stoffwechselsteigernde Prozesse wie Arbeit, Schwangerschaft, Infektionen u. a.

Der *Vitaminverlust durch Lagerung* ist bei dem sehr sauerstoff- und hitzeempfindlichen Vitamin C (Ascorbinsäure) beträchtlich. So enthalten 100 g Pellkartoffeln, abgesehen von sortenbedingten Unterschieden, im Oktober durchschnittlich 18 mg Vitamin C, nach einem Vierteljahr, im Januar, noch 11 mg und im darauffolgenden Mai nur noch 7 mg.

Die *Vitaminversorgung* muß wegen der Abhängigkeit wichtiger Körperfunktionen von der Zufuhr durch die Nahrung kontinuierlich erfolgen. Die folgenden Angaben beziehen sich auf die drei wichtigsten Vitamine.

*Vitamin A.* Vom Spätfrühjahr bis Dezember erfolgt die Bedarfsdeckung besonders durch Gemüse, von Januar bis Mai, dem Höhepunkt des Vitamin-A-Mangels, durch Butter, Milch, Wurst, vor allem Leberwurst, Seefische, besonders Roggen und Milch.

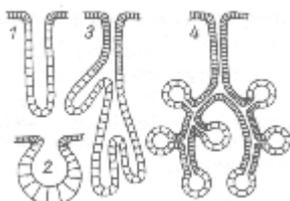
*Vitamin B.* Hochoausgemahlene Vollkornbrot, Kartoffeln und Gemüse liefern das ganze Jahr hindurch ausreichende Mengen. Da Vitamin B wasserlöslich und leicht auslaugbar ist, darf Kochwasser von Gemüse nicht weggeschüttet werden. Nährhefe ist eine sehr wichtige Vitamin-B-Quelle.

*Vitamin C.* Da beim Kochen leicht zerstörbar, besonders in eisernen und kupfernen Gefäßen und durch langdauerndes Kochen in Kochkisten, ist sorgfältigste Zubereitung der Speisen äußerst wichtig. Neben rohem Gemüse u. a. ist die Hauptquelle die Kartoffel. Völliger Vitaminverlust tritt ein, wenn geschälte Kartoffeln stundenlang an der Luft stehen; geschälte Kartoffeln im Wasser verlieren durch Auslaugen den größten Teil ihres Gehalts an Vitamin C und B. Deshalb geschälte Kartoffeln und geputztes Gemüse sofort ins Kochwasser geben und so kurz wie möglich kochen (Kochkiste meiden!). Im Herbst und Winter würden täglich 1/2 kg Kartoffeln genügen, um den gesamten Bedarf an Vitamin C zu decken, im Frühjahr und Sommer wegen des Vitaminverlustes durch Lagerung 3/4 bis 1 kg.

## 5.9. Drüsen und Wirkstoffe

### 5.9.1. Exkretions- und Sekretionsdrüsen

Alle Sekretionsdrüsen besitzen besondere Ausführungsgänge, durch die sie ihre Säfte (Sekrete) in Körperhöhlen oder auf die Körperoberfläche absondern. Bei den Nieren, die für den Körper unbrauchbare Stoffe (Exkrete) ausscheiden, spricht man wie bei den Schweißdrüsen nicht von Sekretion, sondern von Exkretion.



**Abb. 5.9.1.** Drüsenformen (schematisch); 1 tubulöse Drüse, z. B. Schweißdrüsen, 2 alveoläre (azinöse) Drüse, z. B. Talgdrüsen, 3 verästelte tubulöse Drüse, z. B. Magendrüse, 4 verästelte alveoläre Drüse, z. B. Talgdrüsen

**5.9.1.1. Die Schweißdrüsen,** etwa 500 je 1 cm<sup>2</sup>, liegen in der Haut und scheiden ein wäßriges, z. T. auch fetthaltiges Exkret, den Schweiß, aus, der mit Abfallstoffen (z. B. Harnstoff, Harn- und Fettsäuren) und anorganischen Substanzen (hauptsächlich Kochsalz, aber auch Phosphate, Sulfate) beladen ist, die dem Blutreinigungsprozeß entstammen. Die tägliche Schweißabgabe beträgt 1/2 l. Sie kann unter besonderen Umständen auf ein Mehrfaches ansteigen (6.7.2.3.).

**5.9.1.2. Die Talgdrüsen** stehen fast stets mit einem Haarbalg in Verbindung. Ihre Absonderung fettet die Haut ein und hält sie geschmeidig; ihre Verstopfung hat Pickel und „Mitesser“ zur Folge.

**5.9.1.3. Die Schleimdrüsen** sind in sämtliche Schleimhäute eingebettet und dienen dazu, diese feucht und schlüpfrig zu halten. Drüsen, deren Sekrete Begleitstoffe der Samenzellen liefern, sind die *Prostata* und die *Bläschendrüsen* des Mannes sowie die beim Geschlechtsakt lebhaft sezernierenden *Cowperschen Drüsen* des Mannes; letzteren entsprechen die *Bartholinschen Drüsen* der Frau.

**5.9.1.4. Die Milchdrüsen** der Frau bilden einen mehrlappigen Drüsenkörper, der als Anhangsgebilde des Hautorgans auf dem großen Brustmuskel aufsitzt. Die einzelnen Lappen sind von Fettgewebe umhüllt, das den Brüsten ihre halbkugelige Form gibt. Ihre Milchgänge münden in die Brustwarzen ein und enden in Milchporen. Nach den Wechseljahren schwinden die Drüsenkörper. Während der Stillzeit werden täglich 500 bis 1500 cm<sup>3</sup> Milch erzeugt.

Drüsen, deren Säfte zur Verdauung benötigt werden, sind *Speichel-, Magen-, Darmdrüsen, Bauchspeicheldrüse, Leber*).

### 5.9.2. Hormondrüsen

Die Drüsen mit innerer Absonderung, auch endokrine oder Inkretdrüsen genannt, haben keine Ausführungsgänge, sondern geben ihre Sekretionsprodukte (Inkrete oder Hormone) in meist sehr geringen Mengen unmittelbar in die Blutbahn ab.

**5.9.2.1. Hirnanhangdrüse.** Der *Hirnanhang (Hypophyse)* ist ein an der unteren Hirnfläche an einem Stiel sitzendes, bohnen großes Organ von etwa 0,5 g Gewicht. Der Hypophysenhinterlappen steht durch Nerven, dem Hypophysenstiel, in engster Verbindung mit den vegetativen Zentren des Zwischenhirns. Von bestimmten Nervenzellen des Zwischenhirns werden durch den Prozeß der Neurosekretion zwei verschiedene Hormone gebildet, das *Oxytocin* und das *Vasopressin*. Diese gelangen über den Hypophysenstiel in den Hinterlappen der Hypophyse, werden dort gespeichert und bei Bedarf an das Blut abgegeben. Der Hypophysenvorderlappen hingegen produziert selbst Hormone, die entweder direkt auf den Organismus einwirken, wie das Wachstumshormon, oder aber die Tätigkeit der sogenannten peripheren Hormondrüsen, der Schilddrüse, der Nebennierenrinde und der Keimdrüsen, steuern und somit auf indirektem Wege Stoffwechsel- und Fortpflanzungsprozesse beeinflussen. Die Hormone der peripheren Drüsen hemmen ihrerseits auf dem Wege der negativen Rückkopplung die Tätigkeit des Hypophysenvorderlappens, so daß ein Regelkreis entsteht, in den jedoch das Zwischenhirn steuernd einzugreifen vermag. Das Zwischenhirn produziert Faktoren, die die Bildung und Abgabe der Vorderlappenhormone fördern, und ist seinerseits von anderen Zentren des Zentralnervensystems abhängig. Auf diese Weise entsteht ein hochkompliziertes hormonales Steuer- und Regelungssystem, das auf dem vorgezeigten Wege über das Zentralnervensystem von Umweltfaktoren und nicht zuletzt von psychischen Faktoren beeinflusst wird. Unter abnormen äußeren Bedingungen, insbesondere aber unter seelischen Belastungen, kann diese Einflußnahme das Auftreten von Krankheiten auslösen oder sogar verursachen. Daneben sind angeborene Störungen der Hypophysentätigkeit bekannt. Sie können je nach Art zu Zwerg- oder Riesenwuchs führen; unter Umständen können auch abnorme Behaarung oder Verblödung eintreten.

**5.9.2.2. Die Zirbeldrüse (Epiphyse)** hat ein Gewicht von etwa 0,2 g und liegt zwischen Groß- und Kleinhirn; nach dem 7.

Lebensjahr bildet sie sich wieder zurück. Ihr Hormon hat Einfluß auf Längenwachstum und Keimdrüsen und soll die geschlechtliche Frühreife verhindern; jedoch ist die Funktion der Epiphyse noch immer nicht restlos geklärt.

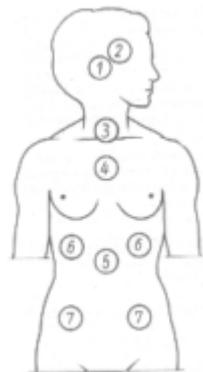
**5.9.2.3. Die Schilddrüse** ist ein aus mehreren reichlich durchbluteten Lappen bestehendes Organ von 20 bis 30 g Gewicht, das sich um den Schildknorpel des Kehlkopfes herumlegt. Erkrankt, kann die Schilddrüse zu einem mehr oder weniger großen „Kropf“ (Struma) anschwellen. Ihr Ausfall hemmt im Entwicklungsalter das Längenwachstum und führt zur Verblödung (Kretinismus). Die Schilddrüse beeinflusst durch ihre Hormone, die das mit der Nahrung in kleinsten Mengen aufgenommene *Jod* enthalten, den Stoffwechsel (möglicherw. Ursache für Diabetes mellitus).

**5.9.2.4. Nebenschilddrüsen.** Die vier Nebenschilddrüsen (*Epithelkörperchen*) sind etwa linsengroß und liegen auf der Rückseite der Schilddrüse. Ihr Hormon ist besonders für den Kalziumstoffwechsel und damit für die Festigkeit der Knochen und Zähne von Bedeutung.

**5.9.2.5. Die Langerhansschen Inseln** sind kleine Zellgruppen in der Bauchspeicheldrüse, die die für den Kohlenhydrat- (insbesondere Zucker-) Stoffwechsel wichtigen Pankreashormone Insulin und Glukagon erzeugen.

**5.9.2.6. Die Nebennieren** sind auf dem oberen Ende jeder Niere kappenförmig aufsitzende kleine Drüsen, die aus zwei wesentlich verschiedenen Teilen bestehen, der Rinde und dem Mark. Die Hormone der Marksubstanz, dem *Adrenalin* und das *Noradrenalin*, die schon in winzigsten Mengen wirksam und auch synthetisch herstellbar sind, steigern den Blutdruck und regeln durch Verengung und Erweiterung der Gefäße in den Bauchorganen, der Haut und der Muskulatur die Verteilung des Blutes im Körper. Sie beschleunigen die Herzaktivität und wirken blutstillend. Die Hormone der Rindensubstanz, die Kortikosteroide, haben tiefgreifenden Einfluß auf die Zusammensetzung des Blutes und auf den Stoffwechsel. Sie sind damit für die Anpassung des Organismus an die wechselnden Umwelteinflüsse in hohem Maße verantwortlich; ihr Ausfall kann tödlich wirken.

**5.9.2.7. Die Keimdrüsen** erzeugen außer den Keimzellen auch noch wichtige Hormone (Sexualhormone), die die Entwicklung der Geschlechtsorgane und die mit der Fortpflanzung zusammenhängenden physiologischen Funktionen regeln.



**Abb. 5.9.2.** Lage der Inkretdrüsen des Menschen; 1 Zirbeldrüse, 2 Hypophyse, 3 Schilddrüse, 4 Thymusdrüse, 5 Langerhanssche Inseln, 6 Nebenniere, 7 weibliche Keimdrüsen

### 5.9.3. Hormone

Hormone, deren wichtigste hier aufgeführt sind, sind Absonderungen (Inkrete) der Drüsen mit innerer Sekretion. Es sind lebenswichtige Stoffe, die schon in sehr geringen Mengen auf dem Weg über die Blutbahn anregend oder hemmend auf Lebensvorgänge einwirken, insbesondere deren chemischer Regulierung dienen. Bei ungenügender Hormonbildung kommt es meist zu schweren körperlichen und geistigen Störungen. Einige Hormone, deren Aufbau bekannt ist, können synthetisch hergestellt werden. Die Bedeutung dieser Tatsache geht daraus hervor, daß z.B. zur natürlichen Gewinnung von 1 kg eines synthetisch hergestellten Sexualhormons die entsprechenden Stoffe von nicht weniger als 12 Millionen Stieren erforderlich wären.

**Tab. 5.9.1.** Hormone, ihr Entstehungsort (rot) und ihre Wirkung  
**Hypophyse, Vorderlappen**

- Wachstumshormon - steuert das Körperwachstum
- gonadotrope Hormone (follikelstimulierendes, interstitielle - Zellen-stimulierendes und luteotropes Hormon) - beeinflussen als „übergeordnete Sexualhormone“ Samenzellbildung, Menstruation, Schwangerschaft und Milchsekretion

- thyreotropes Hormon - beeinflusst Schilddrüsentätigkeit
- adrenokortikotropes Hormon - beeinflusst die Nebennierenrinde

### Hypophyse, Zwischenlappen

- Pigmenthormon - regelt Hautfärbung (Pigmentierung) bei niederen Wirbeltieren; Funktion beim Menschen ungeklärt

### Zwischenhirn, Speicherung im Lappen der Hypophyse

- Vasopressin (Adiuretin) - Konzentrierung des Harns, unter experimentellen Bedingungen Blutdrucksteigerung
- Oxytozin - Kontraktion der Uterusmuskulatur (Geburtswehen), Auspressung der Milch beim Saugakt

### Schilddrüse

- Schilddrüsenhormon - paßt den Stoffwechsel den augenblicklichen Bedürfnissen an

### Epithelkörperchen

- Epithelkörperchenhormon - regelt Kalziumstoffwechsel

### Langerhanssche Inseln (B-Zellen)

- Insulin - bewirkt Zuckerspeicherung in der Leber und -verbrauch in den Muskeln, senkt den Blutzuckerspiegel (Unterfunktion führt zu Zuckerkrankheit)

### Langerhanssche Inseln (A-Zellen)

- Glukagon - wirkt dem Insulin entgegen, erhöht den Blutzuckerspiegel

### Markschicht der Nebennieren

- Adrenalin, Noradrenalin - steigern Blutdruck und Herzfrequenz, mobilisieren den Blutzucker (Gegenspieler des Insulins)

### Rindenschicht der Nebennieren

- Kortikosteroide - regeln Wasserverteilung im Körper, beeinflussen Nierentätigkeit und Mineralstoffwechsel. Regelung des Protein- und Kohlenhydratstoffwechsels
- Adrenosteron - schafft männliches Gepräge, z.B. Bartwuchs

### Hoden

- Androsteron, Testosteron - schaffen männliches Gepräge, regeln den Geschlechtstrieb

### Eierstöcke

- Östron (Follikelhormon), Östriol (Hydrat des Follikelhormons), Östradiol (Dihydro-Follikelhormon) - regeln Ausbildung von Eileitern, Gebärmutter, Scheide; bedingen den Geschlechtstrieb

### Gelbkörper des Eierstocks, ab 4. Schwangerschaftsmonat Plazenta

- Progesteron- (Gelbkörperhormon) - bereitet Gebärmutter für Einnistung des befruchteten Eies vor

### Magenschleimhaut

- Sekretin - löst Absonderung von Verdauungssaft der Bauchspeicheldrüse aus

## 5.10. Fortpflanzung, Wachstum, Alter, Tod

### 5.10.1. Geschlechtsorgane

**5.10.1.1. Männliche Geschlechtsorgane.** Der im Hoden gebildete und im Nebenhoden gespeicherte Samen gelangt durch den *Samenleiter* (-strang), der durch den Leistenkanal in die Bauchhöhle führt, in den oberen Teil der Harnröhre. Kurz vor seiner Einnüpfung in die Harnröhre durchbohrt der Samenleiter mit

seinem Ausspritzungsgang die etwa kastaniengroße *Vorsteherdrüse*, hinter der sich an der hinteren Blasenwand die *Samenbläschen* (Bläschendrüsen) befinden. Die Absonderungen der Vorsteherdrüse und der Samenbläschen mischen sich dem Samen (Sperma) bei, einer weiblichen Flüssigkeit, die die eigentlichen *Samenzellen* enthält. Der Übertragung der Samenzellen in die weiblichen Geschlechtsorgane dient das *männliche Glied*, der Penis, der von der sowohl den Harn wie den Samen abführenden Harnröhre durchzogen wird. Diese ist von Schwellkörpern, d. h. blutgefäßreichen, schwammigen Geweben, umgeben, die, sich prall mit Blut füllend, das Glied zu versteifen vermögen und so die Begattung ermöglichen.

Die beiden eiförmigen *Hoden* sind die Keimdrüsen des Mannes; sie bilden den männlichen Samen, das Sperma. Jeder Hoden besteht aus etwa 600 Samenkanälchen, der eigentlichen Bildungsstätte der Samenzellen, zwischen denen sich Blut- und Lymphgefäße, Nerven und Bindegewebe befinden. Die *Samenkanälchen* vereinigen sich zu mehreren größeren Kanälen, die als Ausführungsgänge in den dem Hoden anliegenden *Nebenhoden* führen, ein langes, geknäueltes Rohr, das als Samenspeicher dient. Die Hoden liegen im *Hodensack*, einer zweiteiligen Hauttasche mit einer Wand aus glatten Muskelfasern.

Außer den Spermazellen entstehen in den Hoden noch verschiedene Hormone, die u. a. die Ausbildung der sekundären männlichen Geschlechtsmerkmale, wie Bart und Stimme, bewirken.

**5.10.1.2. Weibliche Geschlechtsorgane.** Die in den Eierstöcken gereiften Eier gelangen durch die 8 bis 10 cm langen *Eileiter*, die Tuben, zwei dünne, gewundene, an ihren oberen Enden trichterförmige Röhren, die zur Weiterbeförderung der Eier mit Flimmerepithel (-schleimhaut) ausgekleidet sind, in die Gebärmutter. Die *Gebärmutter* (Uterus), das Zentralorgan des weiblichen Geschlechtsapparats, ist ein hohler, birnenförmiger Muskel, der, leicht nach vorn geneigt, zwischen Blase und Mastdarm liegt. Ihr unterer, verengter Teil, der *Gebärmutterhals*, reicht 2 bis 3 cm weit in die Scheide hinein und hat vorn eine querspaltförmige Öffnung, den äußeren *Muttermund*, durch den die beim Begattungsakt in die Scheide gelangten Samenzellen in die Gebärmutter einwandern. Die *Scheide* (Vagina) ist ein mit Schleimhaut ausgekleideter, sehr erweiterungsfähiger muskulöser Schlauch von etwa 10 cm Länge, hinter der ziemlich kurzen Harnröhre im kleinen Becken gelegen, dessen ovale Öffnung, der Scheideneingang, im jungfräulichen Zustand durch eine halbmondförmige Schleimhautfalte, das *Jungfernhäutchen*, teilweise verschlossen ist. Die äußeren Geschlechtsorgane bestehen im wesentlichen aus den *kleinen*, inneren *Schamlippen*, die vorn den *Kitzler* (Klitoris), ein sehr nervenreiches Organ, umfassen, und den *großen*, äußeren *Schamlippen*, die als Schutzhülle alles umschließen. Zwischen den kleinen Schamlippen mündet die Harnröhre.

Die beiden mandelförmigen *Eierstöcke* sind die Keimdrüsen der Frau; in ihnen bilden sich die weiblichen Keimzellen, die *Eier*. Die Eierstöcke liegen zu beiden Seiten der Gebärmutter, etwa 6 bis 8 cm von ihr entfernt und durch das sehnige *Eierstocksband* mit ihr verbunden, an der Innenwand des kleinen Beckens. Eingehüllt sind sie in eine Falte des Bauchfells, die sogenannten *breiten Mutterbänder*. Ihr Inneres wird durch Bindegewebe, Blutgefäße und Nerven ausgefüllt, in ihrer Rinde entstehen die *Graafschen Follikel*. Diese bis etwa erbsengroßen Eifollikel enthalten außer dem Ei eine klare Flüssigkeit. Nach der Eireifung, die meist in der Mitte des Menstruationszyklus, also etwa am 14. bis 17. Tag bei 28 tägigem Zyklus, stattfindet, platzt der Follikel, und die Flüssigkeit schwemmt das Ei in das trichterförmige Ende des Eileiters hinein, in dem wahrscheinlich die Befruchtung stattfindet. Von hier aus wird das Ei in die Gebärmutter befördert. Wird das Ei nicht befruchtet, so geht es zugrunde und wird bei der Menstruation mit abgestoßen.

**5.10.1.3. Fortpflanzungszellen.** Die männlichen *Samenzellen* (Spermatozoen, Spermien) sind bewegliche Zellen, die durch die schlagende Bewegung ihres langen Schwanzes vorwärtsgetrieben werden. In der weiblichen Scheide vor den äußeren Muttermund gelangt, wandern sie durch den Gebärmutterhals aufwärts in die

Gebärmutter und den Eileiter ein. Ein einziger Samenfaden, der in ein bereitliegendes Ei einzudringen vermag, vollzieht die Befruchtung, und die Entwicklung eines neuen Lebewesens beginnt. Die Eier, etwa 300.000, sind sämtlich, wenn auch noch unentwickelt, in den Eierstöcken des neugeborenen Mädchens bereits vorhanden. Zur Zeit der Geschlechtsreife beginnt ihr Wachstum. Nur wenige gelangen zur Reife, im allgemeinen alle 4 Wochen nur eins; die meisten verkümmern.

#### Die männliche Zelle (Samenzelle)

Länge etwa	0,05 ... 0,06 mm
davon Kopf	0,004 mm
Hairsteil	0,006 mm
Schwanz	0,041...0,052 mm
Fortbewegungsgeschwindigkeit	3 mm/s
Lebensdauer in der Scheide	48 ... 62 Stunden
Anzahl der Samenzellen in 1 mm <sup>3</sup> Samenflüssigkeit	rund 60000, also bei einer Begattung etwa 200 Millionen

#### Die weibliche Zelle (Ei)

Durchmesser des reifen Eies	0,11 ... 0,14 mm
Anzahl der Eier in den Ejerstöcken	beim neugeborenen Mädchen etwa 400000
Anzahl der im Laufe des Lebens heranreifenden Eier	etwa 400

### 5.10.2. Schwangerschaft und Geburt

Der Geburtstermin kann nach folgender Faustregel errechnet werden: 1. Tag der letzten Periode + 7 Tage - 3 Monate = Tag der Geburt. Beispiel: letzte Periode 1. Juli; 1. VII. + 7 = 8. VII.; VII - III = IV. Voraussichtlicher Tag der Geburt: 8.IV. des folgenden Jahres.

**5.10.2.1. Schwangerschaftsdauer.** Die Schwangerschaft dauert durchschnittlich 280 Tage, gerechnet vom 1. Tag der letzten Menstruation (Periode) an. Die gesetzliche Empfängniszeit nach §§ 1591, 1592 BGB reicht; mit Einschluß dieser beiden Tage, vom 181. bis zum 302. Tag vor der Geburt.

**5.10.2.2. Frühnachweis der Schwangerschaft.** Auf Grund von Hormon- und Enzymbildungen läßt sich eine Schwangerschaft schon sehr frühzeitig nachweisen.

**5.10.2.2.1. Hormonbildung.** Bereits in den ersten Tagen finden sich im Harn große Mengen des Hormons Choriongonadotropin. Es wird von der äußeren Hülle des Embryonen, dem Chorion, gebildet, aus der der kindliche Anteil des Mutterkuchens hervorgeht. Einspritzungen von Schwangerenharn regen bei jungen Mäusen die Eierstöcke so an, daß eine große Anzahl von Eifollikeln in 5 Tagen reifen. Dasselbe Verfahren bewirkt beim männlichen Wasserfrosch das Auftreten von Samenzellen in der Kloake. Auf diese Weise läßt sich eine Schwangerschaft mit fast absoluter Sicherheit bereits nach 8 bis 14 Tagen nachweisen. Ein geschlechtsreifes Weibchen des afrikanischen Krallenfrosches *Xenopus laevis* legt nach der Einspritzung von 1 bis 2 ml Morgenharn einer Schwangeren bereits nach 6 bis 10 Stunden Eier ab.

**5.10.2.2.2. Enzymbildung.** Bei Schwangeren werden Gewebezellen des sich bildenden Mutterkuchens (Plazenta) in die Blutbahn verschleppt.

**Tab. 5.10.1.** Der Embryo durchschnittliche Länge in cm

Alter	Länge in cm	Masse
4. Woche	1...1,3	-
2. Monat	2	-
3. Monat	9	etwa 15 g
4. Monat	16	etwa 150 g
5. Monat	25	180 ... 300g
6. Monat	30	700 ...1000g
7. Monat	35	1,0 ... 1,5 kg
8. Monat	40	1,5 ... 2,0 kg
9. Monat	45	2,5 ... 3,0 kg
10. Monat	50	3,0 ... 3,5 kg

Daraufhin bildet das Blut Abwehrenzyme, die das Plazentaeiweiß, und zwar nur dieses, auflösen. Wenn bei einem Versuch das Serum Plazentaeiweiß abzubauen vermag, dann besteht eine Schwangerschaft. Noch frühzeitiger kann mit einem modernen immunologischen, hochempfindlichen Verfahren, dem *Gravimun-Test*, das Choriongonadotropin im Harn von Schwangeren nachgewiesen werden.

**5.10.2.3. Embryo** (Frucht, Leibesfrucht). Der aus der Eizelle entstandene, in der Entwicklung begriffene Organismus, nach dem 4. Schwangerschaftsmonat auch Fetus genannt, liegt, von Häuten und Fruchtwasser umgeben, in der Gebärmutter, im Normalfall mit dem Kopf abwärts gegen den Muttermund gekehrt. Schon in den ersten Monaten bilden sich alle wichtigen Organe heraus. Mit Beginn des vierten Monats ist die äußere Form soweit vollendet, daß tiefgreifende Umgestaltungen nicht mehr stattfinden. Nach Festlegung der Weltgesundheitsorganisation WHO wird ein Kind, das mit weniger als 2501 g Körpergewicht und 46 cm Körperlänge lebend geboren wurde, als *Frühgeborenes* bezeichnet, ungeachtet der Schwangerschaftsdauer. Man unterscheidet dabei immature (unreife) Frühgeborene mit einem Gewicht von 1250 g und prämatüre (vorreife) zwischen 1251 und 2500g.

Durch *Nabelschnur* und *Mutterkuchen* (Plazenta) ist der Embryo mit dem mütterlichen Körper verbunden; durch sie bezieht er seine Nahrung. In dem bis zu 1 kg schweren Mutterkuchen an der Gebärmutterinnenwand, aus dem die Nabelschnur hervorgeht, erfolgt die fetale Atmung, d. h. die Übernahme des Sauerstoffs aus dem mütterlichen Blut; die Lunge atmet noch nicht.

**5.10.2.4. Geburt.** Die Geburt ist die selbsttätige Ausstoßung des ausgereiften Fetus aus dem Mutterleib. Sie beginnt im Normalfall in der 40. Schwangerschaftswoche oft schon Tage vor dem eigentlichen Gebärrakt mit den Vorwehen, denen dann die immer häufiger und kräftiger auftretenden Hauptwehen folgen. Die Wehen, die einzigen natürlichen, d. h. nicht durch Krankheit oder äußere Einwirkungen, wie Verletzungen, verursachten Schmerzen des Organismus, werden hervorgerufen durch die rhythmischen Zusammenziehungen der Gebärmutter, die schließlich das Kind austreiben.

Beim Gebärrakt werden drei Phasen unterschieden. In der *Eröffnungszeit* dehnen die Wehen den engen Gebärmutterhals und eröffnen den Muttermund auf den Durchmesser des größten Kindsteiles; Dauer etwa 4/5 des Geburtsaktes. Die *Aus-treibungszeit* beginnt in der Regel mit dem Springen der Fruchtblase und dem Abfließen des Fruchtwassers. Die Wehen steigern sich zu den heftigen Preßwehen, die zur Ausstoßung des Kindes führen. Die *Nachgeburtszeit* ist der kürzeste und nahezu schmerzlose letzte Teil des Gebärraktes, in dem die Eihäute und der Mutterkuchen ausgestoßen werden.

Normalerweise dauert der Gebärrakt 6 bis 24 Stunden. Je nach der Lage des Kindes bei der Ausstoßung spricht man von einer Kopf-, Gesichts- oder Steißgeburt. Die Kopfgeburt ist die häufigste.

*Mehrlingsgeburten* treten mit folgender Häufigkeit auf:

80 (80<sup>1</sup>) Geburten 1 mal Zwillinge

6400 (80<sup>2</sup>) Geburten 1 mal Drillinge

512.000 (80<sup>3</sup>) Geburten 1 mal Vierlinge

Bei *Zwillingen* ist zwischen eineiigen und zweieiigen zu unterscheiden. Die eineiigen Zwillinge, die aus ein und derselben geteilten Eizelle stammen und einen gemeinsamen Mutterkuchen und gemeinsame äußere Eihüllen haben, sind immer gleichgeschlechtlich und ähneln sich oft sehr in vielen körperlichen und psychischen Merkmalen, wie Wuchsform, Gesichtsschnitt, Krankheitsdisposition. Die aus zwei verschiedenen Eizellen hervorgegangenen Zwillinge gleichen sich dagegen nicht mehr als gewöhnliche Geschwister.

Ausnahmsweise sind noch höhere Mehrlingszahlen beobachtet worden, selbst Siebenlinge und Achtlinge sind bezeugt.

Die *Geschlechterproportion* ist über lange Zeiträume und große geographische Ausdehnungen hinweg nahezu konstant. In Europa verhielten sich die Geburtenziffern im Durchschnitt der Jahre 1871 bis 1915 wie 100 (Mädchen) zu 106,7 (Knaben), was auch für die Gegenwart noch zutrifft. In Australien besteht dagegen ein

Verhältnis von 100: 121.

### 5.10.3. Säuglings- und Kindesalter, (Geschlechtsreife und Altern

**5.10.3.1. Säuglingsalter.** Das Säuglingsalter umfaßt die Periode vom Zeitpunkt der Geburt bis zum Ende des ersten Lebensjahres. In dieser Zeit unterliegt die wöchentliche Zunahme der Körpermasse großen Schwankungen.

**Tab. 5.10.2.** Durchschnittliche wöchentliche Zunahme der Körpermasse in g beim Säugling während der ersten 12 Monate

1. 225	4. 180	7. 105	10. 65
2. 215	5. 150	8. 80	11. 60
3. 215	6. 125	9. 80	12. 52

**Tab. 5.10.3.** Körperliche Entwicklung des Säuglings; Körpermasse *K* in g und -länge *L* in cm im Durchschnitt bei männlichen (rot) und weiblichen Säuglingen

Alter	<i>K</i>	<i>L</i>
bei der Geburt	3460	3330
1/2 Jahr	8040	7540
1 Jahr	10300	9700

**5.10.3.2. Kindesalter.** Diese Entwicklungsstufe umfaßt die Zeit vom Beginn des 2. Lebensjahres bis zum Ende des 14. Lebensjahres bei Mädchen bzw. des 16. Lebensjahres bei Knaben. Dabei unterscheidet man das neutrale und das bisexuelle Kindesalter.

**5.10.3.2.1. Neutrales Kindesalter.** Die Körperform der Knaben und Mädchen ist noch nicht geschlechtsbetont; die Periode der 1. Fülle fällt in das 1. bis 4. Lebensjahr, die Periode der 1. Streckung in das 5. bis 7. Lebensjahr.

**5.10.3.2.2. Bisexuelles Kindesalter.** Knaben und Mädchen sind auch der Körperform nach unterschieden; in diese Phase fällt der Zahnwechsel. Die Periode der 2. Fülle liegt bei Knaben im 8. bis 12., bei Mädchen im 8. bis 10. Lebensjahr, die Periode der 2. Streckung bei Knaben im 13. bis 16., bei Mädchen im 11. bis 14. Lebensjahr. Da sich nicht nur das Längen-Breiten-Verhältnis während der ersten und zweiten Streckung ändert, sondern durch spezifische Änderungen der Dicke des Unterhautfettgewebes auch das Relief der Körperoberfläche, spricht man heute besser vom ersten und zweiten Gestaltwandel.

**5.10.3.3. Geschlechtsreife.** Die Geschlechtsreife, die Pubertät, ist einer der wesentlichen Abschnitte in der Entwicklung des Organismus. Der Beginn der Funktion des Geschlechtsapparats ist durch die Menarche, den Zeitpunkt der ersten Monatsblutung, beim Mädchen ziemlich genau anzugeben. Beim Knaben kann die Produktion von Spermien durch die unauffälligeren nächtlichen Entleerungen von Sperma, die Pollutionen, nachgewiesen werden. Die Umwelt beeinflusst die Reife des Geschlechtsapparats in erheblichem Maße. Das Klima spielt nicht die große Rolle, die man ihm in der älteren Literatur zumißt. Die Vorstellung, daß in tropischen oder subtropischen Gebieten die Menarche generell früher eintritt als in gemäßigten und arktischen Zonen, muß fallengelassen werden. Eskimomädchen menstruieren mit etwa 14 Jahren, Maputimädchen und Mädchen von anderen melanesischen und polynesischen Inseln mit 15 bis 16 Jahren. Norwegerinnen menstruieren mit 13 1/2 Jahren, im Inneren Sardinien liegt die Menarche bei 15 bis 16 Jahren, in Großstädten Europas mit 12 bis 13 Jahren allgemein niedriger als in den entsprechenden Landgebieten. Demnach ist der Einfluß von Ernährung und Lebensweise unbestreitbar.

Wie zahlreiche Untersuchungen ergeben haben, verzögert sich bei schwerarbeitenden Bevölkerungsschichten der Eintritt der Geschlechtsreife, dagegen wird er bei reger geistiger Tätigkeit und reichlicher Ernährung beschleunigt. Dieses Phänomen hat zusammen mit den Veränderungen des Größenwuchses die Bezeichnung „Akzeleration“ erhalten. Es ist aber zu beachten, daß damit nur zwei besonders augenfällige Symptome erfaßt werden. Zutref-

fender ist daher die Bezeichnung „Biomorphose der Generationen“.

**5.10.3.4. Wechseljahre.** Auf die Zeit der Vollreife folgen die Wechseljahre. Sie setzen bei den Völkern der gemäßigten Zone bei der Frau etwa zwischen dem 46. und 50. Lebensjahr, beim Mann nach dem 60. Lebensjahr ein.

Bei der Frau sind die Wechseljahre, das Klimakterium, durch das Erlöschen der Keimzellenfunktionen gekennzeichnet. Die Vorstellung, daß die *Menopause*, das Aufhören der Monatsblutungen, um so früher einsetzt, je früher die Menarche lag, hat sich als irrig erwiesen. Die akzelerierten Generationen seit dem ersten Drittel dieses Jahrhunderts zeigen sogar eine spätere Menopause.

Begleiterscheinungen dieser Umstellung können vor allem bei der Frau Herzbeschwerden, Kopfschmerzen, sogenannte fliegende Hitze, Depressionen und Neigung zu Fettansatz sein.

**5.10.3.5. Altern.** Das Altern vollzieht sich während des ganzen Lebens, und das Greisenalter ist nur der Endzustand eines langsam fortschreitenden Abbaus, der für die meisten Organe und Funktionen bereits mit dem Abschluß der Wachstumsperiode einsetzt.

Schon im frühen Kindesalter beginnt die Verminderung der Sauerstoffversorgung und der Durchblutung des Gehirns, der Dichte der Hirnrindenzellen, der Akkommodationsfähigkeit der Linse und der Geschwindigkeit der Pupillenverengung.

Nach dem 20. Lebensjahr nimmt die Adaptationsfähigkeit des Auges ab, ebenso das Herzminuten- und das Schlagvolumen, die Herzfrequenz und die Magensekretion. Auch die Masse der aktiven Körperzellen verringert sich, was durch Messung der Kaliumspeicherung in den Zellen und des Grundumsatzes bestätigt werden konnte.

Die Vitalkapazität sinkt vom 25. Lebensjahr allmählich ab, und nach dem 3. Lebensjahrzehnt sind eine Abnahme der Körperhöhe und der Empfindlichkeit für hohe Tonfrequenzen zu verzeichnen. Die später eintretende Verlängerung der Reaktionszeit auf Reize führt zu Verminderung der Anpassungsfähigkeit; doch vollziehen sich diese Veränderungen zunächst unbemerkt, da die ursprüngliche Sicherheitsgrenze des Organismus so hoch liegt, daß er unter Normalbedingungen seine Leistungsfähigkeit nicht auszuschöpfen gezwungen ist. Zudem spielt mit zunehmendem Alter die Erfahrung eine immer größere Rolle bei der Ausführung unserer Handlungen.

Wenn auch das Altern unvermeidlich und sein Verlauf z. T. von Erbfaktoren abhängig ist, so sind doch die Geschwindigkeit dieses Vorgangs und das Auftreten von Alterskrankheiten mehr oder weniger beeinflussbar.

Dies geschieht schon in früher Jugend durch optimale Gestaltung der Lebensbedingungen. Ungünstig wirken sich die Gewöhnung an Genußgifte und besonders in mittleren und höheren Jahren das Mißverhältnis zwischen überreichlicher Ernährung und mangelnder Bewegung aus. Muskel- und Lungentätigkeit werden durch geeignetes Training günstig beeinflusst; das gleiche gilt für die geistige Leistungsfähigkeit, insbesondere das Gedächtnis.

Die Erarbeitung von Regeln für eine sinnvolle Lebensweise des älteren Menschen ist Hauptgegenstand der Altersmedizin. Das ist deshalb besonders bedeutsam, weil die mittlere Lebenserwartung ständig im Ansteigen begriffen ist.

#### 5.10.4. Tod

Der Tod ist das endgültige Erlöschen aller Lebensfunktionen eines Organismus. Ein Tod „ohne Krankheit“ wird im allgemeinen als *physiologischer* Tod bezeichnet.

**5.10.4.1. Klinischer und biologischer Tod.** Der Übergang vom Leben zum Tod wird angezeigt durch den als *klinischen Tod* bezeichneten Stillstand von Atmung und Herztätigkeit sowie des Blutkreislaufs. Unter günstigen Umständen kann in diesem Fall eine Wiederbelebung gelingen, wenn die Durchblutung des Gehirns nicht länger als höchstens 6 Minuten gestockt hat. Gelingt das nicht, so geht dieser *Partialtod* in den *biologischen Tod* über.

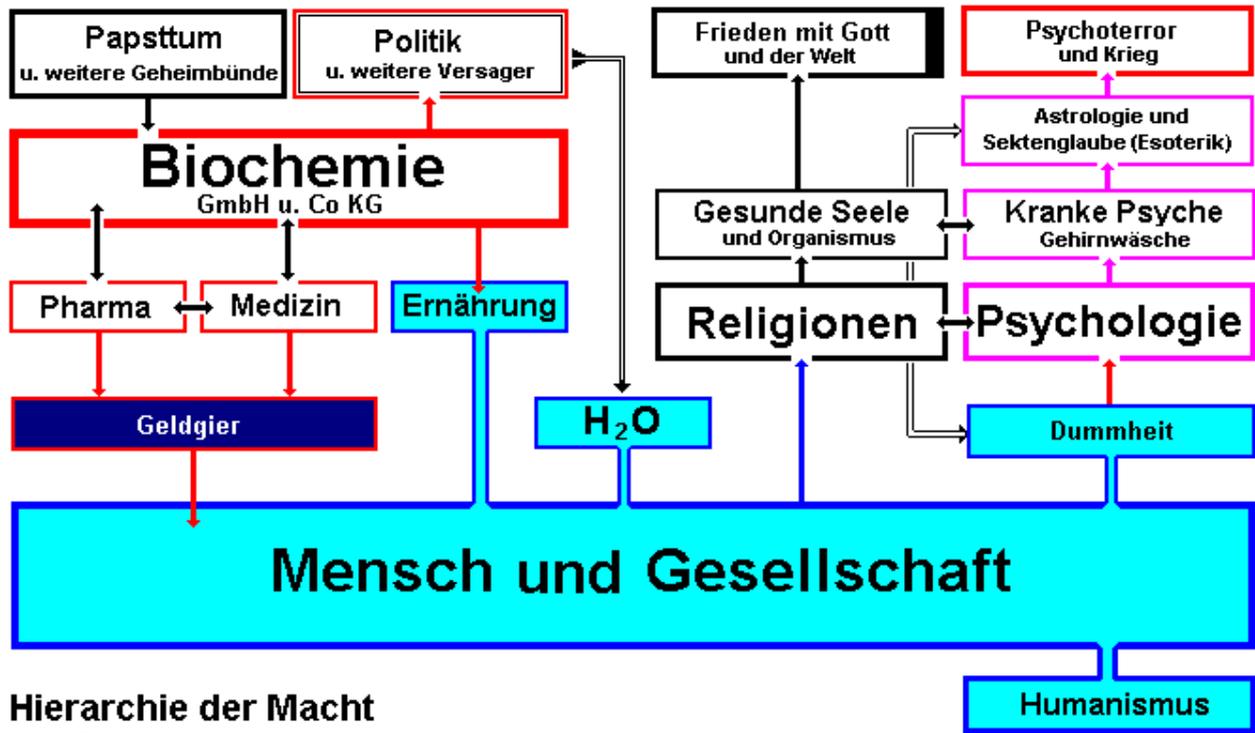
**5.10.4.2. Leichenschau.** Die Leichenschau des Arztes stellt amtlich den Tod fest. Sichere Zeichen des eingetretenen Todes sind die *Totenstarre*, das Steifwerden der quergestreiften Muskeln. Sie tritt, von den Kopfmuskeln ausgehend, nach 4 bis 20 Stunden ein und hält 48 bis 60 Stunden an; die *Leichenkälte*, eine Temperatur der Leiche, die infolge Verdunstung um ein geringes unter der Umgebung liegt; die *Leichenblässe nebst Totenflecken*, ein Erblassen der höher liegenden Leichenteile, aus denen das Blut abfließt; es sammelt sich in den tiefer liegenden Teilen, die davon blaurötlich gefleckt erscheinen; die *Trübung der Hornhaut der Augen*.

# Hierarchie der Macht - Steißgeburt eines Ohnmächtigen

Hormonales (Geld-) Regelsystem der Gesellschaft

„Der Mensch kommt als Genie zur Welt und verläßt sie als Bekloppter!“

Charles Bukowski



## Hierarchie der Macht

Grafik BRp 12.2004

Jeder Bürger im deutschsprachigen Raum schluckt im Laufe seines Lebens durchschnittlich 30.000 mal ein Medikament. Was er da einnimmt, weiß er oft nicht. Die Beipackzettel sind vielfach unverständlich, manchmal werden wichtige Informationen „vergessen“. Diese Sätze stehen auf dem Buchdeckel des 1983 erschienen Bestsellers „Bittere Pillen“, erschienen bei Kiepenheuer & Witsch.

Als ich damals in das Buch schaute, habe ich den staubtrockenen Text und die Tabellen, die Beschreibung der Medikamente, nicht gelesen. Ich habe das Buch in die finsterste Ecke meines Bücher-schranks verbannt. Damals dachte ich: *Wer das liest, der muß wirklich krank sein!* Ich brauchte das Buch bis heute nicht.

Es war damals schon schlimm, und es ist alles noch viel schlimmer gekommen. In seinem Buch „Heilen verboten, töten erlaubt“, versucht der Wissenschaftautor Kurt G. Blüchel den Beweis zu erbringen, das Ärzte in Deutschland nur überleben können, wenn sie sich ihre Patienten selbst heranzüchten. Blüchel hat recht: Nur ein kranker Mensch ist ein guter Patient! An *gesunden Menschen* und *Herztoten* ist die Medizin nicht interessiert. Scheintote, bei denen die Hirnströme (Hirntod) ausgesetzt haben, eignen sich aber immer noch als *Ersatzteillieferanten* für die Organtransplantation. Ein Supergeschäft mit dem Kannibalismus, und ich frage mich, worin der *ethische Unterschied* zwischen Menschenfleisch essen oder einverleiben besteht. Dazu lieferte *Renate Greinert*, Mutter eines Hirntoten, einen herz- und seelentötenden Bericht.

\*\*\*

Ich bin jetzt 62 Jahre alt. Ich habe in meinem Leben genau 55 Pharmapillen geschluckt, und das waren 55 Pillen zuviel. Sie haben mir alle nicht geholfen. Die vielen Spritzen heilten auch nicht. *Sechs* Pillen schluckte ich vor etwa 35 Jahren auf Verordnung meines Zahnarztes gegen rasende Zahnschmerzen. Er konnte die Ursache der Zahnschmerzen nicht gleich feststellen, fand sie aber beim dritten Anlauf. Sie lagen für ihn unsichtbar unter dem Zahnschmelz. Die Pillen verursachten bei mir ein steifes Genick, so daß

ich meinen Kopf nicht mehr bewegen konnte. Auf die rasenden Zahnschmerzen hatten sie keinen Einfluß, sie gingen nicht weg.

*Vierzig* Pillen Antibiotika schluckte ich auf Anraten eines Internisten vor etwa 10 Jahren. Meine Frau hatte sich bei einem stationären Aufenthalt (Diabetesschulung) im Krankenhaus mit einer Virusinfektion angesteckt. Die Schulung wurde zwei Tage früher als geplant abgebrochen. Die Teilnehmer wurden ohne Aufklärung nach Hause geschickt, und man verschwiegen den Skandal. Meine Frau hat dann meine Tochter und mich mit den Viren angesteckt. Antibiotika halfen uns nicht. Ich habe mich etwa neun Monate lang, genau wie meine Frau, mit „kröchendem“ Husten (Bronchien) ablagern müssen. Die Krankheit verschwand dann, auch ohne Arzt.

*Neun* Pillen habe ich von 20 verschriebenen Film-Antibiotika (Penhexal Mega) vor drei Wochen geschluckt. Ich hatte mir durch zu kräftiges Schnauben mein Trommelfell im rechten Ohr verletzt. Es lief blutiges Wasser aus dem Ohr, verursachte stechende Schmerzen und bescherte mir eine schlaflose Nacht.

Der Ohrenarzt säuberte mein Ohr, und die Schmerzen ließen sofort etwas nach. Bis hier hatte der Arzt gute Arbeit geleistet, und dann holte den Rezeptblock raus. Für diesen Fall hätte er gar keine Antibiotika verschreiben dürfen. Es war ein „Kunstfehler“, wie er zugab. Das Zeug hätte mich fast umgebracht: Mehrfaches Erbrechen, etwa 20 Durchfälle, Kreislaufkollaps mit sich drehenden Wänden und Türen, Untertemperatur 35,2° Celsius.

\*\*\*

30.000 mal nimmt eine Durchschnittsbürger in seinem Leben ein Medikament ein. Für mich ist das unglaublich. Ich schreibe meine relativ gute Gesundheit dem Umstand zu, daß ich immer ein skeptischer Patient war, wenn ich einen Arzt benötigte. Ich habe 40 Jahre mit Rückenproblemen gekämpft, wie Millionen andere Menschen, und ich habe meine Ursachen entdeckt: Es ist Vitamin D-Mangel, in der dunklen Jahreszeit.

**Blieben Sie gesund - ohne Pharmapillen!**

**Der Ordnung halber** fügen wir ein Literaturverzeichnis hinzu. Jeder Wissenschaftler, der ein Buch geschrieben hat, weiß: ein bis zwei Prozent sind eigene Erkenntnis, der Rest ist Kommentar. Der Kommentar ist stets „geklautes Wissen“, das andere schon vor ihm gedacht haben. Wir haben nur wenig zitiert, das meiste entstammt dem Gedächtnis. Deshalb haben wir auf Numerierung der Quellen verzichtet - es ist fast unmöglich. Auch wir sind Diebe.

**Quellennachweis (Bücher).** Ferner haben wir aus Zeitungen und Zeitschriften sowie dem Internet entnommen.

**Bauer, Ernst W.:** Humanbiologie

**Benner, K. U.:** Gesundheit und Medizin heute

**Blüchel, Kurt G.:** Heilen verboten, töten erlaubt

**BMBF:** Depression - Wege aus der Schwermut

**Brockhaus, F. A.:** Großes Universal Volkslexikon

**Dt. Bücherbund:** Der Große Knauer (Lexikon)

**Fischer Kolleg:** *Das Abiturwissen - Biologie*

**Freud, Sigmund:** Psychoanalyse

**Jaspers, Karl:** Vom Ursprung und Ziel der Geschichte

**Jungk, Robert:** Unsere Welt 1985

**Kirschner, Josef:** Hilf dir selbst, sonst hilf dir keiner

**Kowalski, Emil:** Die Magie der Drucktaste

**Langbein, Kurt:** *Bittere Pillen*

**Löffler, Helmut:** Das Handbuch der Naturheilkunde

**Marx, Karl:** Das Kapital

**Meadows, Dennis:** Die Grenzen des Wachstums

**Mosis u. a.:** *Die Bibel*

**Oberbeil, Klaus:** Gute Nerven - gegen Streß

**Ogger, Günter:** Das Kartell der Kassierer

**Peccei, Aurelio:** Die Qualität des Menschen

**Postman, Neil:** Wir amüsieren uns zu Tode

**Psyhyrembel, Willybald:** *Klinisches Wörterbuch*

**Richter, Horst E.:** Alle reden vom Frieden

**Richter, Horst:** Politische Ökonomie des Kapitalismus und Sozialismus

**Schnitzer, Johann G.:** *Diabetes heilen*

**Schopenhauer, Arthur:** Aphorismen zur Lebensweisheit

**Schröder, Wilhelm:** Physik und Chemie

**Steinbuch, Karl:** Mensch, Technik, Zukunft

**Strunz, Ulrich:** Topfit mit Vitaminen

**Karl Steinbuch:** Mensch, Technik, Zukunft - Probleme von morgen - schreibt in seinem eigenen Vorwort:

**Wer vor einer lebensgefährlichen Bedrohung steht und nicht von Sinnen ist, beobachtet scharf, überlegt seine Lage nüchtern und handelt dann entschlossen.**

**Die menschliche Art steht vor lebensgefährlichen Bedrohungen, aber von schärfster Aufmerksamkeit, nüchternem Nachdenken und entschlossenem Handeln ist in unserem Lande wenig zu bemerken.**

**Selbstgefällige Konservativität (»Bisher hat sich doch auch alles immer wieder eingerenkt«), konfuser Futurismus (»Selbstmordprogramm«, »Wegwerfgesellschaft«, »Marconizeitaler« usw.), unsere wuchernde Hinterwelt und das spätmarxistische Strohfeuer versetzen unsere Gesellschaft in eine ähnliche Lage wie das Huhn vor der Schlange: Sie erstarrt in Hilflosigkeit.**

**Dort, wo Bewegung ist, da begreift man nicht, daß das Thema unserer Zeit nicht die unbegrenzte Emanzipation ist, vielmehr die reflektierte Bindung, die Unterwerfung unter Regeln, welche die Erhaltung der menschlichen Art ermöglichen.**

**Mit diesem Buch wird versucht, unsere zukünftigen Probleme ohne diese fatalen Fehlhaltungen darzustellen und so eine realistische und handlungsfähige Haltung vorzubereiten.**

**Karl Steinbuch**

Dann schreibt Steinbuch auf Seite 63:

*Der (menschliche) Organismus braucht zu seinem Aufbau viele komplexe chemische Verbindungen. Während niedere Organismen derartige Verbindungen aus anorganischer Substanz selbst aufbauen können, braucht sie der Mensch „vorfabriziert“. Typisch hierfür sind die Vitamine, die teilweise unersetzlich sind und deren Fehlen schwere Mangelkrankheiten hervorrufen kann wie zum Beispiel Rachitis, Beri-Beri-Krankheit, perniziöse Anämie, Pellagra und so weiter.*

*Die Eiweiße nehmen in dieser Hinsicht eine Zwischenstellung ein: Sie können entweder der Energieversorgung oder dem Organismus dienen. Die verschiedenen Eiweiße sind für den menschlichen Organismus keinesfalls gleichwertig. Die Unterschiedlichkeit beruht darauf, daß die Eiweiße aus etwa 25 verschiedenen Aminosäuren zusammengesetzt sein können. Manche von diesen, die „essentiellen Aminosäuren“, müssen mit der Nahrung aufgenommen werden, andere können ersetzt werden.*

*Der Organismus braucht - als ein wäßrig-salziges System - zu seiner Erhaltung Zufuhr an Wasser, Salzen und einigen Spurenelementen. Wasser und Salze erfahren zwar meist innerhalb des Körpers keine Veränderungen....*

Dann wechselt Steinbuch zur Agrarwirtschaft über.

Wir haben dieses Beispiel gewählt, weil es in unseren Kontext paßt. Es wurde alles schon geschrieben, verkündet und gesagt. Wir lassen Wissen ungenutzt verkommen. Steinbuch ist Zukunftsforscher, und sein Buch ist interessant zu lesen. Er warnt!

Sein Buch besteht aus mindestens 95% „gekautem Wissen“. Einer schreibt vom anderen ab, und das ist gut so: wenn es dem Menschen dient und gesichertes Wissen ist - statt *psychologischer Spinnkram*.

BRUNO RUPKALWIS, im Dezember 2004

## Register

Das Register enthält neben Stichwörtern auch einige Schlagwörter. Die im Text mit einem \* gekennzeichneten Schlagwörter sind Verweise innerhalb des Hauptteils. In diesem Register finden Sie die Symptome oder Krankheiten, die im Zusammenhang mit Ernährungsfehlern (Mangel- und Industriernährung) auftreten oder auftreten können. Wir haben bewußt die deutschsprachigen Bezeichnungen verwendet, soweit es möglich war. Damit bekommen auch Laien Einsicht in das *Milliardenspiel*.

Wir haben 24 Elemente, 13 Vitamine, 8 Aminosäuren und 1 Fettsäure ermitteln können. Fehlt auch nur ein einziger dieser lebenswichtigen (essentiellen) Stoffe im Organismus des Menschen, ist er oder wird er krank. Ohne Sauerstoff überlebt der Mensch nur Minuten, ohne Wasserstoff (Wasser) ein bis zwei Tage, doch ohne Jod z. B. Jahre, aber nur im erkrankten Zustand: Schild- und Bauchspeicheldrüse werden zerstört, die Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus) tritt wegen Hormonstörungen (Thyroxin) mit Sicherheit ein.

### A

Abgeschlagenheit 21  
Absorption, metion. 11  
Acetylcholin 11  
Adipositas 13, 21  
Adrenalin 11, 23  
- ausschüttung 23  
Adynamie 10  
Alkalose 10, 17  
Alkoholkrankheit  
6, 7, 9, 10, 12, 14, 20  
Alzheimer-Krankheit 8  
Aminosäuren 11  
- essentielle 22  
- minimalbedarf 22  
- stoffwechsel 22  
Ammoniakentgiftung 23  
Anämie 6, 7, 9, 11  
- eisen 21  
- eisenmangel 9  
- folsäuremangel 9  
- hämolytische 9  
- hypochrome 7, 9, 11  
- infek 10  
- megaloblastäre 6, 11, 21  
- perniziöse 6, 9, 10, 22  
- riboflavinmangel 20  
- tumor 10  
Analgetischer Effekt 17  
Angst 6  
- zustände 20  
Antagonisten 11  
- calcium 12, 17  
- vitamin-K 20  
Anti | biotika 8, 20, 21  
- baby-Pille 9, 20, 21  
- depressiva 12, 23  
- körper 8, 10, 14  
- oxidanzen 8, 9, 18, 19, 23  
- thrombin-III-Mangel 13  
Apathie 10, 18  
Appetitlosigkeit  
6, 9, 10, 11, 20, 21  
Ariboflavinose 6, 8, 20  
Arteriosklerose 13  
Arthritis, rheumatoide 21  
Ascorbinsäure 20  
- mangel 11  
Astbestose 10  
Ataxie 11  
Atemnot 8  
Atmung 11  
Atrophie 8  
- alters 8  
- magenschleimhaut 6, 8, 10  
- metabolische 8  
- papillen 9  
- pathologische 8  
- schleimhaut 19

### Augen 10

- bewegungsstörungen 14  
- linse 10  
- muskeln 14  
- trübung 10  
- veränderungen 7  
Ausfall | erscheinungen 12  
- der Zähne 7  
Autoantikörper 6, 8  
Avitaminose 6, 8, 20  
- schwere 11  
- tropische 8  
Azidose, tubuläre 7, 17

### B

Bauch | schmerzen, diffuse 6  
- speicheldrüse, entzündl. 12  
- trauma 12  
Beckendehformierung 7  
Beinverkrümmungen 7  
Beriberi 6, 8, 12, 20  
Berührungsempfindlichkeit 11  
Bewusstseinsstörungen 9, 10, 14  
Binde | gewebe, gestörtes 7  
- haut, gestörte 7  
Biotinmangel 21  
Bitotflecke 7  
Blässe 9  
Blasen | bildung 14  
- störung 12  
Blutungen 7, 14  
- gewebe u. Organe 20  
- haut und Muskulatur 11  
Blut | dialyse 20  
- durchfluß 23  
- fettsenkung 20  
- gerinnung 17, 20  
- stase 13  
- umlauf gestört 10  
- veränderungen 9  
- verlust 7, 9  
- zirkulation 13  
Bronchien 23

### C

Calciferol | mangel 10, 12  
- stoffwechsel 13  
Calcium | antagonisten 17  
- bestand 17  
- kanalblocker 17  
- resorption 13, 17  
Candidosen der Haut 13  
Cheilitis 6, 8  
Chemotherapeutika 21  
China-Restaurant-Syndrom 23  
Cholersterolsenkung 21  
Cobalamin | konzentration 11  
- mangel 11, 21  
Coenzyme 8

Cofaktor 18  
Cornea 8  
Cushing-Syndrom 13

### D

DAN - mutagen 10  
Darm | flora 8, 20, 23  
- infektionen 11  
- resektion 8  
- störungen 10, 14  
- wirkung 17  
- zerstörung der 8  
Degeneration 8  
- der Netzhaut 12  
Demenz 6, 8, 20  
Demineralisation 8  
Depressionen  
6, 8, 10, 11, 20, 21, 23  
Dermatitis 6, 8, 21  
- seborrhoische 20  
Desquamation 8  
Diabetes | mellitus  
10, 12, 13, 14  
- phosphat 7  
Dialyse 20  
Diarrhö 6, 8, 9, 21  
Dopamin 11, 23  
Dünndarmerkrankungen 11, 14  
- einheimische Sprue 14  
Durchblutungsstörungen  
8, 11, 14  
Durchfälle 10, 17, 21  
- intermittierende 6  
Durst 10  
Dystrophie 11

### E

Eisen | mangelanämie 8, 10  
- anämie 21  
- defizit 9  
- resorptionsstörung 9  
- serumsverminderung 10  
Eiweiß | aufbau 17  
- mangel 11  
EKG-Veränderungen 10  
Ekzem, atopisches 8  
- chronisch 17  
Elektrolyt | haushalt 17  
- störung 9  
Embolie der Gefäße 11  
Englische Krankheit 7  
Enteropathie 14  
Entzündungen 12, 23  
- mund u. Lippen 21  
Enzyme 9, 18, 23  
- defekte 12  
- mangel 13  
Epiphysenbildung  
- unregelmäßige 7

Epiphytenbildung 7  
Epithel | gewebe 9  
- läsionen 7  
- störungen 7  
Erbrechen 8, 10  
Ernährung, vegetarisch 9, 19  
- fehler 9  
Erregbarkeit 10  
Erythro | poese, gestörte 9  
- zyten, gestörte 9  
Extrasystolen 10

### F

Fehlernährung 14  
Ferritin 9  
Fettleber 23  
Fetus, Fehlbildung beim 21  
Fibrose, zystische 7, 11  
Fieber 13  
Fisteln 10  
Flush 21  
Folsäure | mangel 9, 11, 21  
- anämie 9  
- antagonisten 9, 21  
- biosynthesehemmung 9  
- sekund. Cobalaminmangel 21  
Fortpflanzung 19, 21  
Fraktur | anfälligkeit 12  
- extravertebrale 12  
- wirbel 12  
Freie Radikale 9  
Frühgeburt 21

### G

Gallenwegserkrankungen 12  
Gastritis 9  
Gefäß | erweiterung 21  
- wandschaden 13  
- wucherungen 14  
Gehirnstörungen 20  
Geistige Behinderung 22  
Gelenkschmerzen 7  
Gesichtsspalten 6  
Geschmacksverstärker 23  
Geschwulst 12  
Gewichtsverlust 6, 11, 20  
Gingivitis 7  
Gliederschmerzen 7  
Glisson-Krankheit 7  
Glockenthorax 7  
Glossitis 6, 9  
Glukose 10  
Grauer Star 10

### H

Haare, brüchige 9  
- ausfall 21  
Hämo | globinmangel 9  
- dialyse 21

- siderin 9
  - Hämorrhagie 20
  - Hämstörung 12
  - Halluzinationen 8
  - Harnstoffzyklus 23
  - Harrison-Furche 7
  - Hartnup-Krankheit 9,11,13, 23
  - Haut | beschwerden 9, 12, 17
    - candidosen 13
    - durchblutung 21
    - erkrankungen 8, 10, 17
    - nässende Entzündung 14
    - trockene 9
    - veränderungen 11
  - Heilungskrise 13
  - Hepa | rin 20
    - titis 12
    - tosplenomegalie 6
  - Herz | infarkt 9, 17
    - insuffizienz 6, **9**, 13
    - geräusche 8
    - krankheit, koronare 9
    - kreislauf 12
    - kreislauf-Versagen 20
    - muskel 17
    - muskelschwäche 9
    - rhythmusstörungen 8, 9, 17
    - tod, plötzlicher 9
  - Hinterkopfglatze 7
  - Histamin 11
  - Hormone **9**
    - veränderungen 13
    - synthese 10
  - Hornhautgeschwüre 7
  - Hunger | gefühl 11
    - ödeme 12
    - osteopathie 12
  - Hydrops 12
  - Hydroxylapatid 17
  - Hypästhesie 12
  - Hyper | aminoacidurie 7
    - ämisierung 21
    - ammoniurie 7
    - kalzämiesyndrom 17
    - koagulabilität 13
    - lipoproteinämien 12
    - parathyroidismus 7, 10, 12
    - pigmentierung 6, **10**
    - phosphatämie 13
    - tonie 9
    - vitaminosen **10**
  - Hypo | gammaglobinämie **10**
  - kaliämie **10**
    - kalzämie 7, **10**, 12, 13, 17
    - magnäsiämie **10**, 17
    - natriämie **10**
    - phosphatämie **10**, 12
    - phosphatasie 7
    - siderinämie **10**
    - thyriose 12
    - tonie 10
    - vitaminose 6, **10**
- I**
- Immunreaktion 14, 23
  - Infektanfälligkeit 7
  - Insulintherapie 10
  - Intrinsic-Faktor 6, 8, **10**, 22
  - Insuffizienz 9, **10**
    - herz 6, 9
- J**
- Jod (Iod\*) | aufnahme 10
  - speicherfunktion 10
- K**
- Kanzerogene **10**
  - Kardiomyopathie 9
  - Kardiovaskuläres System 20
  - Karzinomrisiko 14
  - Kata | lysatoren 23
    - rakt 6, **10**, 13
  - Keratomalzie 7, **10**
  - Knochen | abbau 10
    - bildung 19
    - brüchigkeit 12
    - deformationen 17
    - entkalkung 13
    - fehlbildung 18
    - gewebe 17
    - metastasen 13
    - schmerzen 12
    - substanzverlust 12
    - verformungen 7, 12
    - wachstum, verzögertes 7
    - weichheit 12
  - Kohlenhydratverwertung 17
  - Kollagenosen 12
  - Kolontransit, verlangsamt 12
  - Koma 10
  - Konjunktivitis 13
  - Kontrazeptiva 13, 21
  - Kopfschmerzen 9, 10, 11
  - Krämpfe 7, **10**, 21
    - tonische 13
  - Kraniotabes 7
  - Krebs 10
    - nitrosamine 11
    - verursacher 11
  - Krustenbildung 14
  - Kynoreniase 12
  - Kyphose 7
- L**
- Lähmungen, motorische 11
    - schlaffe 12
  - Latenzzeit 10
  - LDL-Verminderung 21
  - Leber | zirrrose, alkohol. 7
    - caciferolmangel 19
    - erkrankung 20
    - probleme 23
    - tocopherolmangel 20
  - Leistungsabfall 8
  - Lepidsenkung 20
  - Leuko | penie 9, 21, 22
    - zytose 13
  - Licht | dermatose 9
    - scheu 13
  - Lipolyse, Hemmung 21
  - Lippenentzündung 8
- M**
- Magen | erkrankung 9
  - karzinom 14
  - operation 9
  - resektion 14
  - saftproduktion 20
  - salzsäurebildung 17
  - schleimhaut 9
  - Magnesium | intoxication 17
    - mangelsyndrom **10**, 17
    - narkose 17
  - Mal | absorption
    - 6, 9, **11**, 12, 14, 19, 20
    - digestion 6, **11**, 19
    - kohlenhydrat 11
    - nutrition 6, **11**, 12
  - Mangel | anämie **6**
    - an Vitamin-A 12
    - an Mineralien 12
    - ernährung 6, 11, 12
    - riboflavin 20
  - Marasmus 11
  - Massenstühle 11
  - Mastdarmstörung 12
  - Mattigkeit 11
  - Medikamentenvergiftung 12
  - Megalo | blasten **11**
    - blastäre Anämie 21
    - zytan **11**
  - Melanine 23
  - Melatonin 11, 23
  - Mentale Vorgänge 11
  - Metabolismus **13**
  - Metabolit **11**
    - reaktionsfähig 10
    - sauerstoff 10
  - Methämoglobinämie 11
  - Migräne 11, 13
  - Mineralstoff | mangel **15**
    - störungen 19
    - überdosierung 16
  - Möller-Barl.-Krankheit 7, **11**
  - Morbus Biemer 6
  - Motorik 23
  - Müdigkeit 7, 8, 9, 11, 20, 21
  - Multiple-Sklerose 8
  - Mumps 12
  - Mundwinkeleinrisse 9, 20
  - Muskel | atrophie 12
    - beeinflussung 11
    - entspannung 23
    - entzündliche 18
    - erregbarkeit 17
    - gewebe 17
    - hypotonie 7
    - kontraktion 17
    - krämpfe 10
    - lähmungen 20
    - schwäche 11, 12, 20
    - tonische 10
    - tocopherolmangel 20
    - zuckungen 10
  - Myelomalazie **11**
  - Myelose, funikuläre **11**, 22
  - Myokarditis 9
  - Myositis ossificans 12
- N**
- Nachtblindheit 12, 19
  - Nägel, brüchige 9
    - veränderungen 18
  - Nasen | bluten 9
  - schleimhautrisse 9
  - Nebenschilddrüse 10
    - gestört 13
    - überfunktion 10
  - Nekrose 11
  - Nerven | lähmung 6, **11**
    - entmarkung 11
    - erregbarkeit 17
    - gewebe 17
    - periphere 6, 11, 12
    - schädigungen 8
    - system, vegetativ 12, 20
    - traumatische 11
    - vitamine 11
  - Nervöse Störungen 21
  - Neuro | leptika 12
    - logische Ausfälle 11
    - logische Veränderungen 21
    - muskul. Erregbarkeit 13
    - transmitter **11**, 23
  - Nickel-Hautstörungen 18
  - Nicotin | amidsynthese 9
    - konsum 20
    - säure 23
  - Niern | defekte 12, 13
    - insuffizienz 19
    - tätigkeit 10, 17
    - versagen 17
  - Nitrate, Nitrite **11**
    - organische 11
    - vergiftung 11
  - Nitrosamine **11**
  - Noradrenalin 11
  - Nyktalopie 7, **12**
- O**
- Obstipation 6, 7, 9, 10, **12**
  - Ödeme 6, 10, **12**
    - bildung 17
    - stauungs (Herz, Beine, Knochen, Lunge) 12
    - nieren, Leber 12
  - Onychomykosen 13
  - Ossifikation **12**
    - störungen, sekundäre 7
  - Osteo | genese 12
    - klastenaktivität 17
    - malazie 6, **12**, 13, 19
    - pathie, alimentäre **12**
    - pathie, renale 17
    - penie 7
    - poromalzie 12
    - porose **12**, 17
- P**
- Pankreasenzyme 11
  - Pankreatitis **12**
    - akute 10
    - chronische 6
  - Pantothensäuremangel 21
  - Papillenstenose 12
  - Paraosteopathie 12
  - Parasitosen 11
  - Parästhesien 11, 12, 13
  - Parathormon 10, 13
  - Parese 10
  - Parkinson-Syndrom 8, 18
  - Pellagra **6**, 8, 9, 12, 21
  - Peptide 11
  - Pernizöse Anämie 9, 22

- Phlebothrombose 13  
 Phospat | diabetes 12  
 - störungen 7, **12**  
 Photorezeptoren 7  
 - untergang 7  
 Poly | neuropathie 6, 11, **12**  
 - trauma 13  
 Porphyrine 10, **12**  
 Porphyrine **12**  
 Propriozeption 11  
 Protein | ablagerung **8**  
 -mangel 11  
 - c- u. S-Mangel 13  
 Pruritus 17  
 Psoriasis 8  
 Psychische-  
 Veränderungen 20  
 Psychosen 18  
 Pylorusstenose 8  
 Pyridoxinmangel 21
- R**  
 Rachitis **7, 8, 10, 12, 13, 19**  
 - vitamin-D-resistente **7**  
 -renalis **7**  
 Radikale **10, 13**  
 Reaktionen, irreversible 9  
 Reflexstörungen 11, 14, 17  
 Reiz | barkeit 7, 20, 21  
 - erscheinungen 12  
 Reproduktion 20  
 Resorption **13**  
 - gestörte 9, 10, 11, 14, 21  
 - magnesium 17  
 -paraportale 13  
 Retinopathia 12  
 Rezeptoren 23  
 - koppelung 23  
 Rhagaden 8  
 Rheumatische Schmerzen 21  
 Rhodopsin **13**  
 - störung 7  
 Riboflavinmangel 20  
 Rückenmark | erweichung 11  
 - degeneration 22  
 - schädigung 11  
 Ruhepotential 17  
 Rumpferkürzung 12  
 Rundrücken 12
- S**  
 Säure-Basen-Haushalt 17  
 Sauerstoff | aufnahme 16
- verbrauch 17  
 Schilddrüsen | durchblutung 10  
 - c-Cellen 17  
 - erkrankungen 23  
 - hormone 10  
 - speicherfunktion 10  
 - störungen 13, 17  
 - überfunktion 9  
 Schlaf | losigkeit 21  
 - störung 21  
 Schleimhaut | entzündung 20  
 - veränderungen 10, 21, 22  
 Schluckbeschwerden 9  
 Schmerz | syndrom, chron. 12  
 - rheumatisch 21  
 Schock 7  
 Schreckhaftigkeit 7  
 Schwäche 21  
 Schwangerschaft 20  
 Schwellung 12, 13  
 Schwindel 18  
 Schwitzen 7  
 Sehfähigkeit, eingeschr. 12  
 Selenmangelkrankungen 18  
 Sensibilitätsstörungen 13, 21  
 Serotonin 11, 23  
 Sexualstörungen 12  
 Silikose 10  
 Skelett | beschwerden 12  
 - brüchigkeit 12  
 - veränderungen 7, 8  
 - sytem 19  
 Skorbut **7, 11, 20**  
 - infantiler 11  
 Spina befida 21  
 Spinalerkrankung 11  
 Sprue 9, 11  
 Sterilität 17  
 Stillen, Mangel bei 21  
 Stickstoffbilanz 16  
 Stomatitis 9  
 Störungen, kognitive 8  
 - bewusstsein 14  
 - erregungsleitung 17  
 - der Füße 13  
 - heterogene 11  
 - motorik, Sensibilität 13  
 - muskelkontrktion 17  
 - nervöse 21  
 - phosphat 12  
 - psychische 13  
 - sensible 11  
 - stoffwechsel 12
- vegetative 14  
 Stoffwechsel **13**  
 - anomalien 13  
 - darm 17  
 Strahlung, ionisierende 9  
 Stuhlverstopfung 11  
 Symptome, psychotische 8  
 - kardiovaskuläre 10  
 - psychische 11  
 - zerbellare 9
- T**  
 Tachykardie 8, 10, 13  
 Talgdrüsenverhornung 19  
 Tetanie 7, 10, **13, 17**  
 - chronische 13  
 - rachitogene **13**  
 Pfötchenstellung 13  
 - rachitogene 7  
 Tetanus 10  
 Thiamin | mangel 14, 20  
 - arsen | krankheit 20  
 Thrombo | penie 9, 21, 22  
 - phlebitis **13**  
 Thrombose 11, 12, **13**  
 - arterielle 13  
 - der Armvenen 13  
 - venöse 13  
 Thrombozyten **13**  
 - aggregation 13  
 Tryptophanmangel 9, 23  
 Thyroxin (T4, 4) 10, 23  
 Trauma 13  
 - inadäquat 12  
 - bauch 12  
 Tremor 10  
 Triglyceridsenkung 21  
 Tumor 10, 11  
 - anämie 10  
 - verursacher 11  
 Tyrosinkonzentration 11
- U**  
 Übelkeit 21  
 Über | dosierung v. Vitamin 10  
 - wärmung 13  
 Ulcus 9, 12  
 Unbeweglichkeit 12  
 Unruhe 7  
 Unterernährung 9  
 Urämie 12
- V**  
 Varikose 13  
 Varizen 13  
 Vasku | larisierung  
 - der Corea 6  
 - litis 12  
 Verbrennung 23  
 Verdauungsenzyme 14  
 Vergiftung, medikament. 12  
 - alkohol, Blei, Thallium 12  
 Verkalkungen 13  
 Verknöcherung 12  
 Virus | infekt 12  
 - penetration 12  
 Vitamin **18**  
 - a-Mangel 19  
 VLDL-Verminderung 21
- W**  
 Wachstumsstörungen  
 17,19,20, 21  
 Wadenkrämpfe 10, 20  
 Warnvenen 13  
 Wasser 16  
 - bedarf 16  
 - haushalt 17  
 - mangel 16  
 - sucht 12  
 - überschuß 10, 16  
 Wernicke-Enzephal. 6, **14, 20**  
 Wirbelverformungen 12  
 Wucherungen, Gefäße 14  
 Wundheilung 7  
 - verzögerte 7
- X**  
 Xerophthalmie **7, 8, 10, 18**
- Z**  
 Zahnfleischbluten 9, 11  
 Zellen, Abnahme der 8  
 - osmotischer Druck 17  
 - vermehrung (im Blut) 13  
 Zinkmangel | dermatitis **14**  
 - zustand 18  
 Zöliakie 6, 7, 9, 11, 12, **14**  
 Zuckerspiegel 10  
 Zuckungen 10  
 Zungen | brennen 9  
 - entzündung 9  
 - schleimhaut 9  
 Zyto | plasma 11  
 - statika 21

**Die essentiellen (lebenswichtigen Stoffe).** Fehlt auch nur ein einziger der nachfolgenden Stoffe im menschlichen Organismus, ist der Mensch krank oder er wird es. *Daran geht kein Weg vorbei, denn viele Wege führen nach Rom:*

<b>Elemente:</b>	Molybdän 18	<b>Vitamine:</b>	Vitamin K (Phyllochinon) 20
Calcium 17	Natrium 16	Ascorbinsäure 20	
Chlor 17	Nickel 18	Biotin 21	
Chrom 17	Phosphor 17	Calciferol 19	<b>Amino- und Fettsäuren:</b>
Cobalt 18	Sauerstoff 16	Cobalamin 21	Isoleucin 22
Eisen 18	Schwefel 17	Folsäure 21	Leucin 22
Fluor 16	Selen 18	Niacin (Nicotinamid) 20	Lysin 22
Iod 18	Silicium 17	Pantothensäure 21	Methionin 22
Kalium 17	Stickstoff 16	Pyridoxin 21	Phenylalanin 22
Kohlenstoff 16	Vanadium 17	Riboflavin 20	Threonin 23
Kupfer 18	Wasserstoff 16	Thiamin 20	Tryptophan 23
Magnesium 17	Zink 18	Tocopherol 19	Valin 23
Mangan 18		Vitamin A (Retinol) 19	Linolensäure (Fettsäure) 23