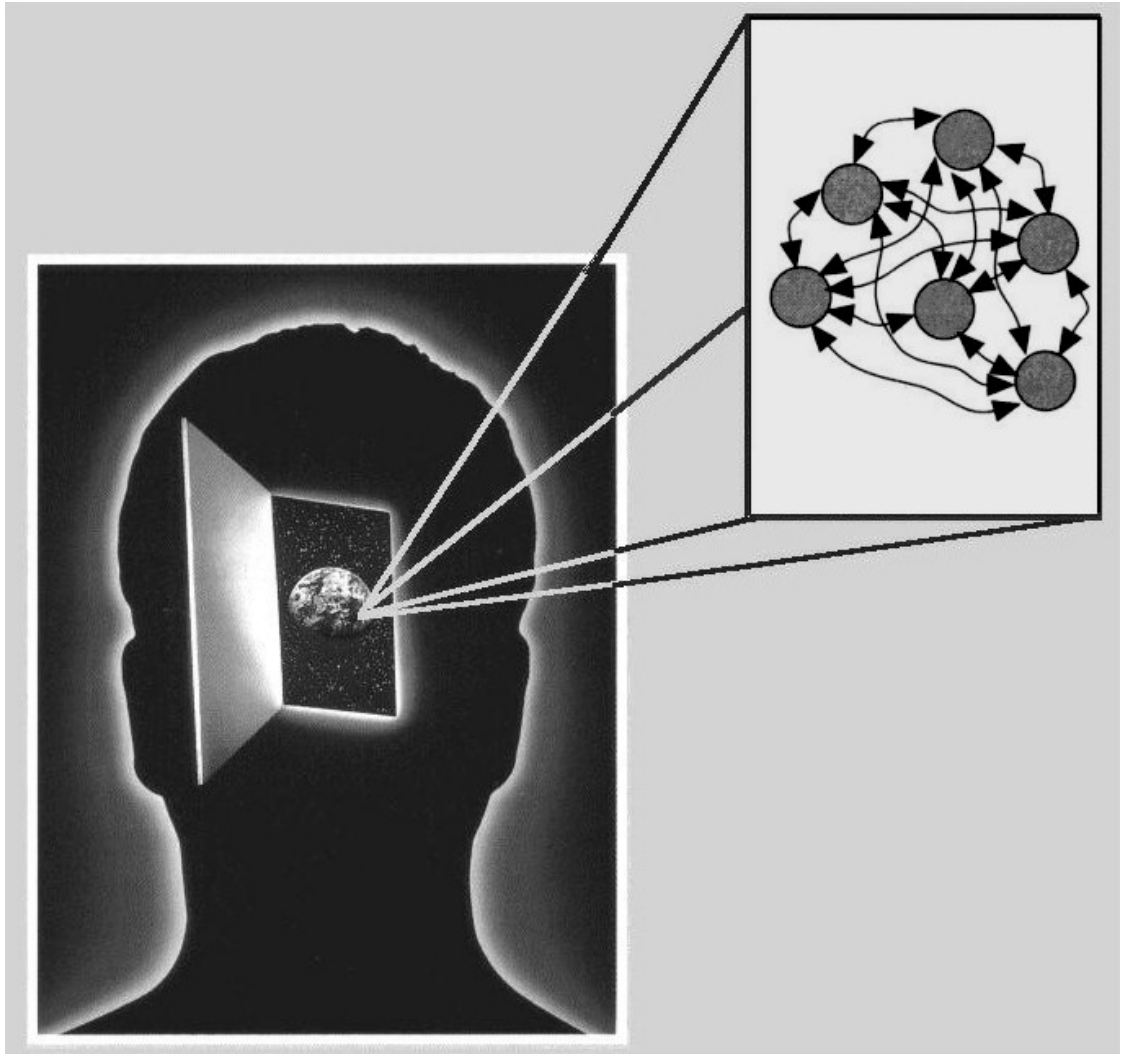


Herbert Paukert



Wege im KÖRPER

Grundlagen der Somatologie

Herbert Paukert

WEGE IM KÖRPER

Grundlagen der Somatologie

(Version 12, 2025)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Kopien daraus bedürfen der Einwilligung des Autors.

Eigenverlag
<http://www.paukert.at>

Vorwort

Diese überarbeitete und erweiterte Neuauflage des Lehrbuches „*Ein Fenster zum ICH*“ (1999 im öbv-hpt-Verlag erschienen) gliedert sich nun in zwei eigenständige Bücher, in eine *Somatologie* und eine *Psychologie*.

Im hier vorliegenden Buch („*Wege im KÖRPER*“) liefert der erste Abschnitt eine Übersicht über die biologischen Grundlagen, über die Entwicklung des Lebens, über Aufbau und Stoffwechsel der Zellen und über den Kreislauf der Energie. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich ausführlich mit den Hauptsystemen des menschlichen Organismus. Dabei werden Aufbau und Funktion der wichtigsten Organe besprochen. Im dritten Abschnitt liegt der Schwerpunkt auf den neurobiologischen Grundlagen des Nervensystems, insbesondere des Gehirns und seinen Funktionen. Der vierte Abschnitt liefert eine kurze Darstellung der menschlichen Psyche. Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit Gesundheit und Krankheit.

Das zweite Buch („*Wege zum ICH*“) beschreibt die menschliche Psyche aus der Sicht einer naturwissenschaftlichen Psychologie unter Berücksichtigung der aktuellen neurobiologischen Erkenntnisse. In 30 Kapiteln werden die wichtigsten Bereiche der Psychologie dargestellt. Die Seele (Psyche) kann nur im Zusammenhang mit dem Körper (Soma) verstanden werden. Und dafür ist ein somatologisches Grundwissen notwendig.

Mithilfe der funktionellen magnetischen Resonanztomographie (fMRT) und mit der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) besitzt die Neurobiologie Werkzeuge, mit denen beeindruckende Bilder von Gehirnregionen erzeugt werden können, die bei bestimmten Erlebnissen und Verhaltensweisen aktiv sind. Damit wurden neue Erkenntnisse über die Funktionsweise des Gehirns gefunden, auf die ausführlich Bezug genommen wird.

Die Psyche ist eine *emergente Systemeigenschaft des Gehirns*. Sie ist das Resultat von informationsverarbeitenden Prozessen in komplexen Netzwerken aus Milliarden von Nervenzellen. Die meisten dieser Prozesse laufen unbewusst ab, und nur ein geringer Teil davon wird bewusst erlebt. Die bewussten Erlebnisse (Wahrnehmungen, Gedanken, usw.) werden in der äußeren Rinde des Großhirns (Neocortex) erzeugt. Triebe und Emotionen bilden den Kern der menschlichen Persönlichkeit. Sie entstehen bewusst oder unbewusst im so genannten limbischen System, einem ausgedehnten Bereich des Gehirns, welcher sich mit seinen verschiedenen Teilbereichen von der Basis des Großhirns bis in den Hirnstamm erstreckt.

Durch Interaktion des Gehirns mit seiner Umwelt hat sich die menschliche Psyche evolutionär entwickelt - von einfachen Reflexen für die Reizbeantwortung über unbewusste instinktive Handlungen für die Lebenserhaltung bis zu den begriffsbildenden neuronalen Netzen in der Großhirnrinde, wodurch Denken als Probehandeln möglich wird. Das Denken erzeugt im Gehirn ein Modell seiner Umwelt.

Mithilfe der Sprache kann das Wissen an Andere weitergegeben und auch auf materiellen Datenträgern gespeichert werden. Dadurch wird das subjektive Wissen zum *objektiven Geist* und so zur Grundlage der Kultur. Grundsätzlich kann die menschliche Existenz auf *vier Ebenen* betrachtet werden: der biologischen, der psychologischen, der soziologischen und der kulturellen.

Unser Wissen gleicht einer Kugel im Raum. Ihre Oberfläche ist die Grenze zum Unbekannten und Unerforschten. Mit jeder Erweiterung unserer Wissenskugel vergrößert sich auch diese Grenzfläche. So ergibt sich der paradoxe Sachverhalt, dass je mehr wir zu wissen vermeinen, wir umso schmerzlicher erkennen wie wenig wir eigentlich wissen.

Dieses Bild einer Wissenskugel erlaubt aber noch eine zweite Interpretation. Nicht die wechselhaften Erscheinungen an der vordergründigen Oberfläche sind von Bedeutung, sondern die hintergründigen, verborgenen Strukturgesetze. Erst das tiefere Verständnis der versteckten Beziehungen und Bindungen ermöglicht dem Schachspieler die richtige Einschätzung der sichtbaren Figurenstellung am Spielbrett. Genauso kann das Wissen um die Gesetzmäßigkeiten der Biologie und der Psychologie zu einem besseren Verständnis und einer differenzierteren Beurteilung menschlicher (Lebens-) Situationen führen. Vielleicht kann dadurch auch unser Verhalten am Spielbrett des Lebens in günstiger Art und Weise beeinflusst werden. Der Autor hofft, mit diesem Buch dem Leser einen möglichst umfassenden Einblick in den Aufbau und die Funktionen des menschlichen Körpers zu vermitteln. Er hofft auch, dass die Buchlektüre zu mehr wissender Achtsamkeit vor dem Leben und der Natur beiträgt. Das Buch ist vor allem Schülern, Studenten, Lehrern und Menschen in Sozialberufen gewidmet.

Zuletzt möchte sich der Autor bei Frau Mag. Susanne Holböck bedanken – ohne ihre Mithilfe wäre das Buch wohl nicht zustande gekommen. Dank gebührt auch Herrn Mag. Wolfgang Götz für die genaue Durchsicht des Buches und Herrn Univ. Prof. Dr. Giselher Guttmann für seine freundliche Unterstützung.

Wien, im Herbst 2025.

Herbert Paukert wurde 1945 in Wien geboren. Dort absolvierte er Studien in den Fächern Philosophie, Psychologie, Mathematik, Physik, Chemie und Informatik. Neugier und Interesse waren sehr weit gestreut, so besuchte er u.a. Vorlesungen über Mathematik bei *Edmund Hlawka*, über Logik bei *Curt Christian*, über Philosophie bei *Friedrich Kainz*, über Chemie bei *Hans Tupy*, über Informatik bei *Helmut Schauer*, über Psychologie bei *Hubert Rohrer* und *Giselher Guttmann*.

Nach dem Studium unterrichtete er als Lehrer an verschiedenen Schulen in Wien, u.a. als Fachkoordinator für Mathematik am Polgargymnasium, wo er gemeinsam mit *Gerald Kurz* den Oberstufen-Schulversuch „*Informatik*“ begründete. 1985 erhielt er eine Berufung an das Pädagogische Institut in Wien, wo er 10 Jahre lang als Dozent in der Lehrerfortbildung tätig war.

1995 erfolgte die Herausgabe von zwei Informatik-Lehrbüchern („*Vom Bit zum Programm*“ und „*Programmieren in Pascal*“, Manz-Verlag). 1999 folgte dann die Herausgabe eines Psychologie-Lehrbuches („*Ein Fenster zum Ich*“, öbv-htp-Verlag). Er programmierte auch das multimediale Autorensystem „*PAUMEDIA*“ und betreibt eine Homepage www.paukert.at, wo Lernmaterialien und Lernhilfen für Schüler und Lehrer kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

[1] Die biologische Basis	Seite 9
[1.1] Die Entwicklung des Lebens	Seite 9
[1.2] Aufbau und Stoffwechsel der Zellen	Seite 17
[1.3] Der globale Kreislauf der Energie	Seite 21
[2] Die Hauptsysteme des Organismus	Seite 23
[2.1] Das Knochensystem	Seite 24
[2.2] Das Muskelsystem	Seite 29
[2.3] Das Verdauungssystem	Seite 31
[2.4] Das Ausscheidungssystem	Seite 45
[2.5] Das Fortpflanzungssystem	Seite 47
[2.6] Kreislaufsystem und Atmungssystem	Seite 59
[2.7] Immunsystem und Infektionsabwehr	Seite 72
[2.8] Das Hormonsystem	Seite 78
[3] Nervensystem und Gehirn	Seite 85
[3.1] Neuronen und Neurotransmitter	Seite 85
[3.2] Transmitter und ihre Rezeptoren	Seite 89
[3.3] Neuronale Netze	Seite 94
[3.4] Das zentrale Nervensystem	Seite 96
[3.5] Gehirn und Großhirn	Seite 101
[3.6] Sensorik und Motorik	Seite 107
[3.7] Sinnesorgane - Tore zur Welt (Schmecken, Riechen, Berühren, Schmerzen, Hören, Gleichgewicht, Sehen)	Seite 112
[3.8] Gedächtnis und Lernen	Seite 129
[3.9] Das limbische System	Seite 134
[3.10] Das vegetative Nervensystem	Seite 143
[3.11] Die Neurowissenschaften	Seite 147
[4] Die menschliche Psyche	Seite 149
[4.1] Ein Modell der Psyche	Seite 150
[4.2] Intelligenz und Persönlichkeit	Seite 152
[4.3] Die sechs Grundsysteme	Seite 154
[4.4] Die Stressreaktion	Seite 159
[4.5] Psychosomatik	Seite 162
[4.6] Psychoneuroimmunologie	Seite 166
[4.7] Neurobiologie und Psychotherapie	Seite 169
[4.8] Die Selbstheilung	Seite 173
[5] Gesundheit und Krankheit	Seite 175
[5.1] Säulen der Gesundheit	Seite 175
[5.2] Häufige Krankheiten	Seite 184
[5.3] Wichtige medizinische Parameter	Seite 193
Schlusswort	Seite 197
Quellennachweis	Seite 198

Überblick über das Psychologiebuch „*Wege zum ICH*“

- [1] Grundwissen „Somatologie“
- [2] Die menschliche Psyche
- [3] Die Wahrnehmung
- [4] Gedächtnis und Lernen
- [5] Denken und Logik
- [6] Die Sprache
- [7] Instinkte und Triebe
- [8] Die Interessen
- [9] Die Süchte
- [10] Die Gefühle
- [11] Der Wille und seine Freiheit
- [12] Grundbegriffe der Statistik
- [13] Psychologische Tests
- [14] Die Intelligenz
- [15] Die Persönlichkeit
- [16] Die sechs psychoneuralen Grundsysteme
- [17] Entwicklungspsychologie
- [18] Sozialpsychologie
- [19] Behaviorismus und Kognitivismus
- [20] Die Psychoanalyse von Sigmund Freud
- [21] Die Logotherapie von Viktor Frankl
- [22] Weitere psychotherapeutische Schulen
- [23] Psychopathologie und Psychotherapie
- [24] Das integrative ABCDE-Modell
- [25] Grundbegriffe der Schematherapie
- [26] Beispiele psychischer Störungen
- [27] Placebos und Nocebos
- [Anhang A] Erziehung und Schulbildung
- [Anhang B] Intelligenz- und Persönlichkeitstests
- [Anhang C] Logik und Wissenschaft

[1] Die biologische Basis

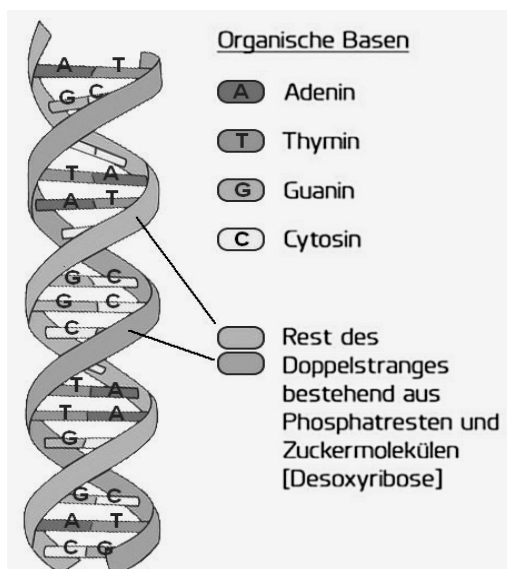
[1.1] Die Entwicklung des Lebens

Die *unbelebte Welt* ist der Bereich von Raum und Zeit, in dem Anhäufungen von Materie vorkommen, welche ihrerseits aus Atomen und Molekülen bestehen. Zwischen den Materieteilchen wirken Kräfte, welche durch Physik und Chemie beschrieben werden. Durch die gegenseitigen Wechselwirkungen der verschiedenen Moleküle bilden sich immer komplexere Stoffklassen. Auf diese Weise entstehen in der Uratmosphäre aus einfachen Molekülen wie Wasser (H_2O), Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3) bei Energiezufuhr (Sonne, Blitz) neue Moleküle wie Aminosäuren (z.B. Glycin $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$). Diese werden in die mineralsalzreichen Urozeane geschwemmt, und sie bilden dort noch komplexere Moleküle. Beispielsweise werden aus den einfachen Aminosäuren längere Polypeptidketten, die sich zu Proteinen (Eiweißen) zusammenfalten.

Eine andere Klasse von Molekülen sind die so genannten Phospholipide (komplexe Verbindungen aus Fettsäuren, Glycerin-Alkohol und Phosphorsäure), welche aus einem wasserabstoßenden und einem wasseranziehenden Ende bestehen. Sie ordnen sich im Wasser kugelförmig an und bilden dort doppelschichtige Membranen. Durch Einlagerung von Polypeptiden in eine Membran können röhrenförmige Kanäle erzeugt werden, welche die Verbindung zwischen Außen und Innen herstellen. Damit ist die „*Pore*“ als erstes Organ der Evolution erfunden. Im Innern dieser Gebilde sammeln sich auf Grund einseitiger Membrandurchlässigkeit bestimmte Makromoleküle gehäuft an, welche in enge Wechselwirkung miteinander treten können. Solche in der Ursuppe schwimmenden Gebilde (*Präzellen*) sind die Vorläufer der lebendigen Zellen.

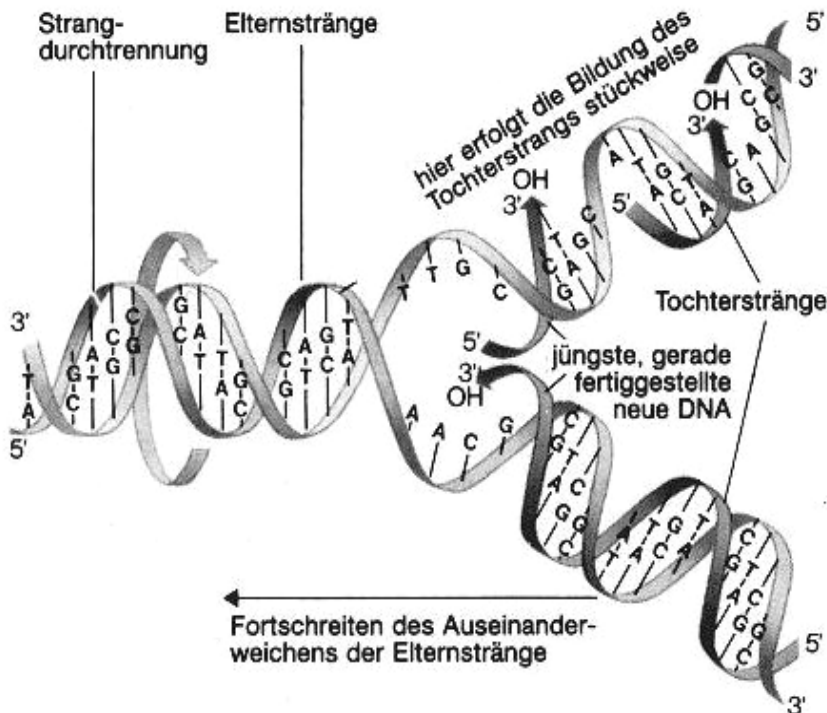
In den *Präzellen* entwickelt sich über die aus Vulkanen stammenden Phosphate ein einfacher Stoffwechsel. Anorganische Polyphosphate sind zwar sehr stabil gegen Wasser, aber instabil gegen kohlenstoffhaltige Hydroxylgruppen. Sie verbinden sich leicht mit anderen geeigneten Stoffen zu reaktionsfreudigen Molekülen. Die nunmehr organischen Polyphosphatverbindungen beteiligen sich rege am Aufbau weiterer Makromoleküle, unter anderem auch an der Synthese von Nukleinsäuren.

Die verdrehten Doppelstränge der Desoxyribonukleinsäure (DNS) bestehen aus Desoxy-Ribose-Zucker, Phosphatresten und genau *vier* stickstoffhaltigen Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Aus elektrochemischen Gründen können nur bestimmte basische Stoffe einander gegenüber liegen (komplementäre Basenpaarung: A-T und G-C).



Wird durch äußere Einflüsse ein solcher DNS-Doppelstrang aufgetrennt, dann können sich an die entsprechenden Basen eines Einzelstranges frei herumschwimmende, komplementäre Bruchstücke anlagern. Damit bildet sich wieder ein neuer DNS-Doppelstrang, der identisch mit dem Ausgangsmolekül ist. Durch die *identische Reduplikation (Replikation)* sind solche Makromoleküle in der Lage, gleichartig aufgebaute Tochtermoleküle zu erzeugen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die identische Reduplikation eines DNS-Doppelstranges. Statt DNS wird häufig auch die Bezeichnung DNA verwendet (A = acid). Die komplementären Basenpaarungen wirken wie Sprossen einer spiraligen Leiter (Doppelhelix).

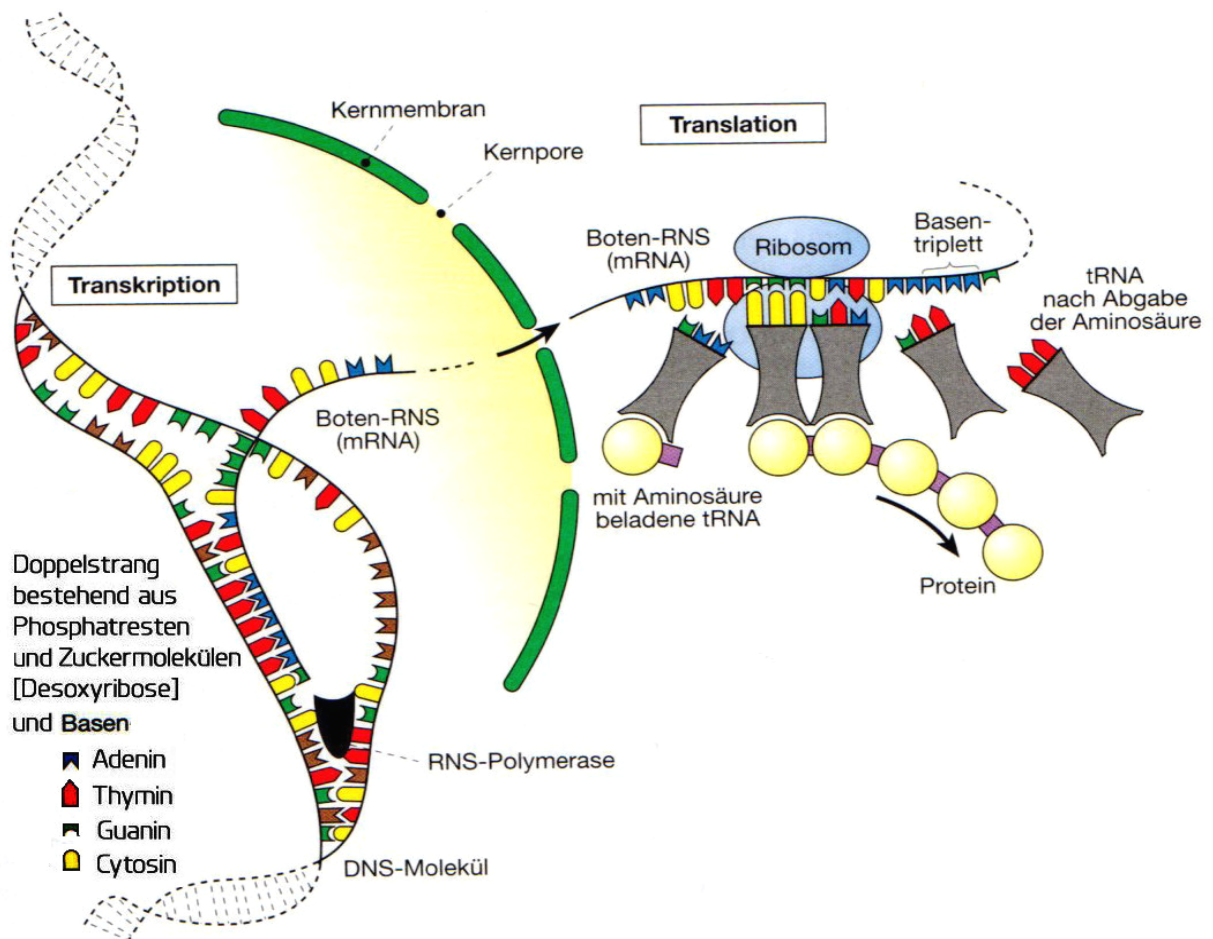


Aus dem bereits komplexen chemischen Geschehen in der *Präzelle* entwickelt sich eine neue Struktur, nämlich die *Zelle*. Diese weist nunmehr völlig neue Funktionsmerkmale auf: einen *Energie-stoffwechsel*, die *identische Reduplikation* und einen *Baustoffwechsel*. Für diese Arbeitsleistungen haben sich auch verschiedene Unterstrukturen innerhalb der Zelle gebildet, die in Wechselwirkung zueinander stehen (Kern, Plasma, spezialisierte Zellorganellen, Membran). Die einzelnen Vorgänge in den verschiedenen Zellabteilungen (Organellen) regulieren sich gegenseitig in der Weise, dass immer eine optimale Anpassung an die jeweiligen chemisch-physikalischen Situationen erfolgt.

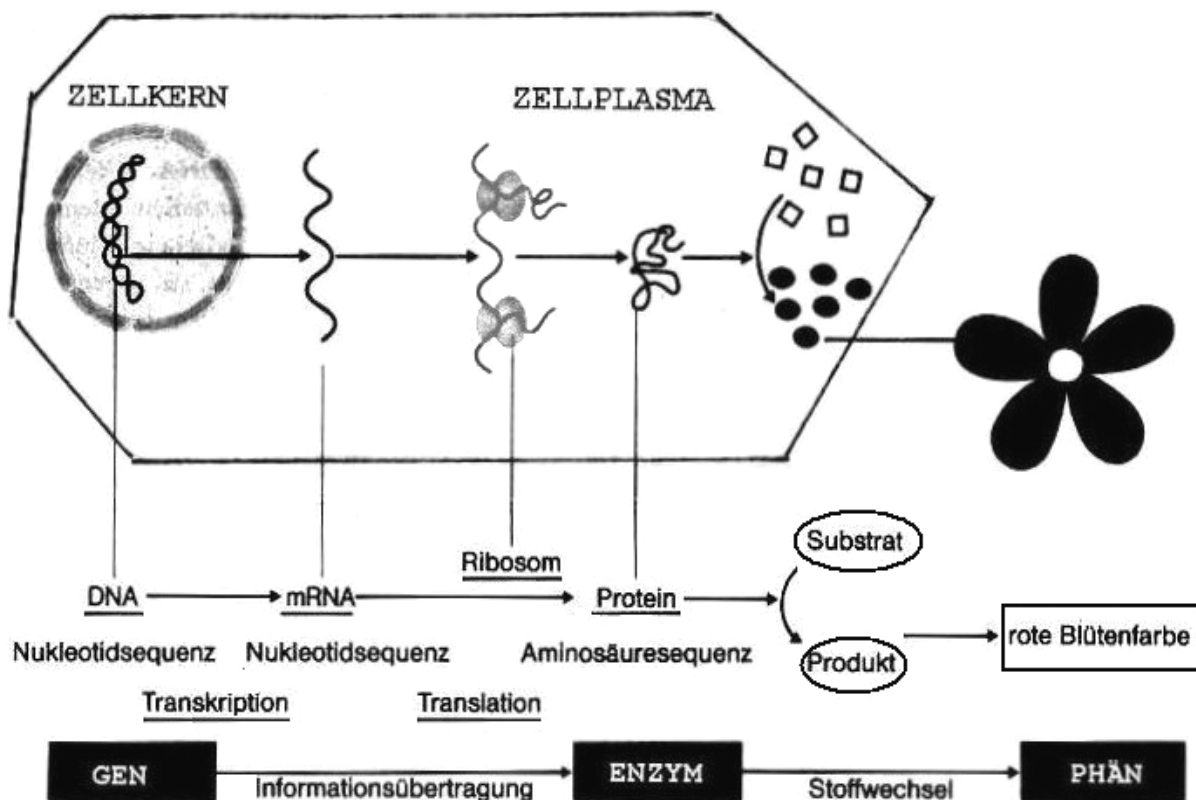
Die im Vergleich zur unbelebten Präzelle neuen strukturellen und funktionellen Systemmerkmale (Vermehrung, Wachstum, Bewegung) werden unter dem Sammelbegriff "**Leben**" zusammengefasst. Dadurch unterscheidet sich die belebte von der unbelebten Materie. Natürlich sind die Übergänge fließend und kontinuierlich, z.B. bei den Viren. In weiterer Folge entstehen kleinere Mikroorganismen und schließlich höhere Lebensformen mit spezialisierten Zellverbänden (Organen).

Das der stammesgeschichtlichen Entwicklung (*Phylogenese*) zu Grunde liegende Prinzip formulierte *Charles Darwin* (1850) in seiner *Evolutionstheorie*, wonach nur jene Strukturen überleben, welche am besten an die jeweiligen Umweltbedingungen (den Außenraum) angepasst sind. Der Motor unserer Stammesgeschichte sind die *Mutationen* (Veränderungen des genetischen Codes) und die *Selektionen* (natürlichen Auslesen).

Die wichtigste Funktion der DNS-Moleküle ist ihre steuernde Mitwirkung bei der Bildung von Eiweißen (Proteinen) durch gezielte Verknüpfung von Aminosäuren. Die DNS-Doppelstränge befinden sich in 46 Kernfäden (*Chromosomen*) der Zellkerne. Beim Vorgang der **Transkription** werden sie ab einer Startposition bis zu einer Endposition mit Hilfe bestimmter Enzyme aufgetrennt. Von diesem Abschnitt wird auf Grund der komplementären Basenpaarung aus Nukleotidstücken eine Kopie erzeugt, die Messenger-Ribonukleinsäure (mRNS). Die RNS (Ribonukleinsäure) unterscheidet sich von der DNS (Desoxyribonukleinsäure) in ihrer Struktur nur geringfügig. Dann schließt sich der DNS-Doppelstrang wieder und die mRNS wandert aus dem Zellkern in das Zellplasma. Dort erfolgt an eigenen Einrichtungen (Ribosomen) der Vorgang der **Translation**. Dabei steuern jeweils drei Basen der mRNS (Basentriplett, Codon) die Anheftung einer bestimmten Aminosäure. Der eigentliche Aminosäuretransport erfolgt mit Hilfe der Transfer-RNS (tRNS), die auf der einen Seite über komplementäre Basenpaarungen an die mRNS andockt und auf der anderen Seite mit einer Aminosäure beladen ist. Nach der Verknüpfung der Aminosäuren löst sich die tRNS sowohl von der Aminosäure als auch von der mRNS. Übrig bleibt eine Kette von Aminosäuren (ein Protein).



In der Basensequenz der Nukleinsäuren ist die komplette Information für die Verknüpfung der verschiedenen Aminosäuren zu Eiweißmolekülen (Proteinen) verschlüsselt. In dem Zusammenhang spricht man auch vom **genetischen Code**. Unter einem **Gen** versteht man einen Abschnitt des DNS-Moleküls, also eine bestimmte Sequenz von Basentriplets (Nukleotidsequenz), welche für die **Biosynthese** eines Proteins verantwortlich ist. Transkription und Translation sind biochemische Vorgänge, vergleichbar mit komplizierten feinmechanischen Bearbeitungsmaschinen.



Schema der Informationsübertragung vom Gen (Information gespeichert) zum Merkmal (Information verwirklicht). Nicht berücksichtigt ist dabei, dass das Merkmal "Blütenfarbe" durch mehrere Gene bedingt ist (Polygenie). Die Genprodukte (Enzyme) katalysieren eine Reaktionskette, die mit der Bildung des "Blütenfarbstoffes" endet.

Die **Gene** enthalten somit die Erbinformationen für die Entwicklung äußerer Bau- und Leistungsmerkmale des Körpers (**Phäne**). Die gesamte genetische Steuerung der Biosynthese von Proteinen heißt **Genexpression**. Oft sind an einem Phän mehrere Gene beteiligt (Polygenie), oder ein Gen an mehreren Phänen.

Die Proteine ihrerseits werden als *Baustoffe* für Zellstrukturen oder als *Enzyme* (Vermittlerstoffe, Katalysatoren) für weitere chemische Reaktionen verwendet. Die Enzym-Proteine bestehen aus langen Ketten von Aminosäuren, welche sich durch Faltungen zu komplizierten räumlichen Strukturen anordnen. Dabei bilden die für die spezifische Enzymleistung wirksamen Aminosäuren eine Vertiefung in der Oberfläche. An dieses aktive Zentrum des Enzym-Proteins wird dann das passende Substratmolekül angelagert. Nun können dort bestimmte Ionen (Coenzyme) auf das Substratmolekül einwirken, sodass dieses beispielsweise chemisch verändert oder überhaupt zerlegt wird. Die Enzyme wirken so als Biokatalysatoren für die Stoffwechselvorgänge in der Zelle, wodurch bestimmte Merkmalsstrukturen aufgebaut werden.

Eine wesentliche Leistung der Zellen besteht in ihrer Fähigkeit sich in zwei Tochterzellen zu teilen. Der zentrale Mechanismus ist dabei die identische Reduplikation der DNS, wodurch die Erbinformation weitergegeben wird. Durch die **Zellteilung** wird erst Wachstum und Regeneration (Ersatz von Zellen) möglich. Zellverbände, welche aus überwiegend gleichartig strukturierten Zellen mit bestimmten Funktionen bestehen, werden als Gewebe bezeichnet. Man unterscheidet Epithelgewebe (Oberflächenschutz), Binde- und Stützgewebe, Muskelgewebe und Nervengewebe.

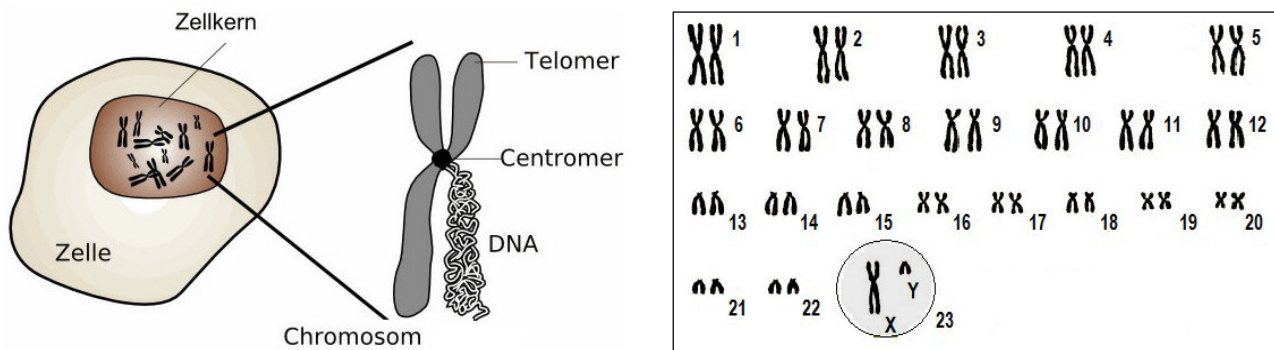
Ein interessantes Phänomen in der Entwicklung eines Individuums (*Ontogenese*) ist die so genannte Zelldifferenzierung. Sämtliche Baupläne eines Lebewesens sind in den DNS-Strängen im Zellkern enthalten. Die Ursachen für die *Spezialisierung der Zellen* liegen einerseits in der Genaktivität und andererseits in der Zellaktivität. Die so genannte **Genregulation** bewirkt, dass nur bestimmte Gene aktiv werden und die Biosynthese spezifischer Proteine steuern. Zur Genregulation werden verschiedene Verfahren angewendet, z.B. die *Substratinduktion*, die als echter Regelkreismechanismus angesehen werden kann. Eigene Regulationsgene erzeugen bestimmte Repressorproteine. Diese blockieren die Startposition eines Gens. Das die Aktivität des Gens auslösende Substrat heftet sich an das Repressormolekül, wodurch sich dieses räumlich umlagert und seine blockierende Bindung zum Gen verliert. Dann können bestimmte Enzyme (RNS-Polymerasen) angreifen und die Transkription starten und kontrollieren. Das wiederum führt im Zellplasma zur Biosynthese des entsprechenden Enzym-Proteins. Falls dieses das Substrat spaltet, so sinkt im Plasma die Konzentration des Substrates. Der nunmehr wieder unbeladene Repressor kann den Genabschnitt neuerlich blockieren und die Biosynthese wird dann eingestellt. Neben dieser *Genregulation* wirken auch die *Aktivitäten der Zellen* als Ganzes steuernd auf die Spezialisierung der Zellen. Eine Zelle kann sich bewegen, teilen, an andere anheften (Adhäsion), loslassen und auch sterben.

Bei der **Befruchtung** verschmelzen die Eizelle und die Samenzelle und damit auch ihre genetischen Informationen. Durch fortwährende Zellteilung bildet sich daraufhin das Blastoderm, ein Zellhaufen mit über 100 000 Zellen. Durch Wanderung und Adhäsion der Zellen kommt es zur Einstülpung des Blastoderms, zur Gastrulation, wobei sich drei Zellplatten herausbilden (Keimblätter): Ektoderm, Entoderm und Mesoderm. In diesem Stadium der Keimesentwicklung setzt nun der Mechanismus der **embryonalen Induktion** ein. Darunter versteht man die Koordination der ortsabhängigen Differenzierung der Zellen (Topobiologie). Diese erfolgt durch Zellaktivitäten und durch Genregulationen, wobei Signalstoffe erzeugt werden, die ihrerseits auf andere Zellen einwirken können. Durch diese Prozesse entwickeln sich aus den Keimblättern die Primitivorgane. Am Ende der Entwicklung steht das individuelle Lebewesen mit seinen Organsystemen.

Die DNS wird mit Proteinen (Histonen) zu einem Makromolekül-Komplex verpackt. Dieser wird **Chromosom** (Kernfaden) genannt. Die menschlichen Zellen besitzen unterschiedliche Chromosomen, welche mit 1, 2, 3, ... 22, X und Y bezeichnet werden. Die ersten 22 Chromosomen sind doppelt vorhanden. Im letzten Chromosomenpaar hingegen können nur die zwei Chromosomenkombinationen XX oder XY auftreten. Diese Chromosomen sind geschlechtsbestimmend. Die XX-Kombination bestimmt den weiblichen Organismus, XY den männlichen. Weil der ganze Chromosomensatz paarig angelegt ist, nennt man ihn „diploid“. Er besteht aus genau 46 Chromosomen und enthält ca. 24000 Gene. Ein einfacher Chromosomensatz aus 23 Chromosomen heißt „haploid“. Anzumerken ist, dass nur etwa 10% der DNS codierende Gene sind. Der Rest hat nur regulative Funktionen.

Die meisten Körperzellen besitzen einen diploiden Chromosomensatz. Keimzellen haben jedoch einen haploiden Chromosomensatz. Die Samenzellen besitzen ein Y- oder ein X-Chromosom. Eizellen haben ein X-Chromosom. Bei der Befruchtung verschmelzen die Samenzellen mit den Eizellen.

Die durch fortgesetzte Teilungen (Mitosen) entstehenden Zellen des Körpers erhalten dabei diploide Chromosomenpaare mit je einem mütterlichen und einem väterlichen Chromosom. Ein Chromosom besteht in der Regel aus zwei identischen Längshälften (Chromatiden), die durch ein Centromer-Protein verbunden sind.



Eine wichtige Rolle spielen die beiden Enden der Chromosomen (*Telomere*). Diese enthalten eine kurze, sich identisch wiederholende Basen-Sequenz (TTAGGG), die eine Schutzkappe für die Chromosomen darstellt. Dadurch können die Chromosomen nicht zusammenkleben oder zerfallen. Bei jeder Zellteilung werden die Telomere nicht verdoppelt, d.h. sie werden im Laufe des Lebens kürzer und damit wird auch ihre Schutzfunktion schwächer. Unterschreiten die Telomere eine kritische Länge, dann verändern die in den Chromosomen befindlichen Gene ihre Aktivität, die Teilungsrate sinkt, und schließlich teilt sich die Zelle gar nicht mehr und stirbt. Die Telomer-Verkürzung erweist sich als ein wesentlicher Prozess beim Altern. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass Krebszellen ein Enzym produzieren (Telomerase), welches die verlorenen Telomere immer wieder ergänzt, so dass die Krebszellen vergessen, wie alt sie sind und sich hemmungslos weiter teilen - eine Unsterblichkeit, die für den Organismus tödlich endet. Die Telomerase kommt in normalen, erwachsenen Zellen nicht vor.

Das *Altern* ist ein unausweichlicher Prozess, dem jedes Lebewesen unterworfen ist. Ungeklärt ist dabei, ob das Altern das Ergebnis von sich häufenden Fehlern in der Funktionalität der Zellen ist, oder ob für das Altern ein artspezifisches Programm in den Körperzellen verantwortlich ist. Eine wichtige *biologische Uhr*, welche das individuelle Lebensalter mitbestimmt, ist der chemische Stoffwechsel. Der amerikanische Mediziner **Richard Weindruch** in Wisconsin ernährte Mäuse und Ratten nur mit zwei Drittel der normalen täglichen Kalorienzufuhr, jedoch mit allen notwendigen Vitaminen und Spurenelementen. Weil in den Zellen dieser Tiere weniger Nahrung verarbeitet wird, bilden sich weniger schädliche Stoffwechselprodukte, wie beispielsweise die *freien Radikale* (endogene *Oxidantien*). Diese hochreaktiven, aggressiven Moleküle sind verantwortlich für Oxidationsprozesse, welche Membranproteine und Enzymproteine, die Energie liefernden Mitochondrien im Zellplasma, und sogar Genmaterial im Zellkern zerstören können. Glücklicherweise hat die Natur Schutzmittel dagegen entwickelt: Einerseits wurden Gene entdeckt, welche die DNS-Schäden wieder reparieren bzw. ein Enzym produzieren, welches die freien Radikale abbaut (Superoxid-Dismutase). Andererseits hemmt auch eine gesunde Ernährung, die so genannte *Antioxidantien* enthält (z.B. Karfiol und Broccoli), die zerstörerische Wirkung freier Radikale. Die von Weindruch gesund ernährten Tiere lebten länger, bis zu einem Drittel der normalen Lebensspanne.

Im Frühjahr 2001 wurde die erste detaillierte Karte des kompletten menschlichen Genoms mit seinen etwa 24000 Genen veröffentlicht. Man kennt zwar deren DNS-Sequenzen, aber nur von einem geringen Teil auch deren Funktionalität. Im Folgenden sollen davon drei Beispiele angeführt werden.

- **Das Laktase-Gen**

Es liegt auf Chromosom 1 und erzeugt das *Enzym Laktase*, welches uns hilft den *Milchzucker (Laktose)* aus der Muttermilch zu verdauen und zu verwerten. Ist dieses Gen abgechaltet dann kommt es zu einer Laktose-Unverträglichkeit. Das ist bei Menschen aus Asien, die sich nicht von der Viehzucht ernähren der Fall, aber viel seltener bei Europäern.

- **Das Farbpigment-Gen**

Es liegt auf Chromosom 3 und aktiviert jene *zwei Enzyme*, welche die Aminosäure Tyrosin entweder in das schwarzbraune Melanin-Pigment *Eumelanin* oder in das hellrote *Phäomelanin* chemisch umbauen. Beim Ersten sind dann die Haare dunkel und beim Zweiten sind die Haare hell.

- **Das Insulinrezeptor-Gen**

Es liegt auf Chromosom 19 und erzeugt das *Rezeptor-Protein* für *Insulin*. Die Insulinrezeptoren befinden sich in der Zellmembran, wo dann das Insulin andockt und wodurch die Aufnahme von Zucker aus dem Blut in die Zelle ermöglicht wird. Auf diese Weise sinkt der Blutzucker. An den Membranen der Muskelzellen befinden sich besonders viele Insulinrezeptoren, denn diese Zellen brauchen mehr Zucker als Brennstoff. Es gibt zwei Arten von Zuckerkrankheiten (Diabetes). Beim Typ 1 produziert die Bauchspeicheldrüse zu wenig Insulin. Zur Therapie müssen Diabetiker regelmäßig Insulin spritzen. Beim Typ 2 sind zu wenig Insulinrezeptoren vorhanden. Betroffene Diabetiker müssen dann ihre Ernährung anpassen.

Anmerkungen zur Gentechnik

In der Gentechnik werden Gene isoliert, gelesen, kopiert, neu kombiniert, verändert und von einem Lebewesen auf ein anderes übertragen. Dadurch werden gezielt bestimmte, erwünschte Genprodukte (Proteine) erzeugt. Diese Gentechnik wird angewendet in der Forschung, in der Pharmazie, in der Medizin und zur Herstellung von gentechnisch veränderten Pflanzen und Tieren.

Es gibt unterschiedliche Methoden der Gentechnik. Um überhaupt mit der DNS, welche die Gene enthält, zu arbeiten, muss die DNS aus den Zellen isoliert werden. Dann wird ein bestimmtes Gen mit Hilfe von passenden **Restriktions-Enzymen** aus dem DNS-Faden herausgeschnitten.

Bakterien enthalten neben verdrehten DNS-Fäden auch ringförmig angeordnete DNS (*Plasmide*). Diese eignen sich zur Einschleusung von fremden, vorher aus anderen Zellen (pflanzlichen, tierischen oder menschlichen) isolierten Genen.

Dazu muss auch das Plasmid aus dem Bakterium entfernt und aufgeschnitten werden. Mit Hilfe von speziellen Enzymen, den **DNS-Ligasen**, wird das vorher isolierte Gen an die gewünschte Stelle im Plasmid-Ring eingesetzt. Zuletzt muss das Plasmid wieder in das Bakterium befördert werden. Das Resultat ist dann beispielsweise ein Bakterium mit einem menschlichen Gen.

Neben dieser Rekombinationstechnik wird u.a. auch die Vervielfältigung von Genen angewendet. Dabei werden mit Hilfe der **DNS-Polymerase** bestimmte Gene im DNS-Faden vervielfältigt bzw. mehrmals kopiert. In einer Stunde können dabei Tausende von Gen-Kopien hergestellt werden. Diese Methode wird häufig dazu verwendet, um die Basensequenzen richtig zu erkennen (Sequenzierung), d.h. die Buchstaben des genetischen Codes richtig abzulesen.

Nicht nur Bakterien, auch Pflanzen und Tiere können gentechnisch so verändert werden, dass ein zusätzliches Gen in allen Zellen vorhanden ist und dann das entsprechende Protein produziert wird. Beispielsweise wird bei Mäusen mit einer mikroskopisch feinen Nadel die DNS mit dem gewünschten Gen in eine befruchtete Eizelle der Maus gespritzt. In manchen Fällen baut sich die zusätzliche DNS in die DNS der Maus ein. In einer Schale werden die so veränderten Zellen kultiviert und aus der Eizelle entsteht ein mehrzelliger Embryo. Mehrere solche Embryonen werden dann in die Gebärmutter einer Maus eingesetzt. Nach drei Wochen kommen die Jungen zur Welt. Ein Teil der Jungen trägt das zusätzliche Gen. Bei den so genannten Knock-Out-Mäusen werden in die embryonalen Stammzellen ausgeschaltete oder defekte Gene eingeschleust und dann die Auswirkungen studiert. Zum Schluss sollen beispielhaft einige, wichtige Anwendungsgebiete der Gentechnik aufgezählt werden.

- ***Der genetische Fingerabdruck***

Jeder Mensch hat in seiner DNS nicht codierende, kurze und nur für ihn typische Abschnitte. Durch das Auslesen dieses genetischen Fingerabdruckes kann mit Hilfe von Speichel, Blut, Haut oder Haaren der Mensch identifiziert werden, was häufig in der Kriminalistik durchgeführt wird.

- ***Pharmazie und Medizin***

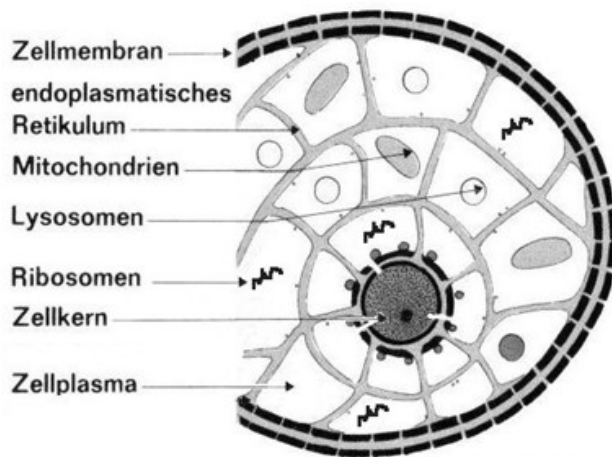
Bestimmte Wirkstoffe wie Insulin, Vitamine, Interferone oder andere Pharmaka werden mit Hilfe von gentechnisch veränderten Bakterien hergestellt und bei der Behandlung von zahlreichen Krankheiten verwendet. In der Gentherapie wird versucht, Krankheiten, die durch defekte Gene verursacht werden, durch Austausch dieser Gene zu heilen. In der Forschung werden oft gentechnisch veränderte Tiere als Versuchstiere eingesetzt.

- ***Gentechnik bei Pflanzen***

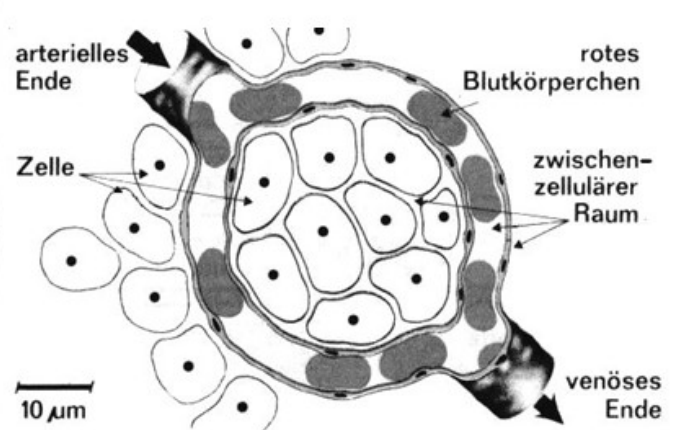
Pflanzen werden gentechnisch verändert um widerstandsfähig gegenüber Unkrautvernichtungsmitteln zu sein (Herbizidresistenz), Gifte gegen Schädlinge zu erzeugen (Schädlingsresistenz) oder wünschenswerte Inhaltsstoffe zu produzieren.

[1.2] Aufbau und Stoffwechsel der Zellen

Die Bausteine des Organismus sind die *Zellen*. Diese haben im Laufe der Entwicklung hoch - spezialisierte Funktionen übernommen (Muskelzellen zur Bewegung, Nervenzellen zur Signalübertragung, Drüsenzellen zur Sekretion, usw.). In der Grundstruktur bestehen sie aus einer *Zellmembran*, die sie von der Umgebung abgrenzt, und im Inneren aus dem *Zellplasma* mit verschiedenen Zellorganellen (Ribosomen, Mitochondrien, usw.) und dem *Zellkern* mit seinen Chromosomen, die aus Desoxyribonukleinsäure-Molekülen (DNS) bestehen. Einige wichtige Bestandteile der Zelle sind im Folgenden dargestellt.



Das Innere der Zelle



Die Umgebung der Zelle

Der Zellkern ist die Steuerzentrale der Zelle. Er enthält in seinen Chromosomen die DNS verpackt und somit das genetische Erbgut.

Die Ribosomen sind die kreativen Proteinfabriken. An ihnen werden unter der Kontrolle der DNS die Aminosäuren zu Proteinen (Eiweiß) verknüpft.

Die Mitochondrien sind die mächtigen Energiekraftwerke der Zellen. In ihnen findet die Verbrennung (Oxidation) organischer Stoffe mithilfe des molekularen Sauerstoffes statt, wobei Energie freigesetzt wird.

Die Lysosomen sind kleine von einer Hülle umschlossene Zellareale, in denen aufgenommene Fremdstoffe mit Hilfe von Enzymen abgebaut werden.

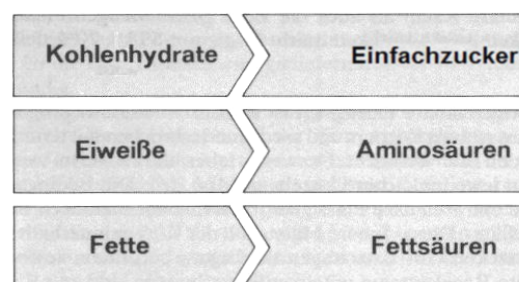
Das endoplasmatische Retikulum produziert und transportiert eine Vielzahl von Stoffen im Zellplasma. Der angeschlossene **Golgi-Apparat** sortiert und verteilt dann die Stoffe im Zellplasma.

Die Zellmembran schließlich ist die Schutzhülle der Zelle. Sie grenzt das Plasma von der Umgebung ab. Durch Kanäle in der Membran erfolgt der Stofftransport zwischen Zellplasma und den kapillaren Blutgefäßen im zwischenzellulären Raum. Der Transport erfolgt dabei entweder passiv ohne Energieverbrauch entsprechend dem Konzentrationsgefälle (Diffusion) oder aktiv mit Energieverbrauch entgegen dem Konzentrationsgefälle (Ionenpumpen mit Hilfe von Transportproteinen).

Im Zellplasma läuft der **biochemische Stoffwechsel** ab. Beim so genannten Baustoffwechsel werden Moleküle zerlegt und aus ihren Bestandteilen wieder neue aufgebaut. Im Grunde sind nur wenige Stoffklassen für den Aufbau der belebten Natur wichtig: Wasser (H_2O), Salze bzw. Ionen, Kohlenhydrate, Fette bzw. Lipide, Proteine (Eiweiße), Ribonukleinsäuren (RNS), Desoxyribonukleinsäuren (DNS). Zerlegt man diese Moleküle weiter, dann erhält man ebenfalls nur wenige typische Bestandteile wie die Aminosäuren der Eiweiße oder die Fettsäuren der Fette oder den Traubenzucker (Glukose) der Kohlenhydrate. Geht man noch einen Schritt weiter, so bleiben nur mehr sechs hauptbeteiligte Elemente übrig: Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Stickstoff (N), Kohlenstoff (C), Schwefel (S) und Phosphor (P).

Jeder Stoffwechsel braucht Stoffe. Die Nahrungsstoffe werden durch den Mund aufgenommen. Dort beginnt bereits die Verdauung, die dann im Magen und Darm fortgesetzt wird. Dabei werden *Kohlenhydrate in Zucker, Eiweiße in Aminosäuren* und *Fette in Fettsäuren* aufgespalten.

Die Verdauung der Grundnahrungsstoffe:



Damit der *Baustoffwechsel* reibungslos funktioniert, muss ihm Energie zugeführt werden. Diese Energie liefert der *Betriebsstoffwechsel* (Energiestoffwechsel) der Zelle. Die Aufnahme der Betriebsstoffe (vor allem von Zucker aus dem Blut) erfolgt durch die Zellmembran. Ihre Verbrennung mit Sauerstoff in den Mitochondrien des Zellplasmas wird als *biologische Oxidation* bezeichnet und liefert erstens weiter verwertbare chemische Bestandteile und zweitens auch frei werdende Energie. Diese wird zur Synthese von Adenosin**tri**phosphat (ATP) aus Adenosin**di**phosphat (ADP) und Phosphorsäure (H_3PO_4) verwendet. Die ATP-Moleküle sind dann die Energiespeicher und Energielieferanten für chemische Reaktionen.

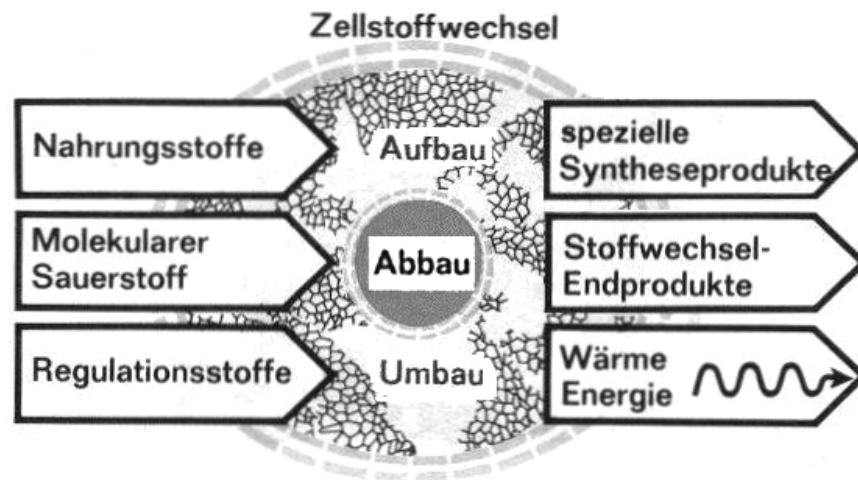
Die **biologische Oxidation** besteht aus einer mehrstufigen Kette von vielen Einzelreaktionen, wo verschiedene Enzyme als Regulationsstoffe mitwirken. Die wichtigsten Reaktionsabläufe sind die *Glykolyse*, der *Citratzyklus* und die *Atmungskette*. Der chemische Abbau von Traubenzucker (Glukose) wird als Glykolyse bezeichnet. Diese kann mithilfe von Sauerstoff (aerobe Oxidation) bis zur Brenztraubensäure (Pyruvat) ablaufen oder ohne Sauerstoff (anaerobe Gärung) bis zur Milchsäure (Laktat).

Die *Glykolyse* und auch der Abbau von Fettsäuren und von Aminosäuren münden in den *Citratzyklus* (Zitronensäurezyklus), wo die stufenweise Umformung und Zerlegung von kohlenstoffhaltigen Säuren unter Abspaltung von Kohlendioxid CO_2 erfolgt.

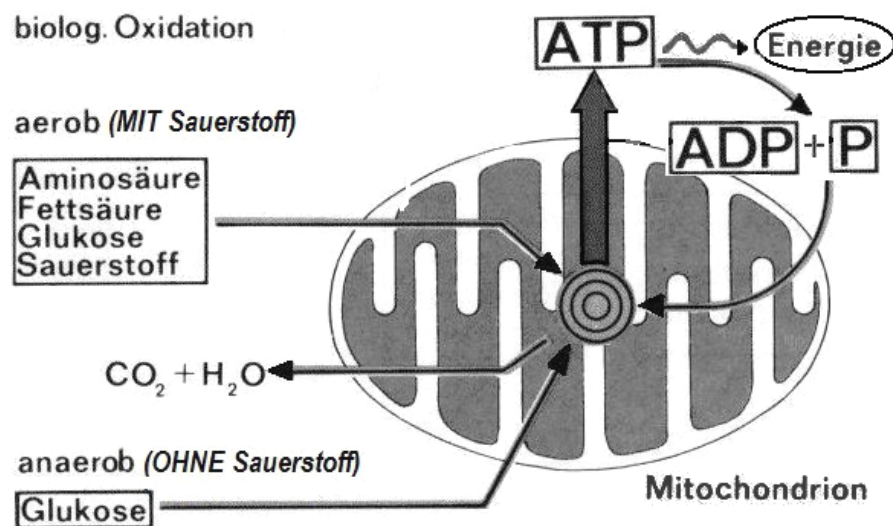
Ein zentrales Zwischenprodukt im zellulären Stoffwechsel ist die aktivierte Essigsäure (Acetyl-Coenzym-A), welche einerseits als Ausgangspunkt für verschiedene Molekülsynthesen dient (Fettsäuren, Transmitterstoffe, Steroidhormone, Gallensäuren, usw.). Andererseits wird die aktivierte Essigsäure in der anschließenden *Atmungskette* mit Hilfe von Sauerstoff unter Abgabe von Energie in die Endprodukte Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O zerlegt, welche ausgeschieden werden.

Die Eiweißzerlegung (Abbau der Aminosäuren) führt zu dem Endprodukt *Harnstoff* und der Nukleinsäureabbau liefert noch zusätzlich *Harnsäure*.

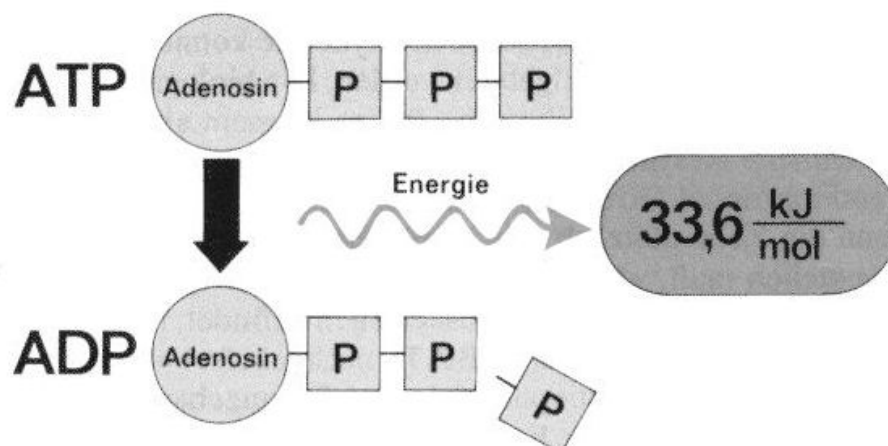
Der Stoffwechsel in der Zelle:



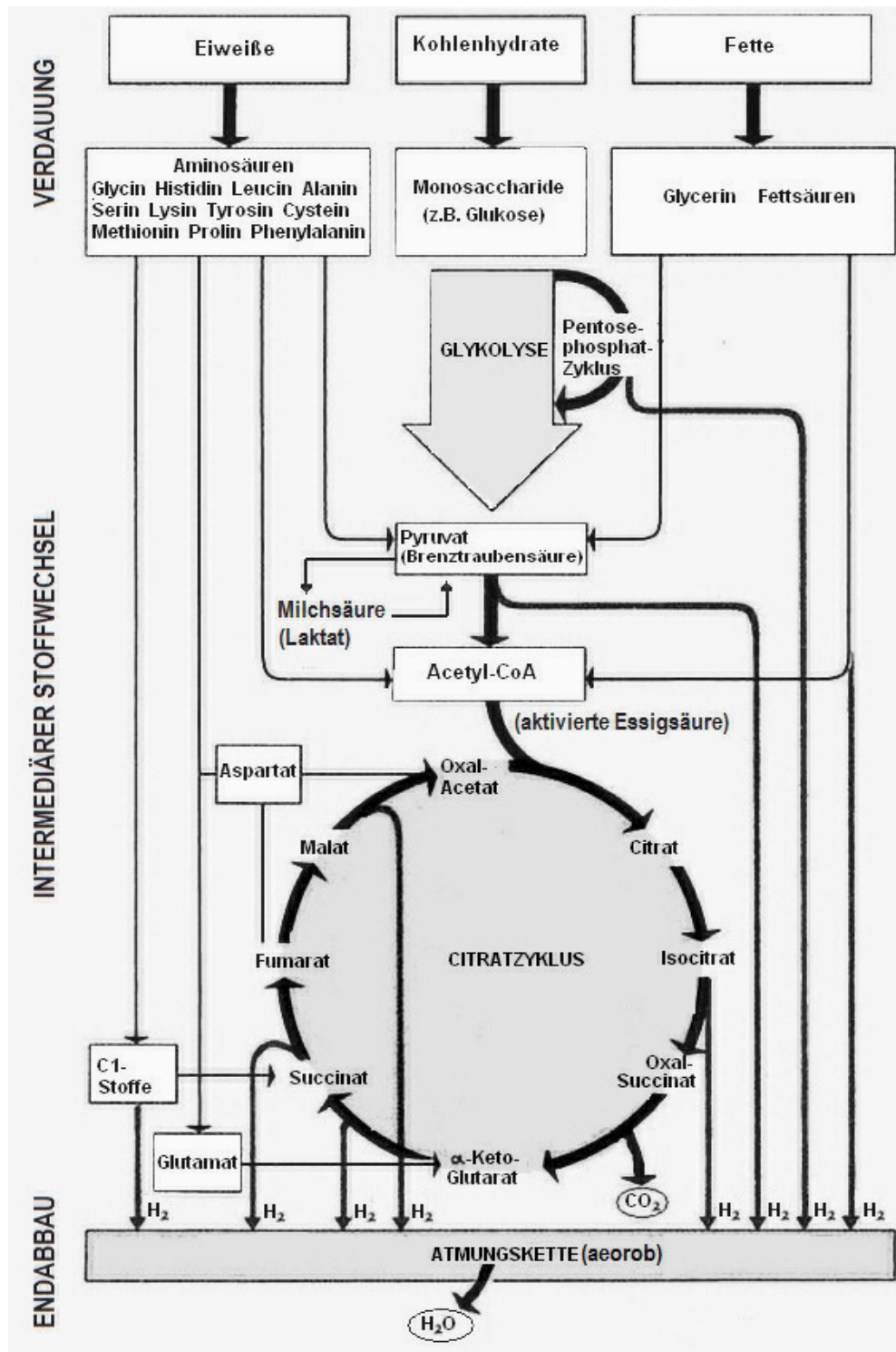
Die biologische Oxidation:



Die chemische Energiegewinnung:



Gemeinsame Wege des Stoffwechsels der Nahrungstoffe:



Anmerkung: Bei der **Oxidation** werden Elektronen (e⁻) abgegeben, bei der **Reduktion** werden sie aufgenommen. Beispielsweise ist die Verbrennung von Magnesium (Mg) mit Sauerstoff (O) zu Magnesiumoxid (MgO) eine Oxidation: $\text{Mg} + \text{O} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- + \text{O} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{MgO}$. Es wird einerseits Magnesium oxidiert und andererseits Sauerstoff reduziert (Redox-Reaktion).

Der Stoffwechsel in den Zellen besteht aus komplexen **Redoxvorgängen** (d.h. Reduktionen und Oxidationen), wobei spezifische Enzyme für den Elektronentransport verantwortlich sind.

Chemische Reaktionen laufen **exotherm** (mit Energiefreisetzung) oder **endotherm** (mit Energiezufuhr) ab. Zum Starten benötigen sie eine bestimmte Aktivierungsenergie. **Katalysatoren** (z.B. Enzyme) beschleunigen chemische Reaktionen ohne selbst verbraucht zu werden. Dabei können sie die Reaktionsmoleküle räumlich umorientieren und die Aktivierungsenergie senken.

Das **ATP-Molekül** als Zwischenspeicher biochemisch freigesetzter Energie kommt in vielfältiger Weise zum Einsatz. Durch eine hydrolytische Spaltung (d.h. mittels Wassermolekülen) von Adenosin**tr**iphosphat (ATP) in Adenosin**d**iphosphat (ADP) und Phosphorsäure wird die gespeicherte Energie wieder abgegeben und für unterschiedliche Aufgaben verwendet: für den aktiven Stofftransport durch die Zellmembran (Ionenpumpe), für die Synthese von Eiweißmolekülen aus Aminosäuren und für die Bildung vieler verschiedener Aufbaustoffe. Alle diese biochemischen Reaktionen laufen unter Mitwirkung von spezifischen Katalysatoren ab. Diese Biokatalysatoren nennt man auch Enzyme, von denen bisher über 2000 bekannt sind. Beim Elektronentransport im intermediären Stoffwechsel spielen zwei Coenzyme eine wichtige Rolle: das **NADH** (Coenzym 1, NicotinamidAdeninDinucleotid) und das **Q10** (Coenzym 10, Ubichinon). Sie wirken auch als starke Antioxidantien.

Dem menschlichen Organismus liegt der komplexe Mikrokosmos seiner Zellen zu Grunde. Zellen sind offene Systeme, in denen ständig Materie umgeformt, Energie freigesetzt und gebunden wird. Dabei ist die Erhaltung stationärer Gleichgewichte der Stoffkonzentrationen lebensnotwendig, beispielsweise das Säure-Base-Gleichgewicht oder der Zuckergehalt im Blut.

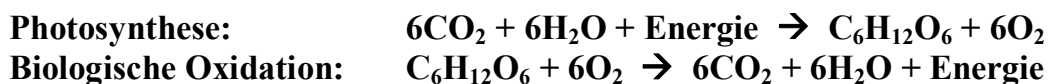
Die ständig auftretenden Störungen dieser Gleichgewichtszustände durch äußere Einflüsse werden durch komplizierte Regulations-Mechanismen ausgeglichen. Leben besteht daher in einer dauernden *Erhaltung von Fließgleichgewichten*.

[1.3] Der globale Kreislauf der Energie

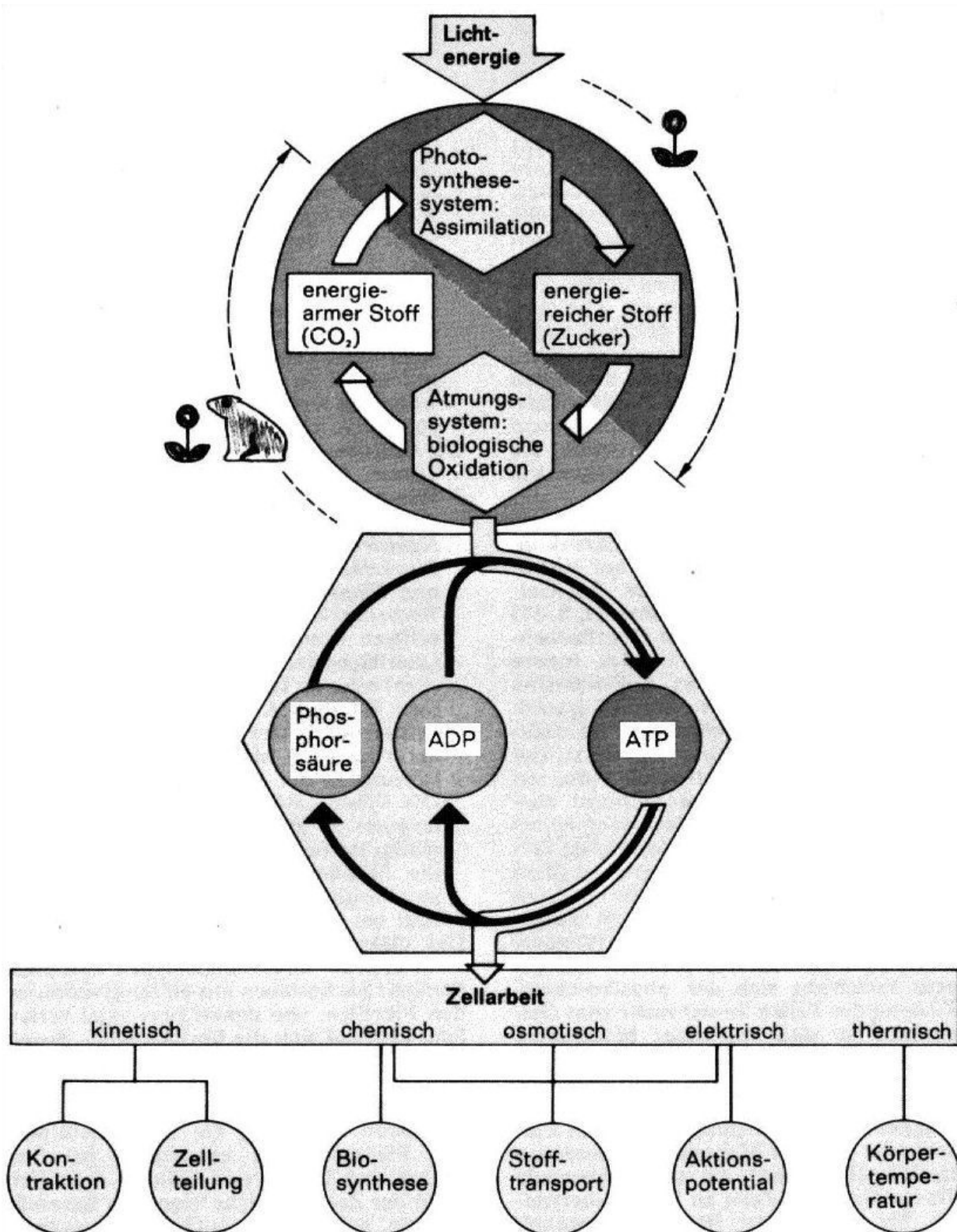
Der zelluläre Stoffwechsel eines einzelnen Organismus ist eingebettet in den globalen Stoffwechsel der Natur. Dieser kann als Kreisprozess aufgefasst werden:

Durch die unter Lichtenergie in den Pflanzen ablaufende *Photosynthese* wird Zucker ($C_6H_{12}O_6$) aus Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) gewonnen, wobei auch Sauerstoff (O_2) freigesetzt wird. Zur Lichtabsorption ist dabei der grüne Blattfarbstoff (Chlorophyll) unentbehrlich. Die Photosynthese besteht aus einer Abfolge komplizierter chemischer Reaktionen, die unter Mitwirkung mehrerer Katalysatoren abläuft.

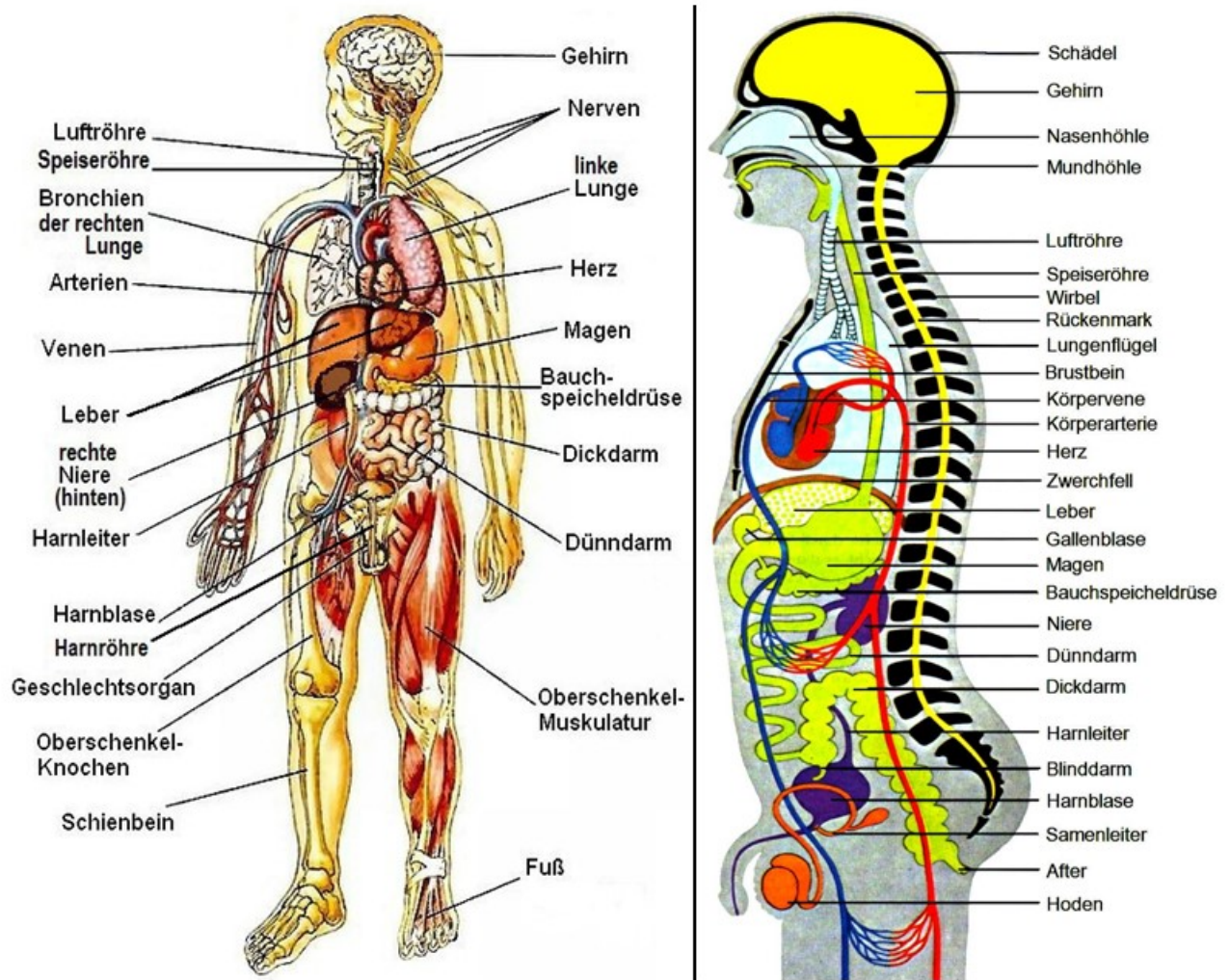
Mit der Nahrungsaufnahme gelangt der *Zucker* in den tierischen Organismus. Mit dem Atemsystem erfolgt die Übertragung des *Sauerstoffs* aus der Luft in das Blut. Durch die *biologische Oxidation* wird der Zucker mit Hilfe von Sauerstoff in den Zellen der Tiere verbrannt. Die freiwerdende Energie wird im ATP-Molekül gespeichert und für die verschiedenen Formen der Zellarbeit verwendet (Nervenerregung, Muskelkontraktion, Stoffsynthese, Transport, Zellteilung, usw.). Als Endprodukte des zellulären Stoffwechsels werden wiederum Wasser und Kohlendioxid und einfache Stickstoffverbindungen in die Natur ausgeschieden, und der globale Kreislauf der Energie kann von neuem mit der *Photosynthese* beginnen.



Die nachfolgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des energetischen Zusammenspiels von individuellem Organismus und umgebender Natur.



[2] Die Hauptsysteme des Organismus



Knochen und Muskeln:

Mund, Magen, Dünndarm:

Bauchspeicheldrüse:

Leber:

Dickdarm, Nieren, Lungen, Haut:

Geschlechtsorgane:

Blutkreislauf, Herz:

Lungen:

Immunsystem, Lymphsystem:

Hormonsystem:

Nervensystem, Gehirn:

Stützung und Haltung des Körpers und Ausführung unbewusster und bewusster Bewegungen. Aufnahme und Verdauung der Grundnahrungsstoffe Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße und Aufnahme von Vitaminen, Spurenelementen und Wasser (H₂O). Produktion von Verdauungsenzymen und Produktion des Hormons Insulin, welches den Blutzucker senkt. Abbau, Umbau, Aufbau von Stoffen und Entgiftung. Ausscheidung von Abfallstoffen. Fortpflanzung und Ausscheidung. Transport der Stoffe im Organismus, wobei das Herz als Pumpe für das Blut arbeitet. Einatmen von Sauerstoff (O₂) und Ausatmen von Kohlendioxid (CO₂). Abwehr von schädlichen Fremdkörpern. Steuerung von vitalen, vegetativen Prozessen mithilfe von speziellen Botenstoffen (Hormonen). Kommunikation mit der Umwelt über Sinnesorgane. Kontrolle des gesamten Körpers und seiner Organe. Das Gehirn ist der Sitz von Psyche und Bewusstsein.

[2.1] Das Knochensystem (passiver Bewegungsapparat)

Die Grundbausteine des menschlichen Körpers sind die Zellen. Je nach äußerer Form und innerer Ausstattung gibt es verschiedene Zelltypen. Die Zellen bilden unterschiedliche Gewebe. Ein Gewebe besteht aus einer Gruppe von Zellen, die eine gemeinsame Struktur oder Funktion aufweisen. Zum Gewebe gehört neben den Zellen auch die extrazelluläre Matrix. Darunter versteht man alle Strukturbestandteile des Gewebes, welche sich außerhalb der Zelle befinden. Das sind Wasser, Elektrolyte, komplexe Makromoleküle und verschiedene Fasern. Grundsätzlich kann man vier Gewebetypen unterscheiden:

- **Epithelgewebe**

Es besteht aus Zellschichten, die alle inneren und äußeren Oberflächen bedecken.

- **Bindegewebe und Stützgewebe**

Seine Zellen sorgen für den strukturellen Zusammenhalt und füllen Zwischenräume.

Es besteht aus Kollagenen (lange verschraubte, kettenförmige Proteinmoleküle, welche Fasern von hoher Zugfestigkeit bilden), Proteoglycanen (Zuckermoleküle mit kleinem Proteinanteil) und Glycoproteinen (Eiweißmoleküle mit kleinem Zuckeranteil). Je nach Zusammensetzung sind daraus Filamente (Fäden), Sehnen, Bänder, Knorpel und Knochen aufgebaut.

- **Muskelgewebe**

Die Muskelzellen enthalten kontraktile Filamente für aktive Bewegungen.

- **Nervengewebe**

Es besteht aus Neuronen (Nervenzellen und Nervenfasern) und Gliazellen (Hüllzellen).

Nervenzellen können elektrochemische Erregungen produzieren und diese über ihre Fasern zu anderen Nervenzellen weiterleiten.

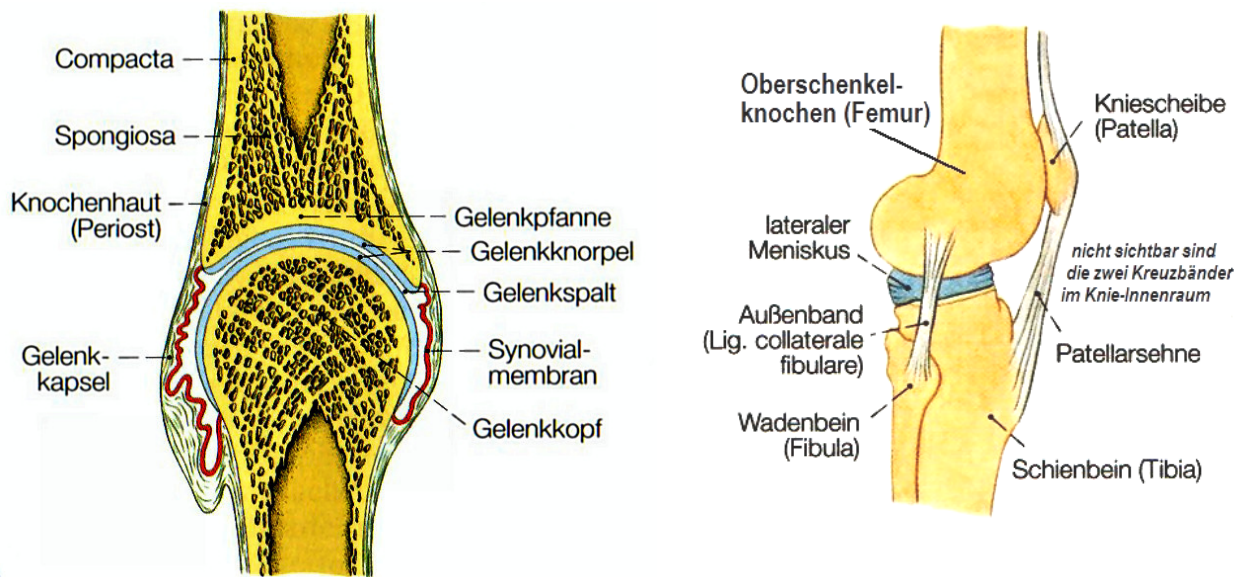
Der **passive Bewegungsapparat** besteht aus 200 Knochen, die das Skelett des Menschen bilden.

Ein Röhrenknochen besteht aus einem Schaft (Diaphyse) und zwei Knochenenden (Epiphysen), welche einen knorpeligen Überzug tragen (Gelenksknorpel). Der Knochen wird außerhalb der Gelenksflächen von einer straffen Bindegewebshaut (Periost) umgeben. Diese Knochenhaut ernährt mit ihren Blutgefäßen den Knochen und hat durch ihre Möglichkeit, Knochengewebe zu bilden, einen wesentlichen Anteil am Wachstum und auch am Heilen von knöchernen Verletzungen. Unter der Knochenhaut befindet sich die kompakte Rindenschicht (Compacta), die weiter innen in ein schwammartiges Gerüst aus Knochenbälkchen (Spongiosa) übergeht. Die kleinen Hohlräume dazwischen bilden die Markhöhle des Knochens, wo sich das Knochenmark befindet. Die kurzen und die platten Knochen haben keine eigene Markhöhle. Man unterscheidet das gelbe Knochenmark (Fettgewebe) und das blutbildende rote Knochenmark, welches ab dem fünften Embryonalmonat das wichtigste blutbildende Organ des Menschen ist.

Im **Knochengewebe** findet man drei Arten von Knochenzellen: Die **Osteoblasten** bilden die organische Grundsubstanz des Knochens sowie alkalische Phosphatase, welche die Mineralisation des Knochens (vor allem mit Calciumsalzen) steuert. Aus den Osteoblasten entwickeln sich die reifen Knochenzellen (**Osteozyten**), die in der Knochenmatrix eingeschlossen sind und über Fortsätze miteinander kommunizieren. Schließlich gibt es noch die großen **Osteoklasten**, welche sich in eigenen Resorptionszonen befinden und für den Abbau des Knochens verantwortlich sind.

Die knochenaufbauenden und knochenabbauenden Zellen halten sich die Waage und sorgen dafür, dass die Knochen permanent umgebaut werden. Bei bestimmten Erkrankungen oder im höheren Alter können die Abbauvorgänge überwiegen, wodurch sich die Bruchgefahr der Knochen erhöht (Osteoporose).

Die Knochen sind durch **Gelenke** beweglich verbunden. Die Bewegung erfolgt mithilfe von Muskeln, die mit ihren Sehnen an den Knochen ansetzen. Grundsätzlich werden vier Arten von Knochengelenken unterschieden: **Scharniergelenke** mit Bewegungen um nur eine Querachse (z.B. Ellbogengelenk oder Kniegelenk), **Drehgelenke** mit Bewegungen um nur eine Längsachse (z.B. Speichen-Ellen-Gelenk), **Eigelenke** mit Bewegungen um zwei Achsen (z.B. Handgelenk oder Schädel-Atlas-Gelenk) und **Kugelgelenke** mit Bewegungen um drei Achsen (z.B. Schultergelenk oder Hüftgelenk).



Allgemeiner Aufbau eines Gelenks.

Das rechte Kniegelenk.

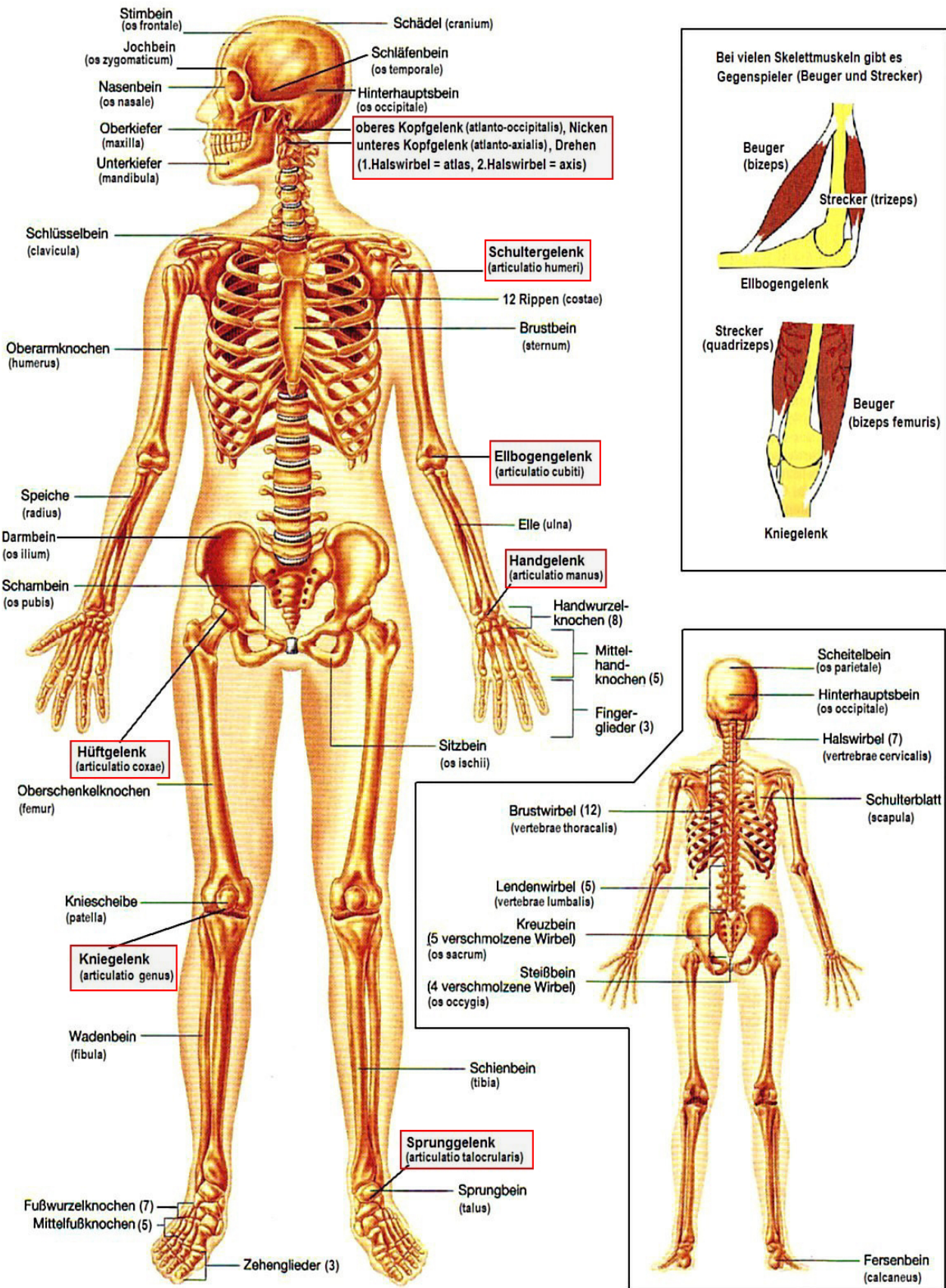
Der **Gelenkknorpel** vermindert durch seine glatte Oberfläche die Reibung der Gelenkenden. Kleine Schleimbeutel zwischen den Muskelsehnen und den Knochen sind mit **Gelenkschmiere** (Synovia) gefüllt und dämpfen die Druckbelastungen bei Bewegungen. Die **Sehnenscheiden**, welche die **Muskelsehnen** schlauchförmig umhüllen, haben mit ihren Flüssigkeitspolster eine ähnliche Funktion wie die Schleimbeutel.

Jedes Gelenk ist von einer bindegewebigen **Gelenkkapsel** umschlossen, deren Innenschicht die Gelenkschmiere produziert, welche neben ihrer Gleitfunktion auch für die Ernährung des Gelenkknorpels wichtig ist. Schließlich wird die **Gelenkkapsel** außen noch von straffen bindegewebigen **Bändern** (Ligamenten) verstärkt. Bei einigen Gelenken befindet sich im Gelenkspalt ein Faserknorpel (Diskus bzw. Meniskus), der als zusätzlicher Stoßdämpfer wirkt.

Grundsätzlich können vier Arten von Knochen unterschieden werden: **Lange Knochen** (z.B. die Röhrenknochen von Oberarm oder Oberschenkel), **kurze Knochen** (z.B. die Wurzelknochen an Händen und Füßen), **platte Knochen** (z.B. Schädeldach, Schulterblätter, Hüftpfannen) und die **unregelmäßigen Knochen** (z.B. Wirbel, Rippen).

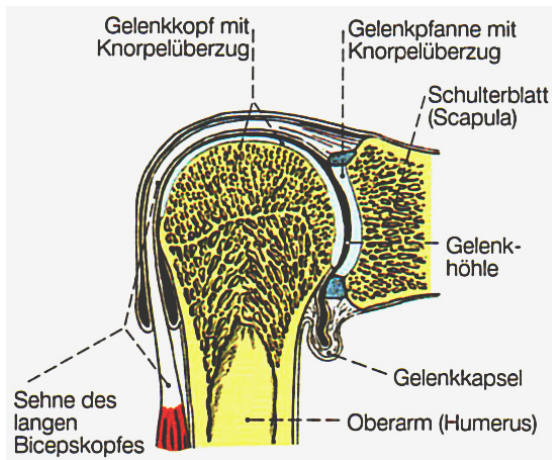
Die nachfolgende Grafik zeigt das komplette Knochenskelett des Menschen - von den Schädelknochen oben bis zu den Zehenknochen unten.

Das Skelett (Knochen und Gelenke)

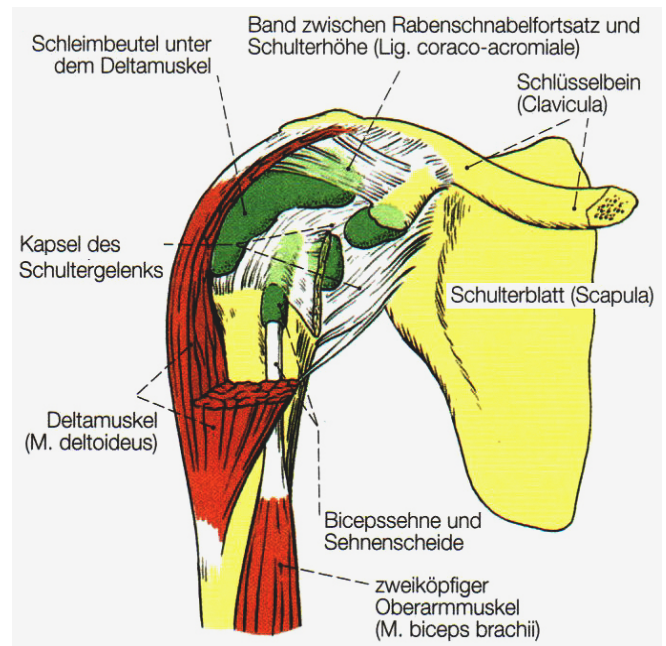


Einige wichtige Gelenke

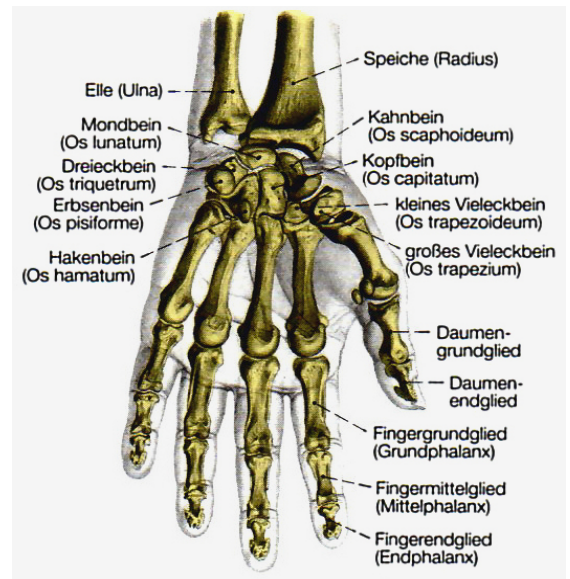
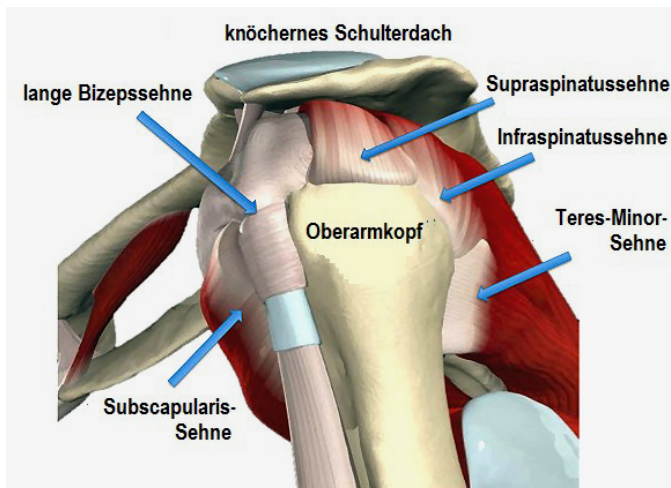
Schultergelenk:



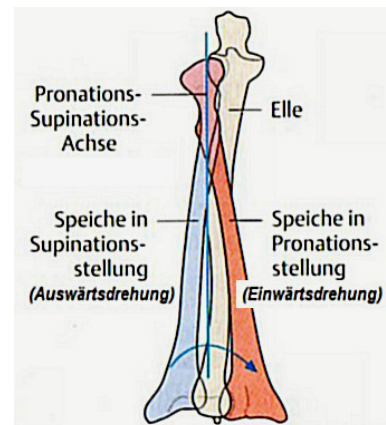
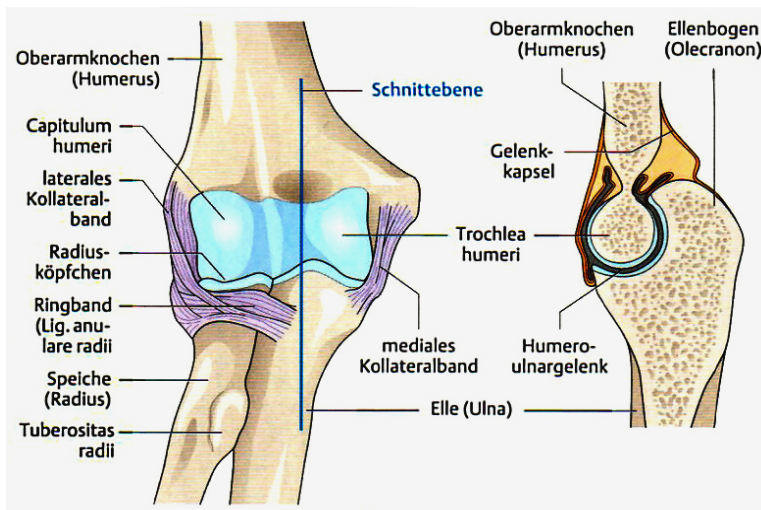
Das Schulter-Kugelgelenk wird u.a. von 4 Muskeln der Rotatorenmanschette bewegt (M. Supraspinatus, M. Infraspinatus, M. Subscapularis, M. Teres minor). Sie bewirken Abduktion (Abspreizung), Adduktion (Heranziehung) und Innen- und Außenrotationen.

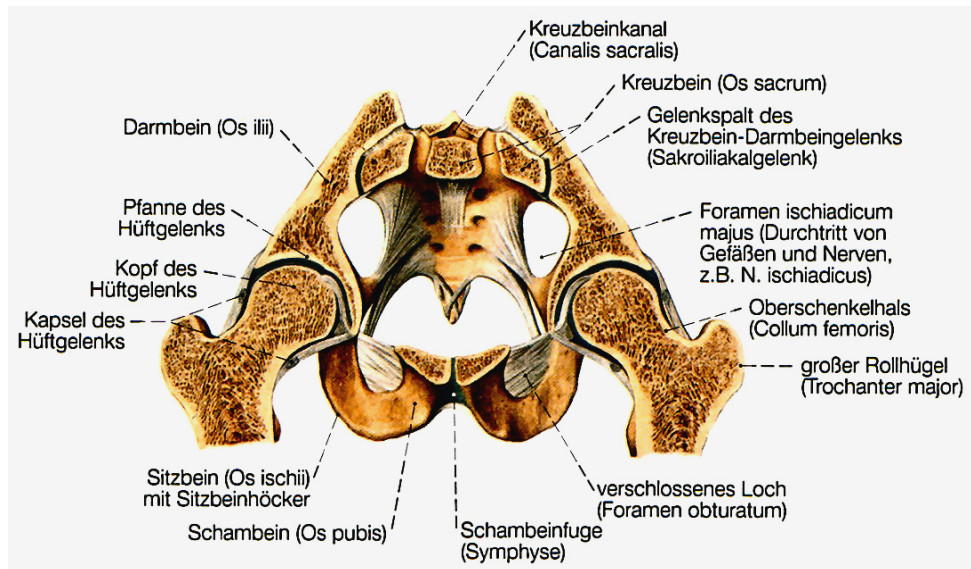
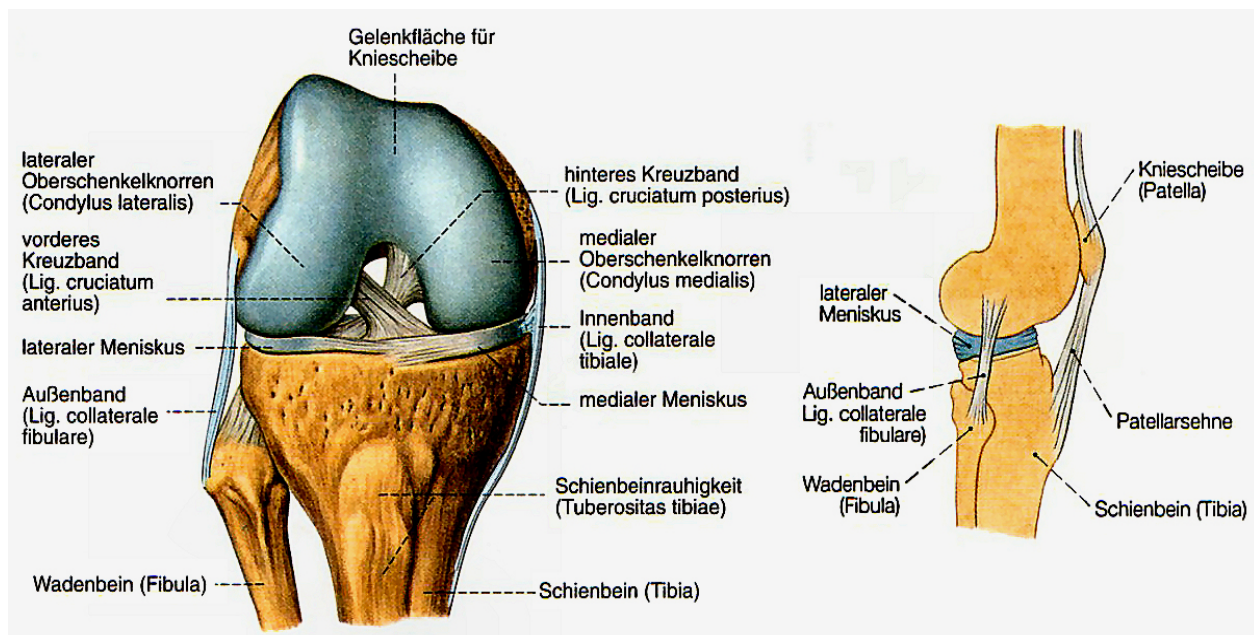
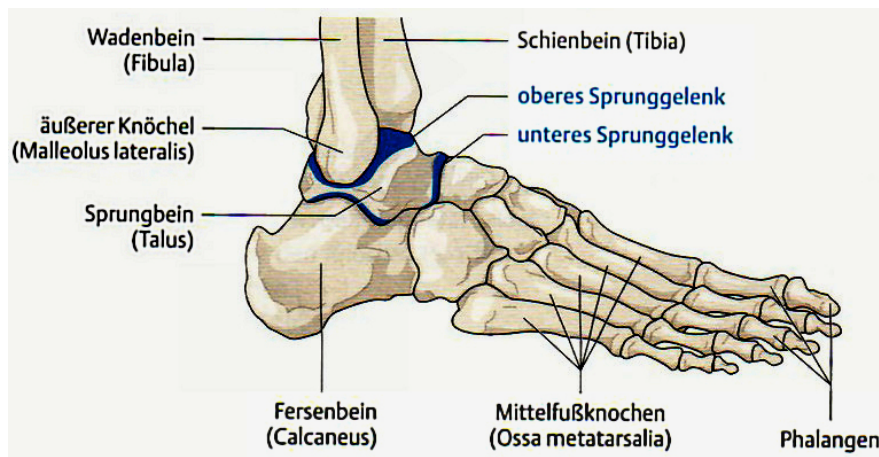


Handgelenk:



Ellbogengelenk:

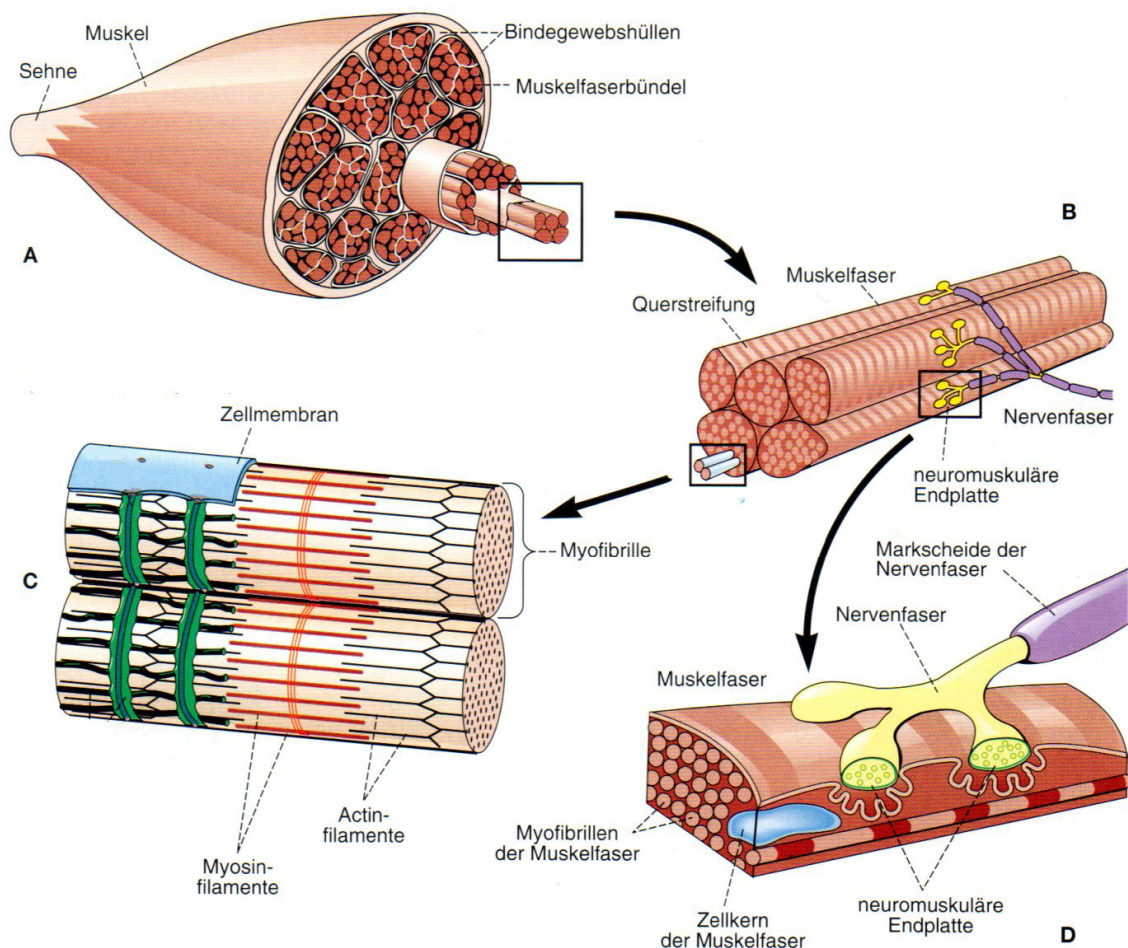


Hüftgelenk:**Kniegelenk:****Sprunggelenk:**

[2.2] Das Muskelsystem (aktiver Bewegungsapparat)

Der **aktive Bewegungsapparat** besteht aus 650 Muskeln, welche aus **Muskelfasern** (Muskelzellen) aufgebaut sind. In den Bindegewebsabschnitten zwischen den Muskelfasern verästeln sich Blutgefäße und Nerven, welche den Muskel versorgen. Der ganze Muskel ist von einer straffen bindegewebigen Hülle umgeben (**Faszie**). Innerhalb der Faszie kann der Muskel bei der Kontraktion hin und her gleiten. In seiner einfachsten Form hat der Muskel eine spindelförmige Form mit einem Muskelbauch, welcher sich zu beiden Seiten verjüngt und in bindegewebige **Sehnen** übergeht. Die Sehnen setzen dann an den Knochen an. Die Skelettmuskeln bewegen meistens zwei Knochen um ein dazwischen liegendes Gelenk.

Motorische Nerven steuern die Kontraktion der Muskelfasern. Wenn eine elektrische Erregung (Aktionspotential) die Kontaktstelle des Nerven mit der Muskelfaser (motorische Endplatte) erreicht, kommt es zur Ausschüttung des Neurotransmitters Acetylcholin. Dann werden die Filamente in den Myofibrillen der Muskelfaser ineinander geschoben, so dass sich die Muskelfaser verkürzt. Erfolgt keine Erregung, dann erschlafft die Muskelfaser.



Bauelemente der Skelettmuskulatur in verschiedenen Vergrößerungsstufen

A: Ganzer Muskel (Querschnitt)

B: Bündel von Muskelfasern mit Nervenfasern und neuromuskulären Endplatten

C: Abschnitte zweier Myofibrillen mit Myosin- und Actinfilamenten

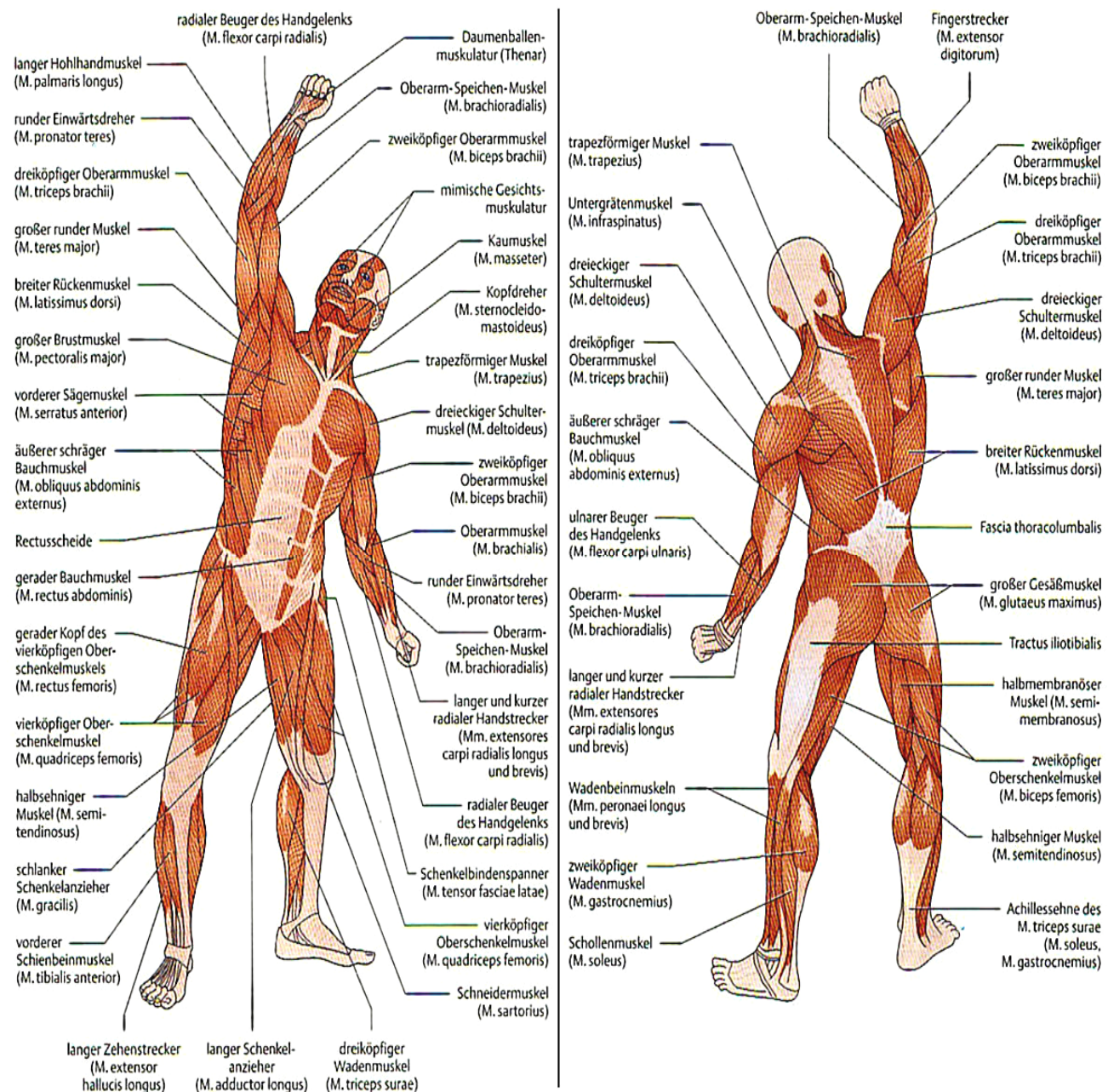
D: Neuromuskuläre Endplatte

Neben der quergestreiften Skelettmuskulatur gibt es noch die **glatte Muskulatur** als Wandauskleidung von Blutgefäßen und inneren Hohlorganen. Ihre Steuerung erfolgt autonom über das **vegetative Nervensystem**. Das gilt auch für die autonome, quergestreifte Herzmuskulatur.

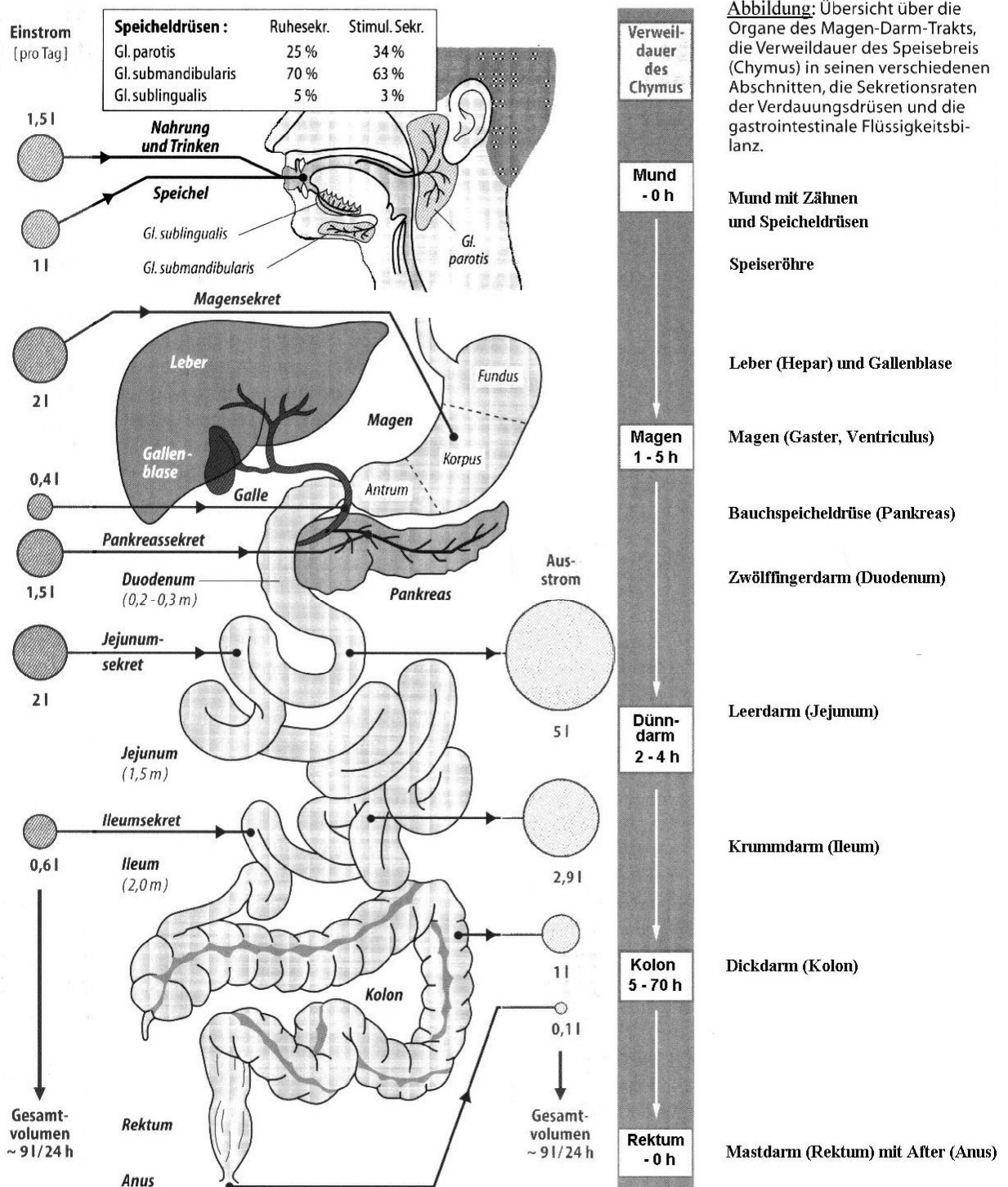
Für die Kontraktion der Muskelfasern wird Energie benötigt. Diese wird hauptsächlich durch das energiereiche Molekül **ATP** (AdenosinTriPhosphat) zur Verfügung gestellt. Bei der chemischen Umwandlung von ATP in ADP (AdenosinDiPhosphat) wird die benötigte Energie freigesetzt.

Damit dieser Energiespeicher auch weiterhin zur Verfügung steht, muss während der muskulären Ruhephasen das ADP durch die Verbindung mit Phosphorsäure wieder in ATP zurück umgewandelt werden. Die dafür notwendige Energie liefert in erster Linie der Abbau von Zucker (Glukose) und von Muskelglykogen. Dieser erfolgt mithilfe des Sauerstoffs, wobei der Zucker in Wasser und Kohlendioxid zerlegt wird. Wenn der Sauerstoff verbraucht ist, dann erfolgt der Zuckerabbau nur bis zur Milchsäure (anaerobe Glykolyse). Die nicht weiter abgebauten Salze der Milchsäure (Laktate) verursachen den schmerzhaften Muskelkater. Als Indikator für den Trainingszustand der Muskeln dient die Laktatmessung.

Neben Adenosintriphosphat wird auch Kreatinphosphat als Energiespeicher verwendet. Und zusätzlich kann die Energie auch durch Fettabbau gewonnen werden.



[2.3] Das Verdauungssystem



Die Nahrungsstoffe werden vom Verdauungssystem und seinen Anhangsorganen aufgenommen und in ihre chemischen Bestandteile zerlegt. Einige davon werden über das Blutsystem der Leber oder direkt den Körperzellen zur Weiterverarbeitung zugeführt, wohingegen andere über die Ausscheidungsorgane wieder nach außen abgeschieden werden. Die dem Körper zugeführten Substanzen dienen als Treibstoffe zur Energielieferung, als Ersatzteile für den Aufbau, oder sie haben bestimmte Reglerfunktionen im biochemischen Stoffwechsel (z.B. Vitamine).

[2.3.1] Chemische Stoffklassen

Die chemischen Bausteine der belebten Natur umfassen sieben wichtige Molekülklassen:

Wasser; Salze bzw. Ionen (ca. 20);

Kohlenhydrate (ca. 200); Fette (Lipide, ca. 100); Eiweiße (Proteine, ca. 3000);

RNS (ca. 1000); DNS.

In 97% der Masse dieser nieder- bzw. hochmolekularen Verbindungen kommen insgesamt nur sechs chemische Elemente vor:

H (Wasserstoff); O (Sauerstoff); N (Stickstoff); C (Kohlenstoff); P (Phosphor); S (Schwefel).

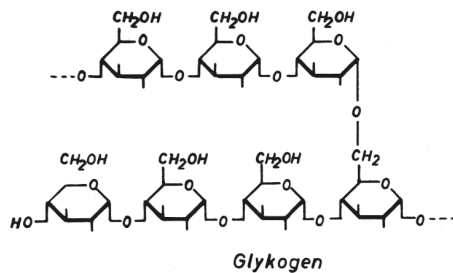
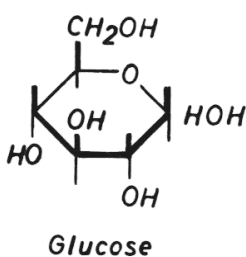
Dazu kommen noch hauptsächlich fünf Ionen (im Wasser gelöst als „Elektrolyte“):

K^+ (Kalium); Na^+ (Natrium); Ca^{2+} (Calcium); Mg^{2+} (Magnesium); Cl^- (Chlor).

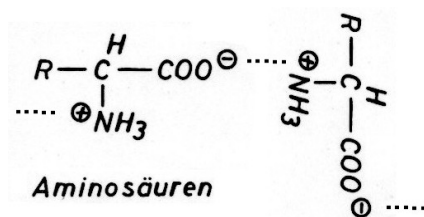
Im Folgenden werden beispielhaft von einigen wichtigen Molekülen die chemischen Bruttoformeln oder ihre Strukturformeln angezeigt:

Wasser H_2O , Stickstoffmonoxid NO , Kohlendioxid CO_2 , Natriumhydrogencarbonat $NaHCO_3$, Kohlensäure H_2CO_3 , Schwefelsäure H_2SO_4 , Phosphorsäure H_3PO_4 , Zucker (Glukose) $C_6H_{12}O_6$, Harnstoff CH_4N_2O , Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$.

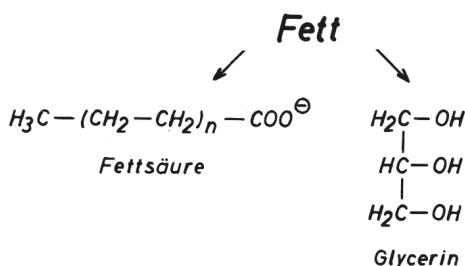
Die organischen Stoffe bestehen aus ringförmig oder kettenförmig angeordneten Molekülen:



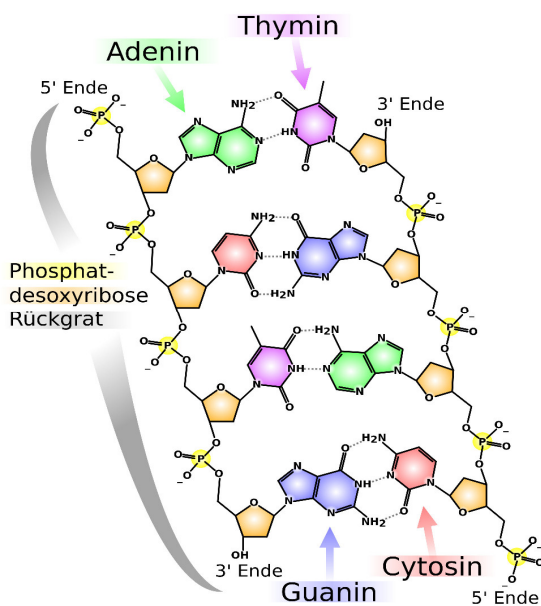
Einfache Zuckermoleküle verketten sich zu komplexen Kohlenhydraten (als tierisches Glycogen oder pflanzliche Stärke oder Cellulose).



Einfache Aminosäuren verketten sich zu Proteinen.



Fettsäuren und Glycerin verbinden sich zu Fett.



[2.3.2] Verdauung der Nahrungsstoffe

Man unterscheidet die **Grundnahrungsstoffe** (Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße) und die **Vitalstoffe** (Vitamine, Mineralsalze, Spurenelemente und Ballaststoffe).

Die aufgenommene Nahrung liefert jene Energie, die zur Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Funktionen aufgewendet werden muss. Dieser **Grundumsatz** wird entweder in Kilokalorien (kcal) oder in Kilojoule (kJ) gemessen, wobei 1 kcal etwa 4,2 kJ entsprechen. Es gilt dabei die näherungsweise Berechnungsformel „*Grundumsatz = 1 kcal * Körpergewicht (kg) * Stunden*“. Bei 90 kg beträgt der tägliche Grundumsatz 2160 kcal, bei 60 kg hingegen nur 1440 kcal. Die größten Anteile am Energieverbrauch haben die Leber, die Muskulatur und das Gehirn. Um den Gesamtumsatz zu ermitteln, muss zum Grundumsatz noch der individuelle Leistungsumsatz addiert werden.

• Kohlenhydrate (Saccharide)

Chemisch bestehen Kohlenhydrate aus ketten- und ringförmig angeordneten Kohlenstoffatomen mit denen Wasserstoff- und Sauerstoffatome verbunden sind. Nach aufsteigender Komplexität unterscheidet man Monosaccharide (Trauben-, Fruchtzucker), Disaccharide (Rohr-, Milch-, Malz-zucker), Polysaccharide (tierisches Glykogen, pflanzliche Stärke und Zellulose). Während Glykogen und Stärke chemische Speicherformen darstellen, aus denen mithilfe bestimmter Enzyme Traubenzucker (Glukose) gewonnen wird, erweist sich die Zellulose als stabile Gerüstsubstanz der Pflanzen weitgehend unempfindlich gegenüber enzymatischem Abbau. Der Grund hierfür liegt in einer anderen chemischen Verkettungsart.

Die Zerlegung im Verdauungstrakt erfolgt bis zur Stufe der Monosaccharide. Die Verbrennung des Monosaccharids Glukose (Traubenzucker) wird in den Körperzellen durch die so genannte **biologische Oxidation** geleistet, wobei mithilfe des Sauerstoffes der Zucker in Kohlendioxid und Wasser aufgespalten wird. Die frei werdende Energie wird in bestimmten Molekülen (ATP, Adenosintriphosphat) gespeichert, aus denen sie dann wieder zurück gewonnen werden kann. Die Gesamtverbrennung von 1g Kohlenhydrat liefert 4,1 kcal (bzw. 17,1 kJ). Außerdem sei noch erwähnt, dass im biochemischen Stoffwechsel Kohlenhydrate in Fette umgebaut werden können (beispielsweise bei der Tiermast).

Kohlenhydrate werden in der Mundhöhle durch Enzyme des Speichels (Amylase), im Zwölffingerdarm durch Enzyme der Bauchspeicheldrüse (Amylase) und schließlich an der Darmschleimhaut durch Glukosidasen in ihre Grundbausteine (Monosaccharide) zerlegt. Diese gelangen durch die Wand des Dünndarms ins Blut und über die Pfortader weiter in die Leber. Ein Teil der Monosaccharide wird dort wieder zu Polysacchariden (z.B. Glykogen) aufgebaut und dient als Energiespeicher. Nicht abbaubare Zellulose wird über den Darm wieder ausgeschieden.

• Fette (Lipide)

Fette bestehen chemisch aus dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und verschiedenen Fettsäuren. Nach der Anzahl der Fettsäuren werden Mono-, Di- und Triglyceride unterschieden. Die Fettsäuren werden in gesättigte (reaktionsarme) und ungesättigte (reaktionsfreudige) eingeteilt. Letztere sind gesünder, weil sie nicht abgelagert sondern im Stoffwechsel weiter verarbeitet werden. Tierische Fette enthalten eher gesättigte, pflanzliche Fette eher ungesättigte Fettsäuren (z.B. Linolsäure). Die Gesamtverbrennung von 1g Fett liefert 9,3 kcal (bzw. 38,9 kJ).

Fette werden im Zwölffingerdarm durch die Galle emulgiert (fein verteilt) und durch das Enzym Lipase aus der Bauchspeicheldrüse in Glycerin und Fettsäuren zerlegt. Durch die Wand des Dünndarms erfolgt die Resorption in die Blut- und Lymphgefäße.

• Eiweiße (Proteine)

Eiweiße sind komplexe Verbindungen aus Aminosäuren, wovon acht unentbehrlich (essenziell) sind. Die Eiweiße dienen als Bau- und Wirkstoffe. Es gibt tierische und pflanzliche Eiweiße (z.B. Soja). Sie werden vollwertig genannt, wenn sie essenzielle Aminosäuren enthalten, welche der Körper nicht selbst erzeugen kann und durch die Nahrung aufgenommen werden müssen. Die Gesamtverbrennung von 1g Eiweiß liefert 4,1 kcal (bzw. 17,1 kJ). Dabei wird neben Kohlendioxid und Wasser auch noch der stickstoffhaltige Harnstoff freigesetzt.

Eiweiße werden zunächst durch das Enzym Pepsin im Magen in kürzere Polypeptide (Ketten von Aminosäuren) gespalten. Im Zwölffingerdarm werden sie dann durch die Enzyme Trypsin und Chymotrypsin der Bauchspeicheldrüse in noch kleinere Polypeptide zerlegt. Die endgültige Aufspaltung in Aminosäuren erfolgt im Dünndarm mithilfe von Peptidasen. Die Aminosäuren schließlich gelangen durch die Darmwand ins Blut und über die Pfortader weiter in die Leber.

• Vitamine

Als Enzyme oder als Bestandteile von Enzymen erfüllen sie wichtige Regulationsfunktionen im biochemischen Stoffwechsel der Zellen. Man unterscheidet wasserlösliche (z.B. die Vitamine B1, B2, B6, B12, die in Kartoffeln und Vollkornbrot enthalten sind, oder das Vitamin C in Zitronen und Sauerkraut) und fettlösliche (z.B. Vitamin A in Spinat und Karotten, das Vitamin D in Milchprodukten oder die Vitamine E und F). Ein Vitaminmangel führt zu Störungen und Erkrankungen des Organismus.

• Mineralsalze und Wasser

Natrium-, Kalium-, Kalzium- und Magnesiumsalze sind wichtig, vor allem Kochsalz (NaCl). Ungefähr 60% des Körpers bestehen aus Wasser. Dieses dient vor allem als Lösungsmittel und als Transportmittel. Eine Flüssigkeitszufuhr von ungefähr zwei Liter pro Tag ist empfehlenswert.

• Spurenelemente

Seltene Elemente wie Eisen, Kobalt, Selen und andere dienen als spezifische Wirkstoffe in Enzymen.

• Ballaststoffe

Bestimmte komplexe Kohlenhydrate wie die Zellulose werden durch die Verdauung kaum abgebaut und dienen daher weder der Energielieferung noch dem Aufbau. Sie wirken jedoch anregend auf die Darmbewegung (Peristaltik) und fördern somit den Weitertransport des Nahrungsbreies. Dadurch haben sie eine wichtige biologische Funktion.

• Aromastoffe und Gewürze

Sie wirken entweder auf die Riechschleimhaut der Nase oder die Geschmackssensoren der Zunge, haben appetitfördernde Funktion und regen die Sekretion des enzymhaltigen Mundspeichels an.

[2.3.3] Tabellen der Nahrungsstoffe

Tabelle: Energiegehalt und Zusammensetzung einiger Nahrungsmittel. Im Einzelfall können je nach Art und Zubereitung erhebliche Abweichungen vorkommen, besonders durch verborgene Fette (1 kJ ~ 0,24 kcal; KH = Kohlenhydrate).

Nahrungs- mittel	Ener- gie kJ/ 100 g	Ei- weiße (%)	Fette (%)	KH (%)	Was- ser (%)	Ballast- stoffe (%)
Obst	190	0,7	0,3	10,5	86	2,3
Gemüse	85	1,6	0,2	3,0	93	2,0
Kartoffeln	330	2,1	0,1	16,8	79	2,0
Nüsse	2680	16,9	57	8,2	7	10,1
Fleisch	860	19	13	0	68	0
Brot	1020	7,3	1,4	47	40	4,3
Butter	3220	0,6	82,6	0,6	16	0
Käse	1340	23,7	22,3	2,8	51	0
Wurst	1500	12,9	30,4	1,1	55	0
Konsummilch	256	3,3	3,1	4,7	89	0
Fruchtsäfte	186	0,3	0,1	10,9	89	0
Bier	200	0,5	0	4,8	95	0

Nährstoffe. Empfohlene Zufuhr für Erwachsene sowie Mangel- und Überdosierungserscheinungen. KG, Körpergewicht.

	Empfohlene Zufuhr	Erhöhter Bedarf	Depots	Mangel- erscheinungen	Überdosierungs- erscheinungen
Eiweiße	0,8 g/kg Körper- gewicht (bei genügendem Gehalt an essentiellen Aminosäuren, d. h. möglichst die Hälfte als tierisches Eiweiß)	Bei Alten und Kindern 1,2–1,5 g/kg KG; bei Schwerarbeit, Muskelaufbautra- ining, Schwangeren und Schwerkran- ken bis zu 2 g/kg KG	Kurzfristig ver- fügbare Pool: 45 g (Muskel) 40 g, Blut und Leber 5 g)	Hungerödeme, In- fektanfälligkeit, Apa- thie, Muskelatrophie, bei Kindern Entwick- lungsstörungen	Überwiegen der Fäul- nis im Darm, bei Dis- position: Gicht durch Verzehr von Fleisch und Innereien
Kohlenhydrate	Mindestens 100 g (für das Gehirn) alternativ: 200 g Eiweiß (Glu- koneogenese)	Bei körperlicher Arbeit	300–400 g Glykogen	Untergewicht, ver- minderte Leistungs- fähigkeit, Stoffwech- selstörungen, Hypo- glykämie, Ketose	Überwiegen der Gä- rung im Darm, Koh- lenhydratmast, Fett- sucht
Fette a) gesättigte und einfach ungesättigte Fettsäuren	Für a) und b): 25–30 % des Ener- giebedarfs	Bei körperlicher Arbeit	Sehr variabel	Untergewicht, ver- minderte Leistungs- fähigkeit, Mangeler- scheinungen durch Fehlen fettlöslicher Vitamine	Hypertriglyzeridämie und Hypercholesterin- ämie mit nachfolgen- der Atherosklerose, Fettsucht
b) essentielle Fettsäuren	Etwa 1/3 des aufge- nommenen Fetts	Bei körperlicher Arbeit	Sehr variabel	Hämaturie, Verände- rungen an Haut und Mitochondrien, Stoffwechselstörungen	Erhöhter Tokopherol- bedarf (Vitamin E)

Vitamintabelle: Fettlösliche Vitamine. Systematik, wichtige Quellen, biologische Funktionen, Bedarf, Mangelerscheinungen, Depots und empfohlene Zufuhr bei Erwachsenen

Bezeichnung und Synonyma	Wichtige Quellen	Typische biologische Funktionen	Mangelerscheinungen	Depots	Empfohlene Zufuhr/Tag
Vitamin A Retinol	Leber und Milchfett	Epithelzellen und das Skelettwachstum	Nachtblindheit, atypische Epithelverhornung, Wachstumsstörungen	Große Mengen in der Leber	0,8–1,1 mg Vitamin A ~1,6–2,2 mg β -Karotin
Provitamin: β -Karotin	Karotten	Rhodopsinsynthese (Sehpurpur)			
Vitamin-D-Gruppe (antirachitische Vitamine)	Leber, Lebertran, Fische, Milchfett, Eigelb	Ca^{++} -Resorption und Ca^{++} -Stoffwechsel, Wechselwirkungen mit dem Parathormon	Rachitis, Störungen von Knochenwachstum	Geringe Mengen in Leber, Nieren, Darm, Knochen, Nebennieren	5,0 μg ; Kinder und Schwangere 10 μg
Vitamine E Tokopherol	In fast allen Lebensmitteln, besonders in Pflanzenöl	Antioxidans, speziell beim Stoffwechsel der ungesättigten Fettsäuren	Muskelstoffwechsel- und Gefäßpermeabilitätsstörung	Mehrere Gramm in Leber, Fett, Hypophyse, Nebennieren	12 mg Tokopherol
Vitamin K (antihämorrhagisches Vitamin)	Grüngemüse, Darmflora	Beteiligt an der Synthese von Blutgerinnungsfaktoren	Verzögerte Blutgerinnung, Spontanblutungen	Sehr geringe Mengen in Leber, Milz	Bei intakter Darmflora $\emptyset$, sonst ca. 1 mg

Vitamintabelle: Wasserlösliche Vitamine. Systematik, wichtige Quellen, biologische Funktionen, Bedarf, Mangelerscheinungen, Depotmengen, Depots und empfohlene Zufuhr bei Erwachsenen

Bezeichnung und Synonyma	Wichtige Quellen	Typische biologische Funktionen	Mangelerscheinungen	Depotmengen und Depots	Empfohlene Zufuhr/Tag
Vitamin B ₁ Aneurin Thiamin	Schweinefleisch, Vollkornprodukte	Bestandteil der Pyruvat-Karboxylase	Beriberipolyneuritis, ZNS-Störungen	ca. 10 mg; Leber, Herz, Gehirn	1,1–1,5 mg, bei Alkoholikern erhöht
Vitamin B ₂ Laktoflavin Riboflavin	Milch, Fleisch, Eier, Fisch, Vollkorn	Bestandteil der Flavinenzyme (gelbe Atmungsfermente)	Wachstumsstillstand, Hauterkrankungen	ca. 10 mg; Leber, Skelettmuskel	1,5–1,8 mg
Vitamin-B ₆ -Gruppe Pyridoxingruppe	Fleisch, Korn, Fisch, Milch, Hülsenfrüchte	Koenzym verschiedener Enzymsysteme	Dermatitis, Polyneuritis, Krämpfe	ca. 100 mg; Muskel, Leber, Gehirn	2,0–2,6 mg oder 0,02 mg/g Nahrungseiweiß
Vitamin B ₁₂ Cyanocobalamin	Leber, andere tierische Nahrungsmittel	Bestandteil von Enzymen	Perniziöse Anämie, funiculäre Myelose	1,5–3 mg; besonders in der Leber	5 μg
Weitere Vitamine der B-Gruppe					
Biotin (Vitamin H)	Leber, Niere, Eigelb, Soja	Bestandteil von Enzymen	Dermatitis	ca. 0,4 mg; Leber, Nieren	Bei intakter Darmflora $\emptyset$
Folsäuregruppe	Gemüse, Fleisch, Milch, Soja	Purin- und Methioninsynthese	Perniziöse Anämie	12–15 mg; Leber	0,4 mg
Niazin = Nikotinsäure	Fleisch, Fisch, Milch	Koenzym vieler Dehydrogenasen	Pellagra, Photo-dermatitis	ca. 150 mg; Leber	15–20 mg
Pantothensäure	In fast jeder Nahrung	Bestandteil des Coenzym A	ZNS-Störungen	ca. 50 mg; Nieren, Leber	8 mg
Vitamin C Askorbinsäure	Frisches Obst und Gemüse	Mitwirkung bei Hydroxylierungen	Skorbut, Psychosen	1,5 g; Gehirn, Leber	75 mg

Mineral- stoffe	Hauptvorkommen	Wirksamkeit	Mangel	Bedarf (täglich)
Calcium	Milch und Milchprodukte, Grünkohl, Mandeln, härteres Trinkwasser	Stabilität der Knochen und Zähne, Nerven und Muskelzellen, wichtig für Blutgerinnung, Behandlung von Allergien	Osteoporose, Rachitis, Muskelschwäche, Muskelkrämpfe	800-1000 mg
Chlor	Koch- und Meersalz, Fertigsuppen, Schinken	Regulation von Wasserhaushalt und von Säure-Basen-Haushalt	Wachstumsstörungen, Muskelschwäche, Kreislaufstörungen, Durchfall, Schwitzen	830 mg
Chrom	Kartoffeln, Nüsse, Gemüse, Vollkornprodukte, Obst, Hefe, Honig, Kalbsleber	Kohlenhydratstoffwechsel, Fettsäureabbau, wichtig für die chem. Reaktionen von Insulin	verminderte Glukosetoleranz, Diabetes, erhöhte Cholesterinwerte	50-200 µg
Eisen	Fleisch, Kohl, Nüssen, Eigelb, Leber, Hülsenfrüchte, Schwarzwurzel	Blutbildung, Sauerstoffversorgung im Blut, Bildung von Hämoglobin	Wachstumsstörungen, Muskelschwäche, Blässe, Anämie, Müdigkeit	10-15 mg
Fluor	Fisch, Innereien, Getreide, schwarzer Tee, Mineralwasser	Stabilität der Knochen und Zähne, Mundbakterien, Wundheilung, Sehfunktion	Zahnschäden, Karies	1,5-4 mg
Jod	jodiertes Speisesalz, Meeresprodukte, Algen, Seefisch	Schilddrüsenfunktion, Regulation von Stoffwechsel und Körpertemperatur	Unterfunktion der Schilddrüse, Kropfbildung, Gewichtsschwankungen	ca. 200 µg
Kalium	Bananen, Pflaumen, Gemüse, Aprikosen, Kartoffeln, Milchprodukte, Fleisch, Fisch, getrocknete Früchte	Regulierung des Wasserhaushalts der Zellen, Verwertung von Kohlenhydraten, Proteinaufbau, Herzmuskel und Herzrhythmus	Muskelschwäche, gestörte Herzrhythmus, Magenprobleme, Durchfall, Darmlähmung, Pulsunregelmäßigkeiten	2000 mg
Kupfer	Bohnen, Pilze, Vollkornprodukte, Kartoffel, Obst, Erbsen	Stoffwechsel, Eisentransport, Immunsystem	Blutgefäßstörungen, erhöhte Cholesterinwerte, Gelenkentzündungen	2-5 mg
Magnesium	Gemüse, Nüsse, Haferflocken, Getreide, Milch, Bananen, Mineralwasser	wichtig für Stoffwechsel in Muskeln und Knochen, wichtig bei der Adrenalinfreisetzung und bei Enzymaktivierungen, senkt den Cholesterinspiegel	Krämpfe, Reizbarkeit, Konzentrationsstörungen, Herzrhythmusstörungen, Magen-Darm-Probleme	ca. 350 mg
Mangan	Bananen, Nüsse, Vollkornprodukte, schwarzer Tee	wichtig in Stoffwechselprozessen, und bei der Produktion von Sexualhormonen	Störungen im Skelettwachstum und der Fruchtbarkeit	10-30 mg
Molybdän	Blumenkohl, Hülsenfrüchte, Vollkornprodukte, Knoblauch	wichtig im Kohlenhydrat-, Fett- und Eisenstoffwechsel	erhöhte Harnsäurewerte, Gicht, übermäßige Aufnahme von Kupfer	350 µg
Natrium	Schinken, Fleisch, Karotten, Spinat, Hartkäse	Regulation von Wasserhaushalt und Blutdruck, Aufnahme von Zucker und Aminosäuren	Krämpfe, Kreislaufversagen	550 mg
Phosphor	Kartoffeln, Weizen, Brot, Fleisch, Milch	Energiegewinnung und Energieverwertung, Erhalt von Knochen und Zähnen	Muskelschwäche, Knochenleiden	800-1300 mg
Selen	Fisch, Fleisch, Milch, Eier, Nüsse, Leber	Bestandteil von Proteinen, von Knochen- und Zahnmasse, wichtig im Stoffwechsel, bindet freie Radikale	Herzmuskelschäden, Bluthochdruck, Darmerkrankungen, erhöhte Krebsanfälligkeit	300 µg
Silicium	Tomaten, Gurken, Petersilie, grüne Bohnen, Kieselerde	Erhaltung von Knorpel, Bindegewebe, Knochen, Haare, Zähne, Nägel	vorzeitiges Altern	30-70 µg
Zink	Getreide, Leber, Hülsenfrüchte, Innereien, Meeresfrüchte, Milchprodukte	Stärkung des Immunsystems, Farbsehen, wichtig für Haut und Bindegewebe, Insulinspeicherung	Appetitlosigkeit, Haarausfall, Hautschäden	15 mg

[2.3.4] Vitamine und Mineralstoffe

Die **Vitamine** werden unterteilt in wasserlösliche (alle B-Vitamine und das Vitamin C) und fettlösliche Vitamine (Vitamin A, D, E und K).

Das **Vitamin B1 (Thiamin)** ist an der Energiegewinnung aus Kohlenhydraten beteiligt. Ein erwachsener Mensch sollte etwa 1,1 – 1,6 mg pro Tag zu sich nehmen. Zu finden ist das Vitamin B1 vor allem in Vollkornprodukten und braunem Naturreis.

Das **Vitamin B12 (Cobolamin)** ist bedeutend für die Bildung roter Blutkörperchen und die Nerventätigkeit. Es kommt vor allem in tierischen Produkten, wie Fleisch, Fisch, Eiern und Milch vor. Empfohlen wird eine tägliche Menge von 5 µg für einen Erwachsenen. Allerdings kann der Körper das Vitamin B12 in großen Mengen speichern (vor allem in der Leber), dadurch ist eine tägliche Aufnahme im Vergleich zu anderen Vitaminen nicht zwingend notwendig.

Das **Vitamin C (Ascorbinsäure)** ist das vielseitigste Vitamin. Es trägt zur Festigkeit von Knochen und Bindegewebe bei. Es stärkt unser Immunsystem, fördert die Wundheilung, verbessert die Eisenaufnahme und spielt eine wichtige Rolle bei der Produktion von Botenstoffen. Die wichtigsten Quellen für Vitamin C sind frisches Obst und Gemüse (Zitrusfrüchte), Paprika, Petersilie, Sauerkraut und Kartoffeln. Der Tagesbedarf liegt bei etwa 75 mg.

Die **Folsäure** ist an der Neubildung von Zellen beteiligt und ist für die Bildung roter Blutkörperchen wichtig. Sie ist in einer Vielzahl von Lebensmitteln enthalten, wie in Fleisch, Milch, Gemüse (Tomaten, Spinat, Gurken, Spargel, ...), Obst (Orangen, Weintrauben) und Kartoffeln. Ein Erwachsener sollte etwa 0,4 mg täglich zu sich nehmen.

Die **Pantothensäure** ist an der Bildung von Hormonen, Haut und Haaren beteiligt. Außerdem spielt sie eine wichtige Rolle bei der Energiegewinnung. Man findet sie vor allem in Pilzen, Hülsenfrüchten und Vollkornprodukten, sowie in Fisch, Leber und Milch. 8 mg pro Tag reichen für einen Erwachsenen aus.

Das **Vitamin A (Retinol)** ist ein wesentlicher Bestandteil des Sehpurpurs der Netzhaut. Es sorgt außerdem für gesunde Haut und Schleimhäute. Der durchschnittliche Tagesbedarf beträgt 1,0 mg. Zu finden ist das Vitamin A in Lebensmitteln tierischer Herkunft, wie Fisch, Leber, Milch und Eiern.

Das **Vitamin D (Cholecalciferol)** regelt den Kalzium- und Phosphatstoffwechsel und hat so eine tragende Rolle im Knochenbau und bei der Zahnentwicklung. Vitamin D wird vom Körper auch selbst unter Sonneneinstrahlung gebildet. Über die Nahrung sollte ein Erwachsener etwa 5 µg pro Tag zu sich nehmen. Vitamin D kommt vor allem in Fischöl, Fleisch, Milchprodukten und Eigelb vor.

Das **Vitamin E (Tocopherol)** verbessert die Durchblutung, erhöht die Leistungsfähigkeit, senkt den Blutfettgehalt und stärkt unser Abwehrsystem. Zu finden ist es in Lebensmitteln, wie Nüssen, Pflanzenölen, Weizenkeimen und Soja. Ein Erwachsener sollte etwa 12 mg täglich zu sich nehmen.

Das **Vitamin K (Phyllochinon)** ist ein wichtiger Bestandteil für die Blutgerinnung. Es ist in Kohl, Spinat, Lauch und Feldsalat enthalten. 1,0 mg täglich reichen einem Erwachsenen.

Mineralstoffe kommen meist als Ionen oder in anorganischen Verbindungen vor, etwa Natrium in Kochsalz oder Zink in Zinkchelat. Sie sind Bestandteile von Hormonen, wie Jod im Schilddrüsenhormon oder sorgen als Anionen und Kationen für die Elektroneutralität der Körperflüssigkeiten und für die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks. **Mineralstoffe** werden aufgrund ihres mengenmäßigen Anteils im Körper unterschieden in Mengen- und Spurenelemente. Die **Mengenelemente** machen mehr als 50 mg/kg Körpergewicht aus. In diese Gruppe gehören: Natrium (Na), Kalium (K), Magnesium (Mg), Kalzium (Ca), Chlor (Cl), Phosphor (P) und Schwefel (S). **Die Spurenelemente** liegen unter 50 mg/kg des Körpergewichtes und dazu zählen: Arsen (As), Bor (B), Chrom (Cr), Kobalt (Co), Eisen (Fe), Fluor (F), Jod (J), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Nickel (Ni), Rubidium (Ru), Selen (Se), Silizium (Si), Vanadium (V), Zink (Zn) und Zinn (Sn).

Sekundäre Pflanzenstoffe haben eine Reihe positiver Wirkungen. Sie arbeiten als Antioxidantien, haben hormonähnliche Wirkung, senken den Cholesterinspiegel oder hemmen das Wachstum von Bakterien. Die bekanntesten Gruppen sind **Carotinoide** und **Polyphenole**. Enthalten sind die sekundären Pflanzenstoffe in praktisch allen pflanzlichen Lebensmitteln, wie Obst, Gemüse, Kräuter, Gewürze, Getreide und Nüsse.

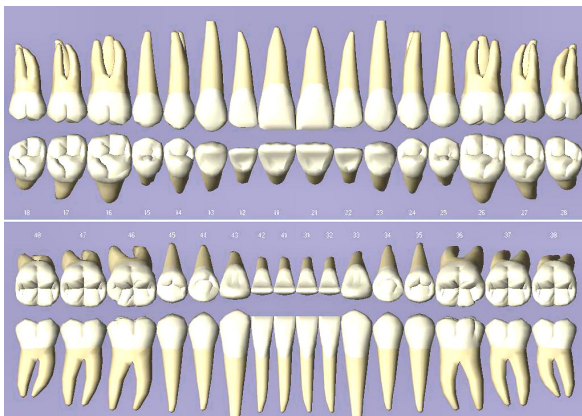
Ballaststoffe kommen unter anderem in Getreide, Gemüse, Obst und Hülsenfrüchten vor. Durch Ballaststoffe werden die Kohlenhydrate im Darm langsamer aufgenommen, deshalb steigt der Blutzucker nach dem Essen nicht so stark. Zusätzlich regen sie die Verdauungstätigkeit an, da sie im Darm für eine Zunahme der Stuhlmenge sorgen. Andernfalls besteht oft eine Darmträgheit.

[2.3.5] Mund, Magen und Darm

Die Nahrung wird mit den Zähnen zerkleinert und mit den Speicheldrüsen im Mund eingespeichelt. Dann gelangt sie über den Rachenraum und die Speiseröhre in den Magen. Dort erfolgt eine Vorverdauung. Nach der Passage des Pförtners erfolgt im Dünndarm die Hauptverdauung und im Dickdarm die Rückresorption des Wassers. Der so eingedickte Verdauungsbrei (Stuhl) wird dann über den Mastdarm und den After ausgeschieden.

Die Zähne

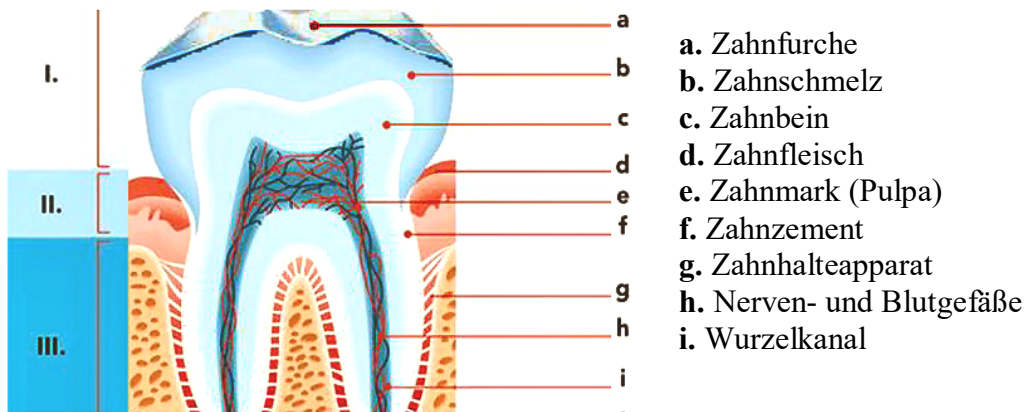
Das menschliche Gebiss besteht im ausgewachsenen Zustand aus 32 Zähnen: Im Oberkiefer und im Unterkiefer befinden sich jeweils vier Schneidezähne, zwei Eckzähne und zehn (oder acht) Backenzähne. Manche Menschen haben am Gebissrand keine Weisheitszähne, ihr Gebiss besitzt nur 28 Zähne. Das kindliche Milchgebiss besteht aus 20 Zähnen. Zwischen 6. und 12. Lebensjahr werden die Milchzähne schrittweise durch die bleibenden Zähne ersetzt.



Die Schneide- und Eckzähne haben jeweils eine Wurzel, die Backenzähne in der Regel zwischen einer und drei. Die Anzahl der Wurzeln ist individuell unterschiedlich. Allgemein gilt: Je weiter hinten der Zahn im Kiefer sitzt, umso mehr Wurzeln hat er.

Die Abbildung zeigt die obere und untere Zahnreihe (Seitansicht und Aufsicht).

Die menschlichen Schneide-, Eck- und Backenzähne sehen zwar unterschiedlich aus, sind aber grundsätzlich gleich aufgebaut. Den obersten Teil, der aus dem Zahnfleisch in die Mundhöhle hineinragt, bezeichnet man als **Zahnkrone (I)**. Darunter folgt der **Zahnhals (II)**, der dünne Übergang von der Zahnkrone zur Zahnwurzel. Normalerweise ist der Zahnhals kaum zu sehen, weil er größtenteils von Zahnfleisch umgeben ist. Die unteren zwei Drittel des Zahnes bezeichnet man als **Zahnwurzel (III)**. Sie sorgt für die Verankerung im Knochen.



Zahnschmelz

Im Bereich der Krone überzieht eine Lage Zahnschmelz den Zahn. Es handelt sich hierbei um das widerstandsfähigste Gewebe im Körper, noch vor dem Unterkiefer - dem härtesten aller Knochen. Der Schmelz besteht zu 98 Prozent aus den Mineralsalzen von Kalzium, Phosphor und Fluor. Die Fluorverbindungen sind für die außerordentliche Härte dieses Gewebes verantwortlich.

Gesunder Zahnschmelz ist beinahe jeder mechanischen Belastung gewachsen, nicht aber allen chemischen und biologischen Substanzen: Säuren und Bakterien können auch den stabilsten Zahnschmelz aufätzen und aufweichen.

Zahnbein (Dentin)

Unter der harten Deckschicht liegt das weichere Zahnbein (Dentin), welches den Hauptteil des Zahnes ausmacht. Zahnschmelz und Dentin gehören zu den Zahnhartsubstanzen. Das Zahnbein wird von feinen Kanälchen durchzogen, die Nervengewebe enthalten und Informationen und Reize ins Zahninnere übermitteln. Im Bereich des Zahnhalses ist der Schmelz sehr dünn, das Dentin liegt oftmals frei und ist somit ungeschützt. Im Fall von freiliegenden Zahnhälsen leiten die Dentinkanälchen das unangenehme Gefühl, das beim Zähneputzen oder durch Temperaturreize entsteht, zu den Nervenfasern weiter.

Im Gegensatz zum Zahnschmelz wird das Dentin eines lebenden Zahnes unentwegt nachgebildet. Das ist auch der Grund, warum Überempfindlichkeiten nach einiger Zeit wieder nachlassen können.

Zahnmark (Pulpa)

Im Inneren des Zahns findet sich das weiche Zahnmark. Die sogenannte Pulpa enthält das Nervengewebe, ist gut durchblutet und nährt den Zahn von innen heraus. Über ein kleines Loch an der Wurzelspitze ist sie mit dem Kieferknochen verbunden. Nervenfasern und Blutgefäße ziehen über den Wurzelspitzenkanal aus dem Knochen in das Zahnmark.

Zahnhalteapparat

Nicht nur die Wurzeln verankern die Zähne im Kieferknochen. Am Übergang von der Zahnkrone zum Zahnhals schmiegt sich das Zahnfleisch eng an den Zahn und hält ihn mit dünnen Fasern elastisch fest. Der Kiefer besitzt tiefe knöcherne Einbuchtungen (Alveolen), in die die Zahnwurzeln eingepasst sind. Der Spalt zwischen Zahn und Kieferknochen ist mikroskopisch schmal. Vom Zahnhals bis zur Wurzelspitze durchziehen ihn Haltefasern, die für eine federnde Aufhängung des Zahns im knöchernen Zahnhaltefach sorgen. Die Fasern, die den kleinen Spalt durchqueren, setzen an der Zahnwurzel am sogenannten Zement an, der die Wurzeloberfläche bedeckt. Alle Schichten zusammen bilden den Zahnhalteapparat (Parodontium). Entzündet sich diese Haltemanschette, kommt es also zu einer Parodontitis, kann sich der Zahn lockern und letztlich sogar ausfallen.

Knochen brauchen Druck

Knochen sind lebendes Gewebe. Sie sind gut durchblutet, einem ständigen Umbau unterworfen und können sich somit neuen Situationen anpassen. Der Druck beim Kauen überträgt sich auf den Knochen und regt diesen an, verstärkt Mineralien einzubauen - mit der Konsequenz, dass der Knochen fester und widerstandsfähiger wird. Fehlt dieser Druck, etwa aufgrund einer Zahnlücke oder einer nicht getragenen Prothese, bildet sich der Knochen zurück. Die mögliche Folge kann beispielsweise sein, dass sich ein Implantat nicht mehr verankern lässt oder eine Prothese nicht hält. Auch der natürliche Alterungsvorgang führt zu einem Umbau der Kieferknochen. Dies ist auch der Grund, warum ein Zahnersatz regelmäßig an den Kieferknochen angepasst werden sollte, etwa durch Unterfütterung einer Prothese.

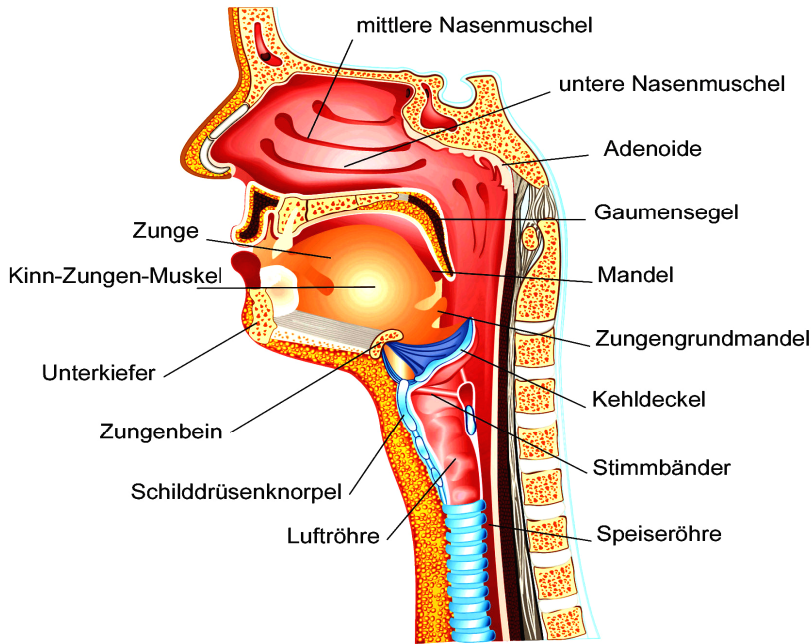
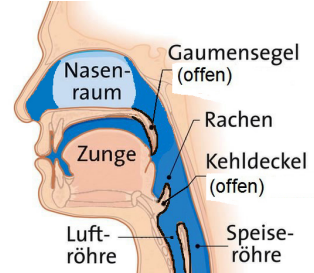
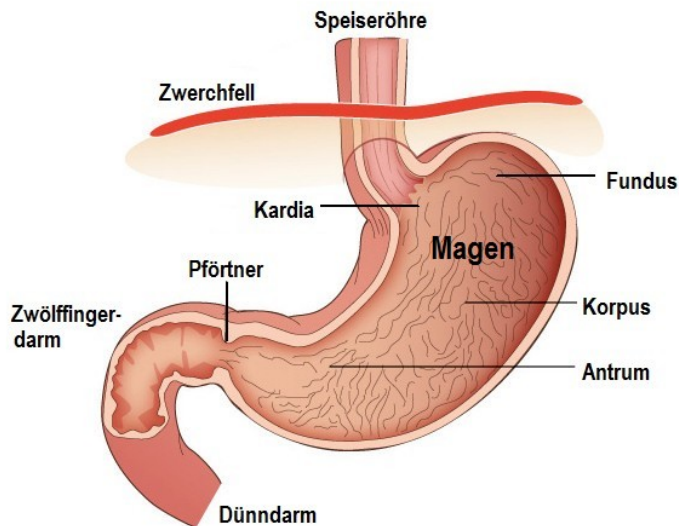
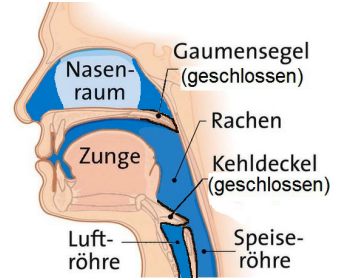
Der Magen

Der Magen (Gaster) liegt unterhalb des Zwerchfells am Ende der ca. 25 cm langen Speiseröhre (Ösophagus). Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die wichtigsten Teile des Magens. Sowohl am Mageneingang (Kardia) nach der Speiseröhre als auch am Magenausgang (Pfortner, Pylorus) vor dem Dünndarm befinden sich in der Wand verdickte ringförmige Muskeln.

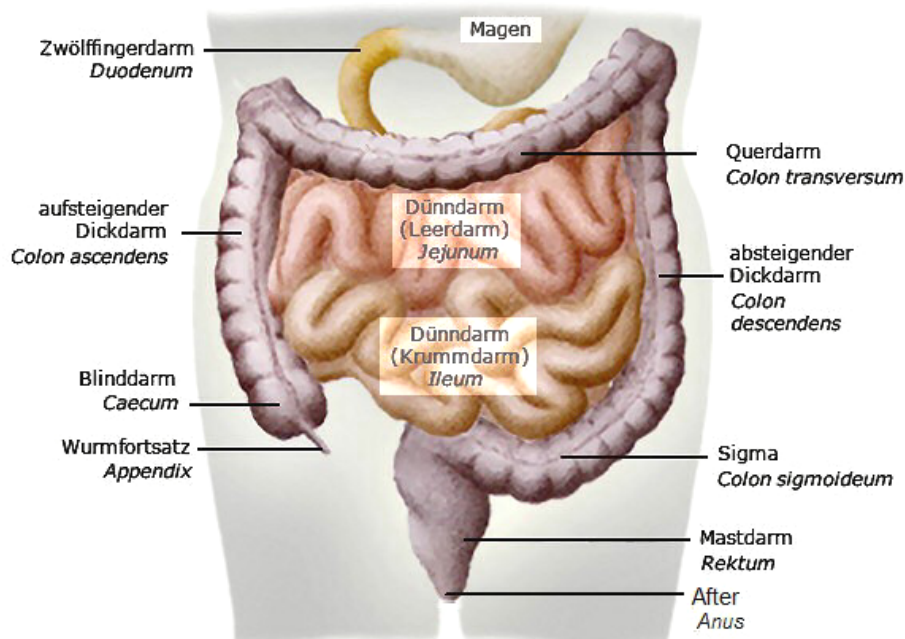
Der gesamte Magen-Darm-Trakt hat einen typischen Wandaufbau bestehend aus vier Schichten. Innen befindet sich eine Schleimhaut (Mucosa), in der sich typische Drüsenzellen befinden. Dann folgt eine Bindegewebeschicht (Submucosa), wo die Blut- und die Lymphgefäße liegen, welche die Schleimhaut versorgen. Die dritte Wandschicht enthält ringförmig und längs verlaufende glatte Muskelfasern, womit wellenförmige Bewegungen des Verdauungsschlauches (Peristaltik) ausgeführt werden können. Zusätzlich befindet sich hier ein vegetatives Nervengeflecht, welches die Peristaltik koordiniert. Die äußerste Schicht besteht aus Bindegewebe.

In der Schleimhaut des Magens liegen drei Arten von Zellen. Die **Belegzellen** produzieren Salzsäure (HCl). Die **Hauptzellen** produzieren Pepsinogen. Diese Enzymvorstufe wird dann durch die Magensäure zum Verdauungsenzym Pepsin aktiviert, welches der Vorverdauung der Eiweiße zu Polypeptidketten dient. Diese werden dann im Dünndarm durch das Trypsin der Bauchspeicheldrüse weiter in Aminosäuren zerlegt. Fette und Kohlenhydrate können den Magen unverdaut passieren.

Der saure Magensaft hat noch einen weiteren Vorteil: Er tötet die meisten mit der Nahrung aufgenommenen Bakterien ab und schützt so vor Infektionen. Nachteilig ist aber, dass dadurch das Eiweißgerüst der Magenwand selbst angegriffen wird. Abhilfe dagegen schaffen die **Nebenzellen**, die eine Schleimschicht bilden, welche die Schleimhaut überzieht und so vor der Säure schützt. Bei einer Entzündung (Gastritis) greifen Magensäure und Pepsin die Schleimhaut an.

**Atemweg:****Speisenweg:**

Beim Schluckreflex verschließt automatisch der Kehldeckel die Luftröhre, sodass keine Speise in die Lunge gelangen kann. Außerdem trennt das Gaumensegel den Nasenraum von dem Mund-/Rachenraum.



Der Dünndarm

Der Dünndarm ist etwa fünf Meter lang und gliedert sich in drei Abschnitte: Zwölffingerdarm (Duodenum) – Leerdarm (Jejunum) – Krummdarm (Ileum). Die innere Schleimhaut ist in ihrer Oberfläche durch Falten und Zotten auf ca. 200 m² vergrößert. In den Zwölffingerdarm münden in der Vaterschen Papille die Ausführungsgänge von Gallenblase und Bauchspeicheldrüse. Letztere produziert einen Saft von Verdauungsenzymen (Trypsin zur Eiweißzerlegung in Aminosäuren, Amylase zur Aufspaltung der Kohlenhydrate in einfachen Zucker, Lipase zur Zerlegung von Fetten in Glycerin und Fettsäuren). Damit die Lipase angreifen kann, müssen die Fette durch die Galle emulgiert (fein verteilt) werden. Die zerlegten Bestandteile und auch das Wasser werden über die Darmzotten in das Blut resorbiert und dann hauptsächlich in der Pfortader zur Leber befördert. Schließlich sorgen eigene Mechanismen für einen ausgeglichenen Elektrolyt-Haushalt.

Der Dickdarm

Der Dickdarm gliedert sich in mehrere Abschnitte: Blinddarm mit Wurmfortsatz – aufsteigender, querliegender und absteigender Dickdarm mit Sigmaschlinge – Mastdarm – After. Im Dickdarm wird der vom Dünndarm kommende Speisebrei durch Resorption von Wasser eingedickt und durch entsprechende wellenförmige Kontraktionen der glatten Darmwandmuskulatur (Peristaltik) zum Mastdarm weiterbefördert. Eine wichtige Rolle spielen Darmbakterien (z.B. Kolibakterien), welche Enzyme produzieren, die ca. 10% der unverdauten Stoffe weiter angreifen. Sie bauen einerseits die Kohlenhydrate zu sauren Endprodukten wie die Milchsäure ab (**Gärung**) und zerlegen andererseits die Eiweiße in Amine und Schwefelwasserstoff (**Fäulnis**). Zwischen Gärung und Fäulnis besteht bei ausgewogener Kost ein Gleichgewicht, weil z.B. die bei der Gärung entstehende Säure die Fäulnis bremst. Wird die Darmflora und damit auch dieses Gleichgewicht gestört, kommt es zu Darmblähungen und zur Ausscheidung typisch gärender oder fauliger Stühle - bei jahrelanger Dauer können auch Darmerkrankungen die Folge sein.

[2.3.6] Die Bauchspeicheldrüse (Pankreas)

Die Bauchspeicheldrüse ist ein keilförmiges Organ, welches unterhalb von Magen und Leber in der Bauchhöhle liegt. Sie besteht aus exokrinen und endokrinen Drüsenzellen.

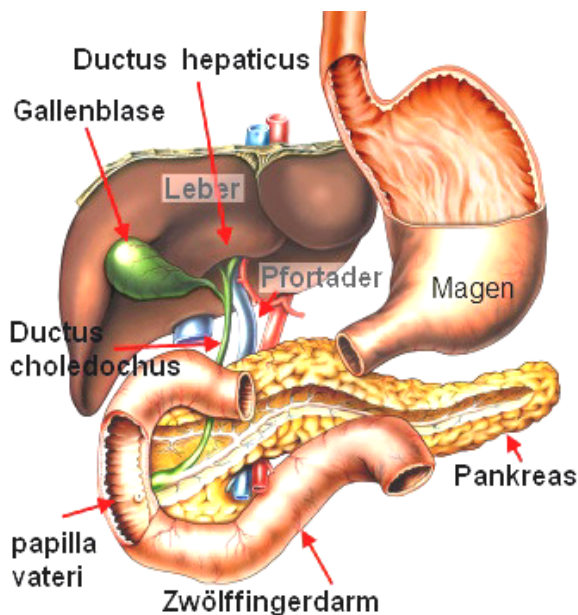
Die **exokrinen Drüsenzellen** erzeugen die Verdauungsenzyme, welche die Nahrung chemisch aufspalten. Die Enzyme werden in einem Ausführungsgang (Ductus pancreaticus) gesammelt, der gemeinsam mit dem Hauptgallengang (Ductus choledochus) in eine Schleimhautfalte (Vatersche Papille) des Zwölffingerdarms mündet. Die Verdauungsenzyme bilden den Pankreassaft. Dieser enthält hauptsächlich Vorstufen der Enzyme, welche dann erst im Darm aktiviert werden. Dazu gehören das eiweißspaltende Trypsin, die kohlenhydratspaltende Amylase und die fettspaltenden Lipasen. Die Sekretproduktion wird durch Geruch und Geschmack der Nahrung, durch den Kauvorgang, durch die Dehnung der Magenwand und durch Hormone (Cholecystochinin) über das vegetative Nervensystem (Nervus vagus) stimuliert.

In den Epithelzellen der Drüsengänge werden zusätzlich Hydrogenkarbonat-Ionen (HCO₃⁻) produziert, welche den pH-Wert des Pankreassaftes erhöhen, so dass der durch den Magensaft angesäuerte Darminhalt mithilfe des alkalischen Pankreassaftes neutralisiert wird. Dadurch ist ein optimales chemisches Milieu für die Verdauungsenzyme geschaffen.

Die **endogenen Drüsenzellen** (Langerhans-Inseln) produzieren erstens das Insulin in den Betazellen und zweitens das Glucagon in den Alphazellen. Das Insulin erhöht die Membrandurchlässigkeit der Muskelzellen für den Blutzucker und hemmt die Zuckerherstellung in den Leberzellen. Dort wird auch Zucker in Glykogen umgespeichert. So sinkt der Zuckerspiegel im Blut.

Durch das Insulin wird der Zuckergehalt im Blut gesenkt, indem der Zucker (Glukose) in der Leber und der Muskulatur aufgenommen und als Glykogen gespeichert wird. Dieser Vorgang wird durch einen Anstieg des Blutzuckers und über den Parasympathikus aktiviert. Bei einem zu starken Blutzuckerabfall wird das Glukagon ausgeschüttet, welches die Freisetzung von Zucker aus der Leber bewirkt. Die häufigste Erkrankung der Bauchspeicheldrüse ist die Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus). Dabei liegt ein Mangel an Insulin vor, der zu einem erhöhten Zuckerspiegel im Blut führt. Als Therapie wird medikamentöses Insulin täglich genau dosiert verabreicht.

[2.3.7] Die Leber (Hepar)



Mit 1,6 Kilogramm Körpergewicht ist die zwei-lappige Leber das schwerste Körperorgan nach der menschlichen Haut. Sie ist das wichtigste Chemie-Labor des Körpers, wo der zentrale Stoffwechsel abläuft. Die Leber liegt im Oberbauch unter dem Zwerchfell (Diaphragma) und verfügt neben dem normalen Gefäßnetz aus Arterien und Venen zusätzlich über ein Pfortadersystem. Durch dieses System gelangt das nährstoffreiche Blut aus den Verdauungsorganen über die Pfortader ins Lebergewebe, wo der Stoffwechsel stattfindet. Die Endprodukte werden über die Lebervene zurück in den Körperkreislauf transportiert.

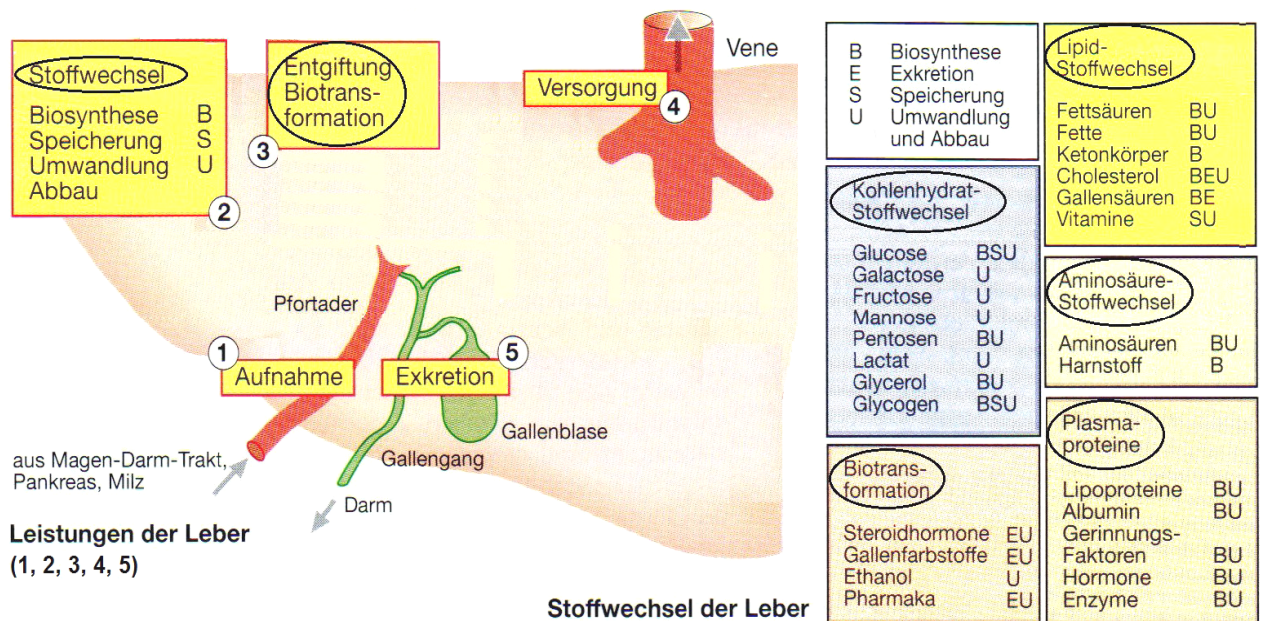
Im Leberstoffwechsel spielen die Leberenzyme eine wichtige Rolle, z. B. γ -GT, GOT und GPT beim Proteinabbau. Ihre quantitative Messung im Labor liefert Erkenntnisse über Erkrankungen der Leber.

Die Leber hat mehrere Funktionen: Sie produziert Gallenflüssigkeit mit Gallensäuren für die **Fettverdauung**. Die Galle wird in der Gallenblase zwischengespeichert. Auch Cholesterin und Gallenfarbstoffe, welche als Endprodukte des Hämoglobinstoffwechsels zu betrachten sind, werden in der Leber gebildet. Letztere sind für die braune Farbe des Stuhls verantwortlich.

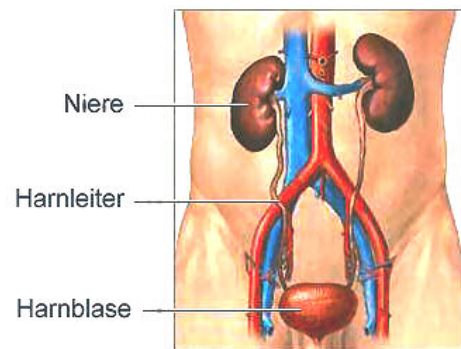
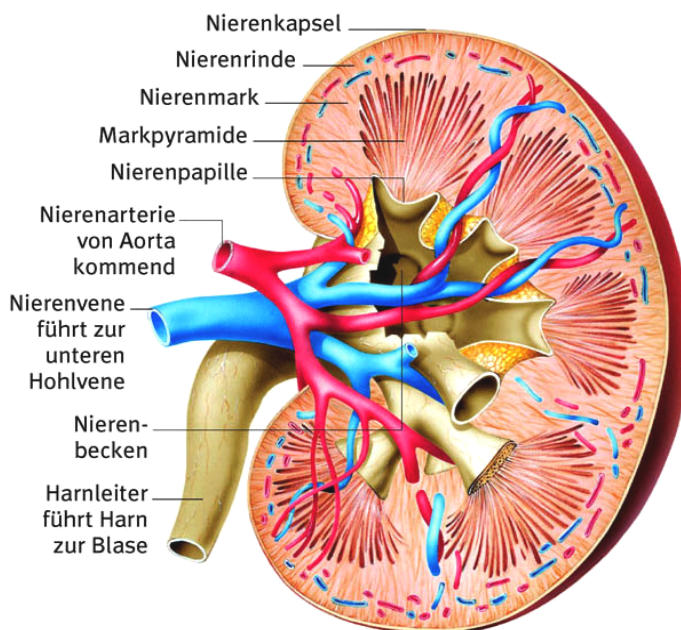
Im **Kohlenhydratstoffwechsel** ist die Leber Abbau-, Aufbau- und Speicherorgan. Der Blutglukosespiegel wird durch verschiedene Hormone sehr genau reguliert. Diese Hormone greifen zumeist an der Leber an, die als ausführendes Organ bei Kohlenhydratüberschuss Glykogen aufbaut und damit einen Speicher anlegt, aus dem bei akutem Glukosemangel wieder Glukose ins Blut abgegeben wird. Es resultiert so ein ständiger Umbau zwischen Glykogen und freier Glukose. Die Synthese von Glukose (Glukoneogenese), vor allem aus den Abbauprodukten der Proteine, erfolgt in der Leber (Querverbindung zum Proteinstoffwechsel). Schließlich können aus den Abbauprodukten des Glykogens auch Fettsäuren synthetisiert werden (Querverbindung zum Fettstoffwechsel).

Im **Proteinstoffwechsel** werden die mit dem Pfortaderblut zur Leber gelangenden Aminosäuren dort umgesetzt. Zum Teil dienen sie zum Aufbau der Plasmaproteine (Albumin, einige Globuline, sowie die Gerinnungsfaktoren). Der andere Teil der Aminosäuren wird abgebaut, der Stickstoff wird in Harnstoff übergeführt und als solcher zur Niere transportiert. Die Aminosäuren dienen vielfach auch der Synthese von Glukose (Querverbindung zum Kohlenhydratstoffwechsel).

In den Leberzellen (Hepatozyten) vollziehen sich zahlreiche Umwandlungsreaktionen, welche körpereigene und körperfremde Stoffe betreffen und häufig eine „**Entgiftungsreaktion**“ zur Folge haben und zu einer beschleunigten Ausscheidung von Giften und Medikamenten führen.



[2.4] Das Ausscheidungssystem



Die beiden Nieren sind bohnenförmige, braunrote, etwa 10 cm lange Organe. Sie liegen unterhalb des Zwerchfells in der Höhe des ersten Lendenwirbels. Die zellulären Einheiten der Niere sind **Nephron**, welche aus Nierenkörperchen und Nierenkanälchen bestehen.

In den Nierenkörperchen (Glomeruli) wird aus dem Blut der Nierenarterie der Primärharn gebildet. Bei dieser ersten Filtration werden die größeren Bestandteile wie Blutkörperchen zurückgehalten. Im Filtrat hingegen sind nur die niedermolekularen Bestandteile des Blutplasmas enthalten. In einem zweiten Prozess werden **in den Nierenkanälchen (Tubuli)** wertvolle Stoffe wie Zucker, Aminosäuren und Elektrolyte wieder kontrolliert in den Blutkreislauf zurückgeholt und auch ein Großteil des Wassers resorbiert. So wird aus dem Primärharn der Endharn erzeugt, der dann über den Harnleiter (Ureter) in die Harnblase abfließt und durch die Harnröhre (Urethra) als Urin ausgeschieden wird. Dieser enthält hauptsächlich stickstoffhaltige Stoffe, die u.a. beim Abbau von Proteinen und Nukleinsäuren entstehen (Harnstoff $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ und Harnsäure).

Die Nierenfunktionen werden auch durch Hormone reguliert, beispielsweise durch das anti-diuretische Hormon ADH aus der Hypophyse. Es fördert die Resorption des Wassers und wirkt daher einer Dehydrierung entgegen. Die Nieren regulieren auch den **Blutdruck**, vor allem durch das Zusammenspiel der Hormone Renin, Angiotensin und Aldosteron.

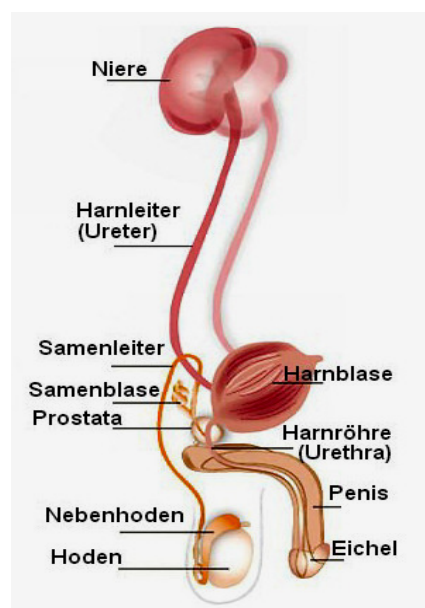
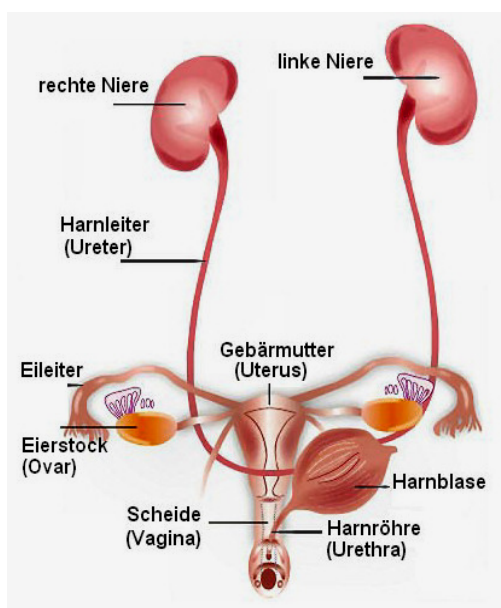
Hinweis: **Säuren** geben Protonen (positiv geladene Wasserstoffionen H^+) ab, **Basen** hingegen nehmen diese auf. Basen und Säuren können sich zu Salz und Wasser verbinden (Neutralisation). Beispielsweise verbinden sich Natronlauge und Salzsäure zu Natriumchlorid (Salz) und Wasser ($NaOH + HCl \rightarrow Na^+ + OH^- + H^+ + Cl^- \rightarrow NaCl + H_2O$). 0,9%-ige Kochsalzlösungen werden für Infusionen verwendet. Der so genannte **pH-Wert** ist der negative Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration H^+ . Säuren haben daher einen niedrigen pH-Wert ($pH < 7$), Basen hingegen einen hohen ($pH > 7$). Der pH-Wert im Blut muss konstant auf dem Wert von 7,40 gehalten werden, was für die optimale Funktion von vielen Stoffwechselvorgängen notwendig ist.

Durch Ausscheidung, Filtration und Resorption regulieren die Nieren den Wasserhaushalt und die Elektrolyte im Blut (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , ...). Der **Säure-Base-Haushalt** wird einerseits durch die **Nieren** und andererseits vor allem über die **Lungenatmung** reguliert. Ist das Blut zu sauer, so werden die H^+ -Ionen durch die schwache Base HCO_3^- (Bikarbonat) gebunden, wobei Kohlensäure H_2CO_3 entsteht, welche in Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O zerfällt. Das CO_2 wird dann ausgeatmet. Die Reaktionsgleichung $HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$ beschreibt diesen Vorgang. Bei der Pufferung von Säure verschiebt sich das Gleichgewicht in dieser Reaktion nach rechts, bei der Pufferung von Basen verschiebt es sich nach links. Dieser Prozess wird durch eine starke oder schwache Atmung (d.h. vermehrte oder verminderte CO_2 -Abgabe) gesteuert. In den Nieren hingegen werden die H^+ -Ionen mittels Ammoniak (NH_3) ausgeschieden.

Die Filterleistung der Nieren ist beeindruckend: Pro Tag durchfließen rund 1800 Liter Blut die Nieren, was etwa dem 300-Fachen des Blutvolumens des Körpers entspricht. Daraus werden ca. 180 Liter Primärharn gefiltert, der dann auf weniger als 2 Liter Endharn (Urin) konzentriert wird.

Die Harnblase dient als Zwischenspeicher für den von der Niere produzierten Harn. Sie fasst im normalen Zustand ca. 500 ml. Ein Schließmuskel verhindert die sofortige Entleerung. Bei einer starken Blasenfüllung wird der Druck von Dehnungsrezeptoren in der Blasenwand registriert. Diese starten dann über das unwillkürlich-vegetative und über das willkürlich-zentrale Nervensystem komplexe Regelkreise zur Entleerung der Harnblase.

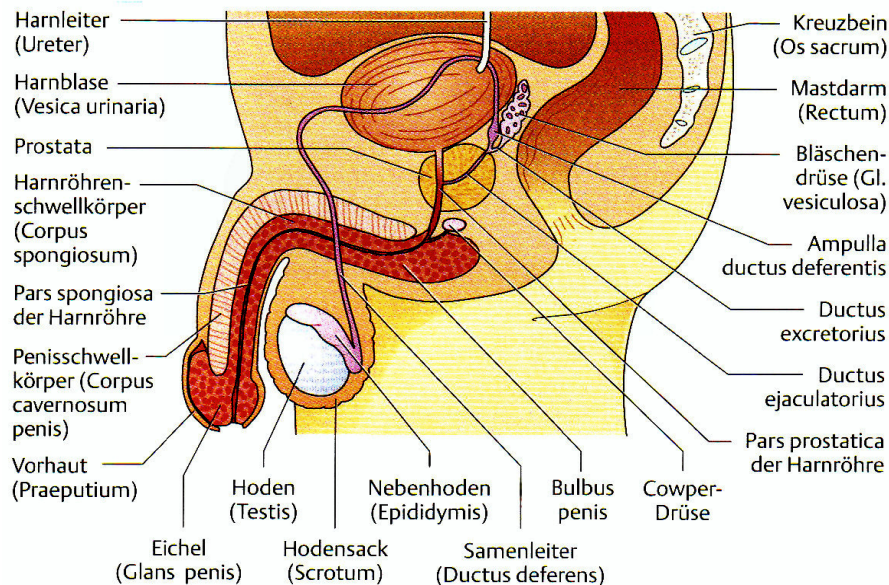
Im Gegensatz zur Frau besitzt der Mann noch eine Vorsteherdrüse (Prostata) unterhalb der Blase. Diese Drüse produziert ein Sekret, dass beim Samenerguss (Ejakulation) ca. 30% der Samenflüssigkeit (Ejakulat) ausmacht. Durch die Prostata verlaufen einerseits die verlängerten Samenleiter, durch welche das in den Hoden erzeugte Ejakulat fließt. Andererseits wird die Prostata auch von der Harnröhre durchquert, in welcher der Harn von der Blase abfließen kann.



*Ableitende Harnwege
von Frau und Mann*

[2.5] Das Fortpflanzungssystem

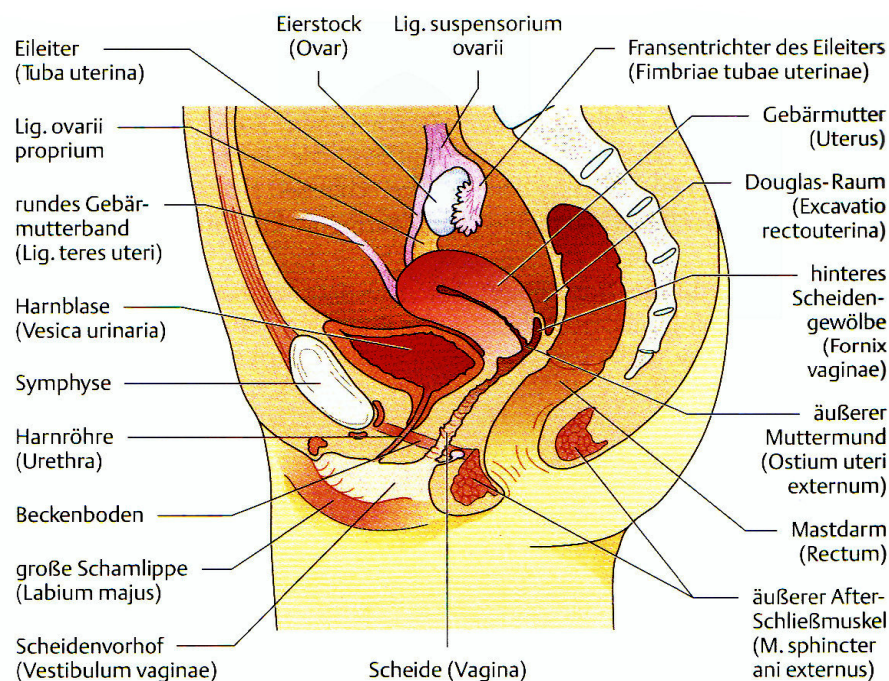
[2.5.1] Männliche und weibliche Geschlechtsorgane



Hoden: Produktion der männlichen Keimzellen (Samenzellen).

Nebenhoden: Erzeugung des männlichen Geschlechtshormons Testosteron.

Verbindungsweg: Hoden - Samenleiter - Prostata - Harnröhre - Penis.



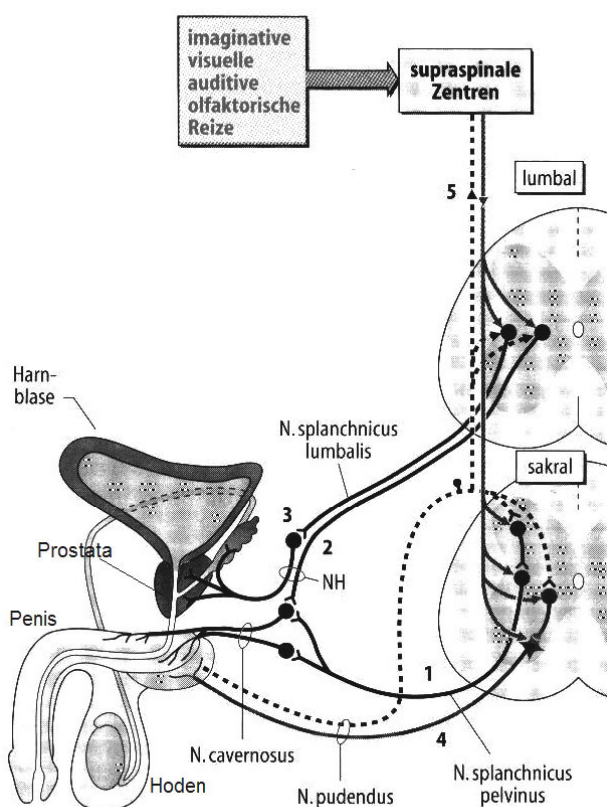
Eierstöcke: Produktion der weiblichen Keimzellen (Eizellen) und Erzeugung des weiblichen Geschlechtshormons Östrogen.

Gebärmutter: Einnistung der befruchteten Eizelle und Ernährung des Embryos.

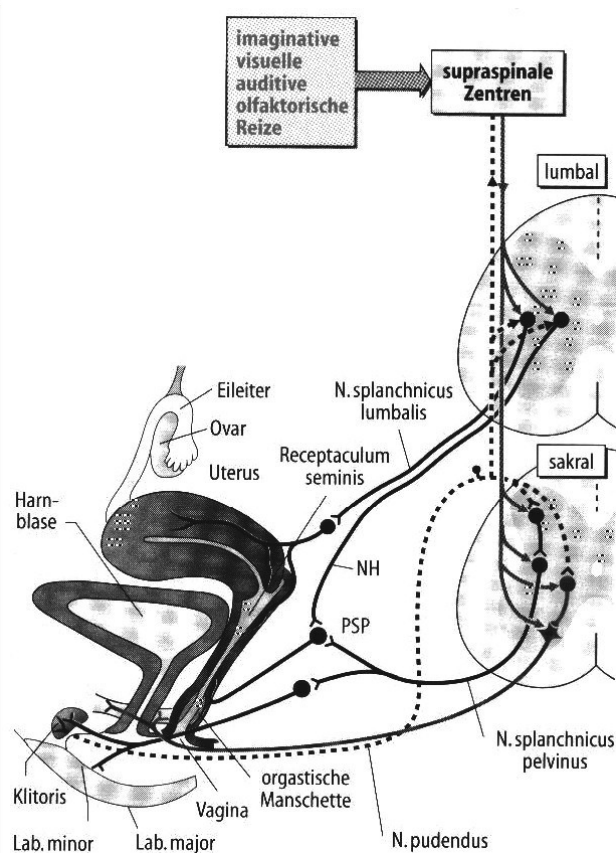
Verbindungsweg: Eierstöcke - Eileiter - Gebärmutter - Scheide.

Beim Mann ist der Peniskopf (Glans) am dichtesten mit Mechanorezeptoren besetzt, ihre Afferenzen laufen zum lumbalen und sakralen Rückenmark (Lenden- und Kreuzregion). Über Zwischenneuronen werden dort postganglionäre Neuronen des Parasympathikus aktiviert. Deren Aktivierung kann aber auch durch von der Cortex kommende Erregungen (sexuelle Wahrnehmungen und Vorstellungen) ausgelöst werden. Die parasympathischen Neuronen ziehen mit ihren Ausläufern in den Penis zurück (Reflexbogen), wo es zur Erweiterung der Arterien (Vasodilatation) kommt. Gleichzeitig wird dabei der venöse Blutabfluss erschwert. Durch die Blutfüllung der Schwellkörper erfolgt eine Aufrichtung und Erhärtung des Penis (Erektion). Der Samenerguss (Ejakulation) hingegen wird über einen Reflexbogen des Sympathikus gesteuert, der eine Kontraktion der glatten Muskulatur von Nebenhoden, Samenleiter und Prostata bewirkt. Dadurch wird Samenflüssigkeit und Sekret in die Harnröhre gedrückt und unter ruckartigen Kontraktionen der Beckenbodenmuskulatur ausgestoßen.

Bei der Frau sind vor allem Kitzler (Klitoris), kleine Schamlippen (Labia minor) und die Dammgegend besonders dicht mit Mechanorezeptoren besetzt. Bei ihrer Reizung kommt es ebenfalls über einen parasympathischen Reflexbogen zur Gefäßerweiterung und zum Anschwellen dieser Regionen der äußeren Sexualorgane. Gleichzeitig erzeugt das Plattenepithel der Scheide (Vagina) verstärkt mukoiden Flüssigkeit, welche die Gleitfähigkeit erhöht. Mit zunehmender Erregung bildet sich im äußeren Drittel der Scheide ein venöser Blutstau, der die Scheidenwand zusätzlich festigt. Außerdem kommt es zu einer deutlichen Aufrichtung und Vergrößerung der Gebärmutter (Uterus). Beim Höhepunkt der Erregung (Orgasmus) laufen ruckartige Kontraktionen über die Scheiden- und Uterusmuskulatur. Diese werden durch sympathische Innervationen gesteuert und entsprechen der Ejakulation beim Mann.



Innervation und spinale Reflexbögen zur Regulation männlicher Geschlechtsorgane. 1, parasympathische Neurone zu erektilen Gewebe; 2, sympathische Neurone zu erektilen Gewebe; 3, sympathische Neurone zu Duktus deferens, Prostata, Samenbläschen und Blasenhal. 4, Motoaxone; 5, aufsteigende und absteigende Bahnen. Interneurone im Rückenmark sind z.T. weggelassen worden. NH, N. hypogastricus.



Innervation der weiblichen Genitalorgane
PSP, Plexus splanchnicus pelvis
NH, N. hypogastricus

[2.5.2] Zellteilung, Befruchtung und Geschlechtstypisierung

Die eigentliche Erbinformation ist in den räumlich verdrehten DNS-Doppelstrangmolekülen (Desoxyribonukleinsäure) abgespeichert. Bestimmte Abschnitte der DNS, die Gene, steuern die Bildung von Eiweißen (Proteinen). Dabei steuert die wechselnde Abfolge von nur vier Basen die Folge der Aminosäuren, die zu einem Protein verknüpft werden. Die Proteine bestimmen als Enzyme oder als Struktureiweiße die Eigenschaften (Phäne) des Organismus.

Die DNS wird mit anderen Proteinen (Histonen) zu einem Makromolekül-Komplex verpackt. Dieser heißt Chromosom (Farbkörper - wegen einer bestimmten chemischen Anfärbetechnik). Die Menschen haben unterschiedliche Chromosomen, die mit 1, 2, 3, ... 22, X und Y bezeichnet werden. Die ersten 22 Chromosomen sind doppelt vorhanden. Im letzten Chromosomenpaar hingegen können nur die zwei Chromosomenkombinationen XX oder XY auftreten. Die XX-Kombination bestimmt einen weiblichen Organismus, XY einen männlichen. Diese Chromosomen wirken daher geschlechtsbestimmend. Den **Geschlechtschromosomen** stehen 22 Chromosomenpaare gegenüber, die beiden Geschlechtern gemeinsam sind und **Autosomen** heißen.

Die zwei Partner eines Chromosomenpaares heißen homolog. Sie stimmen zwar in Form und Struktur überein, sie können aber veränderte Genausführungen besitzen. Die verschiedenen Ausführungsformen eines Gens (normal oder mutiert) nennt man Allele.

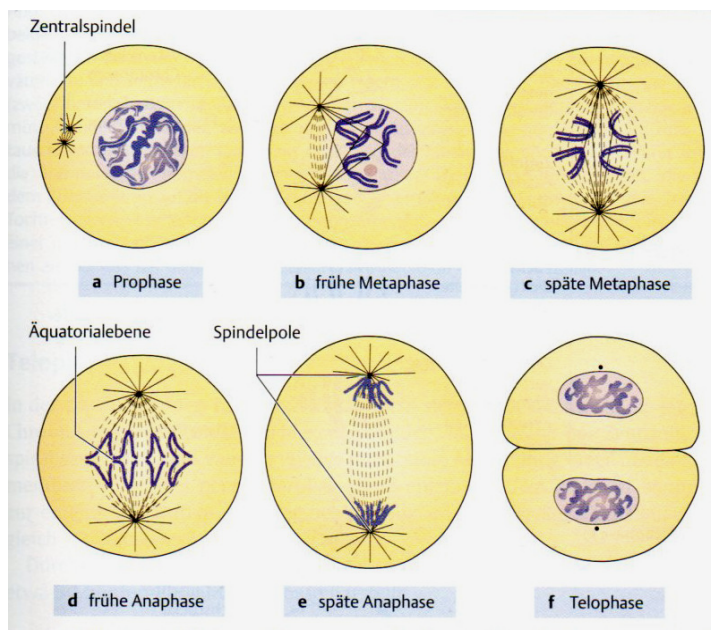
Weil der gesamte Chromosomensatz in der beschriebenen Form paarig angelegt ist, nennt man ihn „diploid“. Er besteht also insgesamt aus 46 Chromosomen. Im Gegensatz dazu nennt man einen einfachen Chromosomensatz, der nur aus 23 Chromosomen besteht, „haploid“.

Während ihrer Erzeugung aus den diploiden Urkeimzellen haben die Keimzellen in den Keimdrüsen - schon als Vorbereitung für eine spätere Befruchtung - in einer reduktiven Zellteilung (Meiose) ihren Chromosomensatz halbiert. Sie besitzen daher einen haploiden Chromosomensatz. Alle Eizellen weisen dabei ein X-Chromosom auf, alle Samenzellen entweder ein X- oder Y-Chromosom. Bei der Meiose werden aus dem diploiden Chromosomensatz der Urkeimzellen die homologen Chromosomen zufällig auf die Keimzellen verteilt. Außerdem erfolgt auch ein Austausch von Teilabschnitten homologer Chromosomen (crossing over), wodurch auch Gene auf homologen Chromosomen neu kombiniert werden können. Das ist durchaus sinnvoll für die genetische Vielfalt. Die für die Meiose charakteristische Neukombination von Genen in den Chromosomen kann auch zu verschiedenen Fehlbildungen führen (Chromosomenaberration).

Erfolgt beim Geschlechtsverkehr ein Samenerguss in die Scheide, dann können die Samenzellen über den Gebärmutterhals und die Gebärmutter in die Ampulle des Eileiters wandern. Befindet sich dort nach einer Ovulation eine Eizelle, dann kann maximal eine Samenzelle in die Eizelle eindringen (Imprägnation). Nach erfolgter Befruchtung vereinigen sich die „haploiden“ Chromosomensätze von Samenzelle und Eizelle zu einem normalen „diploiden“ Chromosomensatz. Nur wenn eine Samenzelle mit einem Y-Chromosom mit einer Eizelle verschmilzt, entsteht ein männlicher Organismus (XY). Andernfalls entsteht ein weiblicher Organismus (XX).

In seiner Einzigartigkeit ist jeder Mensch geprägt durch die Kombination von Erbinformationen, die beide Eltern ihm mitgegeben haben. Alle diese Informationen sind in den 46 Chromosomen der befruchteten Eizelle gespeichert. 23 dieser Chromosomen stammen vom Vater, 23 von der Mutter. Väterliche und mütterliche Chromosomen bilden jeweils Paare, die sich entsprechen (homologe Chromosomen).

Schematische Darstellung der beiden Formen von Kern- und Zellteilungen



Mitose (Einfache Kern- und Zellteilung)

a - Die Chromosomen im Kern werden durch Spiralisierung sichtbar und die Zentralspindel wird gebildet.

b - die Zentralspindel wird gestreckt und die Chromosomen wandern zum Äquator.

c - Die **Chromosomen** beginnen sich auf je zwei **Tochter-Chromatiden** aufzuteilen.

d - Die Tochter-Chromatiden liegen am Äquator einander gegenüber und beginnen zu den Polen der Spindel zu wandern.

e - Die Tochter-Chromatiden haben die Pole der Spindel erreicht.

f - Die Chromosomen entspiralisieren sich, eine Kernmembran wird ausgebildet und es kommt zur Durchschnürung des Zellkörpers.

Meiose (Reduktions- oder Reifeteilung)

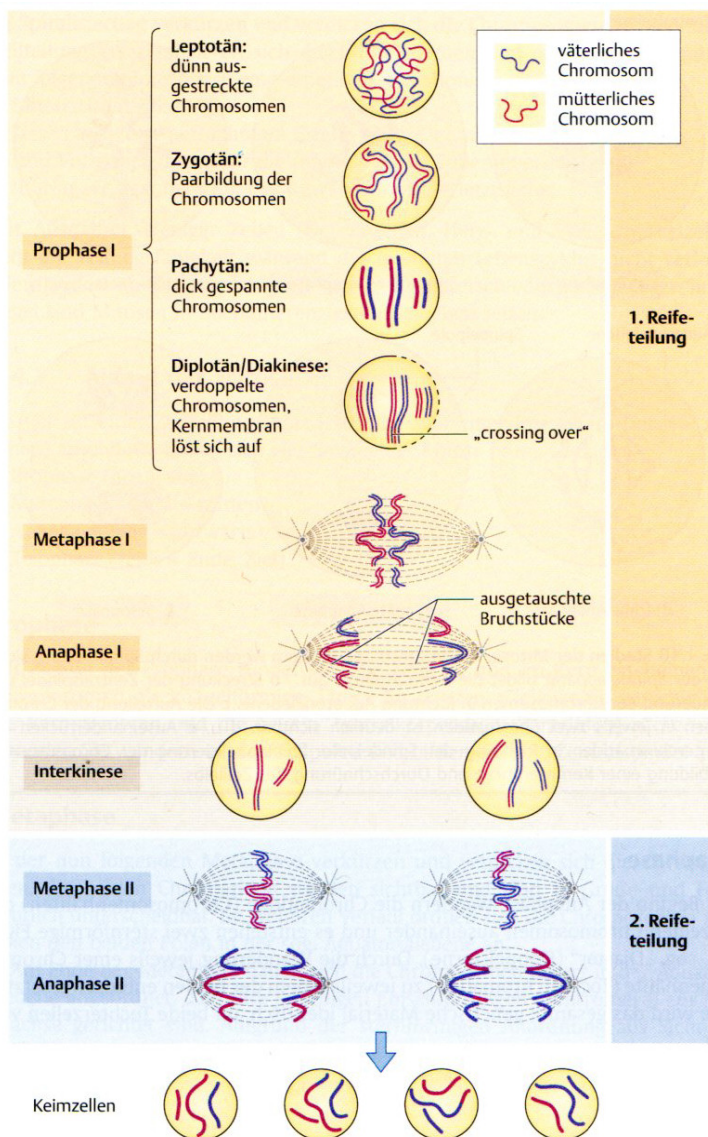
Aus Gründen der besseren Übersicht ist der Ablauf der zwei Reifeteilungen an einer Keimzelle mit drei Chromosomenpaaren dargestellt.

Im Pachytän der Prophase der 1. Reifeteilung werden die Chromatiden sichtbar, väterliche und mütterliche Chromosomen lagern sich aneinander und bilden drei Chromosomenpaare mit jeweils zwei Chromatiden. Dabei überlagern sich väterliche und mütterliche Chromatiden teilweise und beim Auseinanderweichen kommt es zum Austausch von Bruchstücken („crossing over“).

In der Metaphase der 1. Reifeteilung erfolgt die Trennung der homologen (der väterlichen und der mütterlichen) Chromosomen, die nach dem Zufallsprinzip auf die beiden Tochterzellen verteilt werden. Es entstehen dabei zwei haploide Tochterzellen mit einem einfachen Chromosomensatz.

In der 2. Reifeteilung erfolgt in Form einer mitotischen Zellteilung die Trennung der beiden Tochterchromatiden und es entstehen dann am Schluss der 1. und 2. Reifeteilung vier haploide Geschlechtszellen.

Anmerkung: Ein **Chromatid** besteht aus einem DNS-Doppelstrang und Stützproteinen. Je nachdem in welcher Teilungsphase eine Zelle gerade ist, enthält ein Chromosom einen oder zwei Chromatiden. Vor jeder Teilung muss die Zelle wachsen und ihr Erbgut verdoppeln (Replikation der DNS). Bei einer Mitose-Teilung der Zelle erhält dann jede Tochterzelle identische Kopien der Chromosomen.



Die nach der Befruchtung entstandene erste Zelle heißt „Zygote“. Nach der Imprägnation erfolgt eine normale Zellteilung (Mitose) der befruchteten Eizelle in zwei identische Tochterzellen. Im Anschluss erfolgen in kurzer Zeit immer mehr Zellteilungen. Nach drei Tagen ist der Keim eine vielzellige Kugel (Morula). Die entstehende Keimblase (Blastozyste) besteht aus etwa 200 omnipotenten Stammzellen. Nach der Einnistung in die Gebärmutterschleimhaut bilden sich durch Einstülpung (Gastrulation) drei unterschiedliche Keimblätter. Daraus entwickeln sich dann durch Zelldifferenzierung und Zellspezialisierung die Gewebe und Organe des Embryos. Dabei unterscheidet man Epithelgewebe (Oberflächenschutz), Binde- und Stützgewebe, Muskelgewebe und Nervengewebe. Aus verschiedenen Gewebeanteilen bestehen die einzelnen Organsysteme.

Bis zur achten Schwangerschaftswoche ist der heranwachsende Organismus geschlechtlich indifferent. Erst danach bilden sich Vorstufen der Sexualorgane, die unter dem Einfluss von androgenen Hormonen zu den männlichen Sexualorganen ausreifen. Das wichtigste Androgen ist das Testosteron, welches in den Hoden (Testes) produziert wird. Ohne ausreichende Androgenproduktion entwickeln sich weibliche Geschlechtsorgane.

Erst in der Pubertät bilden sich unter dem Einfluss der zwei Sexualhormone Androgen und Östrogen die sekundären männlichen und weiblichen Geschlechtsmerkmale aus. (Fettverteilung, Muskelmasse, Behaarung, Stimmlage). Jetzt steht die Ausschüttung der Sexualhormone durch die Keimdrüsen (Gonaden) unter der Kontrolle der Hirnanhangdrüse (Hypophyse) und ihrer Hormone LH (luteinisierendes Hormon) und FSH (follikelstimulierendes Hormon).

Der präoptische Kern und dorsomediale Regionen im Hypothalamus im Zwischenhirn spielen die Hauptrolle bei der Steuerung sexueller Reaktionen. Sie produzieren Releasing-Faktoren, welche die Hormonausschüttung in der Hypophyse steuern. Diese Kerngebiete sind zunächst sexuell dimorph, d.h. sie können sowohl weibliches als auch männliches Verhalten regeln. Erst unter dem Einfluss von Östrogenen und Androgenen bilden sich typische Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Hirnstrukturen heraus. So ist das mediale präoptische Kerngebiet im Hypothalamus im männlichen Gehirn viermal größer als im weiblichen. Hingegen enthält die Verbindungsbahn der beiden Hirnhälften (Balken) bei Frauen deutlich mehr Fasern als bei Männern. Diese geschlechtlichen Unterschiede in der Hirnstruktur sind die Grundlagen für die sexuelle Orientierung (männlich, weiblich) des Individuums.

Die geschlechtliche Typisierung erfolgt auf verschiedenen Ebenen:

- (1) *Das genetische Geschlecht (XY- oder XX-Chromosomen).*
- (2) *Das hormonale Geschlecht (Testosteron oder Östrogen).*
- (3) *Das morphologische (körperliche) Geschlecht, bestimmt durch die Sexualorgane.*
- (4) *Das psychologische Geschlecht, bestimmt durch die erlernte Identifikation mit der männlichen oder weiblichen Rolle in der Gesellschaft.*

Abweichungen von der Norm (Anomalien) ergeben sich aus der mangelnden Übereinstimmung der verschiedenen geschlechtlichen Typisierungsebenen. Bei dem männlichen Hermaphroditen handelt es sich genetisch immer um einen Mann (XY-Chromosom), bei dem aber durch einen Mangel an Androgenbildung die männlichen Genitalien verkümmern und die sekundären weiblichen Geschlechtsmerkmale (z.B. Brüste) verstärkt auftreten. Beim weiblichen Hermaphroditen handelt es sich genetisch immer um eine Frau (XX-Chromosom), bei der aber durch eine Hormonstörung ein Übermaß an Androgenen ausgeschüttet wird. Dabei sind die inneren Organe weiblich (Eierstöcke, Gebärmutter), aber die äußeren Sexualmerkmale männlich.

Bei der **Kastration** werden die Keimdrüsen entfernt. Dadurch wird die Bildung der jeweiligen Sexualhormone ausgeschaltet. So entwickeln sich maskulinisierte Weibchen und feminisierte Männchen.

[2.5.3] Die Vererbung von Merkmalen

Chromosomen sind die Träger der Erbinformationen. Die Vererbung und Ausprägung von Merkmalen vollzieht sich nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten. Eine Durchmischung und Neukombination des Erbmaterials während der Bildung der männlichen und weiblichen Keimzellen (Meiose), sowie bei Vereinigung von männlichem und weiblichem Erbmateriale bei der Befruchtung sind die Voraussetzungen für Individualität in all ihrer Vielfalt. Andererseits kann es dabei auch zu Störungen kommen, die zur Ausprägung von Erbkrankheiten führen.

Die jeweils in einem Chromosomen-Paar einander entsprechenden Gene werden auch als **Allele** bezeichnet. Sind diese Allele einander gleich, so spricht man in bezug auf dieses Erbmerkmal von reinerbig oder **homozygot**, sind die einander entsprechenden Allele hingegen voneinander verschieden, so wird dies als mischerbig oder **heterozygot** bezeichnet. Die Ausprägung der Merkmale bzw. die Vererbung auf die Nachkommen erfolgt nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten: Nicht alle Allele wirken nämlich in gleicher Weise prägend. So kann ein Gen stärker wirksam sein als das andere. Es wird dann als **dominant**, das schwächere als **rezessiv** bezeichnet. Dominante Gene setzen sich grundsätzlich gegenüber den rezessiven durch. Gleichwertige Allele führen zur Ausprägung beider Merkmale nebeneinander und heißen **kodominant**. Beispiele für die genannten Gesetzmäßigkeiten sind bei der Vererbung der vier Blutgruppen (A, B, AB, 0) zu finden. Die Gene für die Blutgruppen A und B sind kodominant. Das Gen für die Blutgruppe 0 hingegen ist rezessiv. Die sechs möglichen Genkombinationen führen zu vier Blutgruppen: AA→A, BB→B, AB→AB, A0→A, B0→B und 00→0. Somit gibt es hier drei Allele, sechs verschiedene Genotypen und vier verschiedene Phänotypen.

Die Menge aller Genvariationen in einer Population heißt „**Genpool**“. Im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung (Evolution) verändern sich die Gene durch Mutationen (d.h. spontane genetische Änderungen), Neukombinationen (bei der Meiose) und Gendrift (zufällige Veränderungen der Genhäufigkeiten). Wenn diese genetischen Änderungen einen Leistungsvorteil im Daseinskampf darstellen, dann werden sich genau diese Individuen durchsetzen und fortpflanzen. Dadurch hat sich aber der Genpool der Population vorteilhaft verändert.

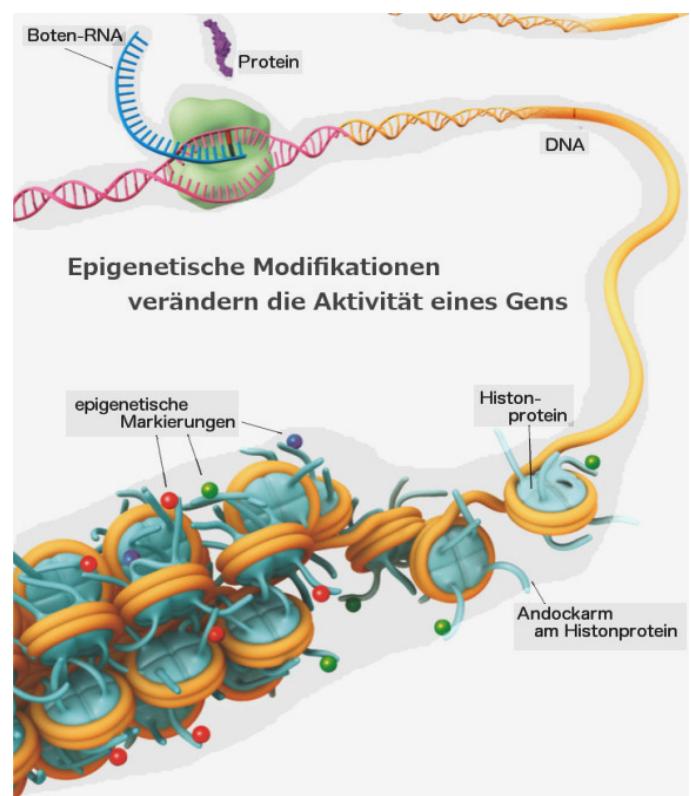
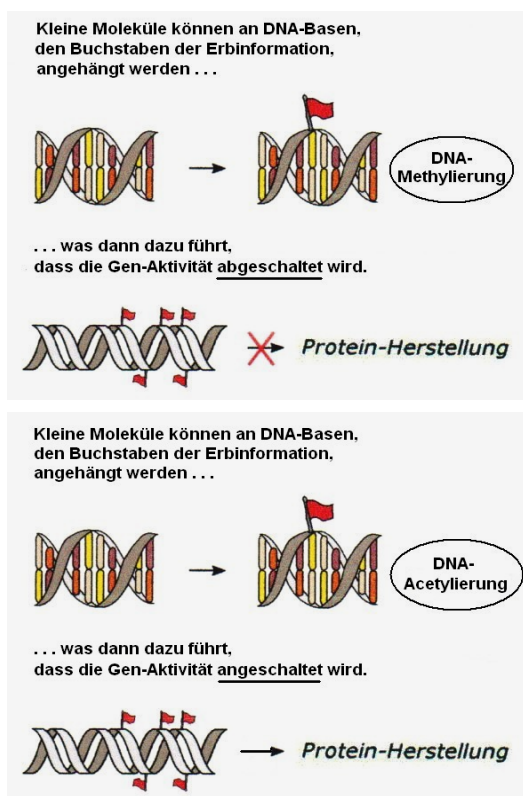
Die Hauptfaktoren der **Evolution** sind **Mutation** und **Selektion**. Die Fitness eines Lebewesens, d.h. seine Tauglichkeit für den Daseinskampf, hängt natürlich von allen seinen physischen und psychischen Leistungsmerkmalen (Phänotyp) ab. Diese sind durch seine genetische Ausstattung (Genotyp) und auch durch sein individuelles Fitnesstraining, das sich epigenetisch niederschlägt, gegeben. Jene Lebewesen, die nicht fit genug sind, gehen zugrunde - die anderen überleben. Das wird als Selektion bezeichnet, d.h. natürliche Auslese durch die Umwelt. Durch die Fortpflanzung fitter Lebewesen wird im Genpool der Population die Fitness reproduziert. Die Abweichung der mittleren Fitness einer Population von der Fitness des besten Genotyps nennt man die genetische Bürde der Population. Die genetische Bürde ist Voraussetzung dafür, dass Evolution überhaupt stattfinden kann. Hätten nämlich alle Individuen die größtmögliche Fitness, so gäbe es keine genetische Variabilität und damit auch keine natürliche Selektion.

Die Grundgedanken der Evolutionstheorie wurden von **Charles Darwin** (1809-1882) formuliert. Sie entstanden vor allem aus seinen Beobachtungen von Tierzüchtungen, wo der Züchter nur solche Formen auswählt (Selektion), deren Eigenschaften ihm besonders vorteilhaft erscheinen.

Epigenetik

Epigenetik beschreibt eine neue Ebene der genetischen Regulation. Dabei bestimmen äußere chemische Einflüsse, wann und in welchem Ausmaß welche Gene im Zellkern ein- und ausgeschaltet werden. Solche epigenetische Mechanismen spielen eine wichtige Rolle bei der Zelldifferenzierung. Sie erhöhen die Flexibilität des immer gleichen Erbguts der verschiedenen Zellen: Wie Haut-, Muskel-, Herz- oder Darmwandzellen ihre identischen DNA-Sequenzen einsetzen, kann unter epigenetischer Regulation auch von Umweltfaktoren abhängen. In dieser Konsequenz stößt die Epigenetik ein lang gehegtes Dogma der Biologie um, nämlich die Idee, dass die Eigenschaften eines Organismus durch das bei der Geburt vererbte Genmaterial unveränderbar bestimmt werden. Tatsächlich erlaubt die Epigenetik selbst schwachen Umweltveränderungen den Zugriff auf unser Erbgut – neue Forschungen zeigen, dass die Entstehung von Krankheiten oder die Veränderung von Persönlichkeitsmerkmalen epigenetisch beeinflusst sein können. So können frühkindliche Erfahrungen bei Kindern epigenetische Veränderungen verursachen, welche dann von diesen Kindern an die nächste Generation weitergegeben werden.

Im biochemischen Detail beeinflussen **epigenetische Regulatoren** dabei unter anderem, wie eng verpackt – und damit wie zugänglich – einzelne Genombereiche vorliegen. Geregelt wird der Zugriff zunächst durch das Anheften oder Ablösen kleiner chemischer Moleküle (Methyl- und Acetylgruppen). Das so modifizierbare Markierungsmuster des Genoms wird dann von Spezialenzymen gelesen, die weitere Schritte einleiten und beispielsweise Gene an- oder abschalten.



Epigenetische chemische Markierungen bestimmen die Packungsdichte des Chromatins – der geordnet geknäuelten Verpackungsform aus Histonproteinen und herumgewickelter DNA, in der unser Erbgut im Zellkern vorliegt. Die Modifizierungen bilden dabei Markierungsmuster, die ein Gen aktivieren oder stilllegen, wobei die im Gen enthaltenen Informationen stets unverändert bleiben. Methylgruppen binden sich zum Beispiel an bestimmte Stellen des DNA-Moleküls und hemmen dort die Aktivität des Genabschnitts. Acetylgruppen hingegen docken an Ausleger der Histonproteine an und steigern die Aktivität der Gene, indem sie die Packungsdichte senken und dem Ablesearrangement Zugang verschaffen. So wird die Genexpression epigenetisch gesteuert.

[2.5.4] Die embryonale Entwicklung

(1) Befruchtung

Die in die Scheide und bis in die Gebärmutter eingedrungenen Samenzellen (Spermien) müssen die ovulierte Eizelle im Anfangsteil des Eileiters aktiv aufsuchen. Von etwa 200 - 300 Millionen erreichen etwa nur 200 - 300 die Eizelle. (Geschwindigkeit etwa drei Millimeter in der Minute). Während die Spermien bis zu vier Tagen im Eileiter überleben können, müssen die Eizellen innerhalb von 12 bis 24 Stunden befruchtet werden. Beim *Befruchtungsvorgang* lassen sich drei Phasen unterscheiden:

Phase 1: Durchdringen der ersten Schutzhülle der Eizelle (Corona radiata).

Phase 2: Enzymatische Auflösung der zweiten Schutzhülle der Eizelle (Zona pellucida).

Phase 3: Fusion der Zellmembranen von Eizelle und Samenzelle. Dabei wird durch einen chemischen Polyspermieblock das weitere Eindringen von anderen Spermien in die Eizelle verhindert.

Zum Zeitpunkt der Befruchtung beendet die Eizelle ihre zweite Reifeteilung und bildet den *weiblichen Vorkern*, der mit dem männlichen Vorkern anschließend zur diploiden Zygote verschmilzt. In Abhängigkeit vom Geschlechtschromosom des männlichen Vorkerns (X oder Y) bildet sich ein weiblicher (XX) oder männlicher Keim (XY).

(2) Eileitertransport und Furchung

Während des fünftägigen Transportes des befruchteten Keims durch den Eileiter in die Gebärmutter beginnt die Zygote sich zu teilen (*Furchung*). Bis zum 8-Zellenstadium sind alle Tochterzellen *omnipotent*, d.h. jede von ihnen kann einen kompletten Organismus hervorbringen. Sie heißen *embryonale Stammzellen*. Danach erfolgt eine schrittweise Differenzierung der einzelnen Zellen. Ausgenommen davon sind die adulten Stammzellen, deren Entwicklungspotenz jedoch bereits eingeschränkt ist, z. B. die blutbildenden Stammzellen im Knochenmark. Ab dem 16-Zellenstadium spricht man von einer *Morula* (Maulbeere), danach entsteht die Keimblase (Blastozyste) mit einer äußeren Zellhülle (Trophoblast) und einer inneren Zellgruppe (Embryoblast).

(3) Implantation und Ausbildung des Mutterkuchens

Als *Implantation* bezeichnet man die Einnistung der Blastozyste in der Gebärmutterschleimhaut, rund fünf Tage nach der Befruchtung. Die Schleimhaut erreicht den Höhepunkt der Sekretionsphase und wird nun als Mutterkuchen (Plazenta) bezeichnet. Der *Trophoblast* bildet die Keimhülle in der Plazenta. Der *Embryoblast* bildet den eigentlichen Embryo bzw. späteren Fetus. Die *Plazenta* dient dem heranwachsenden Keim zur Ernährung, übernimmt den Stoff- und Gasaustausch, sichert den Fortbestand der Schwangerschaft und produziert auch Hormone (Östrogene, Progesterone, Choriongonadotropine).

Die Plazenta besteht aus einem kindlichen (fetalen) Teil mit Chorionplatte und Plazentazotten (Chorionzotten), in denen die kindlichen Gefäße verlaufen, sowie aus einem mütterlichen Teil in der Uterusschleimhaut mit Spiralarterien und Zwischenräumen, wo sich das mütterliche Blut befindet. Die Gesamtzottenoberfläche beträgt ca. 20 m². Eine reife Plazenta hat einen Durchmesser von ca. 18 cm und ein Gewicht von 500 g. Die *Plazentaschranke* dient der Trennung von mütterlichem und kindlichem Blut und wird gebildet vom Zottenepithel, vom Zottenbindegewebe und der Gefäßwand der kindlichen Gefäße. Sie besitzt eine selektive Durchlässigkeit für bestimmte Stoffe.

Die *Nabelschnur* verbindet die Plazenta mit dem kindlichen Organismus und enthält eine Nabelvene (in ihr fließt sauerstoffreiches Blut von der Plazenta zum Kind) und zwei Nabelarterien (dort fließt sauerstoffarmes Blut vom Kind zur Plazenta).

(4) Früh- und Embryonalentwicklung

Nach der Frühentwicklung (Eileitertransport, Implantation und Bildung der Keimscheibe in der ersten bis dritten Woche) beginnt die *Embryonalperiode* (Abfaltung des Keimes, der jetzt Embryo heißt, und Organogenese in der vierten bis achten Woche). Sie endet mit der achten Schwangerschaftswoche.

Zunächst bildet sich durch Einstülpung (Gastrulation) eine zweiblättrige Keimscheibe mit dem äußeren **Ektoderm** und dem inneren **Entoderm**. Das Entoderm wird auch als Urdarm bezeichnet und seine Öffnung nach außen als Urmund. Später bildet sich dann eine dreiblättrige Keimscheibe mit dem mittleren Keimblatt, dem **Mesoderm**. Das Mesoderm entsteht im Bereich des Primitivstreifens an der ektodermalen Oberfläche der Keimscheibe und wandert in die Tiefe. Am vorderen Ende (Primitivknoten) bildet sich der Kopffortsatz (Chordaanlage).

Als Abkömmlinge der *Keimblätter* entwickeln sich: das Zentralnervensystem und das Oberflächenepithel aus dem Ektoderm, das Skelett, die Skelettmuskulatur, die Kreislauforgane und der Harn- und Geschlechtsapparat aus dem Mesoderm und die spätere epitheliale Auskleidung der Verdauungswege und Atemwege aus dem Entoderm.

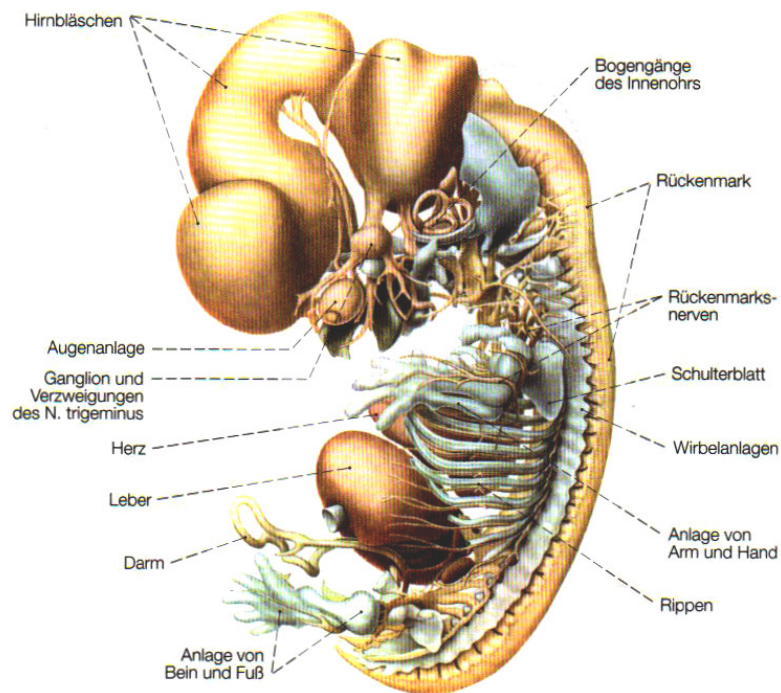
Bei der Ausbildung der *Körperform* kommt es dann zu: Abfaltung der Grundform aus der Keimscheibe am Ende der vierten Woche, Bildung der Extremitätenanlagen zu Beginn der fünften Woche, Krümmung des Embryos und Auftreten der Scheitel- und Nackenbeuge zwischen fünfter und siebenter Woche. Am Ende der Embryonalperiode nimmt der Kopf etwa 50% der Gesamtlänge ein.

Am Ende der Embryonalentwicklung liegt der Embryo geschützt in einer mit Fruchtwasser gefüllten *Amnionhöhle* (Fruchtwasserhöhle), die sich dann vergrößert und am Ende der Schwangerschaft etwa ein Liter Fruchtwasser (Amnionflüssigkeit) enthält.

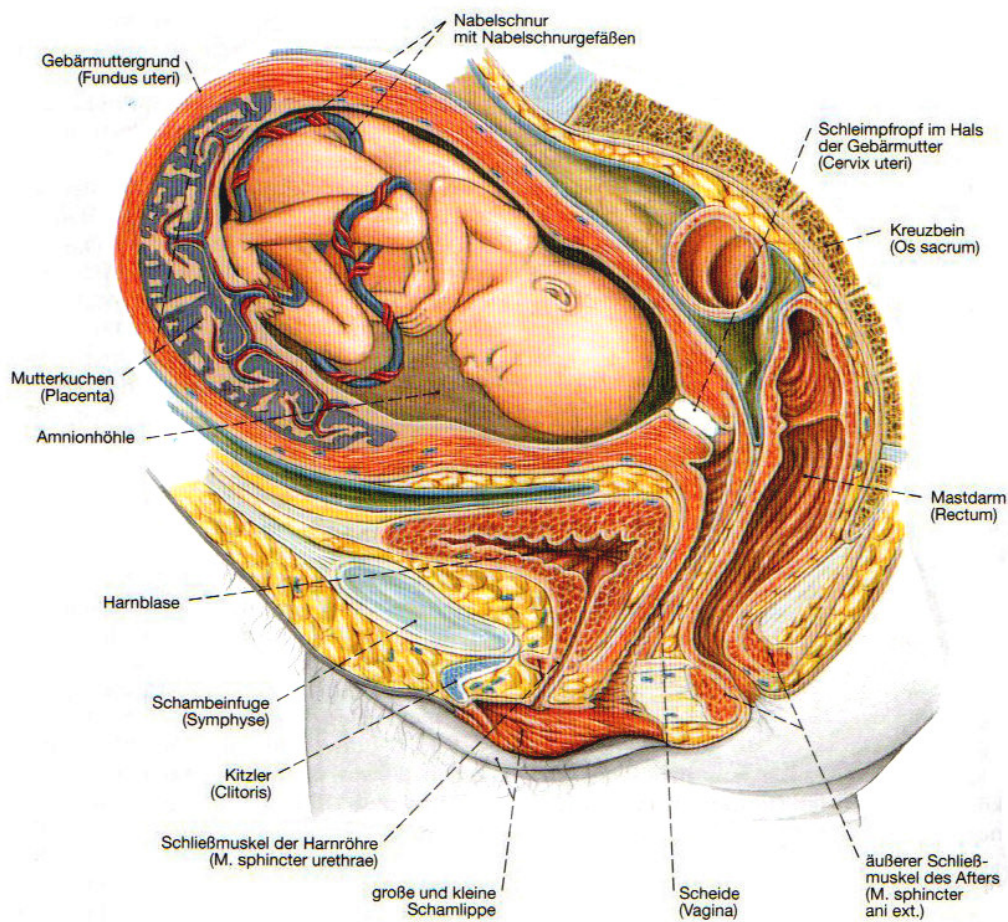
(5) Fetusentwicklung

Von Beginn der 9. Schwangerschaftswoche bis zum Geburtstermin nennt man den Keim Fetus. Innerhalb der Fetalperiode kommt es zum Wachstum und zur Differenzierung der Organsysteme. Die Längenzunahme (in cm) steht in Abhängigkeit vom Schwangerschaftsmonat (Haase-Regel): die Gesamtlänge des Fetus im 4. und 5. Monat entspricht dem Quadrat der Monatszahl, ab dem 6. Monat dem Fünffachen der Monatszahl. Die Kontrolle des fetalen Wachstums wird meistens mithilfe des Ultraschalls durchgeführt.

Die *anatomischen Reifezeichen* zum Zeitpunkt der Geburt sind: eine Scheitel-Fersen-Länge von rund 50 cm, eine Scheitel-Steiß-Länge von rund 33 cm, ein Gewicht von rund 3300 g, Finger- und Zehennägel, welche die Finger- bzw. Zehenkuppen überragen. Bei Jungen sind die Hoden im Hodensack. Bei Mädchen bedecken die großen Schamlippen die kleinen Schamlippen. Zu den *funktionellen Reifezeichen* zum Zeitpunkt der Geburt gehört die Beurteilung von Hautfarbe, Atmung, Herzfrequenz, Muskeltonus und neuromuskulären Reflexen. Die *Schwangerschaftsdauer* beträgt 280 Tage, berechnet vom ersten Tag der letzten Regelblutung, oder 266 Tage, berechnet vom Zeitpunkt des Eisprungs bzw. der Befruchtung.



Die Abbildung zeigt einen Embryo in der sechsten Schwangerschaftswoche.

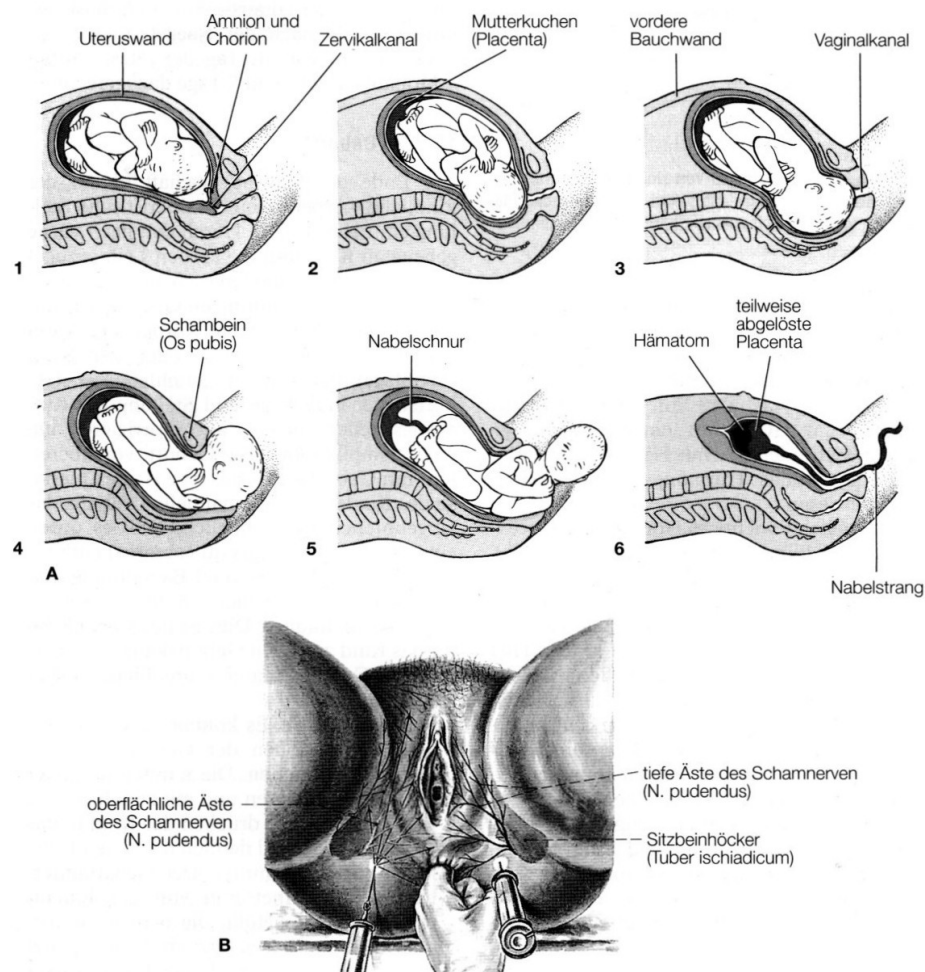


Die Abbildung zeigt einen Embryo in der zweiten Schwangerschaftshälfte in der Gebärmutter.

(6) Geburt

Man unterscheidet eine Eröffnungsphase und eine Austreibungsphase. In der *Eröffnungsphase* tritt der kindliche Kopf in den Beckeneingang. Die mit Amnionflüssigkeit gefüllte Fruchtblase weitet die Weichteile des Geburtskanals und zerplatzt. Der äußere Muttermund öffnet sich. Eine Anästhesie des Nervus pudendus bzw. eine Periduralanästhesie wird dann eingesetzt, wenn eine Saugglocke oder eine Zange oder ein Dammschnitt erforderlich ist. (Der Damm ist der Muskelwulst zwischen dem Genitalbereich und dem After).

Die *Austreibungsphase* beginnt mit rhythmischen Presswehen der Gebärmutter (unterstützt durch die Bauchpresse) und der Drehung des kindlichen Kopfes im Geburtskanal um 90° mit anschließendem Durchtritt durch die äußeren Geschlechtsorgane. Nach erfolgter Geburt wird die Nabelschnur unterbunden (Entbindung bzw. Abnabelung). Die Plazenta wird abgestoßen und erscheint als *Nachgeburst* etwa 30 Minuten später.

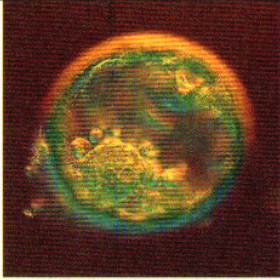
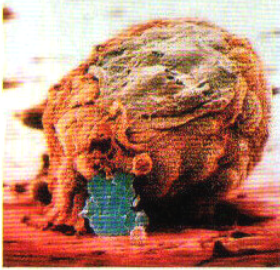


Darstellung des Geburtsvorgangs (A) und Anästhesie der Dammregion (B).
A: 1 und 2: Eröffnungsphase. 3–5: Austreibungsphase. 6: Nachgeburtphase.
B: Injektion zur Blockade der Erregungsleitung des N. pudendus (Pudendusnästhesie).

(7) Postnatale Entwicklung

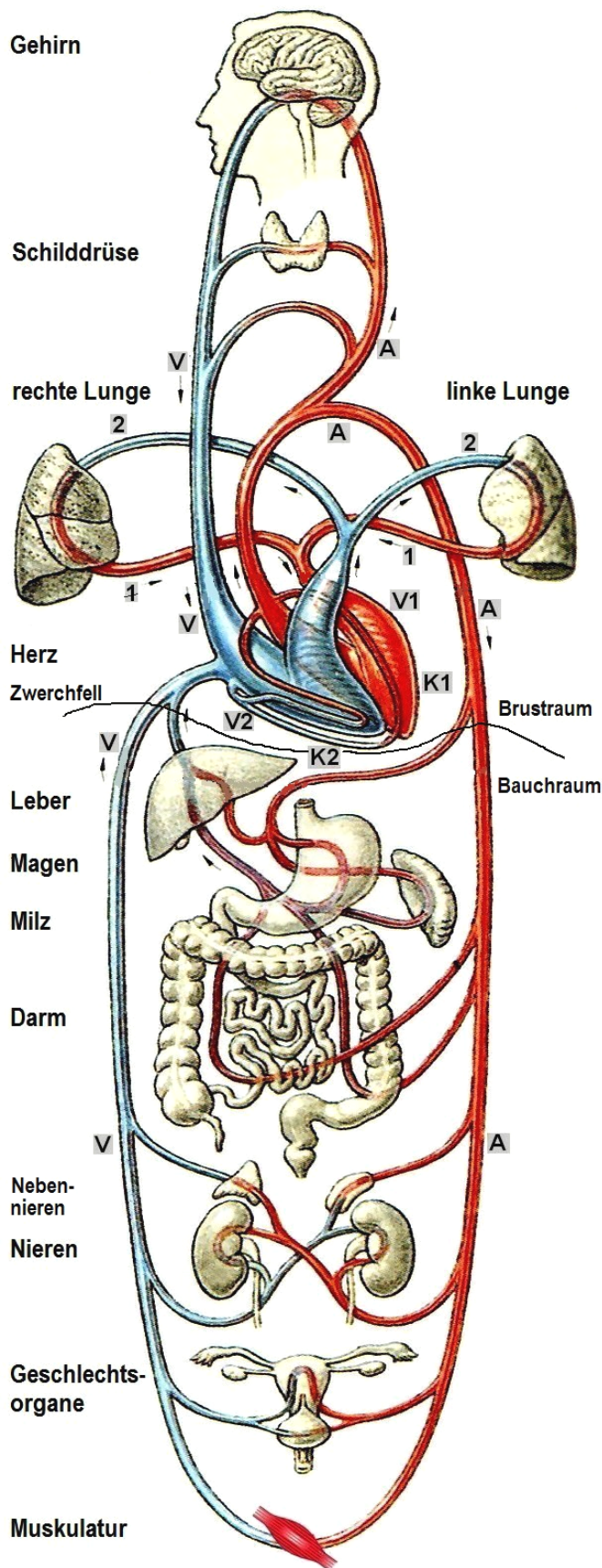
- Neugeborenenalter (bis Ende der 4. Woche)
- Säuglingsalter (bis Ende des 1. Lebensjahres)
- Kleinkindalter (bis Ende des 5. Lebensjahres)
- Schulalter (bis zum 14. Lebensjahr)
- Adoleszenz (bis zum Erwachsenenalter)

Die abschließende Tabelle gibt eine Übersicht über die Entwicklungsstadien des Embryos.

Keim-alter	Größe	Entwicklungsschritte (nach Keith Moore)	
1. Woche	(Scheitel-Steiß-Länge)	1 Befruchtung 2 2-Zellen-Stadium, Maulbeerstadium 3 Blastozyste 4 Einnistung in Gebärmutter- schleimhaut beginnt	 Blastozystenstadium
2. Woche	bis 1 mm	5 Einnistung in die Gebärmutter- schleimhaut mit Bildung der Keimscheibe (Ektoderm, Endoderm) sowie Dottersack und Amnionhöhle beginnende Placentabildung 6	 Einnistung in die Gebärmutter-schleimh.
3./4. Woche	3. Wo 1,5 mm 4. Wo 4 mm	7 3. Keimblatt (Mesoderm) entsteht 8 Bildung von Chorda dors. und Neuralrinne, (Anlage des Nervensystems) 9 Somitenbildung (Ursegmente) 10 Neuralrohr faltet sich ab Kreislauf funktionstüchtig 11 Gehirnanlage vorhanden 12 Arm- und Beinknospen	 Keim mit Dottersack
5./6. Woche	5. Wo 8 mm 6. Wo 13 mm	13 Sinnesorgane (Auge, Ohr ...) entstehen primitive Mundhöhle 14 Handplatten (Paddel) Gesichtswülste 15 Hirnbläschen, Fußplatten Gesichtsbildung 16 Oberlippen- und Gaumenbildung Netzhautbildung	 Hand- und Gesichtsentwicklung
7./8. Woche	7. Wo 18 mm 8. Wo 30 mm	17 Finger entstehen 18 Augenlider, Zehen entstehen Knochenbildung beginnt Verlängerung und Aufrichtung des Rumpfes 19 Arme in Ellenbogen abgewinkelt, Finger getrennt 20 21 Genitale erkennbar, aber nicht differenziert 22 Anlage aller wichtigen äußeren und inneren Organe vorhanden erste spontane elektrische Aktivität, muskuläre Reaktion auf äußere Reize	 Finger entstanden  Ultraschallbild eines Feten in der 14. Woche. Profilaufnahme von Kopf und Körper in normaler Amnionhöhle
	(Scheitel-Fersenlänge) Lunarmonat: 3 9 cm 4 16 cm 5 25 cm 6 30 cm 7 35 cm 8 40 cm 9 45 cm 10 50 cm	Weitere Differenzierung und Wachstum – morphologische und funktion. Ausreifung der Organe: – Ausbildung der Körperformen 9. Wo: erste spontane Bewegungen (Rückenmarksreifung) 10. Wo: Gesicht zeigt menschl. Profil 12. Wo: Differenzierung des äußeren Genitales 4.–5. Mo: Saug- und Greifreflexe vorhanden, Atemzentrum wird funktionstüchtig, Muskel-Sehnenreflexe auslösbar; Reifung des Großhirns beginnt 6. Mo: Sinnesleistungen (Hören, Schmecken, Sehen, Schmerzempfindung) nachweisbar	 Daumenlutscher  Ultraschallbild des kindlichen Gesichts im 3. Schwangerschaftsdrittel, 3dimensionale Sonographie-Technik

Geburt

Übersicht über das Kreislaufsystem



Beim Einatmen gelangt der Sauerstoff O_2 aus der Luft über Nase bzw. Mund und Luftröhre in die Lungen. Zum Transport wird O_2 an den roten Blutfarbstoff (Hb, Hämoglobin) gebunden. Über die Lungenvenen (*I*) fließt das sauerstoffreiche Blut zum linken Vorhof des Herzens (*V1*) und in die linke Herzkammer (*K1*). Von dort wird es durch Muskelkontraktionen in die obere und untere Hauptschlagader (*A*) gepumpt. Dabei verhindern die Herzklappen einen Rückfluss des Blutes. Arterien sind Blutgefäße, die **vom** Herzen weg führen. Venen führen **zum** Herzen.

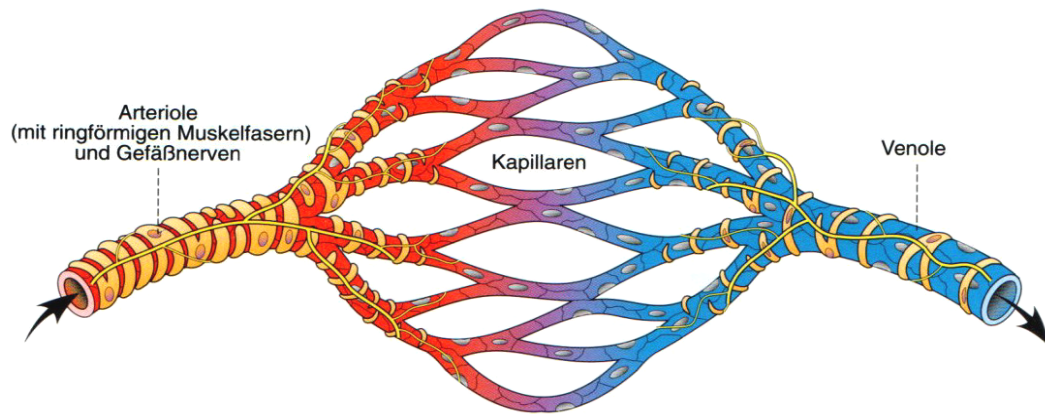
Ausgehend von der Hauptschlagader verteilt sich das sauerstoffreiche Blut dann im Körper und versorgt so die Zellen mit Sauerstoff aus den Lungen und auch mit Zucker aus der Leber. Der Zucker wird mithilfe des Sauerstoffs in den Körperzellen verbrannt (biologische Oxidation) und liefert dabei Energie, die beispielsweise für die Kontraktion der Muskelfasern benötigt wird.

Umgekehrt geben die Zellen die Stoffwechsel-Endprodukte Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O an das Blut ab. Das so angereicherte Blut gelangt über die Hohlvene (*V*) zum rechten Vorhof (*V2*) und in die rechte Herzkammer (*K2*).

Von hier aus wird es durch Kontraktionen in die zwei Lungenarterien (*2*) gepumpt. Beim Ausatmen gelangt das Kohlendioxid aus den Lungen über Luftröhre und Mund bzw. Nase in die Luft. Das Wasser hingegen wird über die Nieren, Harnleiter, Harnblase und Harnröhre ausgeschieden.

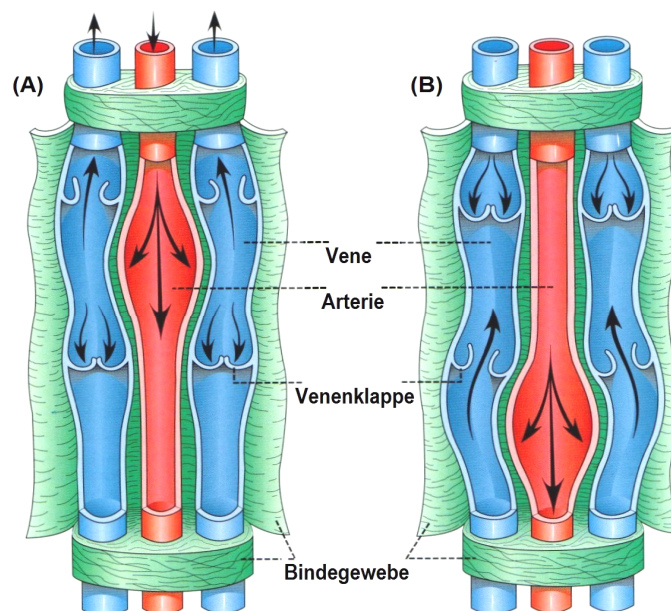
Hinweis: Im oberen und unteren Kreislauf des Körpers sind die Arterien mit (*A*) und die Venen mit (*V*) bezeichnet. Im Lungenkreislauf sind sie jedoch mit (*2*) und (*1*) bezeichnet.

Das Herz pumpt zunächst das Blut in die großen Arterien. Diese verzweigen sich in die kleinen Arteriolen und verästeln sich dann in die kleinsten Kapillargefäße. Durch die Wand der Kapillaren erfolgt der Stoffaustausch mit dem umliegenden Gewebe und seinen Zellen. Unter **Diffusion** versteht man den Transport eines Stoffes von einem Ort der höheren zu einem Ort der niedrigeren Stoffkonzentration. Dafür muss keine Energie aufgewendet werden. Unter **Osmose** versteht man die Diffusion von Wasser durch halbdurchlässige Membranen (d.h. Trennwände, die durch ihre Poren zwar für Wasser, nicht aber für gelöste Stoffe durchlässig sind).



Endstrombahn des Blutes mit einer Arteriole, den Kapillarverästelungen und einer Venole
schwarze Pfeile = Flußrichtung des Blutes

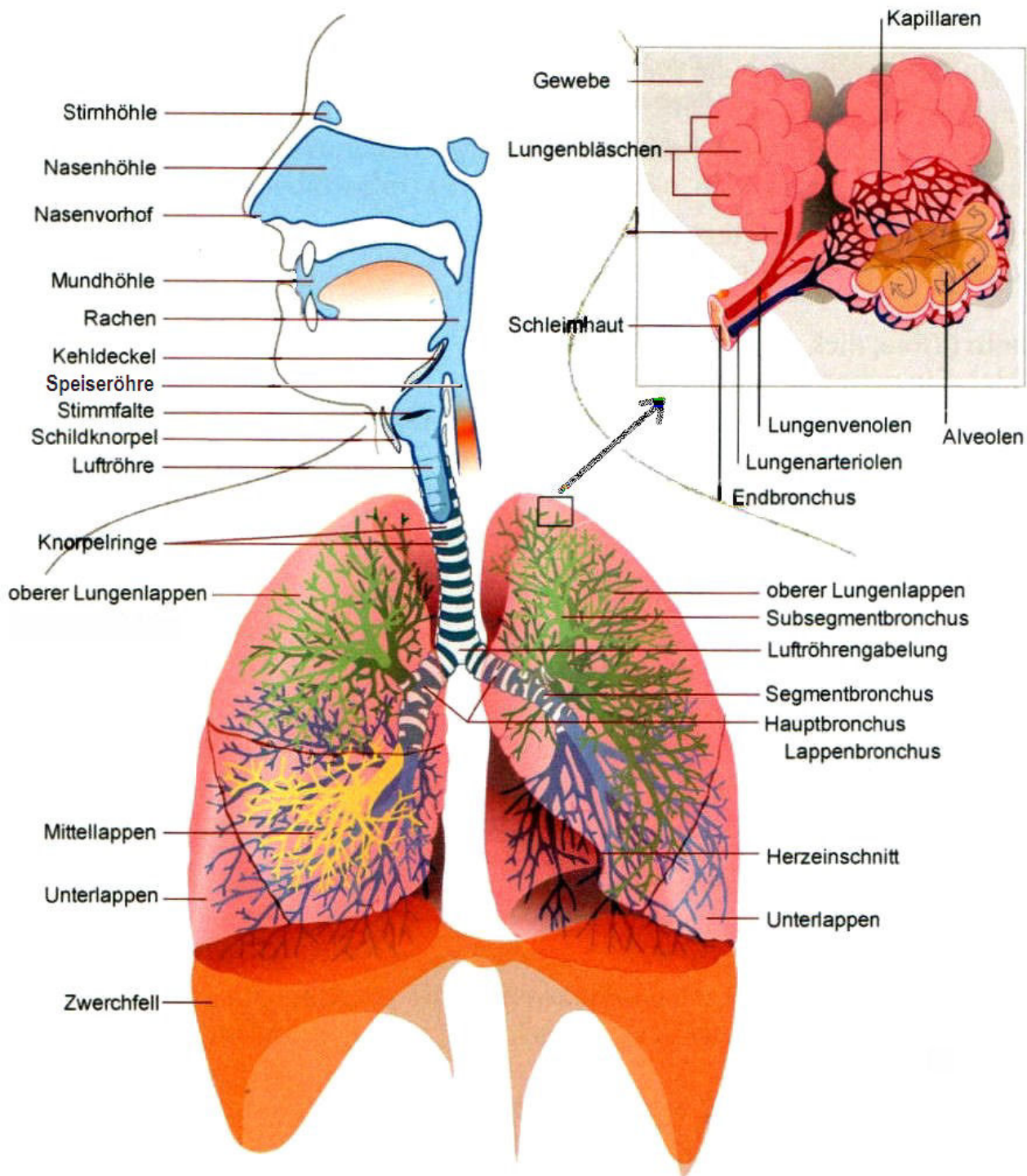
Der Abfluss des Blutes erfolgt über die Venen. Die Blutbewegung in den Venen kommt durch verschiedene Mechanismen zustande. Neben der Sogwirkung aus dem Herzen spielen vor allem Muskelkontraktionen und die arteriovenöse Kopplung in Zusammenarbeit mit den Venenklappen eine wichtige Rolle. Dabei wird der venöse Blutstrom durch die Pulswelle der benachbarten Arterie unterstützt. Die Venenklappen verhindern den Rückstrom des Blutes. Die unten stehende Grafik veranschaulicht diesen Zusammenhang. (A) und (B) zeigen die Strömungsverhältnisse an zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten.



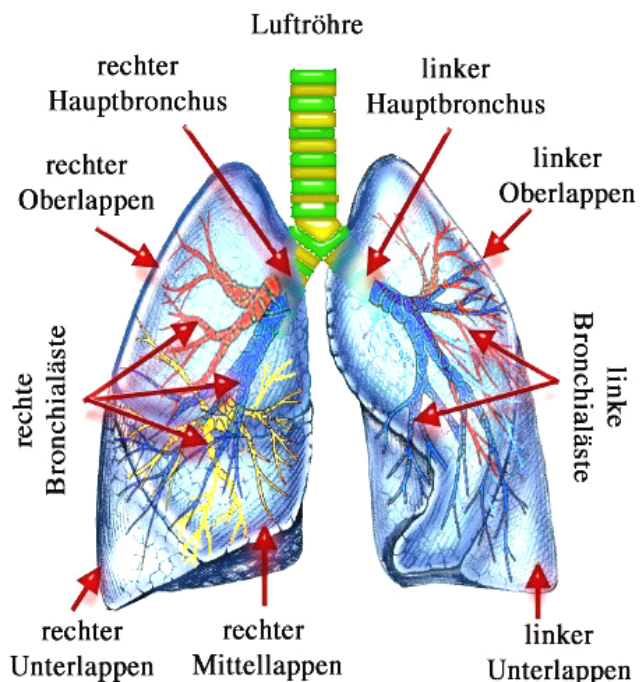
Anmerkung: Das Gas Stickstoffmonoxid (NO) kann direkt im Körpergewebe gebildet werden, wobei die NO-Synthese aus der Aminosäure Arginin erfolgt. NO bewirkt über eine Kette von chemischen Prozessen eine lokale Erschlaffung der glatten Gefäßmuskulatur und damit eine Erweiterung der Blutgefäße (Vasodilatation). Diese wird bei der Behandlung von verschiedenen Krankheiten genutzt, z.B. bei Angina pectoris (Nitrospray) oder bei Erektionsstörungen (Viagra).

[2.6.2] Atmungssystem und Lunge (Pulmo)

Gesamtübersicht



Unter dem Begriff **Bronchialsystem** oder **Bronchialbaum** (*Arbor bronchialis*) werden die in der Lunge verlaufenden röhrenförmigen Atemwege unterhalb der Luftröhre (Trachea) zusammengefasst. In ihnen wird die Luft von der Luftröhre zu den Lungenbläschen (Alveolen) in den Lungenlappen befördert.



Das Atmungssystem besteht aus oberen und unteren Atemwegen. Zu den oberen zählen die Nase, die Nasenhöhlen und der Rachen (Pharynx). Hier wird die Atemluft erwärmt, befeuchtet und auch gereinigt. Zu den unteren Atemwegen zählen Kehlkopf (Larynx), Luftröhre (Trachea) und Lunge mit Bronchien, wo der eigentliche Gasaustausch stattfindet.

Im Kehlkopf erfolgt mit Hilfe des Stimmapparates (Schild- und Stellknorpeln, Stimmlippen und Stimmbänder) die Stimmgebung. Dabei werden entsprechend den motorischen Nervensignalen die beiden Stimmbänder gespannt und beim Ausatmen in Schwingungen versetzt, was verschieden hohe Töne erzeugt.

Beim Schlucken wird reflektorisch der Nasenraum verschlossen, und der Kehlkopfdeckel verschließt die Luftröhre, so dass die Nahrung in die dahinter liegende Speiseröhre gelangt.

Die Lunge wird von einer zweischichtigen Hülle (Pleura) umgeben, die außen aus dem Rippenfell und innen aus dem Lungenfell besteht, die luftdicht aneinander liegen. Bei Stichverletzungen kann es zum Lufteintritt kommen und die Lunge fällt in sich zusammen (Pneumothorax).

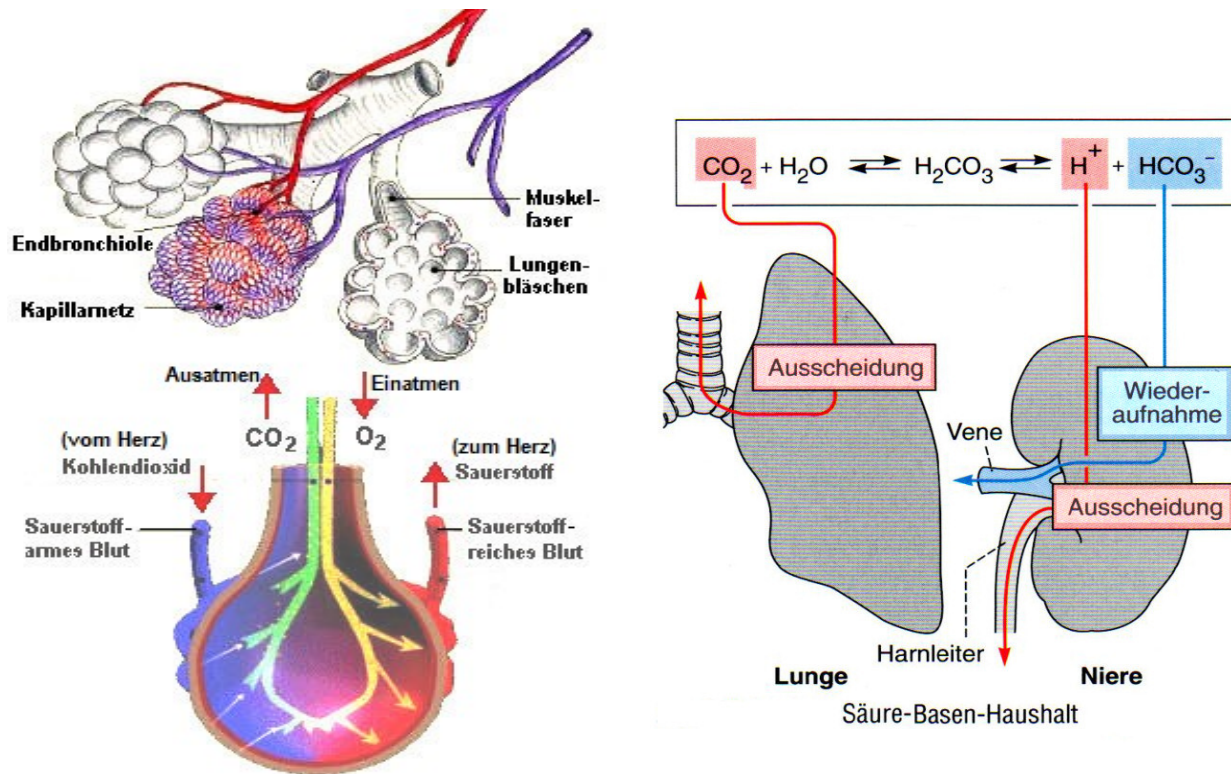
Die Lunge besteht aus zwei Lungenflügeln. Der linke Lungenflügel ist kleiner als der rechte Lungenflügel. Er enthält nur zwei statt drei Lappen. Von oben kommt die Luftröhre und verzweigt in die Äste der Bronchien. Dieses Röhrensystem endet in den kleinen **Lungenbläschen** (Alveolen), wovon es etwa 300 Millionen gibt. Das zwischen den Alveolen liegende Bindegewebe enthält die Aufzweigungen der Lungenvene und der Lungenarterie. Im kleinen Kreislauf fließt das Blut zwischen Herz und Lunge, im großen Kreislauf zwischen Herz und restlichem Körpergewebe. In den Venen fließt das Blut immer **zum** Herzen, in den Arterien hingegen weg **vom** Herzen. Das unterhalb von Lunge und Herz liegende **Zwerchfell** trennt den Brustraum vom Bauchraum. Der gesamte Bauchraum wird von einer dünnen Haut (Bauchfell, Peritoneum) ausgekleidet. Bei Infektionen kann es zu einer Bauchfellentzündung (Peritonitis) kommen.

An der von den Lungenbläschen gebildeten Gesamtfläche (ca. 140 m²) findet der **Gasaustausch** zwischen den in der Luft befindlichen und den im Blutkapillarnetz befindlichen Gasen statt.

Beim **Einatmen** wird der Brustraum mit Hilfe von Zwerchfellmuskeln, Zwischenrippenmuskeln und Brustmuskeln vergrößert, so dass sich die gesamte Lunge mit Luft füllen kann. Dabei herrscht ein Druckgefälle zwischen dem eingeatmeten **Sauerstoff** (O₂) in den Alveolen und dem im Blut der Kapillargefäße der Lungenvene befindlichen Sauerstoff. Daher diffundiert der Sauerstoff ins Blut, wo er von den roten Blutkörperchen aufgenommen und mit dem roten Blutfarbstoff (**Hämoglobin**, Hb) verbunden wird (O₂ + Hb → HbO₂). Das Blut wird nun aus der Lungenvene durch das Herz über den großen Kreislauf in die arteriellen Gefäße des Körpergewebes gepumpt. Im Gewebe wird der Sauerstoff aus dem Hämoglobin gelöst (HbO₂ → Hb + O₂) und diffundiert aus den Kapillargefäßen in die einzelnen Körperzellen. Dort wird dann mit seiner Hilfe der Zucker verbrannt (**biologische Oxidation**). Dabei wird Energie freigesetzt, die für verschiedene Funktionen der Zellen verwendet wird.

Bei der biologischen Oxidation in den Zellen entstehen als Endprodukte **Wasser** (H_2O) und **Kohlendioxid** (CO_2). Wegen herrschender Druckunterschiede diffundiert das Kohlendioxid aus den Körperzellen in die venösen Blutgefäße. Dann wird es über das Herz in die Lungenarterie transportiert. Wieder auf Grund des bestehenden Druckgefälles zwischen Blut und Luft diffundiert das CO_2 aus den Blutgefäßen in die Lungenbläschen. Zuletzt erfolgt die **Ausatmung**.

Die Einatemluft enthält 21% Sauerstoff und 0,05% Kohlendioxid. Die Ausatemluft hingegen enthält 15% Sauerstoff und 4% Kohlendioxid.



Wichtig ist die Regulation des **Säure-Base-Haushalts**. Dabei wirkt Bikarbonat (HCO_3^-) als Base und bindet die H^+ -Ionen von Säuren. Die entstehende Kohlensäure H_2CO_3 zerfällt in Wasser H_2O und Kohlendioxid CO_2 , das dann über die Lunge ausgeatmet wird. Dieses Puffersystem wird durch eine chemische Gleichung beschrieben: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Im neutralen Blut beträgt der pH-Wert 7,40. Bei pH-Werten $< 7,36$ liegt eine Übersäuerung (Azidose) vor. Bei pH-Werten $> 7,44$ liegt hingegen ein Basenüberschuss (Alkalose) vor.

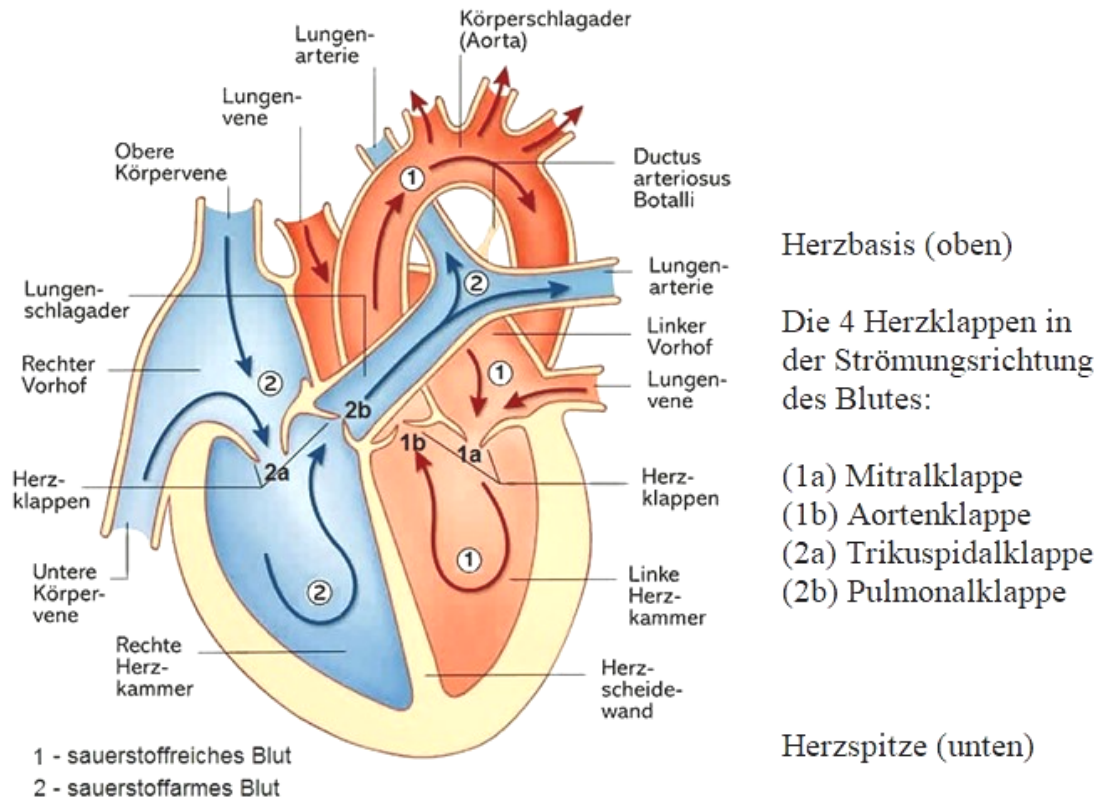
Um eine schädliche Übersäuerung zu verhindern, muss das Kohlendioxid ausgeatmet werden. Durch starke Atmung (Hyperventilation) wird das Blut alkalisch, durch schwache Atmung (Hypoventilation) wird es sauer. So kann die Atmung den **Säure-Base-Haushalt** regulieren. Bei der Regulation durch die Nieren hingegen werden Wasserstoffionen H^+ ausgeschieden (NH_4^+).

Die unwillkürliche Atemtätigkeit wird durch das **Atemzentrum** im verlängerten Rückenmark des Gehirns gesteuert. Dabei sprechen Chemorezeptoren auf den CO_2 -Gehalt des Blutes an. Übersteigt dieser einen bestimmten Schwellenwert, dann feuern die Neuronen des Atemzentrums und setzen über vegetative, motorische Nerven die Atemtätigkeit in Gang. Über sensible Fasern des Nervus vagus wird die Ausdehnung der Lunge erfasst. Übersteigt diese einen bestimmten Grenzwert, dann wird die Einatmung reflektorisch beendet.

Die **Atemfrequenz** beträgt beim Erwachsenen in Ruhe 10 bis 15 Atemzüge pro Minute. Dabei ist das durchschnittliche **Atemzugsvolumen** etwa 0,5 Liter. Das Atemminutenvolumen ist das Produkt aus Atemfrequenz und Atemzugsvolumen, also beispielsweise $10 \cdot 0,5 = 5$ Liter.

[2.6.3] Das Herz (Cor bzw. Kardia)

Das Herz liegt im bindegewebigen Herzbeutel (Perikard) hinter dem Brustbein und oberhalb des Zwerchfells. Es wiegt rund 300 g. Die Wand des Herzens besteht aus einer äußeren Bindegewebsschicht (Epikard), die von einer dünnen Fettschicht gefolgt wird. Sie enthält die Herzkranzgefäße (Koronargefäße), welche die darunter liegende kräftige Muskelschicht (Myokard) versorgen. Ganz innen liegt die dünne Herzzinnenhaut (Endokard). Die vier Herzklappen werden vom Endokard gebildet und sind an einer Bindegewebsplatte, dem Herzskelett, aufgehängt.



Das Herz wird durch eine Scheidewand (Septum) in zwei Hälften unterteilt. Jede Herzhälfte enthält einen Vorhof (Antrium) und eine Kammer (Ventrikel). Zwischen den Vorhöfen und den Kammern, so wie zwischen den Kammern und den anschließenden großen Blutbahnen liegen die Herzklappen. Sie arbeiten wie Rückschlagventile, so dass das Blut nur in eine Richtung fließen kann. Durch seine Muskelkontraktionen pumpt das Herz das Blut in die Arterien.

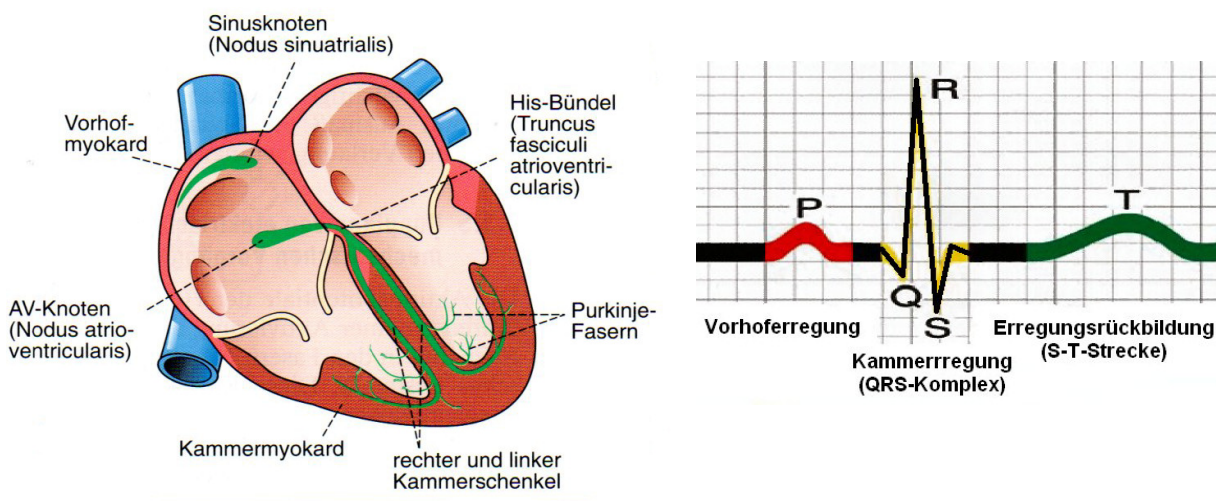
Arterien transportieren das Blut vom Herzen zu den Organen, Venen jedoch von den Organen zum Herzen. Die Arterien des Körperkreislaufs führen sauerstoffreiches (arterielles) Blut, während die Arterien des Lungenkreislaufs sauerstoffarmes (venöses) Blut führen. Umgekehrt ist das Blut in den Venen des Körperkreislaufs sauerstoffarm (venös) und das der Lungenvenen sauerstoffreich (arteriell).

In den rechten Vorhof münden die obere und untere Hohlvene (Vena cava superior et inferior). Sie führen das sauerstoffarme Blut aus dem großen Kreislauf (Körperkreislauf) dem Herzen zu. Zwischen rechtem Vorhof und rechter Kammer befindet sich die segelförmige Trikuspidalklappe, die bei der Kammerkontraktion einen Rückstrom des Blutes in den Vorhof verhindert. Von der rechten Herzkammer aus fließt das Blut über einen gemeinsamen Stamm (Truncus pulmonalis) in die beiden Lungenarterien. Der Rückfluss in die rechte Kammer wird durch die taschenförmige Pulmonalklappe verhindert. Die Lungenarterien führen das sauerstoffarme bzw. kohlendioxidreiche Blut im Lungenkreislauf (kleiner Kreislauf) zu den Lungen.

Durch die Lungenvenen fließt das in der Lunge mit Sauerstoff angereicherte Blut in den linken Vorhof. Von hier aus gelangt es über eine weitere Segelklappe, die Mitralklappe, zur linken Kammer. Der Ausstrom des Blutes erfolgt durch den linksventrikulären Ausflusstrakt über eine weitere Taschenklappe (Aortenklappe) in die Hauptschlagader (Aorta) und den Körperkreislauf.

Die Blutversorgung des Herzmuskels mit sauerstoffreichem Blut erfolgt über zwei **Koronararterien**, welche im Anfangsteil der Aorta entspringen. Der Abfluss erfolgt über die großen **Koronarvenen**, welche das sauerstoffarme und kohlendioxidreiche Blut aus dem Herzmuskel direkt in den rechten Vorhof abführen. Von hier wird das Blut über die Lungenarterien in die Lungen befördert.

Der **elektrische Taktgeber** (Schrittmacher) der Herztätigkeit ist der **Sinusknoten**. Er liegt im rechten Vorhof des Herzens im Bereich der Mündung der oberen Hohlvene. Er besteht aus einer Gruppe von spezialisierten Herzmuskelzellen, welche die Fähigkeit besitzen, sowie die Nervenzellen, ein elektrisches Aktionspotential zu erzeugen und diese Selbsterregung auch rhythmisch zu wiederholen. Die elektrische Erregung wird dann über ein eigenes Leitungssystem auf weitere Knoten von Herzmuskelzellen übertragen, zunächst auf den **AV-Knoten**, dann das His-Bündel und zu den zwei Kammerschenkeln (Tawaraschenkeln). Die Endstrecke des Erregungsleitungssystems bilden die Purkinje-Fasern, die bis zur Herzspitze verlaufen, dort umkehren und in der Arbeitsmuskulatur (Myokard) des Herzens enden. Dadurch kommt es dann zu rhythmischen Kontraktionen der Kammermuskulatur, wodurch das Blut weiter gepumpt wird.

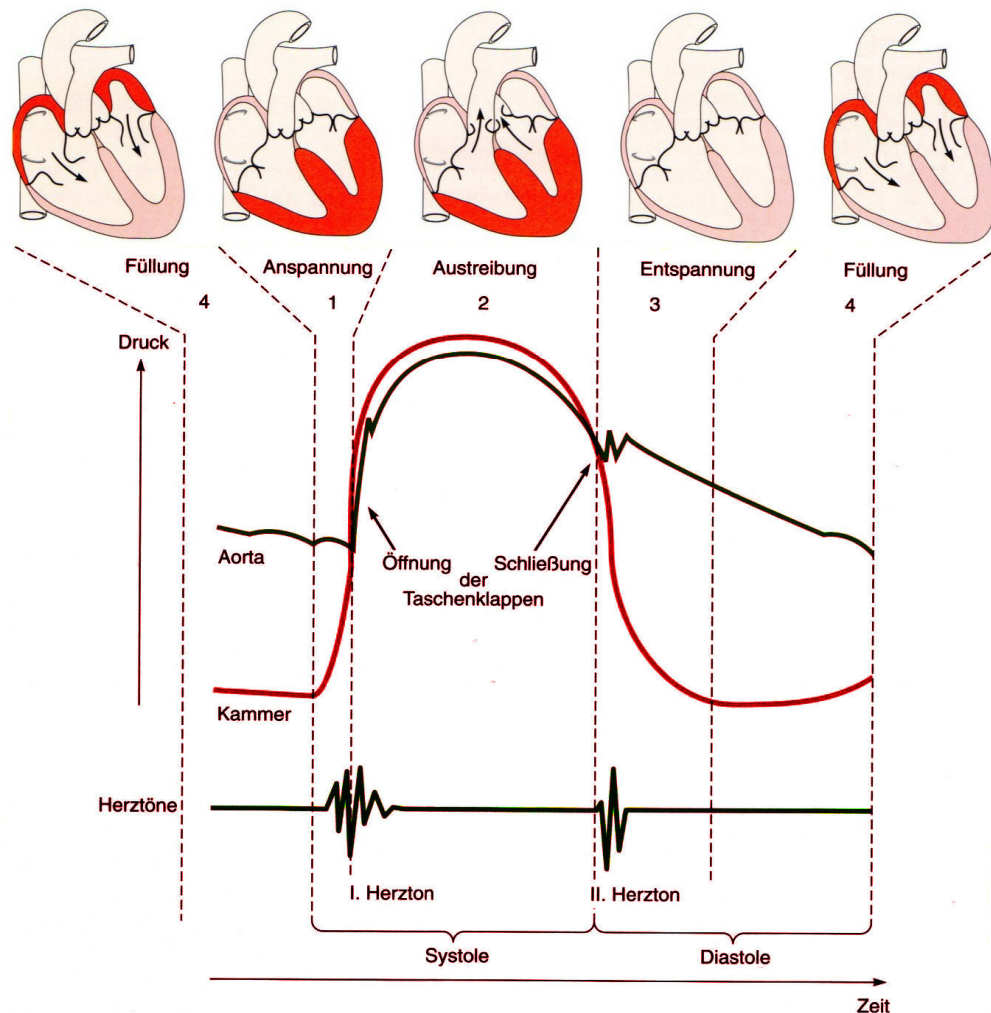


Der zeitliche Verlauf der elektrischen Potentialschwankungen des Herzmuskels kann durch Messgeräte mit Elektroden an den Extremitäten und an der Brustwand aufgezeichnet werden (Elektrokardiogramm, EKG). Die Abbildung zeigt die elektrische Erregung während einer Pumpaktion, welche sich regelmäßig wiederholt. Damit kann die Herzfunktion geprüft werden.

Die Herzfrequenz beträgt in Ruhe rund 70 Pumpschläge pro Minute (Ruhepuls) und kann bei Belastung auf über 200 Pulsschläge pro Minute ansteigen. Bei einem Ruhepuls von über 130 spricht man von einer ausgeprägten Tachykardie. Bei einem Ruhepuls von unter 50 spricht man von einer Bradykardie. Mit jedem Herzschlag wird ein Schlagvolumen von ca. 70 ml Blut in die Aorta gepumpt. Bei einem Ruhepuls von 70 Schlägen pro Minute ergibt sich daraus ein Herzminutenvolumen von ca. fünf Litern. Das entspricht etwa der gesamten Blutmenge des Körpers.

Die automatische elektrische Taktgebung des Sinusknotens kann durch das vegetative Nervensystem verändert werden. Der **Sympathikus** mit den Transmittern Noradrenalin und Adrenalin erhöht die Herzfrequenz, der **Parasympathikus** mit Acetylcholin senkt die Herzfrequenz.

Ein Herzzyklus besteht aus einer **Systole** und einer **Diasystole**. Während der Systole kontrahiert die Muskulatur der beiden mit Blut gefüllten Herzkammern. Dadurch schließen sich die Segelklappen zu den Vorhöfen (Anspannung, 1). Dann öffnen sich Taschenklappen und das Blut wird in die Arterien gedrückt (Austreibung, 2). Wenn sich daraufhin die Kammermuskulatur entspannt, schließen sich die Taschenklappen (Entspannung, 3). Dann öffnen sich durch den Druckabfall in den Kammern die Segelklappen und das Blut fließt aus den Vorhöfen in die Kammern (Füllung, 4). Nun sind die Kammern gefüllt und der Herzzyklus wiederholt sich.



Phasen der Herztätigkeit (erregte und sich kontrahierende Abschnitte der Herzmuskulatur dunkelrot) in Zuordnung zum Druckverlauf in Aorta und Herzkammer sowie zum Auftreten der Herztöne.

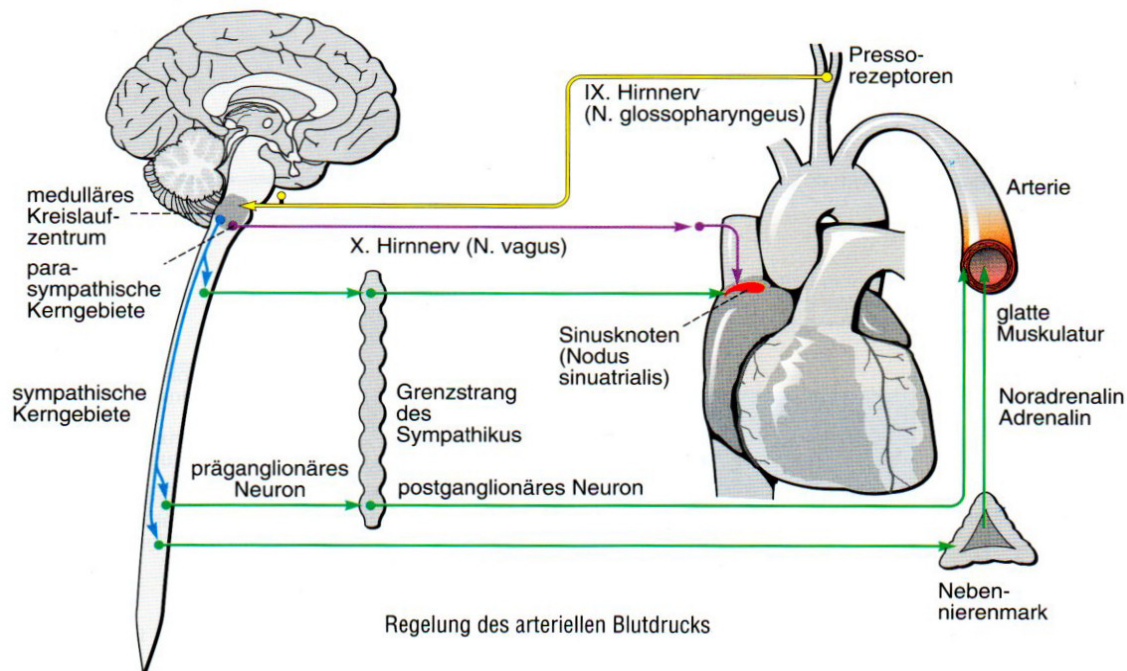
Der **Blutdruck** kann durch Anlegen einer Manschette um die Armarterie gemessen werden. Dabei wird die Manschette mechanisch solange enger gestellt, bis die Arterie verschlossen ist. Dann wird der Manschettendruck langsam solange verringert bis wieder ein Pulsschlag registriert wird. Der beim Wiedereinsetzen des Pulses abgelesene Manschettendruck gibt den systolischen Blutdruck an. Bei abfallendem Manschettendruck wird bei jedem Herzschlag das arterielle Blutgefäß stoßweise geöffnet, wodurch ein Durchströmungsgeräusch entsteht. Dieses kann mit einem unter der Manschette angebrachten Stethoskop abgehört werden. Das Geräusch wird zunächst immer lauter, dann immer leiser und verschwindet, wenn das Blutgefäß zur Gänze geöffnet ist. Wird nun genau zu jenem Zeitpunkt der Blutdruck gemessen, wo das Strömungsgeräusch des Blutes plötzlich wieder verschwindet, dann erhält man den diastolischen Blutdruck.

Im Normalfall beträgt der diastolische Blutdruck 60 bis 90 mmHg und der systolische Blutdruck 110 bis 140 mmHg. Eine Hypotonie liegt vor, wenn der systolische Blutdruck unter 100 mmHg absinkt. Ist er höher als 160 mmHg, dann spricht man von einer Hypertonie.

Der **arterielle Blutdruck** ist die treibende Kraft für die Durchblutung des Körpers. Für seine Entstehung sorgt erstens die **Herzmuskelkontraktion** und zweitens der **Gefäßwiderstand**.

Die Wände der Blutgefäße enthalten neben Bindegewebe auch glatte Muskelfasern, die um das Gefäß ringförmig angeordnet sind. Die Muskelfasern werden vom vegetativen Nervensystem innerviert. Eine Kontraktion dieser Muskulatur führt zu einer **Gefäßverengung** und damit zu einem Anstieg des Strömungswiderstandes. Eine Erschlaffung bewirkt den gegenteiligen Effekt. Der Druck ist definiert als der Quotient von Kraft und Fläche. Wenn nun bei gleich bleibender Herzkraft die Fläche kleiner wird, dann muss der Blutdruck automatisch steigen. Umgekehrt führt eine Gefäßerweiterung zu einer Absenkung des Blutdrucks.

Ein vegetatives Kreislaufzentrum im Hirnstamm wird von speziellen Druckrezeptoren oberhalb des Aortenbogens informiert und reguliert dann automatisch Blutdruck und Herzfrequenz. Der **Parasympathikus** kann über den zehnten Hirnnerv (Nervus vagus) die Erregungsaktivität des Sinusknotens dämpfen, was zu einer Senkung der Herzfrequenz und des Blutdrucks führt. Der **Sympathikus** weist einen bestimmten Ruhetonus auf. Eine Aktivitätssteigerung bewirkt eine Kontraktion der glatten Gefäßmuskulatur und somit auch eine Gefäßverengung. Dadurch steigt dann der Blutdruck. Eine verminderte Aktivität des Sympathikus führt umgekehrt zu einer Senkung des Blutdrucks.



In Stress-Situationen erfolgt einerseits über die HPA-Achse (Hypothalamus im Zwischenhirn, Hypophyse und Nebennierenrinde) eine Aktivierung der Nebennierenrinde und die Ausschüttung von Cortisol. Dieses Hormon erhöht zur Leistungssteigerung den Zuckergehalt im Blut und wirkt auf das Immunsystem suppressiv. Andererseits wird im Stress über den Sympathikus das Nebennierenmark aktiviert und es kommt dort zur Ausschüttung von Adrenalin. Das Hormon gelangt im Blut zur glatten Muskulatur der Blutgefäße und bewirkt eine Kontraktion. Diese Gefäßverengung bewirkt dann eine Erhöhung des Blutdrucks.

Chronischer Stress führt zu andauernd erhöhten Cortisol- und Adrenalin-Werten im Blut. Bei einer fettreichen Ernährung kommt es in den verengten Gefäßen zusätzlich zu Ablagerungen an den Gefäßwänden. Dieser Zustand einer **Arteriosklerose** ist Ursache für viele Erkrankungen, deren schlimmste ein Gefäßverschluss ist, wodurch das nachfolgende Gewebe nicht mehr ausreichend mit sauerstoffreichem Blut versorgt wird (**Ischämie**) und sogar absterben (**Nekrose**) kann. Das ist beispielsweise beim Herzinfarkt der Fall.

[2.6.4] Das Blut (sanguis)

Das Blut ist die wichtigste Körperflüssigkeit. Es wird im Knochenmark der kurzen, platten Knochen gebildet. Die rund fünf Liter Blut sind ein Gemisch von zellulären Bestandteilen (45%) und flüssigem Blutplasma (55%). Die Hauptfunktionen des Blutes sind:

- **Transport**

Sauerstoff und Nährstoffe werden zu den Zellen befördert und Stoffwechselendprodukte wie Kohlendioxid (CO₂) oder Harnstoff (CH₄N₂O) werden abtransportiert.

- **Wärmeregulation**

Die ständige Zirkulation des Blutes im Körper gewährleistet eine konstante Körpertemperatur, welche beim gesunden Menschen zwischen 36°C und 37°C liegt.

- **Abwehrfunktion**

Als Teil des Immunsystems übernimmt das Blut Aufgaben zur Abwehr und zum Schutz vor Fremdkörpern (Viren, Bakterien, usw.). Man unterscheidet dabei eine unspezifische Abwehr mittels Fresszellen und eine spezifische Abwehr mittels Antikörper. Dafür werden eigene Immunzellen (Lymphozyten) gebildet.

- **Gerinnung**

Das Blut reagiert auf Gewebsverletzungen mit Hilfe der Blutgerinnung und Wundheilung.

Aus den Knochenmarkszellen entstehen durch Teilung und Differenzierung die Stammzellen der Blutkörperchen. Diese umfassen drei Zelltypen: die roten Blutkörperchen (Erythrozyten, ca. fünf Millionen pro mm³), die weißen Blutkörperchen (Leukozyten, ca. 5000 pro mm³) und die Blutplättchen (Thrombozyten, ca. 500000 pro mm³).

Bei den Leukozyten werden Monozyten (4%), Lymphozyten (36%) und Granulozyten (60%) unterschieden. Bei den Granulozyten unterscheidet man basophile (0,5%), eosinophile (2,5%) und neutrophile (57%).

Die **roten Blutkörperchen** sind kernlose Scheiben mit 7,5µ Durchmesser und 2,5µ Dicke. Ein Mikrometer (µ) ist $\frac{1}{1000}$ von einem Millimeter. Ihre Hauptaufgabe ist Aufnahme, Transport und Abgabe des Sauerstoffs. Sie enthalten den roten Blutfarbstoff Hämoglobin (Hb), welcher den Sauerstoff (O₂) entsprechend der chemischen Reaktionsgleichung $\text{Hb} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{HbO}_2$ bindet. Ihre Anzahl (ca. 5 Millionen pro mm³) hängt vom Partialdruck des Sauerstoffs in der Luft ab. Dieser beeinflusst die Gleichgewichtslage in der Reaktionsgleichung. Wenn er gering ist, wie beispielsweise in großer Seehöhe, kann weniger Sauerstoff von den einzelnen Erythrozyten gebunden werden. Um nun die gleiche Menge an Sauerstoff aufnehmen zu können, müssen daher mehr Erythrozyten gebildet werden.

Unter den **weißen Blutkörperchen** befinden sich die Granulozyten und Lymphozyten, welche an der unspezifischen und spezifischen Immunabwehr beteiligt sind. Bei Entzündungen ist die Anzahl der Leukozyten deutlich erhöht.

Die **Blutplättchen** (Thrombozyten) dienen der Blutgerinnung und bilden damit die Grundlage der ersten Phase der Wundheilung.

Bikarbonat (HCO₃⁻) wirkt als Base und neutralisiert (puffert) Säuren. Dieses Puffersystem regelt den Säure-Base-Haushalt: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Das flüssige **Blutplasma** enthält Wasser (90%) und darin befindliche Feststoffe (10%): Mineralstoffe, Fette, Kohlenhydrate und die Plasmaproteine (Fibrinogen, Albumine und Globuline). Die im Blutplasma enthaltenen Ionen sind vorwiegend Natrium-, Kalium-, Kalzium-, Magnesium-, Chlorid- und Phosphationen. Der Anteil der Proteine beträgt etwa 60g bis 80g in einem Liter des Plasmavolumens. Sie werden nach ihrer trägen Masse bei dem chemischen Analyseverfahren der Elektrophorese in Albumine und Globuline eingeteilt. Die Globuline werden in α_1 -, α_2 -, β - und γ -Globuline (Immunglobuline) unterschieden. Es gibt fünf Klassen von **Immunglobulinen** (IgM, IgG, IgA, IgD, IgE), welche als Antikörper auftreten: die IgM bei frischen Infektionen und die IgG nach einer erfolgreich abgewehrten Infektion oder einer durchgeführten Impfung.

Die Plasmaproteine übernehmen Aufgaben des Stofftransports, der Blutgerinnung, der Immunabwehr, der Aufrechterhaltung des pH-Wertes und auch des osmotischen Druckes.

Das Blutplasma ohne Gerinnungsfaktoren wird **Blutserum** genannt. Das Serum wird gewonnen, indem das Blut in einem Röhrchen nach vollständigem Gerinnen zentrifugiert wird. Im unteren Teil des Röhrchens findet sich dann der so genannte Blutkuchen, im oberen die als Serum bezeichnete, meist klare Flüssigkeit. Das Serum enthält auch solche Substanzen, die im Plasma nicht enthalten sind: insbesondere Wachstumsfaktoren, die während des Gerinnungsvorgangs freigesetzt werden. Das Serum besteht zu 91% aus Wasser und 7% Proteinen. Der Rest sind Elektrolyte, Nährstoffe und Hormone. Durch gelöstes Bilirubin (einen Gallenfarbstoff) ist es gelblich gefärbt.

Blutstillung und Blutgerinnung

Die Prozesse, welche den Körper vor Blutungen schützen sollen, werden unter dem Oberbegriff Hämostase zusammengefasst. Dabei wird zwischen der primären und der sekundären Hämostase unterschieden, d.h. Blutstillung und Blutgerinnung.

An der **primären Hämostase** (Blutstillung) sind neben den Thrombozyten verschiedene im Plasma enthaltene und auf der Gefäßwand präsentierte Faktoren beteiligt. Das Zusammenspiel dieser Komponenten führt bereits nach zwei bis vier Minuten zur Abdichtung von Löchern in der Gefäßwand. Diese Zeitspanne wird auch als Blutungszeit bezeichnet. Zuerst verengt sich das Gefäß, dann verkleben die Thrombozyten das Loch, wodurch das Blut gestillt wird. In der nachfolgenden Gerinnung bildet sich dann ein fester **Fibrin-Pfropfen** (Thrombus).

Die **sekundäre Hämostase** (Blutgerinnung) findet durch ein Zusammenwirken verschiedener Gerinnungsfaktoren statt. Das sind, bis auf Kalzium (Ca^{2+}), in der Leber synthetisierte Proteine. Diese im Normalfall inaktiven Faktoren werden in einer Kaskade aktiviert. Sie können entweder **endogen** aktiviert werden, das heißt durch den Kontakt des Blutes mit dem unter der Gefäßoberfläche befindlichen Kollagen. Sie können aber auch **exogen** aktiviert werden, das heißt durch den Kontakt mit dem Enzym Thrombokinase, welches bei größeren Verletzungen aus dem Gewebe in die Blutbahn gelangt. Ziel der sekundären Hämostase ist die Bildung von wasserunlöslichem **Fibrin**, wodurch das Blut zu „Klumpen“ gerinnt.

Als **Fibrinolyse** wird der Prozess der Rückbildung und Auflösung von Fibrinklumpen bezeichnet. Dieser Prozess läuft mithilfe des Enzyms Plasmin ab.

Soll aufgrund verschiedener medizinischer Indikationen, wie zum Beispiel Herzrhythmusstörungen, die Gerinnungsfähigkeit des Blutes herabgesetzt werden, so setzt man Antikoagulantien (Gerinnungshemmer) ein. Diese wirken, indem sie das zur Gerinnung notwendige Kalzium binden (z. B. Citrate) oder die Interaktion zwischen den Gerinnungsfaktoren hemmen (z. B. Heparin) oder die Bildung der Gerinnungsfaktoren selbst unterbinden (z. B. Cumarine).

Viele Krankheiten lassen sich an bestimmten Veränderungen der Blutbestandteile im Blutbild erkennen und in ihrem Schweregrad einordnen, weshalb das Blut die am häufigsten untersuchte Körperflüssigkeit in der Labormedizin ist. Eine wichtige Untersuchung ist die Feststellung der **Blutsenkungsgeschwindigkeit (BSG)**. Dabei wird das Blut in ein Messröhrchen geschüttet und mit Gerinnungshemmern behandelt. Dann wird nach einer oder zwei Stunden die Menge der nach unten abgesetzten Blutkörperchen (mm) abgelesen. Bei Entzündungen ist die BSG erhöht.

Bei einer **Blutvergiftung** (Sepsis) dringen Krankheitserreger in die Blutbahn ein und können zu einer generellen Infektion führen.

Durch die Rolle des Blutes in der Versorgung der Zellen besteht bei einer fehlenden oder nicht ausreichenden Blutversorgung immer die Gefahr von Zellschädigung oder Zellsterben. Durch ein Blutgerinnsel (Thrombus) kann es zu einem Gefäßverschluss (Embolie) kommen. Folgen davon können Schlaganfall, Lungenembolie oder Herzinfarkt sein. Um dies zu verhindern, werden Wirkstoffe wie Acetylsalicylsäure oder Heparin angewendet, welche die Gerinnung hemmen.

Die Blutgruppen

In der Zellmembran der roten Blutkörperchen sind Glykolipide (komplexe Verbindungen aus Kohlenhydraten und Fetten) verankert, die als Blutgruppen bezeichnet werden und als Antigene wirken können. Kommt es zu einer Vermischung von Blut verschiedener Blutgruppen, dann tritt oftmals eine Verklumpung des Blutes ein. Daher muss vor Bluttransfusionen die Blutgruppe von Spender und Empfänger festgestellt werden, um potenziell tödliche Komplikationen zu vermeiden. Wesentlich sind das **AB0-Blutgruppensystem**, der **Rhesusfaktor** und der **Kellfaktor**.

Im **AB0-System** findet man die vier Blutgruppen **A** (40%), **B** (11%), **AB** (4%) und **0** (45%). Die Bezeichnung sagt aus, welche Blutgruppenmerkmale (Glykolipide und Glykoproteine) auf den Erythrozyten gefunden werden (bei A nur A-Merkmal, bei B nur B-Merkmal, bei AB sowohl A- als auch B-Merkmal, bei 0 keine der zwei Merkmale) und welche entsprechenden Antikörper (des Typs **IgM**) im Serum vorhanden sind. Bei A sind es B-Antikörper, bei B sind es A-Antikörper, bei AB gibt es keine Antikörper, und bei 0 sind es sowohl A- als auch B-Antikörper.

Rhesus-Faktoren können in den 3 Untergruppen **C**, **D** und **E** auftreten. Medizinisch relevant ist dabei besonders der Faktor D. Ist D-Antigen vorhanden, spricht man von **rhesus-positiv** (15%) Fehlt es, spricht man von **rhesus-negativ** (85%). Beim Rhesussystem entstehen die Antikörper (des Typs **IgG**) im Blut erst dann, wenn der Körper das erste Mal auf Blut mit Antigenen trifft. Weil IgG-Antikörper die Plazenta durchqueren können, besteht die Möglichkeit von Komplikationen während der zweiten Schwangerschaft einer rhesus-negativen Mutter mit einem rhesus-positiven Kind. Hierbei kommt es zunächst zu einer Auflösung (Hämolyse) der kindlichen Erythrozyten und einer anschließenden krankhaft gesteigerten Neubildung, die als fetale Erythroblastose bezeichnet wird.

Wichtig sind noch die vier antigenen **Kell-Faktoren**, zu denen es im Serum entsprechende Kell-Antikörper gibt. Auch hier unterscheidet man kell-positives (8%) und kell-negatives Blut (92%).

Bluttransfusionen

Bei großen Blutverlusten und auch bei verschiedenen Krankheiten werden oft Bluttransfusionen durchgeführt, um das Blutvolumen aufzufüllen oder bestimmte Bestandteile gezielt zu ergänzen. Es ist zu beachten, dass das Blut von Spender und Empfänger hinsichtlich der Blutgruppen und der Rhesus- und Kell-Faktoren kompatibel sein muss, weil es sonst zu schweren Zwischenfällen kommen kann (Blutverklumpung durch Antigen-Antikörper-Reaktionen). Grundsätzlich sind dabei Vollblut-Transfusionen und Blutplasma-Transfusionen zu unterscheiden.

[2.7] Das Immunsystem

[2.7.1] Grundlagen der Immunabwehr

In den letzten Jahrzehnten hat sich das Wissen über Arbeitsweise und Bedeutung des Immunsystems und über den Zusammenhang zwischen neuronalen, immunologischen, hormonellen und emotionalen Prozessen sehr erweitert.

Wir wissen heute, dass das Immunsystem, das unsere körperliche Identität und unser Überleben sichert, nicht isoliert arbeitet. Das System steht vielmehr in einem ständigen Informationsaustausch mit dem Gehirn und ist über ein chemisches Kommunikationsnetz mit allen Ebenen des Organismus verbunden. Über diese Verbindungen reagiert das Immunsystem auch auf psychosoziale Belastungen und bewusste Erlebnisse.

Forschungsergebnisse zeigen, dass das Immunsystem nicht nur hoch differenziert ist, sondern auch über eine Erinnerungs- und Lernfähigkeit verfügt. Aus einigen Untersuchungen geht auch hervor, dass die individuelle Immunkompetenz (die Fähigkeit zur Abwehr und zur Heilung von Krankheiten) durch Entspannung und bildhafte Vorstellungsübungen (Imaginationen) verbessert werden kann.

Ohne ein funktionsfähiges Abwehrsystem sind wir nicht lebensfähig; wir würden der Vielzahl von Krankheitserregern (Pilze, Bakterien, Viren), die in unseren Organismus eindringen und sich dort vermehren, erliegen. Das Immunsystem ist ein äußerst flexibles System und besteht aus verschiedenen spezialisierten Zellen, die untereinander mithilfe von Botenstoffen Informationen austauschen.

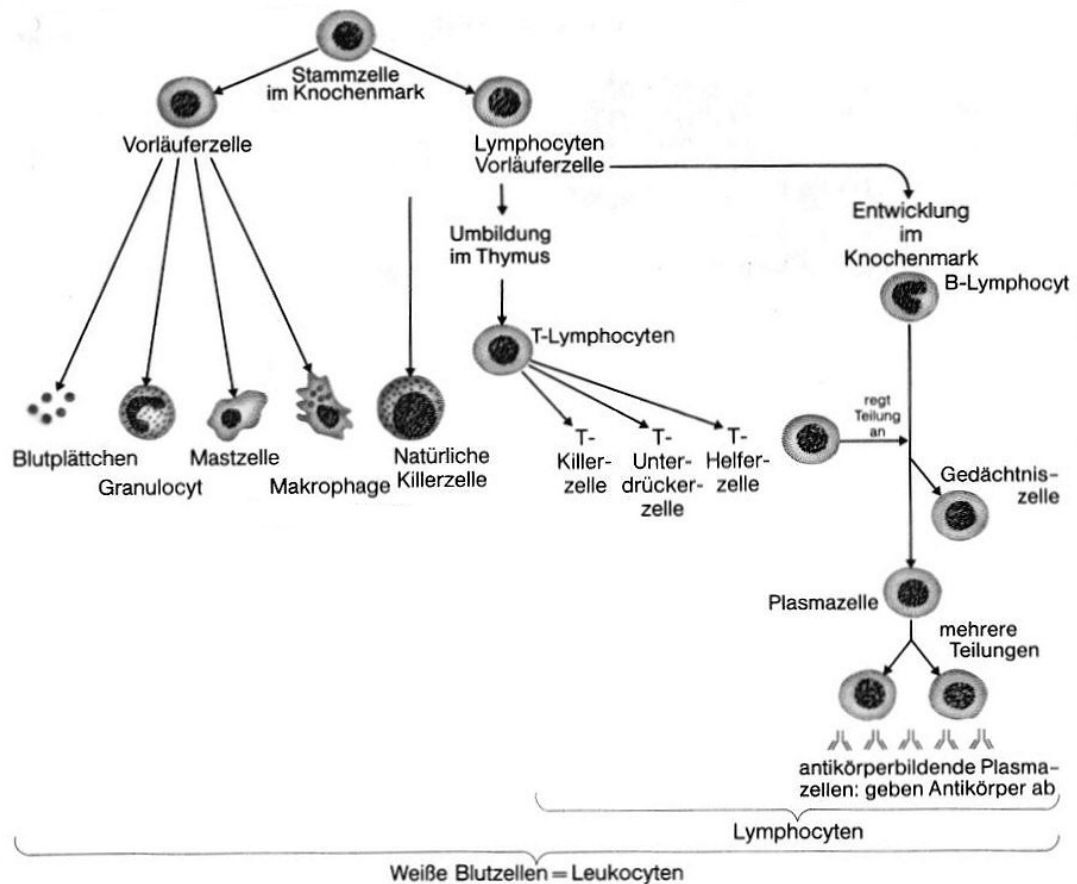
Die Immunzellen sind eigentlich *weiße Blutkörperchen* (Leukozyten). Sie werden im Knochenmark gebildet und durchlaufen anschließend verschiedene Reifungs- und Prägungs-Stationen. *Fresszellen* und *Lymphozyten* bewegen sich dann in Blut- und Lymphbahnen durch den Körper und halten sich in hoher Konzentration in den Lymphknoten, den Mandeln, der Thymusdrüse, der Milz, im lymphatischen Gewebe des Darms, so wie in der Haut und den Schleimhäuten auf.

Die Immunzellen haben die Fähigkeit zwischen körpereigenen und körperfremden Zellen zu unterscheiden. So können sie auf ihrer Reise durch den Körper fremde Organismen aufspüren und vernichten. Die Unterscheidung zwischen *selbst* und *fremd* wird durch charakteristische Molekülstrukturen der Zelloberfläche ermöglicht. Alle gesunden Körperzellen eines Menschen tragen auf ihrer Oberfläche dieselbe, für diesen Menschen charakteristische Markierung. Dieser "Gewebeverträglichkeitskomplex" (Haupthistokompatibilitätskomplex, MHC) ist nur bei eineiigen Zwillingen identisch und bei nahen Verwandten ähnlich. Der MHC umfasst mehrere Klassen von Proteinen, die ihrerseits von bestimmten Genen im Zellkern erzeugt werden.

Alle Körperzellen müssen dem Immunsystem ständig dieses molekulare Passbild zeigen, um als *selbst* erkannt und nicht angegriffen zu werden. Alles, was diese körpereigene Markierung nicht aufweist, wird von den Immunzellen als *fremd* erkannt und angegriffen. Auf Grund der andersartigen Passform der Zelloberfläche können aber nicht nur Eindringlinge aufgespürt werden, sondern auch infizierte, abgestorbene und falsch reproduzierte Körperzellen (abnorme Zellen, Krebszellen).

Damit unser Immunsystem effektiv funktioniert, muss eine große Zahl von verschiedenen Molekülen, Signalstoffen und Zellen in einer fein abgestimmten Art und Weise zusammenwirken.

Um den Organismus zu schützen, haben sich verschiedene spezialisierte Abwehrzellen gebildet, die als Team kooperieren. Zwei Grundformen der Abwehrtätigkeit lassen sich unterscheiden: eine **unspezifische Abwehr**, die von den Fresszellen (Phagozyten, Makrophagen) ausgeführt wird; und eine **spezifische Abwehr**, welche von den T-Lymphozyten und B-Lymphozyten geleistet wird.



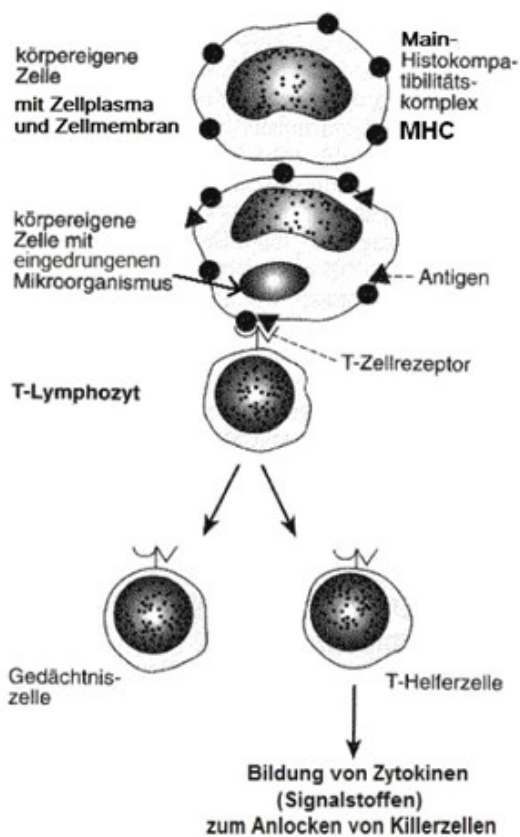
Was geschieht, wenn ein Krankheitserreger durch Verletzungen der Haut oder über die Atemwege in den Organismus eindringt? Die Gefährdung des Organismus hängt von der Anzahl der eingedrungenen Erreger ab, und davon, ob sie dem Immunsystem schon bekannt sind, aber auch davon, wie funktionsfähig das Abwehrsystem ist. Das Immunsystem kann zum Beispiel durch schlechte Ernährung (zu viel Zucker und zu viel Fett, Vitaminmangel und Mineralstoffmangel), Umweltgifte, ein Übermaß an Sonnenbestrahlung, eine Infektion oder ein allgemein schlechtes Befinden des Menschen geschwächt sein. Ist das Immunsystem geschwächt, kommt es vor, dass Erreger nicht oder erst verspätet aufgefunden und vernichtet werden, so dass diese Erreger Zeit haben, dem Körpergewebe Schaden zuzufügen. Auch zur Entstehung von Krebs, vermutet man, trägt eine Schwäche der Immunüberwachung bei.

In der Regel werden die Krankheitserreger zuerst von patrouillierenden Fresszellen gefunden und angegriffen. Sind die *Fresszellen* durch die Vielzahl von Erregern überfordert oder sind ihnen die Erreger unbekannt, so präsentieren sie diese den *T-Helferkzellen*, die dann ihrerseits andere Immunzellen stimulieren, vor allem die *B-Lymphozyten*. Dringt in den Organismus ein schon bekannter Erreger ein, so können mittels B-Gedächtniszellen und Plasmazellen innerhalb kurzer Zeit passende *Antikörper* gebildet werden, welche sich an den Erreger heften und ihn blockieren. Dann sind die Killer- und Fresszellen in der Lage, Fremdorganismen rasch zu erkennen und zu beseitigen, bevor diese körpereigenes Gewebe erheblich schädigen. Die Antikörper sind besondere Proteine, die auch *Immunglobuline* heißen. Es gibt fünf Klassen von Immunglobulinen (IgM, IgG, IgA, IgD, IgE). IgM treten bei frischen Infektionen auf und IgG nach einer erfolgreich abgewehrten Infektion oder einer durchgeführten Impfung.

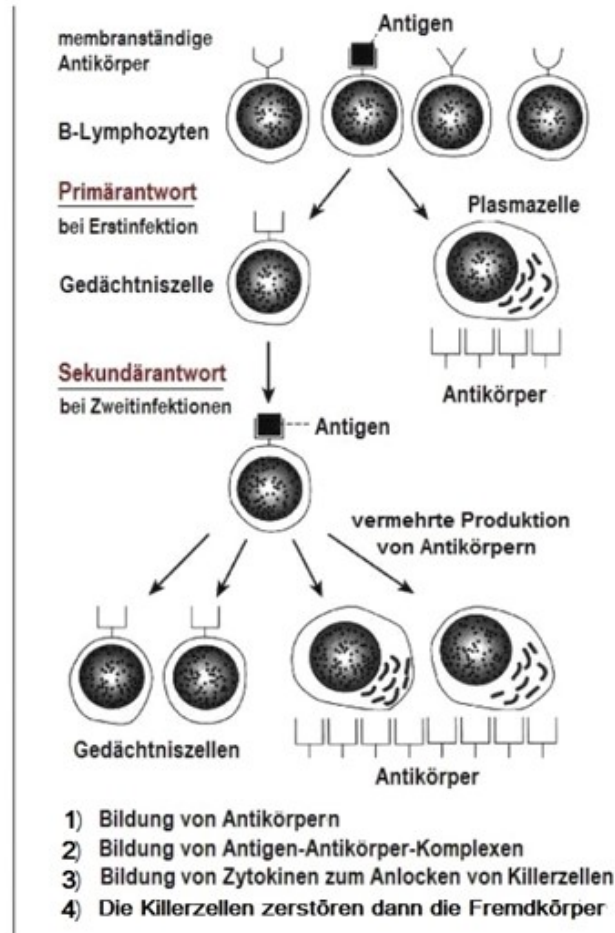
Wird das Abwehrsystem mit unbekannten Erregern (*Antigene*) konfrontiert (z.B. Grippeviren), so dauert es einige Tage bis sie von T-Helferzellen analysiert worden sind, so dass die B-Zellen unter ihrer Anleitung mittels Signalstoffen (Zytokinen) dann Gedächtniszellen und Plasmazellen produzieren. Die Plasmazellen erzeugen die passenden *Antikörper*. In dieser Zeit können die Viren ungehindert in Körperzellen eindringen, sich vermehren und Schaden anrichten. Killer- und Fresszellen können erst mit ihrem Abwehrkampf beginnen, wenn passende Antikörper ausgeschüttet worden sind. Die Antigene sind meistens Proteine, die sich auf den Oberflächen von Fremdkörpern oder infizierten Körperzellen befinden. Die Antikörper heften sich an diese Antigene und ermöglichen den Killer- und Fresszellen die chemische Auflösung der Fremdkörper.

Um die inzwischen große Anzahl von Erregern und infizierten Körperzellen zu vernichten, müssen viele Immunzellen aktiviert und zum Ort der Infektion gerufen werden. Bei einem solchen Abwehrkampf können die Lymphknoten anschwellen; es kann zu Fieber und großer Schwächung des Organismus kommen. Sind schließlich alle Krankheitserreger und infizierten Körperzellen aufgefunden und beseitigt, geben die *T-Hemmzellen* das Signal zur Beendigung des Kampfes. Die Immunzellen und der gesamte Organismus kehren in einen Ruhestand zurück und regenerieren sich. Kampftrümmer werden von den Fresszellen beseitigt (Eiterbildung), verletzte Teile des Körpergewebes erneuert und Immunzellen neu gebildet. Wird der Organismus später wieder mit diesem Virus konfrontiert, ist es den Abwehrzellen schon bekannt und wird gezielt und schnell beseitigt; der Körper ist immun geworden.

Die Abbildung zeigt zwei Wege des Abwehrsystems, welche dann am Ende zur Zerstörung der infizierten Körperzelle und des Virus durch Killer- und Fresszellen führen.



Zelluläre Abwehr von infizierten Körperzellen mit Hilfe von T-Lymphozyten.



Humorale Abwehr von Antigenen in Körperflüssigkeiten mit Hilfe von B-Lymphozyten. (humores = Flüssigkeiten)

Impfungen trainieren das Immunsystem für die Auseinandersetzung mit gefährlichen Krankheitserregern. Dabei wird das Abwehrsystem mit dem Erreger in einer abgeschwächten Form konfrontiert, lernt ihn kennen, entwickelt spezifische Antikörper und wird gegen ihn immun. Diese erworbene aktive Immunität kann mitunter jahrelang erhalten bleiben. Bei der passiven Immunisierung hingegen werden dem Körper keine *Antigene* zugeführt, sondern schon fertige *Antikörper*, welche durch aktive Immunisierung in einem fremden Organismus erzeugt wurden. Diese passive Immunisierung hält jedoch meist nur wenige Wochen an, weil die fremden Antikörper vom eigenen Organismus abgebaut werden.

Das Abwehrsystem kann jedoch auch überaktiv reagieren. Dann entwickelt es überschießende *allergische Reaktionen* (Jucken, Schnupfen, Asthma) auf eigentlich harmlose Substanzen oder greift irrtümlich körpereigenes Gewebe an. Dabei reagieren Antikörper überempfindlich auf bestimmte Substanzen und stimulieren Fresszellen zur Freisetzung von *Histamin*. Das Gewebeshormon kann Blutgefäße dazu veranlassen, sich auszudehnen, so dass mehr Blut in die Gewebe strömt (quaddelige Hautrötungen), der Blutdruck kann stark absinken (anaphylaktischer Schock), die Nasenschleimhaut kann zu starken Absonderungen stimuliert werden (Heuschnupfen). An den Bronchien bewirkt Histamin eine Kontraktion der glatten Muskulatur, so dass die Atmung erschwert ist.

Schematische Übersicht über mögliche Störungen des Immunsystems:

	Überaktiv, unsinnig	Zu schwach
Reaktion auf äußere Reize	Allergien	(häufige, schwere) Infektionen
Reaktion auf innere Reize	Autoimmunerkrankungen	Krebs

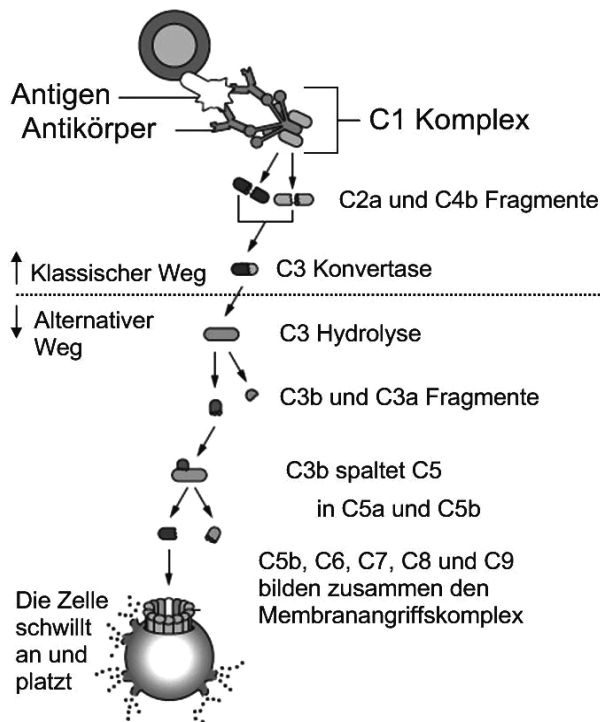
Störungen des Immunsystems. Nach Borysenko 1987.

[2.7.2] Das Komplementsystem zur unspezifischen Abwehr

Das Komplementsystem ist ein System von Plasmaproteinen, das im Zuge der Immunantwort auf vielen Oberflächen von Mikroorganismen aktiviert werden kann. Ursprünglich wurde es als ergänzender (komplementierender) Teil der Antikörperantwort entdeckt. Inzwischen wurde aber erkannt, dass es auch am angeborenen Immunsystem beteiligt ist. Die mehr als 20 Proteine (Komplementfaktoren C1, C2, ...) des menschlichen Komplementsystems sind im Blutplasma (humoral) gelöst oder zellgebunden und dienen der Abwehr von Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren, ...). Sie haben aber auch stark zellzerstörende Eigenschaften und können, wenn sie unreguliert wirken, im Krankheitsverlauf für Gewebsschäden verantwortlich sein.

Die Hauptaufgabe des Komplementsystems besteht darin, die Oberfläche von den Krankheitserregern zu bedecken, um so den Fresszellen (Phagozyten) auch die Zerstörung jener Krankheitserreger zu ermöglichen, die sie sonst nicht erkennen würden. Daneben löst es eine Reihe von Entzündungsreaktionen aus, die den Kampf gegen die Infektion unterstützen. Die Fragmente von einigen Komplementproteinen wirken als Signalstoffe (Chemokine), welche zusätzliche Phagozyten zum Herd der Infektion locken. Eine weitere Funktion ist die direkte Zerstörung von Bakterien durch die Bildung von Löchern (Poren) in deren Zellmembranen.

Die Grafik gibt eine schematische Übersicht über das Komplementsystem. Dargestellt sind die zwei wichtigsten Aktivierungswege, die dann am Ende zur Zerstörung (Lyse) des Fremdkörpers führen.



Der klassische Weg wird durch einen Antigen-Antikörper-Komplex aktiviert, an den zuerst der C1-Faktor bindet. Mit Hilfe von weiteren Faktoren wird die C3-Konvertase aktiviert.

Der alternative Weg läuft ohne eine Bindung an Antikörper ab und beginnt mit der Produktion von C3-Fragmenten.

Beide Wege führen dann über eine Kaskade von weiteren Faktoren zur Bildung eines Membranangriffskomplexes und schließlich zur endgültigen Zerstörung (Lyse) des Fremdkörpers.

Dabei spielen Zytokine eine wichtige Rolle.

[2.7.3] Die Zytokine

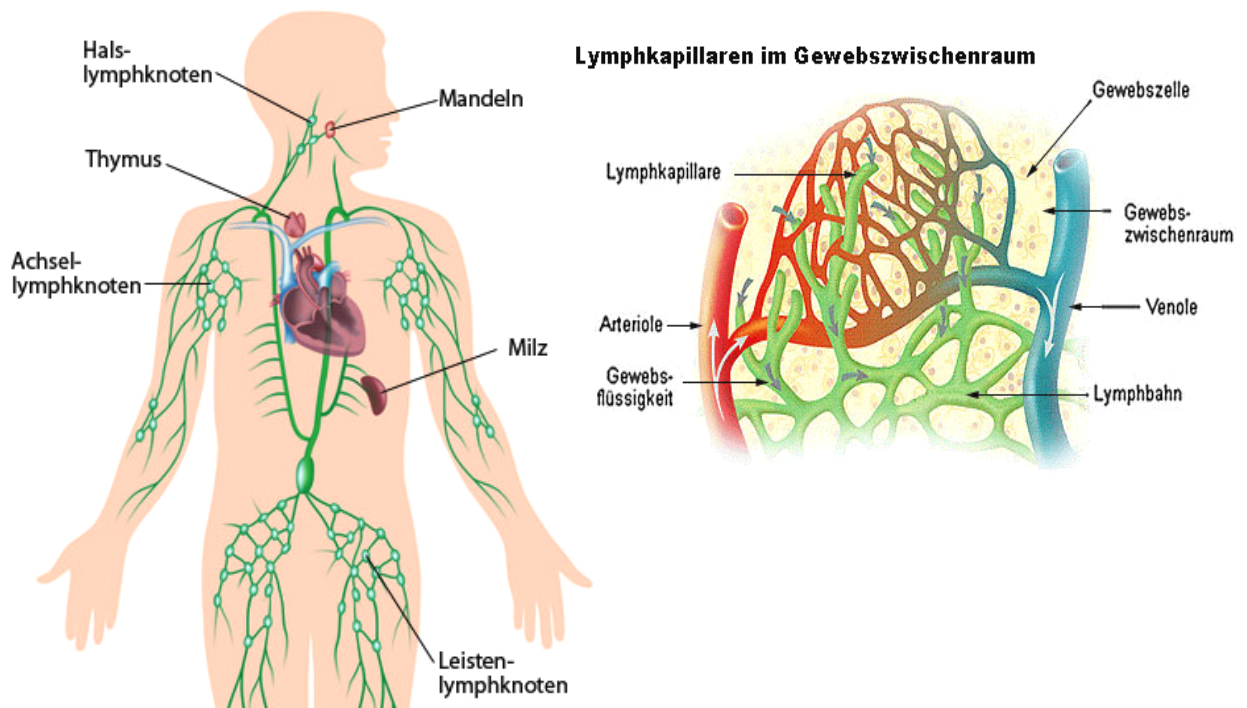
Zytokine sind Proteine, die als Signalstoffe im Immunsystem wirken. Sie werden vor allem in Blutkörperchen und in Immunzellen gebildet und von spezifischen Rezeptormolekülen an der Oberfläche von Empfängerzellen aufgenommen. Die Zytokine regulieren das Wachstum, die Differenzierung und das Sterben von Zellen. Grundsätzlich gibt es entzündungsfördernde und entzündungshemmende Zytokine, die sich im Gleichgewicht befinden. Eine Störung davon führt bei Überwiegen von inflammatorischen Zytokinen zu *Autoimmunerkrankungen* (chronischen Entzündungen), wo Immunzellen körpereigenes Gewebe angreifen (z.B. bei Psoriasis, Morbus Crohn oder rheumatischer Arthritis).

Im Wesentlichen werden fünf Hauptgruppen von Zytokinen unterschieden:

- *Interferone (IFN)* werden in Leukozyten gebildet und haben entzündungshemmende, antivirale und antitumorale Wirkungen.
- *Koloniestimulierende Faktoren (CSF)* regen das Wachstum von roten und weißen Blutkörperchen an.
- *Interleukine (IL)* dienen der Kommunikation der Immunzellen untereinander. Sie sind entzündungsfördernd, können Fieber auslösen und die Durchblutung steigern.
- *Tumornekrosefaktoren (TNF)* sind multifunktionale Signalstoffe des Immunsystems. Sie wirken ähnlich wie die Interleukine. Sie sind entzündungsfördernd, können Fieber auslösen und den Zelltod (Apoptose) herbeiführen.
- *Chemokine* sind chemische Lockstoffe, die andere Zellen mit passenden Rezeptoren veranlassen zur Quelle der Chemokine zu wandern. Sie steuern somit die Orientierungsbewegungen der Immunzellen und sind bei fast allen Abwehrreaktionen beteiligt.

[2.7.4] Das Lymphsystem

Das Lymphsystem ist ein Teil des Immunsystems. Es gliedert sich in die lymphatischen Organe und das Lymphgefäßsystem. Die aus den Blutkapillaren austretende Lymphflüssigkeit dient auch dem Stofftransport zu und von den Körperzellen.



Die lymphatischen Organe dienen der Differenzierung und Vermehrung der Lymphozyten. In den primären lymphatischen Organen (Thymusdrüse und Knochenmark) erfolgt die Bildung der T- und B-Lymphozyten aus entsprechenden Vorläuferzellen. In den sekundären lymphatischen Organen (Mandeln, Milz, Lymphknoten) werden durch das Zusammentreffen von Antigenen und immunkompetenten Lymphozyten spezifische Immunreaktionen ausgelöst. Die Milz und das Knochenmark übernehmen darüberhinaus noch Funktionen bei Bildung, Speicherung und Abbau von Blutzellen.

Die Milz als größtes lymphatisches Organ liegt im linken Oberbauch unterhalb des Zwerchfells und oberhalb der linken Niere. Die Milz vereint in Bau und Struktur eigentlich zwei Organe. Die weiße Pulpa als Innenorgan übernimmt die immunologischen Aufgaben, d.h. die durch Antigene verursachte Differenzierung und Vermehrung von T- und B-Lymphozyten. In der roten Pulpa als Außenorgan werden defekte Blutzellen (vor allem Erythrozyten und Thrombozyten) durch Fresszellen abgebaut. Es werden hier aber auch Leukozyten gespeichert und bei Bedarf ausgeschüttet.

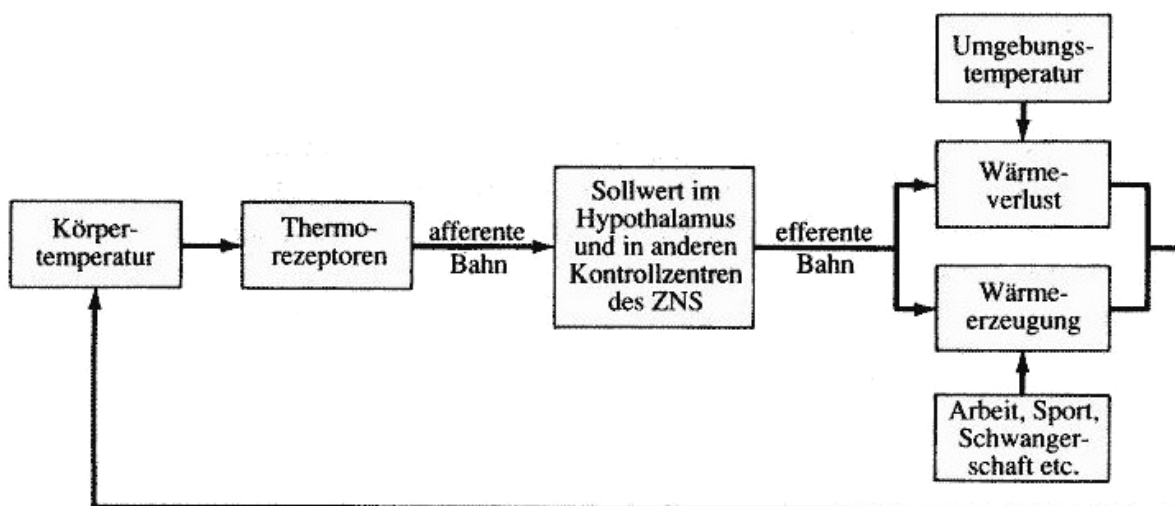
Das Lymphgefäßsystem beginnt in der Körperperipherie mit den Lymphkapillaren, die sich zu größeren Lymphgefäßen vereinigen. In diesen sind die Lymphknoten als Filterstationen integriert, welche der Verbreitung der Lymphozyten dienen. Die Lymphgefäße sammeln sich in den Lymphstämmen, welche über die Venenwinkel in das Venensystem einmünden. Im Lymphsystem werden täglich ca. zwei Liter Lymphflüssigkeit (Lymphe) transportiert. Neben der Zirkulation der Lymphozyten erfolgt über das Lymphgefäßsystem auch der Abtransport von interzellulärer Flüssigkeit (Gewebswasser).

[2.8] Das Hormonsystem

[2.8.1] Der Mechanismus von Regelkreisen

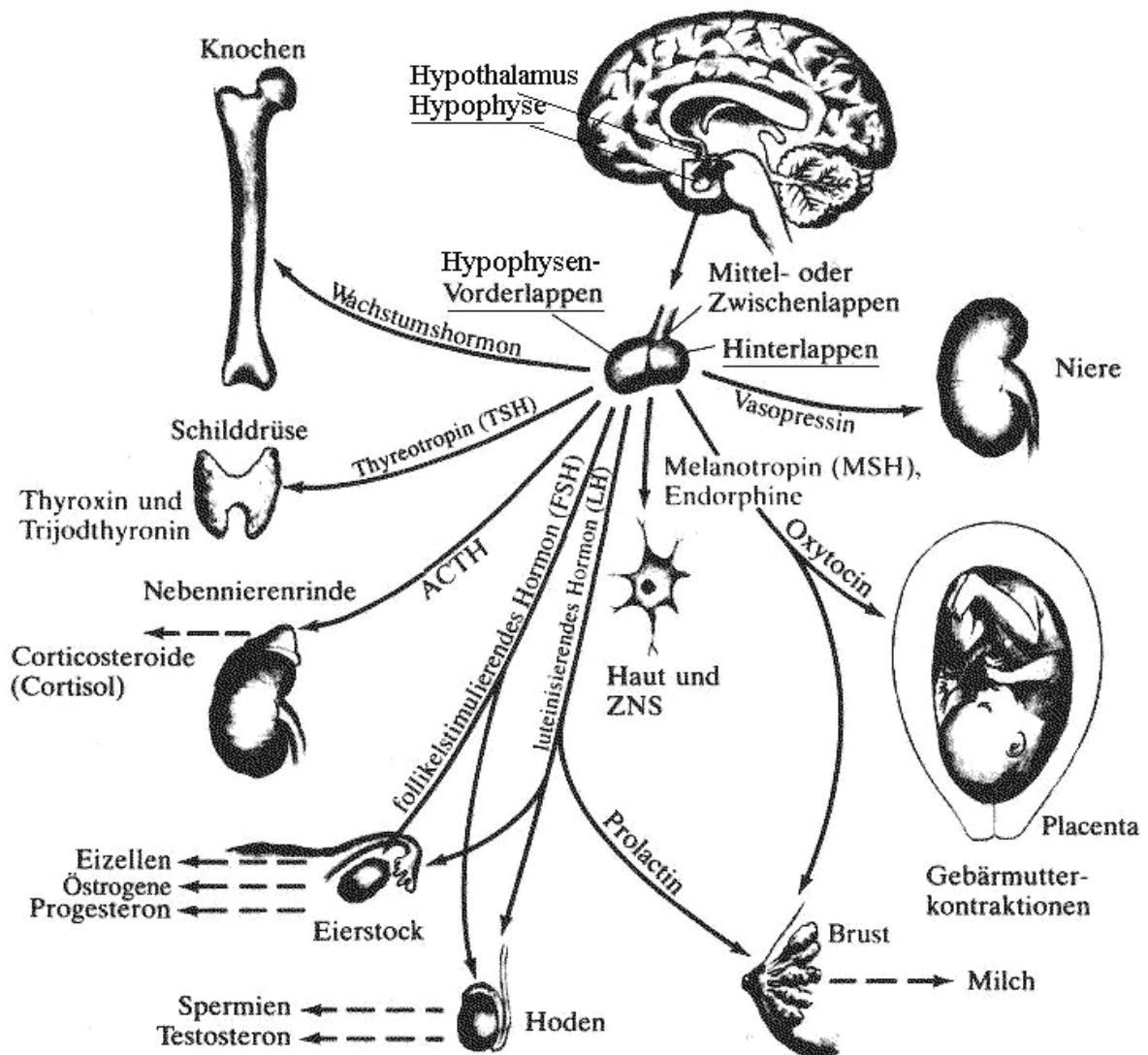
Ein **Regelkreis** besteht aus einer realen Messstrecke, auf der ein **Messfühler** (Rezeptor, Sensor) sitzt und eine bestimmte Messgröße registriert und quantitativ erfasst. Dieser IST-Wert wird aber durch die Einwirkung einer STÖR-Größe aus der Umgebung dauernd verändert. Durch eine **Zentrale** wird ein bestimmter SOLL-Wert festgelegt. Ein **Stellwerk** vergleicht den IST-Wert mit dem SOLL-Wert und setzt Maßnahmen (Regelmechanismen), um den IST-Wert an den SOLL-Wert anzugleichen. Dieser Regelkreis dient somit der automatischen Anpassung eines veränderlichen IST-Wertes an einen, von einem zentralen Programm vorgegebenen SOLL-Wert. Ein so genannter **Lernkreis** geht über den Regelkreis noch eine Stufe hinaus. Hier kann auch das zentrale Programm, welches den SOLL-Wert vorgibt, modifiziert werden. Dadurch wird eine noch bessere und dynamischere Anpassungsleistung erreicht. **Regelkreise** dienen der Aufrechterhaltung von Gleichgewichtszuständen (Homöostasen). Sie spielen sowohl in der Natur als auch in der Technik eine wichtige Rolle. Man denke nur an die automatische Regelung der Raumtemperatur durch einen Thermostaten. Der zentrale Mechanismus ist dabei die **Rückkopplung** (Feedback), wodurch ein Folgezustand in einer Kette von Abläufen auf einen vorangehenden Zustand zurückwirken kann. Dadurch erhält das System die Eigenschaft der Selbstregulation.

Ein Beispiel für einen Regelkreis ist die **Temperaturregelung** im Körper. Das Kontrollzentrum liegt dabei in der präoptischen Region im Hypothalamus im Zwischenhirn. Die Neuronen dort arbeiten wie Thermometer. Ihre Impulsfrequenz reagiert sehr empfindlich auf die Temperatur des zugeführten Blutes. Außerdem werden noch Informationen von Thermorezeptoren aus Haut und Körper verarbeitet. Eine lokale Erwärmung oder Abkühlung der präoptischen Region im Hypothalamus ruft bei Säugetieren reflektorische Reaktionen und Verhaltensweisen hervor, die der Temperaturregelung dienen (z.B. Schwitzen oder Muskelzittern). Auf diese Weise kann die Körpertemperatur weitgehend konstant gehalten werden.



IST-Größe: Körpertemperatur
 SOLL-Größe: ca. 37° Celsius
 STÖR-Größe: Umgebungstemperatur

[2.8.2] Hypophyse und untergeordnete Hormondrüsen



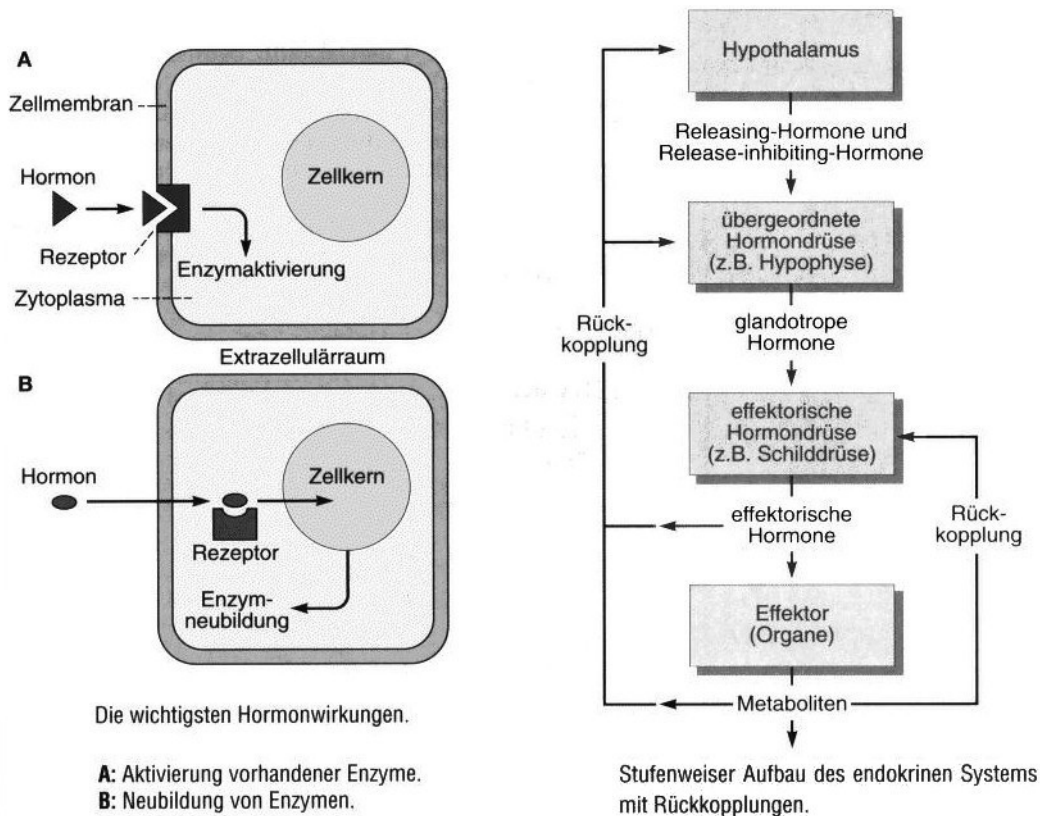
Übersicht über das Hormonsystem

Beispiel: Das AdrenoCorticoTropin (ACTH) der Hypophyse wirkt auf die Nebennierenrinde. Die Nebennierenrinde produziert das CORTISOL, das in der Leber die Umwandlung von Eiweiß in Zucker fördert und außerdem entzündungshemmend wirkt.

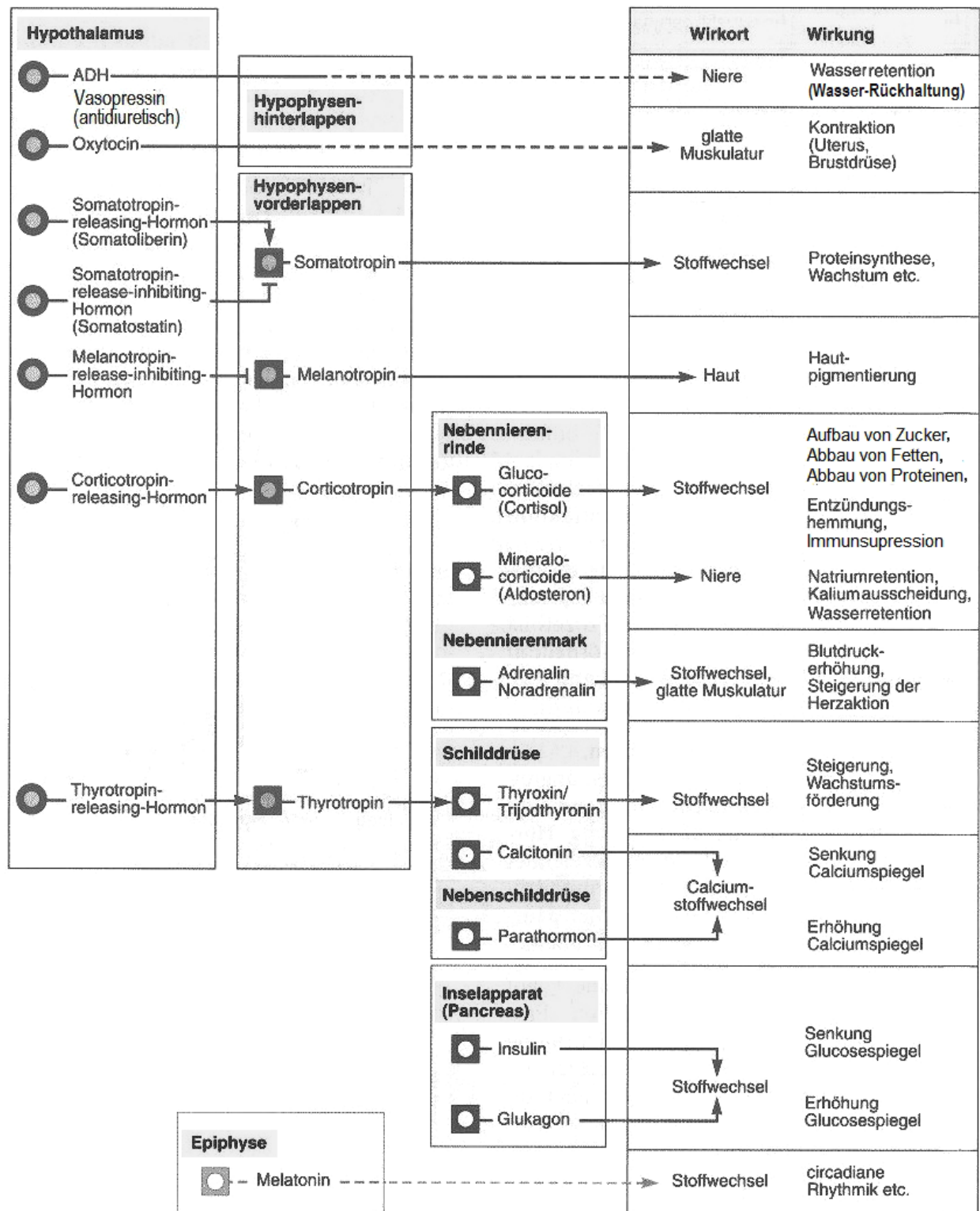
Hormone sind chemische Botenstoffe, welche in Senderzellen erzeugt werden und dann über den Blutweg auf Empfängerzellen einwirken. Die Steuerung erfolgt nach dem **Regelkreisprinzip** (Feedback): Das Hormon regt die Empfängerzelle zur Produktion eines bestimmten Wirkstoffes an. Dieser gelangt über das Blut zurück zur Senderzelle und hemmt dort die weitere Erzeugung des Hormons. Das führt wiederum dazu, dass die Empfängerzelle weniger Wirkstoff produziert.

Beispiel: Der Hypothalamus steuert mit Releasing-Faktoren und Release-Inhibiting-Faktoren die Hormonproduktion der Hypophyse. Das Hypophysenhormon Thyreotropin (TSH) veranlasst die Schilddrüse das Hormon Thyroxin zu produzieren, welches stoffwechselsteigernd und wachstumsfördernd wirkt. Das Thyroxin wirkt aber auch zurück auf Hypothalamus/Hypophyse und bremst dort die TSH-Ausschüttung, wodurch dann die Thyroxin-Produktion reduziert wird.

Hormone werden meist in umschriebenen Zellverbänden, den endokrinen Drüsen, gebildet. Dort gelangen die Hormone in den Kreislauf und verteilen sich mit dem Blut im gesamten Organismus und somit in allen Geweben. Ihre Wirkung entfalten sie jedoch nur an den Zellen, die über entsprechende Rezeptoren verfügen. So entsteht die gezielte Hormonwirkung, d.h. eine funktionelle Zuordnung von Hormondrüsen und Zielzellen (Effektorzellen). Diesen Mechanismus nennt man auch Schlüssel-Schloss-Reaktion, wobei das Hormon mit dem Schlüssel und der Rezeptor mit dem Schloss verglichen wird. Durch die Verbindung von Hormonen mit Rezeptoren der Zielzellen können grundsätzlich zwei verschiedene Reaktionsketten ausgelöst werden. In **Zelle A** aktiviert die Hormon-Rezeptor-Verbindung an der Zellmembran ein schon vorhandenes Enzym, das auf zelleigene Enzymsysteme einwirkt. Die endgültige Hormonwirkung besteht an solchen Zielzellen häufig in einer Formänderung (Kontraktion glatter Muskelzellen). In **Zelle B** findet die Hormon-Rezeptor-Verbindung im Inneren der Zelle statt und löst die Herstellung von neuen zellspezifischen Enzymen aus (Enzyminduktion). An diesem Prozess ist der Zellkern mit seiner Erbinformation (DNA) beteiligt. Ein zentraler Wirkungsort vieler Hormone ist die Leber, wo sie auf fast alle Stoffwechselprozesse einwirken.



Dem Hormonsystem liegt also ein stufenförmiger Aufbau mit funktionellen Abhängigkeiten zwischen den Stufen zu Grunde: **Hypothalamus - Hypophyse - effektorische Hormondrüsen**. Die wichtigste übergeordnete Hormondrüse ist die **Hypophyse**, deren Hormone glandotrope Hormone (auf Drüsen wirkende Hormone) heißen. Die Produktion und die Ausschüttung dieser Hormone werden wiederum von spezifischen Substanzen des **Hypothalamus** gesteuert. Dieser aktiviert über Releasing-Factors oder Releasing-Hormone (freisetzende Hormone) bzw. hemmt über Release-Inhibiting-Factors oder Release-Inhibiting-Hormone (die Freisetzung hemmende Hormone) die Hypophyse. Ansteigende Konzentrationen von effektorischen Hormonen bzw. Stoffwechselprodukten im Blut hemmen den Hypothalamus, wodurch dann die Hormonproduktion gedrosselt wird (**negatives Feedback**). Umgekehrt aktivieren fallende Konzentrationen von effektorischen Hormonen im Blut den Hypothalamus und damit die Hormonproduktion.

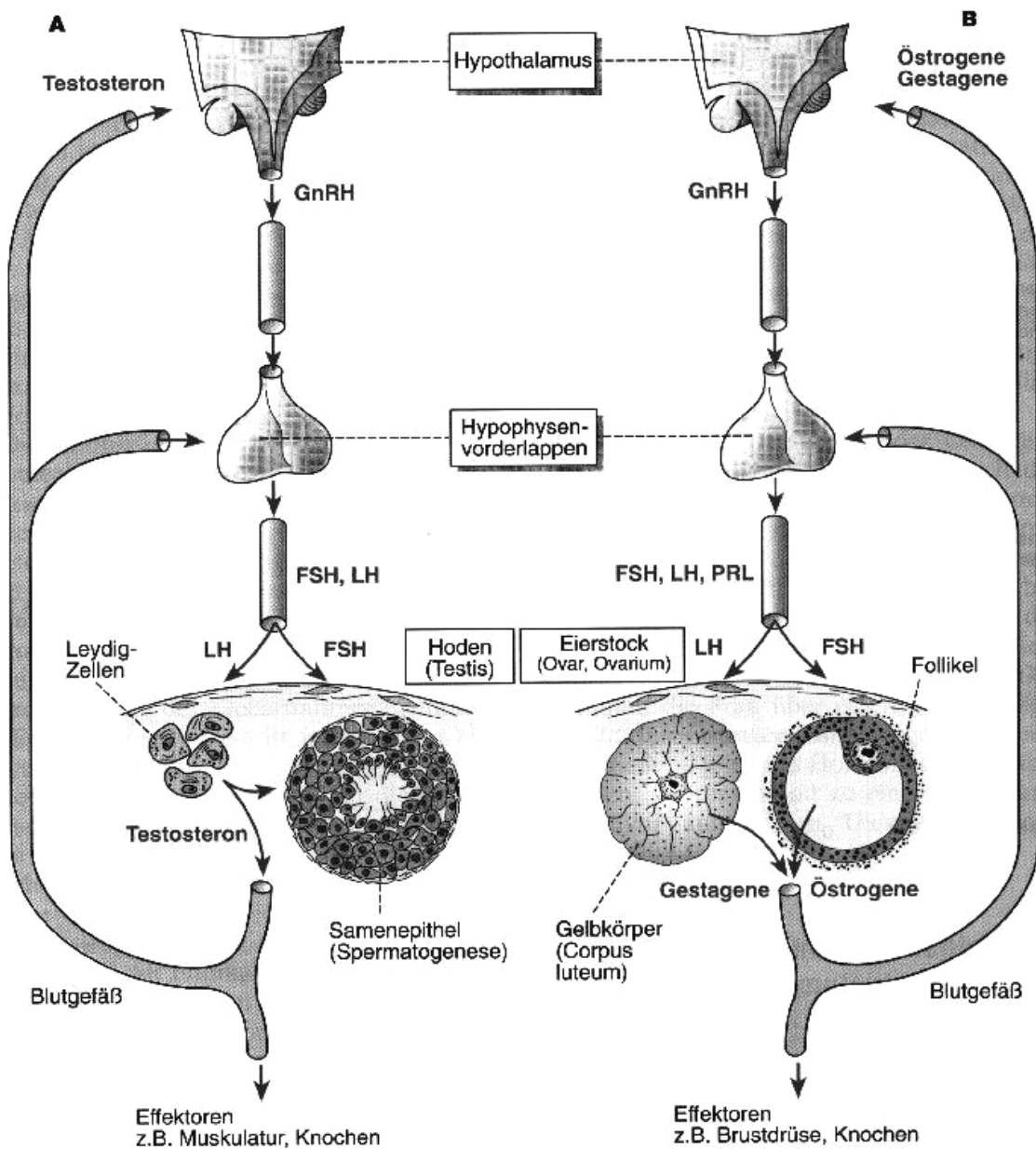


Die Übersichtstafel enthält alle wichtigen Hormone – ausgenommen der Sexualhormone (FSH, LH, Östrogen, Progesteron, Testosteron).

Im Folgenden wird als Beispiel die hormonelle Regelung der Geschlechtsfunktionen ausführlich beschrieben.

[2.8.3] Die Regelung der Geschlechtsfunktionen

Hypothalamus und Hypophyse regeln die Samenzellenreifung (Spermatogenese) in den Hoden des Mannes und die Eizellenreifung (Oogenese) in den Eierstöcken der Frau. Das so genannte follikelstimulierende Hormon (FSH) des Hypophysenvorderlappens fördert direkt die Keimzellenbildung und Keimzellenreifung. Es ist, wie auch die anderen hypophysären Hormone, bei beiden Geschlechtern gleich. Ein weiteres auf die Keimdrüsen wirkendes Hormon des Hypophysenvorderlappens ist das luteinisierende Hormon (LH). LH und auch FSH werden als Gonadotropine bezeichnet, weil sie auf die Geschlechtsdrüsen (Gonaden) wirken. Das Gonadotropin-Releasing-Hormon (GnRH) des übergeordneten Hypothalamus steigert Produktion und Freisetzung der Gonadotropine in der Hypophyse.



Regelung der Ausschüttung von Sexualhormonen

[A] Regelung der Ausschüttung von Testosteron und Anregung der Spermatogenese (Mann)

[B] Regelung der Ausschüttung von Östrogenen und Gestagenen sowie der Oogenese (Frau)

Beim Mann verstärkt das LH die Testosteronbildung in den Leydig-Zwischenzellen im Nebenhoden, welche dort als Zellgruppen zwischen den Samenkanälchen liegen. Die Produktion und Freisetzung von Testosteron durch den Hoden erfolgt mithilfe eines Regelkreises, an dem Hypothalamus und Hypophyse beteiligt sind. Dabei werden durch einen Abfall des Hormons Testosteron im Blut zunächst das Gonadotropin-Releasing-Hormon im Hypothalamus und dann die Gonadotropine (LH, FSH) des Hypophysenvorderlappens vermehrt ausgeschüttet, was dann zur Steigerung der Testosteronbildung im Hoden führt. Testosteron wird außer im Hoden auch in der Nebennierenrinde sowie im Eierstock der Frau und in der Leber gebildet. Es steuert entscheidend die Entwicklung der männlichen Geschlechtsmerkmale, beeinflusst die sexuelle Aktivität und hat darüber hinaus anabolische Stoffwechselwirkungen (Proteinaufbau und damit Zunahme der Muskulatur).

Bei der Frau stimulieren FSH und LH gemeinsam die Produktion der beiden Hormone Östrogen und Progesteron in den Eierstöcken. Östrogen beeinflusst maßgeblich die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale in der Pubertät. Dazu gehören Wachstum der Brust und die geschlechtsspezifische Verteilung von Unterhautfettgewebe. Beginnend mit der Pubertät (11. bis 14. Lebensjahr) reifen in den Eierstöcken die ersten Eizellen. Nach dem ersten Eisprung kommt es zur ersten Regelblutung, der Menarche. Danach stellt sich allmählich ein regelmäßiger Menstrualzyklus von ungefähr 28 Tagen ein. Der erste Tag der monatlichen Regelblutung (Menstruation) ist als erster Tag des Zyklus festgelegt. Der Zyklus entsteht durch ein kompliziertes Zusammenspiel verschiedener Hormone und Organe. Er besteht aus:

- **Follikelphase (1. bis 12. Tag)**
- **Ovulationsphase (13. bis 15. Tag)**
- **Lutealphase (16. bis 28. Tag)**

Jede dieser Phasen ist durch charakteristische Hormonspiegel im Blut und Veränderungen in verschiedenen Organen (insbesondere in Ovar und Uterus, also in Eierstock und Gebärmutter) gekennzeichnet.

Follikelphase:

Zu Beginn der Follikelphase kommt es zur Menstruation. Diese beruht auf einer Abstoßung (Desquamation) eines großen Teils der Gebärmutter Schleimhaut (Endometrium). Sie tritt immer dann ein, wenn die aus dem Eierstock freigesetzte Eizelle nicht befruchtet wird. Zu dieser Zeit steigt die FSH-Ausschüttung der Hypophyse an. Dies führt zu einer beschleunigten Follikelreifung und Eizellenentwicklung (Oogenese) im Eierstock mit gleichzeitiger Erhöhung der Östrogenproduktion durch die Granulosazellen der Follikel. Dabei reift jener Follikel, der am meisten FSH bindet und am meisten Östrogen produziert, zum sprungreifen Follikel (dominanter Follikel) heran. Unter Einfluss von Östrogen regeneriert die Schleimhaut der Gebärmutter durch Wucherung (Proliferation) von Bindegewebe, Drüsen schläuchen und Gefäßen (Proliferationsphase).

Ovulationsphase:

Der in der Follikelphase steigende Östrogenspiegel unterdrückt die FSH-Freisetzung der Hypophyse (negatives Feedback) und fördert andererseits dort die LH-Produktion (positives Feedback). Bei einem bestimmten Konzentrationsverhältnis von FSH zu LH erfolgt dann der Eisprung, wobei der Follikel platzt und die reife Eizelle im Eileiter abwärts zur Gebärmutter wandert. In dieser Phase beginnt die Erzeugung von Progesteron (Gestagen) durch den geplatzten Follikel, während die Östrogenausschüttung absinkt.

Lutealphase:

Nach dem Eisprung wandelt sich der zurückbleibende Follikelrest unter Einfluss von LH zum Gelbkörper (Corpus luteum). Er setzt dann steigende Mengen von Progesteron frei. Dieses Hormon verändert die Uterusschleimhaut. Die Drüenschläuche verlängern sich und beginnen zu sezernieren (Sekretionsphase). Die Schleimhaut wird damit für die Einnistung einer befruchteten Eizelle vorbereitet. Progesteron führt in dieser Phase auch zu einem Anstieg der Körpertemperatur um etwa 0,5°C (Basaltemperatur) sowie durch Wassereinlagerungen zu einer Erhöhung des Körpergewichts.

Bleibt eine Befruchtung aus, so kommt es gegen Ende der Lutealphase zu einer Rückentwicklung des Gelbkörpers und zu einer Einstellung der Progesteronausschüttung. In der Gebärmutter wird die äußere Schicht der Schleimhaut abgestoßen (Menstrualblutung). Dann beginnt ein neuer Zyklus.

Durch anhaltende Erhöhung der Östrogen- und Progesteronkonzentration lässt sich die Freisetzung von GnRH des Hypothalamus und Gonadotropinen (LH, FSH) der Hypophyse hemmen, wodurch dann der Eisprung im Eierstock unterbunden wird. Durch diese hormonale Ovulationshemmung kann eine Empfängnis verhindert werden. Dazu nimmt die Frau über einen meist 28-tägigen Zyklus Östrogen und Progesteron täglich in Form von Pillen ein (Antibaby-Pille). Zwischendurch wird die Hormoneinnahme kurzzeitig unterbrochen, sodass es zu einer Abstoßung der aufgebauten Gebärmutter Schleimhaut (Abbruchblutung) kommt. Danach wird die künstliche Hormonzufuhr wieder fortgesetzt.

[2.8.4] Die Regelung des Cortisolspiegels im Blut

Entscheidend bei der Stressreaktion ist das Zusammenspiel von Hypothalamus, Hypophyse und Nebennierenrinde (Adrena), die sogenannte **HPA-Achse**. Wirken Stressreize (Stressoren) auf den Organismus, werden die wahrgenommenen Signale zuerst an Hypothalamus, Amygdala und Hippocampus weitergeleitet. Im Hypothalamus kommt es zur Produktion des Neuropeptids **CRF** (corticotropin-releasing-factor). Das CRF veranlasst die Hypophyse zur Ausschüttung des adreno-corticotropen Hormons (**ACTH**).

Das ACTH gelangt über den Blutweg in die Rinde der Nebenniere und führt dort zur Bildung und Freisetzung des Glukocorticoid-Hormons **Cortisol** in den Blutkreislauf. Dieses Hormon bewirkt eine vermehrte Bereitstellung von Zucker (Glukose) und somit eine erhöhte Energiezufuhr für die Muskelzellen. Der Zucker wird in den Muskelzellen als Brennstoff verwendet, welcher die Energie für die Muskelkontraktion liefert. Cortisol wirkt auch entzündungshemmend und immunsuppressiv.

Das **Cortisol** wirkt aber über den Blutweg wieder zurück auf das Zwischenhirn und bremst dort die weitere Produktion von CRF („negatives Feedback“).

Zusätzlich wird über den Sympathikus auch das Nebennierenmark angeregt, die Stresshormone **Noradrenalin** und **Adrenalin** auszuschütten, welche u.a. Herzrhythmus und Blutdruck erhöhen.

[2.8.5] Die Regelung des Blutzuckers

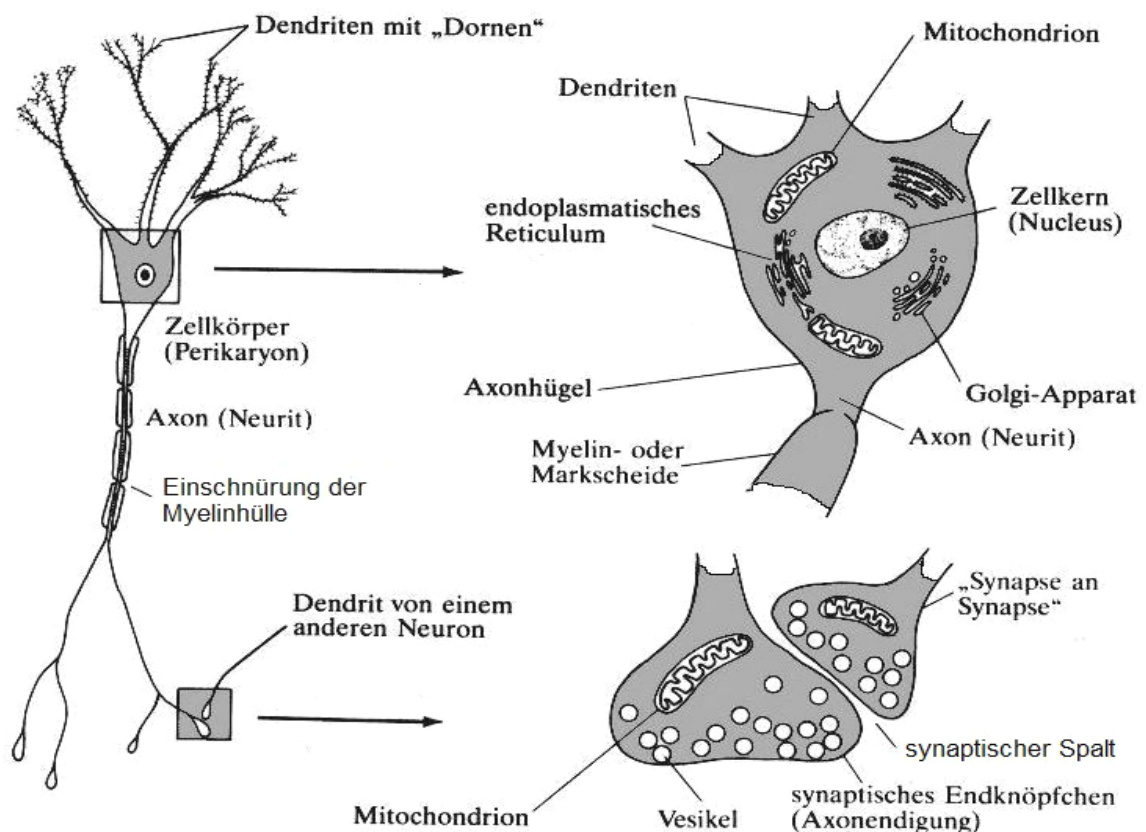
Die **endogenen Drüsenzellen** der Bauchspeicheldrüse produzieren erstens das **Insulin** in den Betazellen und zweitens das **Glucagon** in den Alphazellen. Das Insulin erhöht die Membrandurchlässigkeit der Muskelzellen für den Blutzucker und hemmt die Zuckerfreisetzung in den Leberzellen, weil dort der Zucker in Glykogen umgespeichert wird. Dieser Vorgang wird zunächst durch einen Anstieg des Blutzuckers und durch den Parasympathikus aktiviert. Er führt dann zu einer Senkung des Zuckerspiegels im Blut. Bei einem zu starken Blutzuckerabfall wird das Glucagon ausgeschüttet, das in der Leber die Freisetzung von Zucker aus dem Glykogenspeicher bewirkt.

[3] Nervensystem und Gehirn

Das Nervensystem besteht aus dem somatischen und dem vegetativen System. Das **somatische Nervensystem** kontrolliert die Kommunikation mit der Umwelt und gliedert sich in zwei Bereiche, dem *sensorischen* und dem *motorischen System*. Das Erste liefert und verarbeitet Reize, das Zweite steuert unsere Bewegungen. Die Informationsverarbeitung erfolgt *zentral* (Gehirn, Rückenmark) und *peripher*. Das **vegetative Nervensystem** steuert und koordiniert die Arbeit der inneren Organe (Verdauung, Atmung, Herztätigkeit, usw.). Es besteht aus zwei gegensätzlich wirkenden Anteilen, dem *Symphikus* und dem *Parasympathikus*.

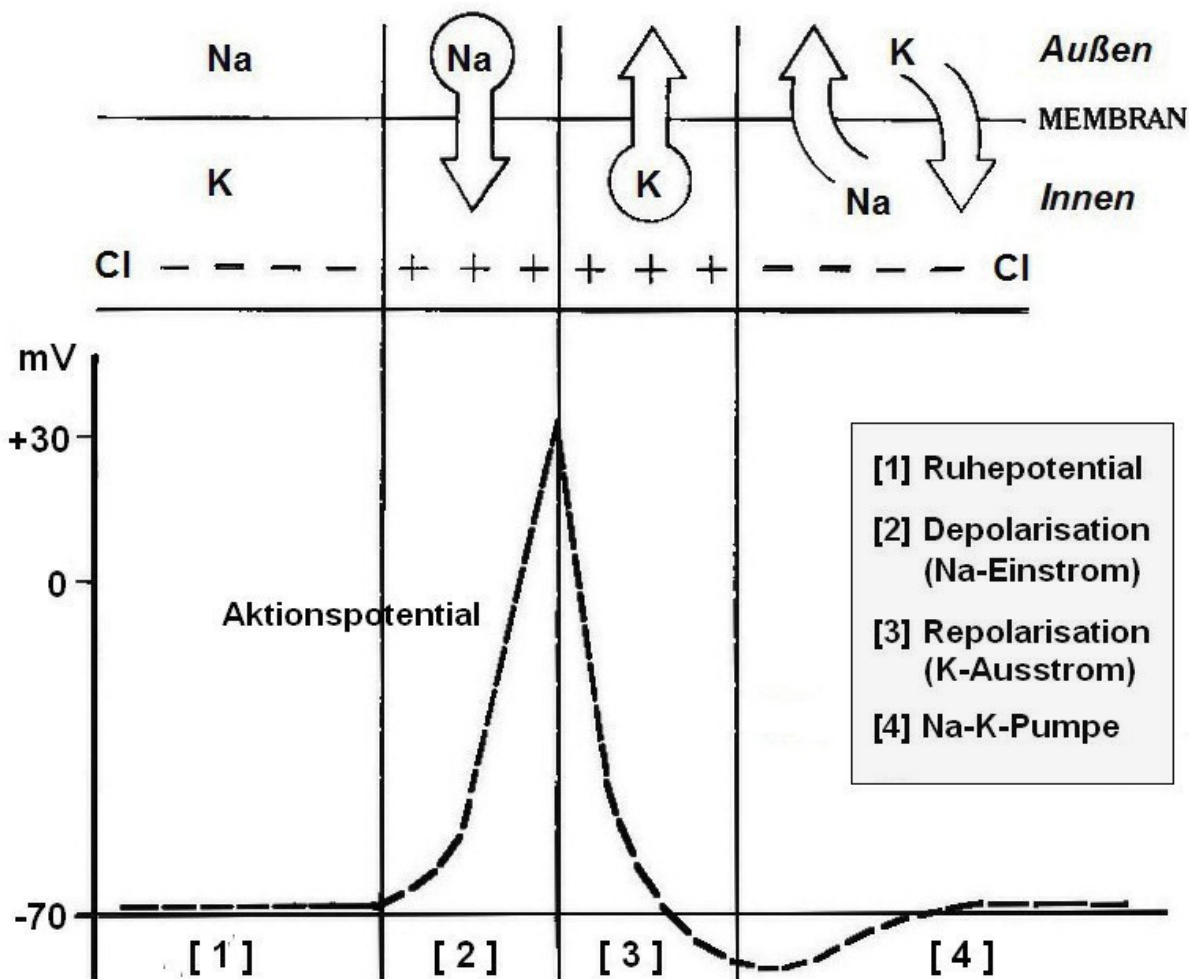
[3.1] Neuronen und Neurotransmitter

Die Bausteine des Nervensystems sind die *Neuronen*. Ein Neuron enthält die eigentliche Nervenzelle, viele zuleitende Fortsätze (Dendriten) und immer nur einen wegleitenden Fortsatz (Neurit, Axon). Der Neurit ist von einer mit Einschnürungen versehenen Schutzschicht (Myelin- oder Markscheide) umhüllt. Die Nervenzelle besteht aus dem *Zellkern* und dem *Zellplasma*.



Die Kontaktstellen zwischen zwei Neuronen heißen *Synapsen*. Diese unterteilt man in die präsynaptische Membran, den synaptischen Spalt und die postsynaptische Membran. Die Blasen (Vesikel) an den synaptischen Endknöpfen enthalten *Transmitterstoffe*, welche die Übertragung elektrischer Signale von einem Neuron auf ein anderes ermöglichen. Die über Synapsen verbundenen Neuronen bilden *neuronal Netze*.

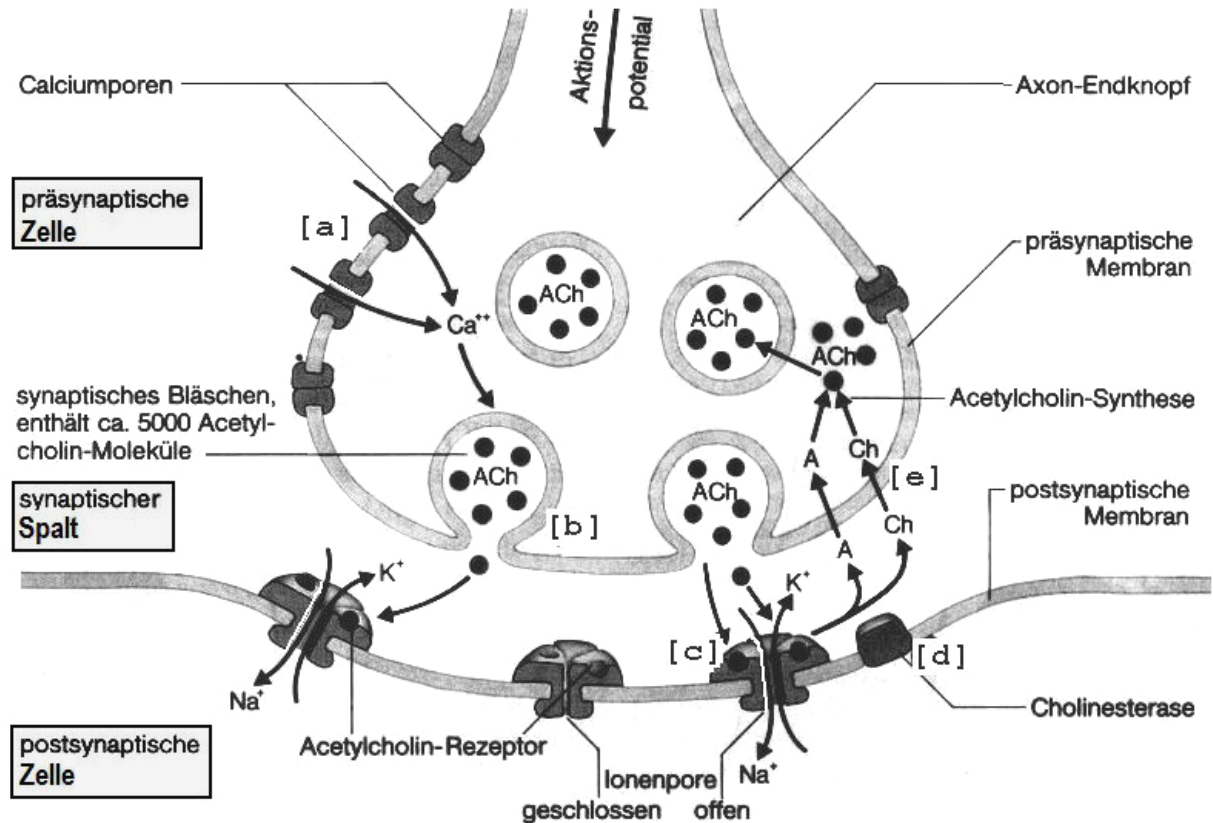
Die Nervenzelle ist von ihrer Umgebung durch eine *Membran* abgegrenzt. Auf Grund einer bestimmten Verteilung von Ionen (vor allem Natrium und Kalium) besteht zwischen Innenraum und Außenraum eine elektrische Spannung (Ruhepotential, ca. -70 mV). Die Membran enthält Kanäle von verschiedener Breite, durch welche selektiv bestimmte Ionen hinein oder hinaus wandern können. Durch solche Ionenverschiebungen ändert sich die elektrische Spannung zwischen Innen- und Außenraum der Zelle. Die Spannungsänderung (*Aktionspotential*, ca. $+30\text{ mV}$) wird nun entlang der Nervenfortsätze weitergeleitet. Danach werden die Ionen in umgekehrter Richtung bewegt (Ionenpumpe) und das Ruhepotential wiederhergestellt. Die Energie für diese Ionenpumpe liefert das ATP-Molekül (Adenosintri-phosphat). Den ganzen Vorgang nennt man eine *elektrochemische Erregung*.



Erreicht ein Aktionspotential die präsynaptische Membran eines Neurons, dann werden dort so genannte *Transmitter*-Moleküle freigesetzt, welche den Spalt überqueren und sich an so genannte *Rezeptor*-Moleküle an der postsynaptischen Membran eines benachbarten Neurons anheften. Dadurch öffnen oder schließen sich selektiv Membrankanäle in denen der Einstrom der Ionen stattfindet.

Somit steuern die Transmitter die Weiterleitung der elektrischen Signale, entweder erregend (exzitatorisch) oder hemmend (inhibitorisch). Die weitergeleitete Information ist in der zeitlichen Aufeinanderfolge der Aktionspotentiale verschlüsselt (Frequenzmodulation).

Gelangt ein Aktionspotential in der Nervenfaser an eine Synapse, dann kommt es dort zu einer Erregungsübertragung auf das benachbarte Neuron. Das elektrochemische Geschehen soll am Beispiel einer Synapse mit **Acetylcholin** (ACh) als Transmitter beschrieben werden, wobei das Acetylcholin in den Nervenendigungen aus Acetyl-Coenzym-A (Acetyl-CoA) und Cholin gebildet und in den Vesikeln (Blasen) gespeichert wird.



[a] Wenn ein Aktionspotential die Endigung erreicht, dann öffnen sich die zuvor geschlossenen Calciumkanäle und lassen Calciumionen Ca^{2+} einströmen.

[b] Dies bewirkt, dass die Vesikel mit der präsynaptischen Membran verschmelzen und ACh-Moleküle in den synaptischen Spalt entlassen.

[c] Der freigesetzte Transmitter bindet sich an spezifische ACh-Rezeptoren auf der postsynaptischen Membran am benachbarten Neuron und löst dort die Öffnung von Membrankanälen aus. Viele Na^+ -Ionen strömen ins Zelleninnere und wenige K^+ -Ionen nach außen. Dadurch kann ein postsynaptisches Aktionspotential aufgebaut und die Erregungsleitung fortgesetzt werden.

[d] Der Transmitter ACh wird dann an den Membranrezeptoren durch das Enzym Acetylcholinesterase (AChE) sofort zu Acetat (A) und Cholin (Ch) abgebaut.

[e] Diese Produkte werden zuletzt von der präsynaptischen Nervenendigung aufgenommen und anschließend zur neuerlichen Synthese von Acetylcholin verwendet.

Anmerkung: Für die Transmitter gibt es an der präsynaptischen Membran zusätzliche Autorezeptoren. Über diese kann ein freigesetzter Transmitter bei Erreichung einer bestimmten Verteilungsdichte seine eigene Freisetzung hemmen.

Die Wirkung vieler Medikamente beruht darauf, dass sie den natürlichen Botenstoffen nachgebaut werden und Rezeptormoleküle besetzen.

Die *agonistischen Medikamente* erzielen die gleiche Wirkung wie die Botenstoffe. *Antagonisten* besetzen die Rezeptoren und blockieren sie ohne eine Wirkung zu erzielen. In der folgenden Abbildung sind diese Mechanismen schematisch dargestellt.

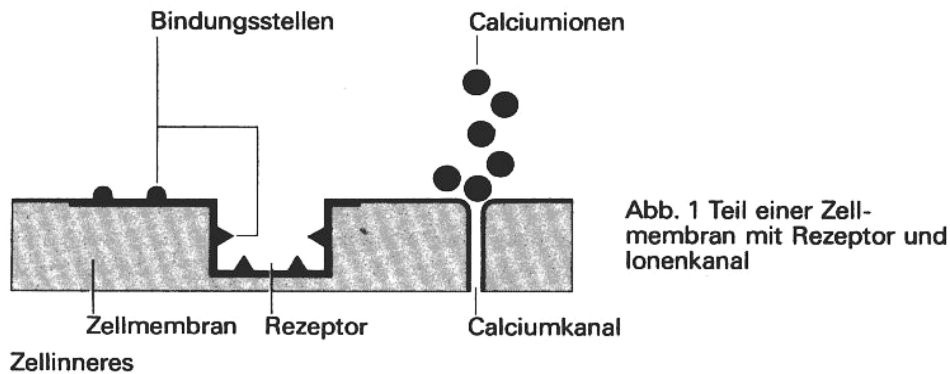


Abb. 1 Teil einer Zellmembran mit Rezeptor und Ionenkanal

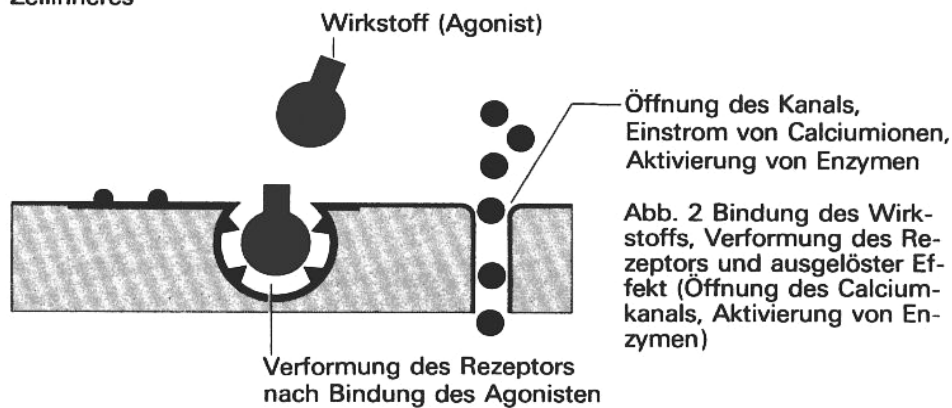


Abb. 2 Bindung des Wirkstoffs, Verformung des Rezeptors und ausgelöster Effekt (Öffnung des Calciumkanals, Aktivierung von Enzymen)

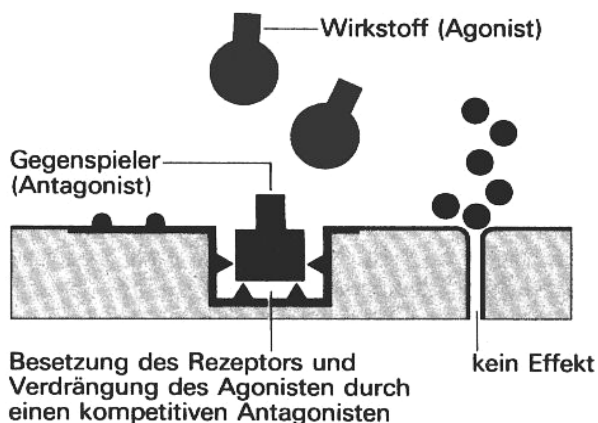


Abb. 3 Der kompetitive Antagonist verdrängt den Wirkstoff, besetzt den Rezeptor und verhindert dessen Verformung und damit den sonst zu erwartenden Effekt

Einige *Psychopharmaka* wirken als Agonisten oder Antagonisten von Neurotransmittern auf entsprechende Rezeptoren. Beispielsweise sind *Benzodiazepine* GABA-Agonisten und hemmen die neuronale Erregung, wodurch sie angstlösend und sedierend wirken. Andere Psychopharmaka blockieren die Abbau-Enzyme der Transmitter oder verhindern die Wiederaufnahme der Transmitter in das präsynaptische Neuron. Dadurch wird der Transmitter nicht mehr aus dem synaptischen Spalt entfernt, was zur Erhöhung seiner Konzentration führt. *Antidepressiva* wie *Cipralext* wirken als *Serotonin*-Wiederaufnahme-Hemmer stimmungsaufhellend.

[3.2] Transmitter und ihre Rezeptoren

Wie das Gehirn funktioniert, versteht man am besten, wenn man die synaptische Übertragung betrachtet, also die Weise, in der Nervenzellen Information an andere Nerven-, Muskel- oder Drüsenzellen übermitteln.

In der Zusammenschau ist dieser Prozess unkompliziert: Sobald ein Aktionspotential eine Nervenfaseringung (den präsynaptischen Teil der Synapse) erreicht, öffnet es normalerweise geschlossene, elektrisch gesteuerte Calcium-Kanäle in der präsynaptischen Membran. Calcium strömt ein und setzt die Ausschüttung von Neurotransmittersubstanzen in Gang, welche durch den synaptischen Spalt diffundieren, auf Rezeptormoleküle in der Membran der postsynaptischen Zelle einwirken und so Reaktionen in postsynaptischen Nerven-, Muskel- oder Drüsenzelle auslösen.

Bei der schnellen (weniger als eine Millisekunde benötigten) synaptischen Übertragung steuern die Rezeptoren unmittelbar Ionenkanäle. Hierbei handelt es sich nicht um einen elektrisch gesteuerten, sondern um einen chemisch gesteuerten Ionenkanal. Er ist nur zu öffnen, indem sich der Transmitter an jene Rezeptoren heftet, welche die Kontrolle über den Kanal ausüben. Daneben gibt es seltene, rein elektrisch gesteuerte Synapsen, die ohne Transmitter auskommen.

Bei der *schnellen erregenden synaptischen Übertragung* (exzitatorisch) öffnen die Rezeptoren die Natrium-Kanäle. Das Natrium strömt ein und verursacht eine gewisse Depolarisation (das heißt, das lokale Membranpotential wird weniger negativ). Diese erregende Reaktion (EPSP, exzitatorisches postsynaptisches Potential) ist abgestuft und in ihrer Stärke davon abhängig, wie viele Rezeptoren bzw. Kanäle aktiviert wurden. Sind ausreichend viele Rezeptoren in Tätigkeit versetzt (Summationseffekt), dann wird das Membranpotential im Anfangsteil der Nervenfaser, wo sie den Zellkörper verlässt, depolarisiert. Sobald die Aktionspotentialschwelle (Generatorpotential) bei den hier befindlichen Natriumkanälen erreicht ist, entsteht ein postsynaptisches Aktionspotential, welches sich dann entlang der Nervenfaser weiter fortpflanzt. Diese elektrische Weiterleitung erfolgt sprunghaft (saltatorisch), d.h. von einer Einschnürung der Myelinhülle zur nächsten.

Bei der *schnellen hemmenden synaptischen Übertragung* (inhibitorisch) steuern die Rezeptoren gewöhnlich geschlossene Chlorid-Kanäle. Sie öffnen die Kanäle, Chloridionen strömen ein und hyperpolarisieren die Zellmembran (ihr Potential wird also negativer als das Ruhepotential). Dieses inhibitorische postsynaptische Potential (IPSP, ca. -80 mV) verhindert das Erreichen des Schwellwertes zur Erzeugung des Aktionspotentials, sodass keine Signalfortpflanzung erfolgen kann.

Heute hat die moderne Molekularbiologie bereits das Wissen und die Instrumente entwickelt, um die Neurotransmitter-Rezeptoren (die komplexe Proteinmoleküle sind) zu charakterisieren. In zunehmendem Maß wird klar, dass es weniger die bloße, als Transmitter benutzte Substanz ist, sondern der Rezeptor, welcher die "Botschaft" bei der synaptischen Übertragung in sich trägt. So kann ACh sowohl als erregender wie als hemmender Neurotransmitter fungieren, je nachdem auf welchen Rezeptor es einwirkt.

Ein Typ von ACh-Rezeptor (nämlich der erregend wirkende Rezeptor an der neuromuskulären Endplatte) hat ein hohes Molekulargewicht und besteht aus vier Untereinheiten. Der Grund, weshalb so viele Wirkstoffe einen derart mächtigen Einfluss auf das Gehirn haben, liegt darin, dass sie den spezifischen Rezeptoren der Nervenzellen vortäuschen, sie wären Neurotransmitter. Dies gelingt ihnen, indem sie sich auf Grund ihrer chemischen Struktur an den Rezeptor anlagern und ihn entweder aktivieren (agonistische Wirkstoffe) oder das normale Transmittermolekül daran hindern, sich an den Rezeptor zu heften (antagonistische Stoffe).

Die klassischen Transmitter sind: Acetylcholin und die Aminosäuren Glutamat und Glycin und die Gamma-Amino-Buttersäure (GABA). Die Monoamine Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin, Serotonin regulieren als Neuromodulatoren die eigentlichen Transmitter. Daneben gibt es noch weitere, modulierend wirkende Neuropeptide wie die Endorphine und Enkephaline. Diese opium-ähnlichen Moleküle (endogene Opiate) bewirken unmittelbar keine Leitfähigkeitsänderungen in den synaptischen Membranen, sondern beeinflussen Intensität und Dauer der Wirkung der eigentlichen Transmitter.

Glutamat, eine Aminosäure, die sowohl in der Nahrung als auch in allen Zellen vorkommt, ist das Arbeitspferd unter den **schnellen erregenden** Neurotransmittern im Gehirn. Auch bei der Speicherung von Gedächtnisinhalten scheint es eine Schlüsselrolle zu spielen. Ein Beispiel hierfür ist die *Langzeitpotenzierung* (LTP). Wird eine Leitungsbahn, die Glutamat als Transmitter benutzt (etwa im Hippocampus), in rascher Folge gereizt, ruft dies eine anhaltend gesteigerte Erregbarkeit der aktivierten Synapsen hervor. Dieser Verstärkereffekt (Potenzierung) wird durch Anregung eines bestimmten Typs von Glutamatrezeptoren eingeleitet, dem NMDA-Rezeptor (NMDA=N-Methyl-D-Aspartat). LTP wurde erstmals 1973 im Hippocampus entdeckt.

Auch ein anderer synaptischer Wirkungsmechanismus, die *Langzeitdepression* (LTD), kann an Glutamatsynapsen (beispielsweise im Kleinhirn) vorkommen. Sie geht mit einer lang andauernden, abgeschwächten Erregbarkeit von Glutamatrezeptoren des AMPA-Typs einher (AMPA= α -Amino-3-Hydroxy-5-Methyl-4-Isloxazol-Propionsäure). Die LTD wurde erst 1981 von dem japanischen Neurobiologen Masao Ito an den Purkinje-Zellen im Kleinhirn entdeckt.

Gamma-Amino-Buttersäure (GABA) ist hingegen das Arbeitspferd unter den **schnellen hemmenden** Neurotransmittern im Gehirn. Ihre Rezeptoren steuern Chloridkanäle in Nervenzellmembranen. Benzodiazepine (d.h. Tranquilizer) wirken auf GABA-Rezeptoren, indem sie deren Wirkungen steigern und so die Hemmung verstärken. Mit Benzodiazepinen werden *panische Angstzustände* behandelt.

Acetylcholin (ACh) ist der selektive Transmitter an der neuromuskulären Endplatte zwischen Nervenfasern und Muskelzelle und an bestimmten anderen peripheren Synapsen des autonomen Nervensystems (zum Beispiel im Herzen). Er kann als der am gründlichsten untersuchte und wohl bekannteste Transmitter gelten.

1924 entdeckte Otto Loewi in einem klassischen Experiment der Neurobiologie das Acetylcholin und klärte damit die Frage, ob die synaptische Übertragung vom Vagusnerv zum Herzmuskel (und auch an anderen Synapsen) elektrischer oder chemischer Natur ist. Loewis Experiment - ein Modell dafür, wie einfach ein Versuch sein kann - verdient es, genauer beschrieben zu werden. Der Vagusnerv ist einer der größeren Nerven, die das Herz kontrollieren. Aus einem Frosch kann man ihn und das Herz herauspräparieren und in einer Schale mit so genannter Ringerlösung am Leben halten. Diese Lösung ähnelt in ihrer Salzzusammensetzung dem Blut. Eine elektrische Reizung des Vagus, ob im lebenden Tier oder an einem isolierten Herzen in einem Gefäß, verlangsamt den Herzschlag. Loewi reizte den Vagus eines in Ringerlösung überführten Herzens viele Male und löste jedesmal eine Senkung der Herzfrequenz aus. Anschließend entnahm er der Schale mit dem stimulierten Herzen etwas Lösung und gab sie in eine andere Schale mit einem zweiten Froschherzen. Auch dieses Herz schlug daraufhin langsamer. Das Experiment bewies, dass die synaptische Übertragung mit Hilfe eines chemischen Transmitterstoffes abläuft.

Das Acetylcholin ist die vielleicht am besten erforschte Neurotransmittersubstanz, denn sie wirkt an neuromuskulären Endplatten und lässt sich dort sehr gut untersuchen. Es gibt zwei Haupttypen von ACh-Rezeptoren, von denen die einen erregend auf die Skelettmuskulatur einwirken (nicotinerge Rezeptoren) und die anderen beispielsweise den Herzmuskel hemmend beeinflussen (muscarinerge Rezeptoren). Über ACh-Bahnen im Gehirn weiß man weitaus weniger. Die Zellkörper der wichtigsten ACh-Bahn des Gehirns befinden sich im Nucleus basalis (ihre Fasern ziehen in weite Teile der Großhirnrinde) und in den Septumkernen (deren Fasern zum Hippocampus ziehen). In den Gehirnbahnen übt ACh anscheinend keine schnellen synaptischen Wirkungen aus (wie es dies an den Muskeln tut), sondern ruft eher *langsame synaptische Effekte* über zusätzliche Vermittlerstoffe (*second messenger*) hervor. Bei der langsamen und schnellen synaptischen Übertragung gleichen sich die ersten Schritte bis einschließlich zu dem Moment, in dem sich der Überträgerstoff an die Rezeptormoleküle der postsynaptischen Membran anlagert; doch dann trennen sich ihre Wege.

Langsame Rezeptoren sind nicht direkt an Ionenkanäle gekoppelt. Sie aktivieren statt dessen so genannte G-Proteine, welche ihrerseits Vermittlerstoffe im Inneren der Zelle aktivieren. Beispielhaft für ein solches System ist die (durch das G-Protein vermittelte) Umwandlung von ATP in cAMP (Aufspaltung von Adenosintriphosphat in ein zyklisches Adenosinmonophosphat und einen Phosphatrest). Erstens wird dadurch Energie frei, und zweitens wirkt cAMP dann als second messenger für die Phosphorylierung eines Proteins, d.h. die Verbindung eines Proteinmoleküls mit einem Phosphatmolekül. Dadurch wird das Protein als Enzym aktiv und beschleunigt einen bestimmten biochemischen Prozess im intermediären Stoffwechsel der Zelle.

Weitere gut untersuchte Neurotransmitter des Gehirns sind die zwei Monoamine **Dopamin** und **Noradrenalin**. Sie werden in den Zellen aus Tyrosin hergestellt, einer Aminosäure, die gewöhnlich in der Nahrung vorkommt. Tyrosin wird zunächst in das L-Dopa, dann in das Dopamin, schließlich in Noradrenalin und zuletzt in **Adrenalin** umgewandelt. Welches Endprodukt – ob Dopamin, Noradrenalin oder Adrenalin – dann entsteht, hängt davon ab, welche Enzyme in der Zelle vorliegen.

Es gibt drei wichtige dopaminerge Nervenbahnen im Gehirn. Eine befindet sich im Hypothalamus im Zwischenhirn, eine andere erstreckt sich von der so genannten "Substantia nigra" im Mittelhirn zu den Basalganglien des Großhirns, eine weitere verläuft vom Hirnstamm zur Großhirnrinde und zu anderen Vorderhirnstrukturen. Bei der *Parkinson*-Krankheit (Schüttellähmung) gehen dopaminhaltige Zellen in der "Substantia nigra" zu Grunde. Die Symptome der Erkrankung sind Ausdruck der daraus resultierenden verminderten Dopaminübertragung in den Basalganglien. Injiziert man den Patienten L-Dopa (welches sich im Gehirn in Dopamin umwandelt), verbessert sich ihr Zustand.

Das dopaminerge System, welches auf das Vorderhirn hinzielt (projiziert), scheint eine Rolle bei der schweren Geisteskrankheit *Schizophrenie* zu spielen. Im Allgemeinen blockieren Substanzen, die schizophrene Symptome lindern, dopaminerge Synapsen im Gehirn. Viele Forscher vertreten so die Ansicht, Ursache der Schizophrenie sei eine Überaktivität des mesolimbischen Dopaminsystems in der Tiefe des Großhirns und eine kompensatorische Unteraktivität im Vorderhirn.

Fast alle *noradrenergen* Bahnen des Gehirns entspringen im "Locus coeruleus", einer kleinen Nervenzellansammlung im Hirnstamm, und entsenden ihre Fasern zu praktisch allen Vorderhirnstrukturen. Das Noradrenalinssystem soll das Aktivierungsniveau regulieren (*ARAS*, aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem) und möglicherweise auch an der Konsolidierung des Gedächtnisses mitwirken (Langzeitspeicherung von Gedächtnisinhalten).

Serotonin ist ein weiterer Neurotransmitter, der in den Zellen aus einer in der Nahrung vorkommenden Aminosäure hergestellt wird, dem Tryptophan (es ist in Bananen reichlich vorhanden). Serotonin wird wie Dopamin und Noradrenalin zur chemischen Klasse der Monoamine gezählt. Die Zellkörper der serotonergen Bahnen im Gehirn befinden sich hauptsächlich in den so genannten Raphe-Kernen des Hirnstammes. Ihre Fasern ziehen zum Hypothalamus im Zwischenhirn und zu Vorderhirnstrukturen des Großhirns.

Bei schwerer *Depression* scheinen die noradrenergen und serotonergen Bahnen eine Rolle zu spielen. Es gibt zwei Formen der Depression: Bei der einen handelt es sich um eine anhaltende schwere Verstimmung (Major Depression), bei der anderen tritt neben der schweren depressiven (traurigen) Verstimmung mindestens eine manische (heitere) Episode auf (Bipolare Störung, früher als manisch-depressive Erkrankung bezeichnet). Im Allgemeinen lassen sich schwere depressive Zustände durch Substanzen günstig beeinflussen, welche die Aktivität noradrenerger und serotonerger Bahnen im Gehirn erhöhen oder verstärken. Allerdings gelingt es diesen Substanzen kaum, die Symptome der bipolaren Störung zu lindern. Patienten mit bipolarer Störung sprechen jedoch auf Lithium gut an.

Alle diese für das psychische Wohlbefinden offenbar entscheidenden Neurotransmittersysteme des Gehirns scheinen über den langsamen Mechanismus der "second messenger" zu wirken. Interessanterweise machen sie nur wenige Prozent der gesamten Nervenüberträgerstoffe im Gehirn aus.

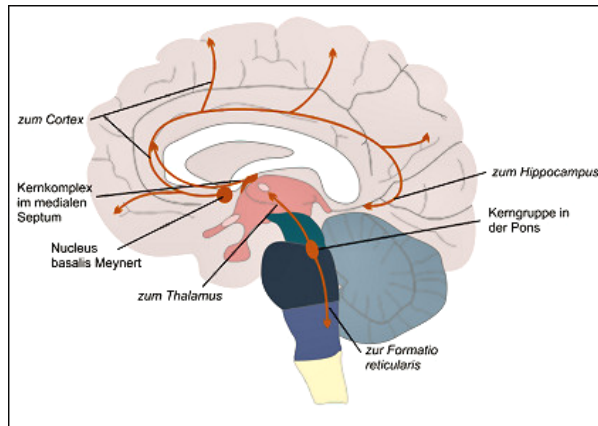
Die schnellen Transmitter wie Glutamat und GABA kommen sehr viel häufiger vor und sind auch viel weiter verbreitet. Die langsamen synaptischen Wirkungen dauern einige Zehntelsekunden und dienen häufig der Modulation der schnellen Transmitterwirkungen. So dämpfen beispielsweise so genannte Opiate an den Synapsen im Rückenmark die Schmerzübertragung mittels Glutamat.

Der Nachweis von Nervenzellrezeptoren im Gehirn, die auf Opium und auf seine Abkömmlinge - Morphin und Heroin - ansprechen, ist ein verblüffendes Forschungsergebnis der neueren Zeit. In der Folge stieß man auf **Hirnopiate**, d.h. von Nervenzellen und Hypophyse (Hirnanhangdrüse) hergestellte Substanzen, welche auf die Rezeptoren einwirken und sehr ähnliche Effekte wie Morphin hervorrufen: Sie lindern Schmerzen und lösen angenehme Empfindungen aus. Die Hirnopiate sind allesamt Peptide (Ketten von Aminosäuren) und entstammen drei Superhormonfamilien, deren Aufbau von den Genen der entsprechenden Zellen gesteuert wird. Diese drei riesigen Eiweißmoleküle werden gespalten, um die viel kleineren opiumähnlichen Peptide hervorzubringen: *Endorphine*, *Enkephaline* und *Dynorphine*. Enkephaline findet man in Nervenzellen, welche zum langsamen Schmerzsystem gehören. Endorphin wird von der Hypophyse freigesetzt.

Cannabinoide sind chemische Stoffe, die sowohl natürlich in der Hanfpflanze als auch im menschlichen Körper vorkommen. Sie können auch synthetisch erzeugt werden. Im Nervensystem und im Immunsystem gibt es dafür eigene Rezeptoren (CB1, CB2), über welche sie auf den Energiestoffwechsel in den Mitochondrien der Zellen wirken. Von großer Bedeutung sind vor allem 2 Stoffklassen: **THC** (Anandamid) wirkt psychotrop (stimmungsaufhellend) und **CBD** (Cannabidiol) wirkt medizinisch (schmerzlindernd, entzündungshemmend, antibakteriell, oxidationshemmend, geschwulsthemmend, übelkeitshemmend, krampflösend, angstlösend, ...).

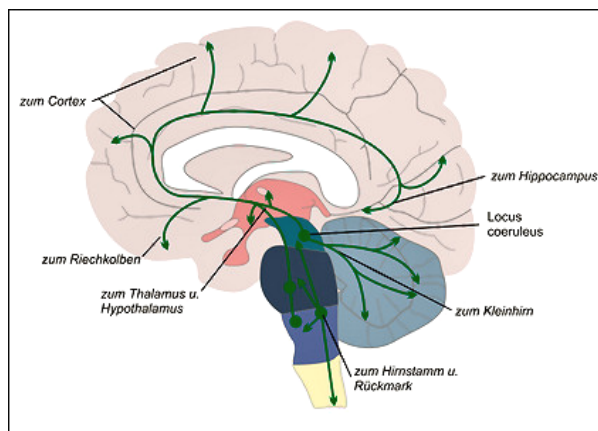
Zum Thema **Neuromodulation** sagt der britische Biologe und Nobelpreisträger **Francis Crick**: *Die erstaunliche Hypothese besagt Folgendes: die Menschen, ihre Freuden und Leiden, ihre Erinnerungen, ihre Ziele, ihr Sinn für die eigene Identität und Willensfreiheit - bei alldem handelt es sich in Wirklichkeit nur um das Verhalten einer riesigen Ansammlung von Nervenzellen und dazugehörigen Molekülen.*

Die Bahnen der Neurotransmitter im Gehirn



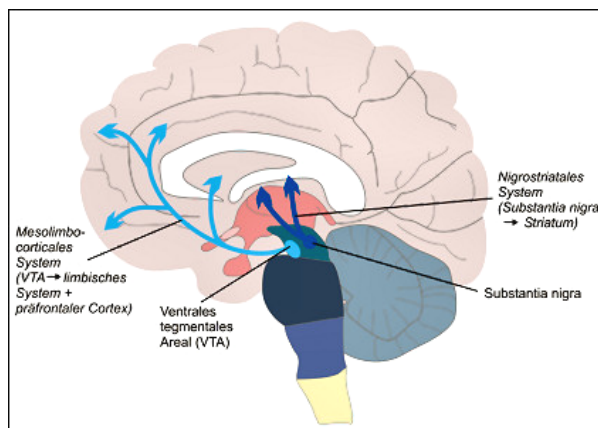
Cholinerge Bahnen

Acetylcholin wirkt im ganzen Nervensystem als wichtiger Transmitter. Es vermittelt die Signale zwischen Nerven und Muskeln.



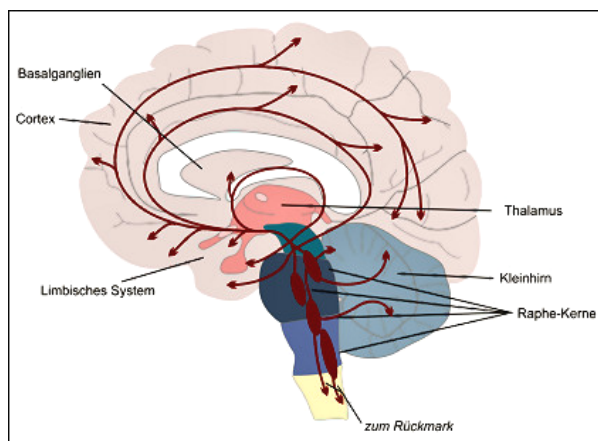
Noradrenerge Bahnen

Das wichtigste Ursprungsgebiet ist der Locus coeruleus im Hirnstamm. Es gibt Verbindungen zu fast allen Teilen der Großhirnrinde, zum Thalamus und zum Kleinhirn. Das Noradrenalin wirkt auch im ARAS (im aufsteigenden retikulären Aktivierungssystem).



Dopaminerge Bahnen

In der „Substantia nigra“ im Mittelhirn wird Dopamin erzeugt. Dort erfolgt die Kontrolle der Bewegungen. Vom ventralen tegmentalen Areal (VTA) ziehen Bahnen zum Stirnhirn und auch zum limbischen System, wo das Dopamin im Belohnungssystem wirksam ist.



Serotonerge Bahnen

Ursprungsgebiete für Serotonin sind die Raphe-Kerne im Hirnstamm. Es gibt Verbindungen zu vielen Hirnteilen. Das Serotonin wirkt als Transmitter im Beruhigungssystem.

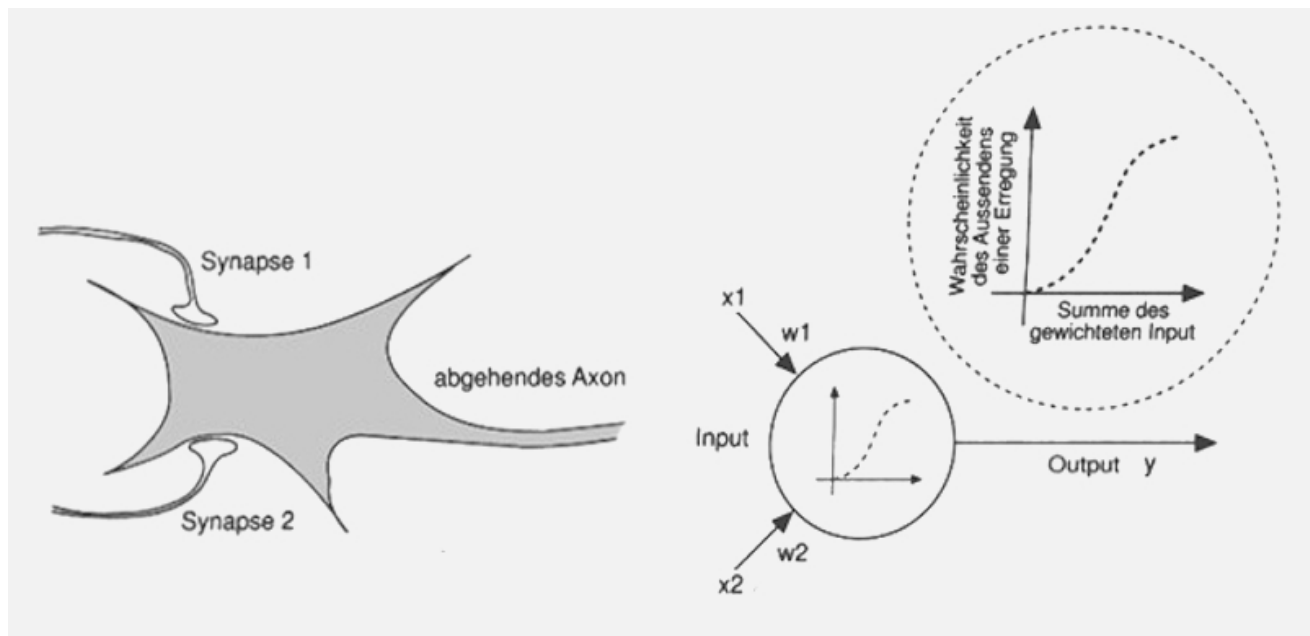
[3.3] Neuronale Netze

Ein Neuron ist idealisiert ein einfaches Schaltelement, das viele Eingangssignale X_i (Inputs) in nur ein Ausgangssignal Y (Output) umwandelt. Die Signale sind digitalisiert, d.h. 0 = KEIN Signal und 1 = EIN Signal. Der Index i bezeichnet die i -te Synapse von insgesamt n Inputleitungen. Die Verbindungsstärke einer Synapse mit einem Neuron ist durch die Anzahl der chemischen Transmitter-speicher und Rezeptor-Moleküle gegeben. Man nennt sie Synapsengewicht W_i .

Das Neuron bildet die gewichtete Summe aller Inputs $S = \sum (W_i * X_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Dann wird diese Summe mit einem internen Schwellenwert G verglichen.

Ist $S < G$, dann bleibt das Neuron stumm, sein Outputsignal ist 0.

Ist $S = G$ oder $S > G$, dann feuert das Neuron, sein Outputsignal ist 1,
d.h. an seiner Membran entsteht ein Aktionspotential.



Neuronale Netze (Netzwerke) bestehen grundsätzlich aus Neuronen (Nervenzellen mit Ausläufern) und deren Synapsen (Kontaktstellen). Eingangs-Neuronen nehmen Signale aus der Außenwelt auf. Dann folgt die Schicht der Zwischen-Neuronen, wo die Signalverarbeitung stattfindet. Zuletzt folgt die Schicht der Ausgangs-Neuronen, welche die Resultate der Signalverarbeitung repräsentieren.

Lernen bedeutet eine Änderung des neuronalen Netzes, d.h. es ändern sich nachhaltig die *Verbindungsstärken* der Synapsen an den beteiligten Neuronen und es können auch zusätzliche Synapsen entstehen. Es können sogar neue Nervenzellen gebildet werden (*Neurogenese*). Damit ändern sich die Vernetzungsdichte und die gesamte *Outputleistung* des Netzes.

Beim Lernen im neuronalen Netz werden bestimmte Eingangssignale zu bestimmten Ausgangssignalen umgeformt. Das kann zusammenfassend durch die so genannte *Hebbsche Lernregel* beschrieben werden: Wenn zwei miteinander verbundene Neuronen oftmals gleichzeitig aktiv sind, dann wird die synaptische Verbindung zwischen ihnen stärker („*what fires together, wires together*“, „*use it or lose it*“). Der Verlauf der synaptischen Verbindungsstärken in der Umgebung eines Neurons wird durch die so genannte Nachbarschaftsfunktion beschrieben. Dabei stellt sich ein gewinnendes Neuron heraus, das stärker als seine Nachbarn aktiv ist („*the winner takes it all*“).

Grundsätzlich werden zwei Lernarten unterschieden:

[1] Überwachtes oder angeleitetes Lernen
(d.h. mit einem äußeren Trainer)

[2] Nicht überwachtes oder selbstorganisierendes Lernen
(d.h. ohne Trainer)

Beim **angeleiteten Lernen** erfolgt durch einen Trainer ein *Feedback*, d.h. eine Rückmeldung zur Minimierung der Fehler, so dass der tatsächliche Output schrittweise einem erwünschten Output angeglichen wird.

In **selbstorganisierenden Netzen** passen sich die Synapsenstärken schrittweise den einlangenden *Inputmustern* an. Die stummen und feuernden Neuronengruppen im Netz werden zu einem Abbild der Inputmuster, so dass gleiche Inputreize immer dieselben Neuronengruppen erregen. Die Neuronen repräsentieren dann eine *Landkarte* (map) der Reizumwelt.

Dabei kommt es auf der neuronalen Eigenschaftskarte zu einer Reduzierung der Dimensionalität des Eigenschaftsraumes. Aus der Reizvielfalt werden nur einige wenige Haupteigenschaften extrahiert - das sind diejenigen, in denen die Inputmuster am deutlichsten variieren. So erregen auch *ähnliche Inputreize* dieselben Neuronengruppen. Diese **Abstraktionsleistung** ermöglicht erst die Bildung von Kategorien (d.h. von Begriffen wie „schwer“, „leicht“, „rund“, „eckig“, usw.).

Durch die Häufigkeit der Darbietung des gleichen Inputs wird das ihn repräsentierende Areal im neuronalen Netz vergrößert. Diese **Neuroplastizität** lässt sich bei professionellen Gitarrespielern oder auch bei Blinden, die häufig mit ihren Fingern in der Blindenschrift lesen, nachweisen. Die grafische Darstellung der aktiven sensorischen Areale für die entsprechenden Finger in der hinteren Zentralwindung der Gehirnrinde (Cortex) mit Hilfe moderner bildgebender Verfahren hat folgende zwei Ergebnisse gezeigt: Erstens baut sich der Cortex zeitlebens gemäß den von ihm verarbeiteten Inputs um, und zweitens erfolgt der cortikale Umbau besonders ausgeprägt in den jüngeren Lebensjahren, d.h. die Lerngeschwindigkeit sinkt mit zunehmendem Alter.

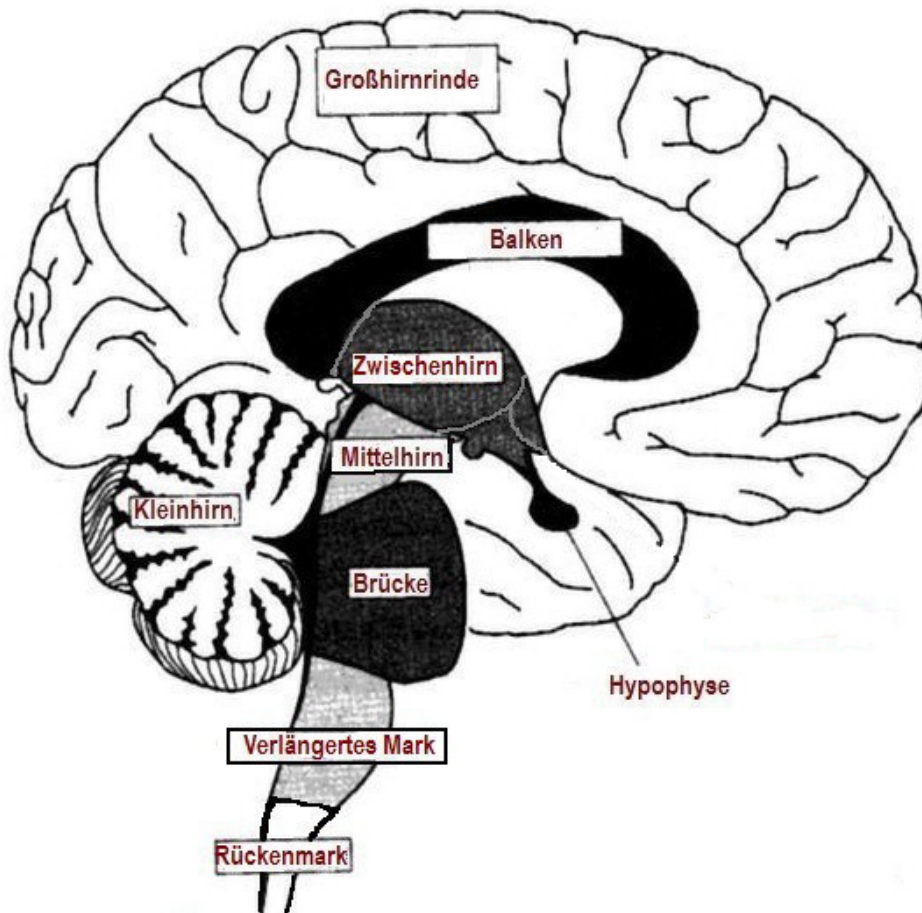
Die neuronalen Netze erkennen Muster, sie sind zu Abstraktionsleistungen fähig. Selbstorganisierende Netzwerke extrahieren Regelmäßigkeiten aus Inputmustern und bilden diese nach Häufigkeit, Ähnlichkeit und Wichtigkeit auf Eigenschaftskarten ab. Zusätzliche Zwischenschichten repräsentieren als Arbeitsgedächtnis den zeitbedingten Kontext eingegebener Information.

Die menschlichen Gehirne sind **Regel-Erkennungs-Maschinen**. Lernen funktioniert nur dann optimal, wenn wichtige Bedingungen erfüllt sind:

- **Langsam und schrittweise.**
- **Regelmäßig mit klaren und gut unterscheidbaren Inputmustern.**
- **Feedbacks sollten ohne Zeitverzögerung, aber sparsam eingesetzt werden.**
- **Positives Feedback (Belohnung) ist effektiver als negatives (Bestrafung).**

[3.4] Das zentrale Nervensystems (ZNS)

Dorsal
(hinten)
(frontal)



Ventral
(vorne)

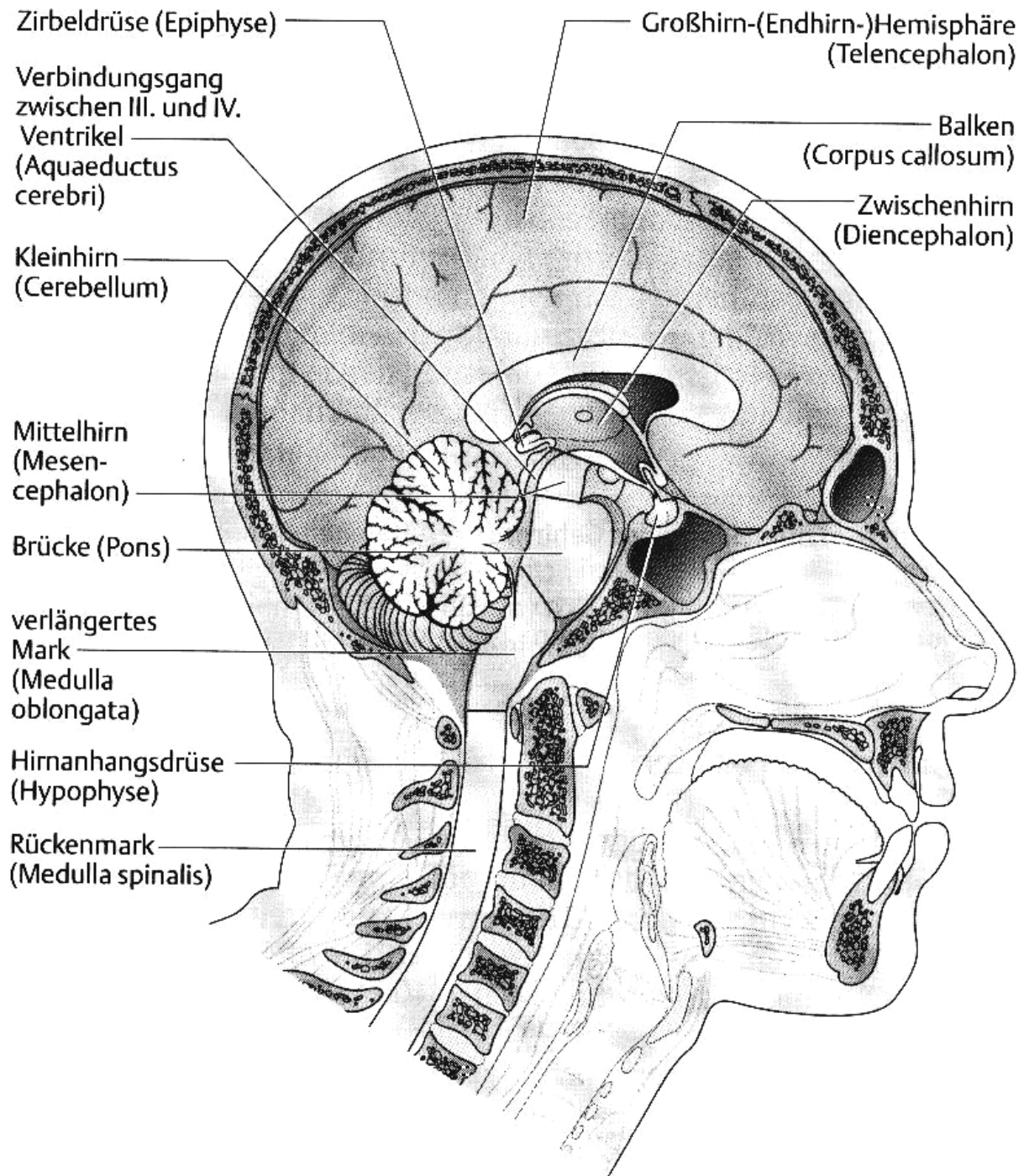
Der überwiegende Teil der etwa 200 Milliarden Neuronen des zentralen Nervensystems befindet sich im Gehirn, das ca. 1,3 kg wiegt. Dabei kann eine Nervenzelle bis zu 10 000 Synapsen aufweisen, so dass ein vielschichtiges Netzwerk entsteht. Die Zellen selbst erscheinen als graue, ihre Fortsätze als weiße Substanz.

Das ZNS besteht oben aus dem *Gehirn* in der Schädelhöhle und setzt sich nach unten durch das Hinterhauptsloch der Schädelbasis in das *Rückenmark* im Wirbelkanal der Wirbelsäule fort. Im interzellulären Raum befinden sich neben Blutgefäßen noch so genannte *Gliazellen*, die für bestimmte Nervenfasern isolierende Hüllschichten (Markscheiden) produzieren und chemische Synthesen ausführen. Die Gliazellen umkleiden auch die Blutgefäße und tragen so zur Blut-Hirn-Schranke bei, die verhindert, dass viele Substanzen (z.B. Antibiotika) weiter ins Gehirn gelangen.

Das Nervengewebe wird geschützt durch drei Hirnhäute (harte Hirnhaut, Spinnwebenhaut, weiche Hirnhaut). Im Spalt zwischen den beiden inneren Häuten befinden sich Blutgefäße und die Hirnflüssigkeit (Liquor cerebrospinalis), die in den vier Hirnkammern (Ventrikeln) gebildet wird und als Stoßdämpfer dient. Die Flüssigkeit wird durch die venösen Blutgefäße resorbiert.

Die Blutversorgung des Gehirns erfolgt frontal über die zwei Kopfarterien (arteria carotis) und dorsal über die zwei Wirbelarterien (arteria vertebralis).

Die folgende Abbildung zeigt ein Querschnittsbild des gesamten Gehirns.



Von oben nach unten wird das ZNS grob in folgende Abschnitte gegliedert:

Großhirn - Hirnstamm und Kleinhirn - verlängertes Mark - Rückenmark

Das Gehirn ist grundsätzlich in zwei Hälften geteilt, wobei jede für die gegengleiche Körperhälfte zuständig ist. Alle afferenten (zuleitenden) und efferenten (wegleitenden) Nervenbahnen kreuzen im Gehirn auf die Gegenseite.

Der entwicklungsgeschichtlich ältere *Hirnstamm* wird in Zwischenhirn, Mittelhirn und Brücke unterteilt. Das darunter liegende *verlängerte Rückenmark* geht in das *Rückenmark* über. Das dahinter liegende *Kleinhirn* dient der Koordination der Körpermotorik. Das darüber liegende, entwicklungsgeschichtlich jüngere *Großhirn* gliedert sich in das weiße Mark innen und die graue Rinde (Cortex) außen. In der Tiefe des Großhirns erstreckt sich das *limbische System*, das auch Anteile am Hirnstamm hat.

Unter einem Kern (nucleus) versteht man eine abgrenzbare Ansammlung von Nervenzellen, der eine bestimmte Funktion zugeordnet ist. Im gesamten Gehirn hat man viele solche Kerngebiete lokalisiert. Dies geschieht meistens durch elektrische Reizung mit dünnen, vorsichtig eingeführten Stahlelektroden.

Das Großhirn (Telencephalon)

Außen befindet sich die graue, aus Nervenzellen bestehende Großhirnrinde und innen das weiße, aus Nervenfasern bestehende Großhirnmark. Dort befinden sich auch die erste und zweite Hirnkammer. Ohne Hirnrinde (Cortex) ist kein *bewusstes Erleben* möglich. Eine Beschreibung des Großhirns erfolgt im nächsten Kapitel.

Das Zwischenhirn (Diencephalon)

Unterhalb des Großhirns befindet sich das Zwischenhirn. In der Mitte liegt die dritte Hirnkammer (Ventrikel), seitlich dorsal befinden sich die beiden *Thalami* (Sehhügel). In diese strahlen die afferenten sensorischen Fasern von den Sinnesorganen ein und werden in den Thalamus-Kernen umgeschaltet. Entweder erfolgt die Weiterleitung zum *Cortex* (bewusstes Erleben) oder die Umschaltung zu ventralen Steuerkernen im Hirnstamm, welche die Körpermotorik regulieren. Der Thalamus wird auch als das Vorzimmer zum Bewusstsein bezeichnet. In einer Schleife zwischen Großhirn und Thalamus erfolgt über aufsteigende und absteigende, erregende und hemmende Impulse die Kontrolle der bewussten Aufmerksamkeit.

Am Boden der dritten Hirnkammer liegt der so genannte *Hypothalamus* mit seinen vegetativen Steuerzentren für Temperaturregelung, Sexualität, Lust, Hunger und Durst. An den Hypothalamus schließen die zwei Hormondrüsen *Epiphyse* und *Hypophyse*. Das Zwischenhirn ist die Schnittstelle zwischen dem zentralen somatischen Nervensystem, dem vegetativen Nervensystem und dem Hormonsystem.

Das Mittelhirn (Mesencephalon)

Die dritte Hirnkammer setzt sich hier nach unten als schmaler Gang fort. Ventral (vorne) liegt das Tegmentum (Haube) mit seinen motorischen Ursprungskernen von einigen Hirnnerven und dorsal (hinten) liegt das Tectum (Vierhügelplatte). In das Tectum strahlen Seitenäste von afferenten Bahnen ein und dessen Kerne sind für optische und akustische Reflexe verantwortlich.

Weitere sehr bedeutsame Areale sind die motorischen Zentren, vor allem die Stammganglien des schwarzen und roten Kerns (Nucleus niger und Nucleus ruber). Sie sind den Basalganglien des Großhirns (Striatum und Pallidum) nachgeschaltet und steuern über absteigende Bahnen die unbewusste Körpermotorik. Dieses System wird extrapyramidal motorisch genannt (*EPM*) - im Gegensatz zur willkürlichen Motorik, welche von den motorischen Zentren des Cortex und über die absteigende Pyramidenbahn kontrolliert wird.

Die Brücke (Pons)

Der schmale Gang im Mittelhirn erweitert sich nach unten zu der vierten Hirnkammer. In deren Boden liegt die Rautengrube, an die sich zur Hirnbasis hin eine kräftige Auftreibung anschließt. Diese Brücke enthält wichtige Kerne, welche der Verbindung von Großhirn und Kleinhirn dienen (Großhirn - Kleinhirn - Bahnen). Unterhalb der Brücke liegt das verlängerte Mark.

Das Kleinhirn (Cerebellum)

Das Kleinhirn liegt hinter der Brücke unter dem Hinterhauptslappen des Großhirns und gliedert sich außen in eine graue Rinde und innen in ein weißes Mark. Die Kleinhirnschenkel verbinden das Kleinhirn mit dem Mittelhirn, der Brücke und dem verlängerten Mark.

Die Neuronen des Kleinhirns erhalten über afferente Fasern sensorische Meldungen von dem benachbarten Gleichgewichts-Sinnesorgan und von den Sehnen-Rezeptoren der Körpermuskulatur. Nach deren Verarbeitung werden motorische Erregungen erzeugt, die zur Regulation des Muskeltonus und der Feinregulation der gesamten Körpermotorik dienen. Beeinträchtigungen oder Ausfälle von Kleinhirnkernen führen zu so genannten Kleinhirntaxien (Bewegungsstörungen).

Das verlängerte Mark (Medulla oblongata)

Neben den zum Hirnstamm aufsteigenden und zum Rückenmark absteigenden Bahnen enthält das verlängerte Mark wichtige Kerngebiete von Hirnnerven, aber auch Steuerzentren für das vegetative Nervensystem (das Atemzentrum und das Kreislaufzentrum). Ein sehr interessantes Gebiet ist die *formatio reticularis* (ARAS, aufsteigendes, retikuläres Aktivierungssystem). Dieses verstreute Netzwerk versorgt die Großhirnrinde mit unspezifischen Erregungen und steuert so den Wachheitszustand des Individuums (von tiefster Bewusstlosigkeit bis zur hellwachen Aufmerksamkeit).

Aus dem Gehirn treten im Gebiet des Hirnstammes und des verlängerten Markes genau zwölf *Hirnnerven-Paare*, welche sensorische, motorische und vegetative Anteile aufweisen (für jede Körperhälfte ein Nerv). Diese innervieren verschiedene Bereiche des Gesichtsschädels. Einige Beispiele von diesen Hirnnerven werden nachfolgend angeführt.

II. Hirnnerv (Sehnerv, N. opticus):

Netzhaut des Auges - Sehnervenkreuzung - Zwischenhirn - Thalamus - Großhirnrinde.

III. Hirnnerv (Augenbewegungsnerv, N. oculomotorius):

Seine Austrittsstelle ist das Mittelhirn und er versorgt motorisch die Augenmuskeln.

V. Hirnnerv (Drillingsnerv, N. trigeminus):

Austrittsstelle bzw. Eintrittsstelle ist die Brücke. Motorische Versorgung: Kaumuskeln. Sensorische Versorgung von Gesichts- und Kopfhaut, Nasen-, Mund- und Augenhöhle.

X. Hirnnerv (herumschweifender Nerv, N. vagus):

Austrittsstelle bzw. Eintrittsstelle ist das verlängerte Mark. Parasympathische Versorgung der inneren Organe in Kopf-, Hals-, Brust- und Bauchraum. Sensorische Versorgung von Kehlkopf und inneren Organen.

Das Rückenmark (Medulla)

Die Wirbelsäule ist das zentrale Stützskelett des Rumpfes und besteht aus 32 bis 34 Wirbeln und den dazwischenliegenden Bandscheiben, die als Stoßdämpfer wirken. Innerhalb der Wirbelsäule befindet sich im Wirbelkanal das Rückenmark. Aus dem Rückenmark treten auf beiden Seiten durch die Zwischenwirbellöcher in der Wirbelsäule genau 31 *Körpernerven-Paare*. Jeder Spinalnerv versorgt ein bestimmtes Körpersegment, bestehend aus einem Hautbereich (Dermatom), einem Muskelbereich (Myotom) und einem inneren Organbereich (Enterotom).

Im Wirbelkanal liegt in Form einer Schmetterlingsfigur die graue Substanz der Nervenzellen, umgeben von der weißen Substanz ihrer Fortsätze. Hinten strahlen die sensorischen afferenten Fasern der Körpernerven ein, vorne liegen die motorischen efferenten Leitungsbahnen. Die Nervenzellen der grauen Substanz dienen erstens der direkten Umschaltung von den sensorischen auf die motorischen Leitungen (Reflexschaltungen zur automatischen Bewegungskoordination). Zweitens dienen sie entweder der Weiterleitung der sensorischen Signale von den Rezeptoren in der Peripherie zum Gehirn (Hinterstrang) oder der Weiterleitung von motorischen Signalen vom Gehirn zu den Muskeln in der Peripherie. Dabei sind die Bahnen der unwillkürlichen Motorik (EPM-System, Vorderstrang) und jene der willkürlichen Motorik (Pyramidenbahn, Seitenstrang) zu unterscheiden.

Das enterische Nervensystem (ENS)

Das *enterische Nervensystem* ist jener Teil unseres Nervensystems, welcher den Verdauungstrakt vom Mund abwärts bis zum After steuert. Es umfasst einige hundert Millionen Neuronen. Hervorzuheben ist dabei unser **Darm**. Er enthält Milliarden von **Bakterien**. Diese Bakterien dienen dem chemischen Abbau der Ernährungsendstoffe und der Abwehr von Krankheitserregern, wodurch sie auch das Immunsystem unterstützen.

Unter dem **Darm-Mikrobiom** versteht man die Gesamtheit aller Mikroorganismen im menschlichen Verdauungstrakt (Pilze, Bakterien, Viren). Ein pathologisch verändertes Mikrobiom kann erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit haben.

Die **Neuronen** des enterischen Nervensystems sind in der Darmwand eingebettet und arbeiten autonom: Sie kommunizieren intensiv miteinander durch eigene Botenstoffe (Serotonin, Dopamin). Sie analysieren die zugeführte Nahrung auf ihre chemische Zusammensetzung, auf Salz- und Wassergehalt. Sie koordinieren Abbau, Aufnahme und Ausscheidung von Stoffen. Sie steuern die Darmmotorik (Peristaltik). Weiters stehen sie im wechselseitigen Informationsaustausch mit dem Hormonsystem und dem Immunsystem. Das Darmsystem selbst produziert eine riesige Anzahl von Immunzellen.

Über den **Vagusnerv** ist das enterische Nervensystem mit dem Gehirn verbunden. Dabei fließen ca. 90% der Information zum Gehirn und nur 10% vom Gehirn zurück. Allein daraus ist ersichtlich, welchen bedeutsamen Einfluss der Darm auf das Gehirn, vor allem auf das limbische System ausübt. Dadurch können unsere Gefühle beeinflusst werden (Bauchgefühl). Ein gesunder Darm trägt erheblich zu einer guten Stimmungslage bei. Ein kranker Darm hingegen kann zu chronischen Schlafstörungen, chronischer Müdigkeit und depressiver Verstimmung führen.

Die vier Hauptfunktionen des Nervensystems

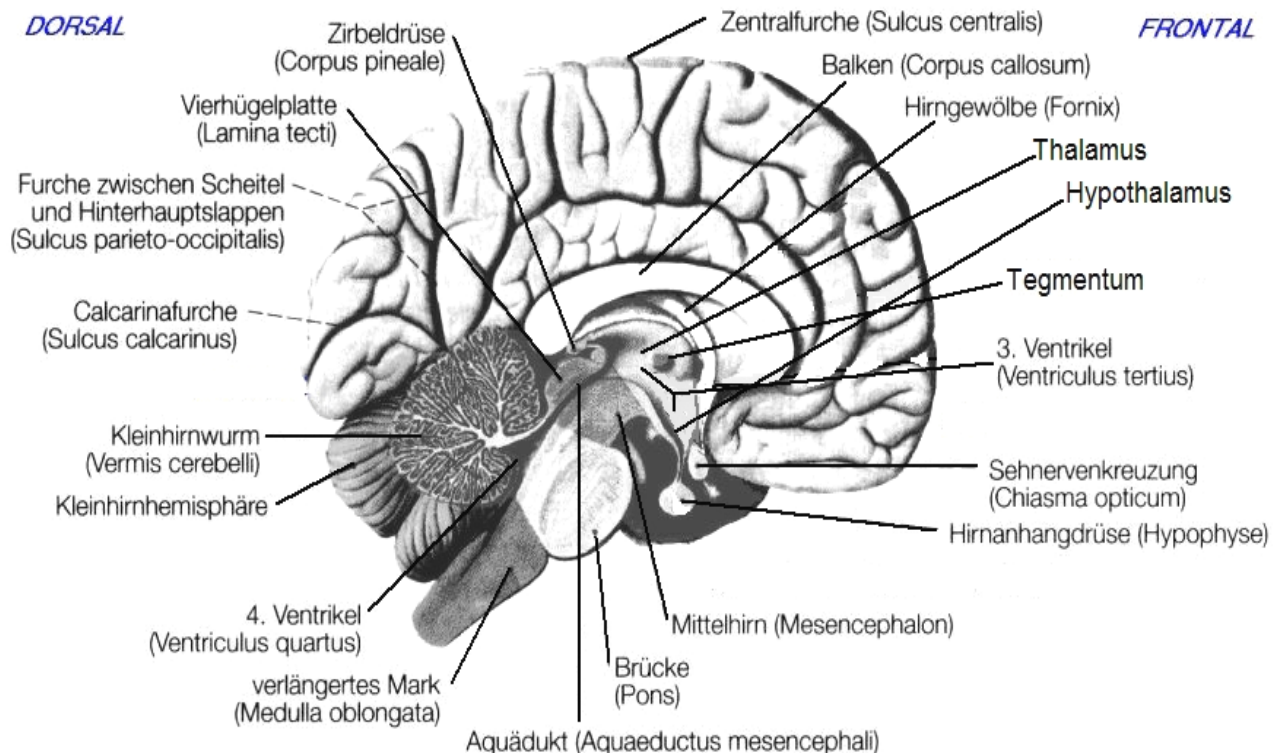
(1) Verbindung mit der Welt: Aufnahme, Verarbeitung, Beantwortung von Reizen. Das entspricht der sensorischen, zentralen und motorischen Informationsverarbeitung. Bemerkenswert ist, dass sensorische Funktionen zumeist dorsal (hinten), jedoch motorische Funktionen zumeist ventral (vorne) zu finden sind.

(2) Sitz des Bewusstseins: Im Gehirn, insbesondere in der Großhirnrinde.

(3) Sitz der Emotionalität: Im Gehirn, insbesondere im limbischen System.

(4) Regulation der Organtätigkeit: Vor allem durch das vegetative Nervensystem.

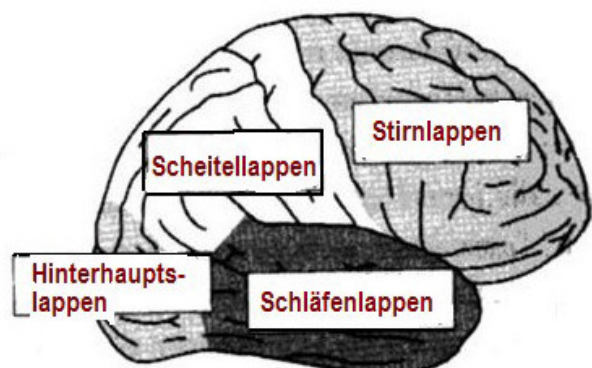
[3.5] Gehirn und Großhirn



Von außen betrachtet scheint die Hauptmasse des Gehirns aus den beiden Großhirnhemisphären (linke und rechte Großhirnhälfte) zu bestehen, welche die übrigen Teile so überwölben, dass diese von oben und von der Seite kaum sichtbar sind. Beide Halbkugeln sind durch die *Längsfurche* (Fissura longitudinalis cerebri) getrennt, die bis zu den querlaufenden Fasermassen des *Balkens* (Corpus callosum) herunterreicht. Der Balken enthält die Verbindungsbahnen der beiden Hirnhälften. Sprache und analytisches Denken sind bei den meisten Menschen in der *linken Hemisphäre* des Großhirns lokalisiert. Die *rechte Hemisphäre* hingegen ist dann auf andere Funktionen spezialisiert, auf räumliche Orientierung, auf Musikalität und auf emotional besetzte Erlebnis- und Verhaltensweisen. Bei Rechtshändern liegen die Sprachzentren fast immer in der linken Hirnhälfte. Zur Feststellung der sprachdominanten Hirnhälfte gibt es verschiedene Testverfahren.

Die Oberfläche des Großhirns zeigt erhabene Windungen (Gyrus). Dazwischen liegen Furchen (Sulcus). Diese Faltung bewirkt eine deutliche Vergrößerung der aktiven Oberfläche. Die großen Lappen der Großhirnrinde heißen nach ihrer Lage:

- Stirnlappen (Lobus frontalis)
- Scheitellappen (Lobus parietalis)
- Schläfenlappen (Lobus temporalis)
- Hinterhauptslappen (Lobus occipitalis)



Die Lappengrenzen werden teilweise durch fest und tief ausgebildete Furchen markiert. So ist der Schläfenlappen durch die Seitenfurcha (Sulcus lateralis oder Sylvius-Spalte) gegenüber Stirn- und Scheitellappen abgegrenzt. Zwischen Stirn- und Scheitellappen verläuft die tiefe Zentralfurcha (Sulcus centralis). Dahinter liegt die hintere Zentralwindung (Gyrus postcentralis), davor die vordere Zentralwindung (Gyrus präcentralis).

Der stark entwickelte Hinterhauptslappen grenzt sich mit dem Sulcus parietooccipitalis vom Scheitellappen ab. Drängt man linken und rechten Hinterhauptslappen auseinander, so kommt die Region der Calcarinafurcha (sulcus calcarinus) zum Vorschein. Der Schläfenlappen lässt von außen eine obere, mittlere und untere Schläfenwindung erkennen. Einen ähnlichen Verlauf dreier übereinander gelegener Windungen zeigt der Stirnlappen. In der Tiefe der Seitenfurcha liegt die so genannte Insel (Lobus insularis). Unter dem Stirnlappen liegt das Riechhirn (Riechkolben, bulbus olfactorius).

Die beiden Großhirnhemisphären besitzen mit der *Hirnrinde* (Cortex cerebri) eine gleichmäßig dicke Randschicht grauer Substanz (ca. 5 mm), die allen Windungen und Furchen in der Oberfläche folgt. Der Cortex allein enthält ungefähr 20 Milliarden Neuronen. Im Inneren jeder Hemisphäre erstreckt sich eine geräumige, mit einer Flüssigkeit (Liquor cerebrospinalis) gefüllte Hirnkammer (d.h. ein linker und ein rechter Seitenventrikel).

Zwischen diesen Hohlräumen und der Hirnrinde dehnt sich eine große Masse weißer Substanz, in die mehrere Kerngebiete, die so genannten Basalganglien, eingelagert sind. Die weiße Substanz (*Hirnmark*) setzt sich aus Faserbündeln (Bahnen) zusammen. Es handelt sich dabei um Assoziationsbahnen, Kommissurenbahnen und Projektionsbahnen.

- Die *Assoziationsbahnen* sind Verbindungszüge, welche verschiedene Teile der gleichen Großhirnhemisphäre verknüpfen.
- *Kommissurenbahnen* verbinden einander entsprechende Teile der beiden Hemisphären. Sie sind unter der Längsfurcha in der Mitte zwischen den Hemisphären zu einer Nervenfaserscheibe, dem *Balken* (Corpus callosum), zusammengedrängt.
- Das Großhirn steht durch seine rindenwärts (afferent) und rückenmarkwärts (efferent) ziehenden Fernbahnen oder Projektionsbahnen mit dem ganzen Organismus in wechselseitiger Verbindung. Die *Projektionsbahnen* durchlaufen ziemlich geschlossen einen Gehirnteil, der innere Kapsel (Capsula interna) genannt wird.

Die großen subcortikal (unter der Hirnrinde) gelegenen Kerngebiete der Hemisphären heißen *Basalganglien*. Sie grenzen an die zwei Seitenventrikel (Hirnkammern). Man unterscheidet dabei verschiedene Komponenten: den bogenförmig mit dem Seitenventrikel verlaufenden Schweifkern (Nucleus caudatus), den keilförmigen Linsenkern (Nucleus lentiformis) und den Schalenkern (Putamen). Diese Kerngebiete werden auch *Streifenkörper* (Striatum) genannt.

Schließlich muss noch der mediale bleiche Kern (Pallidum) erwähnt werden, der auch schon zum Zwischenhirn gezählt wird. Auch die Vormauer (Claustrum) wird zu den Basalganglien gerechnet.

Zusammen mit Kerngebieten des Hirnstamms (den Stammganglien im Mittelhirn) sind die Basalganglien für die unbewusst ablaufende Bewegungskontrolle wichtig. Zwischen dem Linsenkern, dem Schweifkern sowie dem Thalamus des Zwischenhirns verlaufen die Nervenfaserbündel der inneren Kapsel (Capsula interna). Hierbei handelt es sich um Projektionsbahnen, wie die Pyramidenbahn und die extrapyramidalen Bahnen.

Ein sehr interessantes Gebiet ist das *limbische System*, welches den Balken saumförmig umgibt und sich von der Basis des Großhirns bis in das Zwischenhirn erstreckt. Die wichtigsten Strukturen davon sind die Amygdala, der Hippocampus und der Gyrus cinguli. Der Fornix ist ein dickes Nervenbündel, das die Teile des limbischen Systems miteinander verknüpft. Es bestehen starke Verbindungen mit Bereichen des Thalamus, des Hypothalamus und der Großhirnrinde. Das limbische System spielt eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Gefühlen (emotionale Bewertung von sensorischen Erregungen). So konnten dort verschiedene Lust-, Furcht- und Wut-Zentren lokalisiert werden. Forschungen haben gezeigt, dass die Amygdala (Mandelkern) und der Hippocampus (Seepferdchen) für die Einspeicherung von Erregungen (Lernen, Gedächtnis) wichtige Funktionen erfüllen.

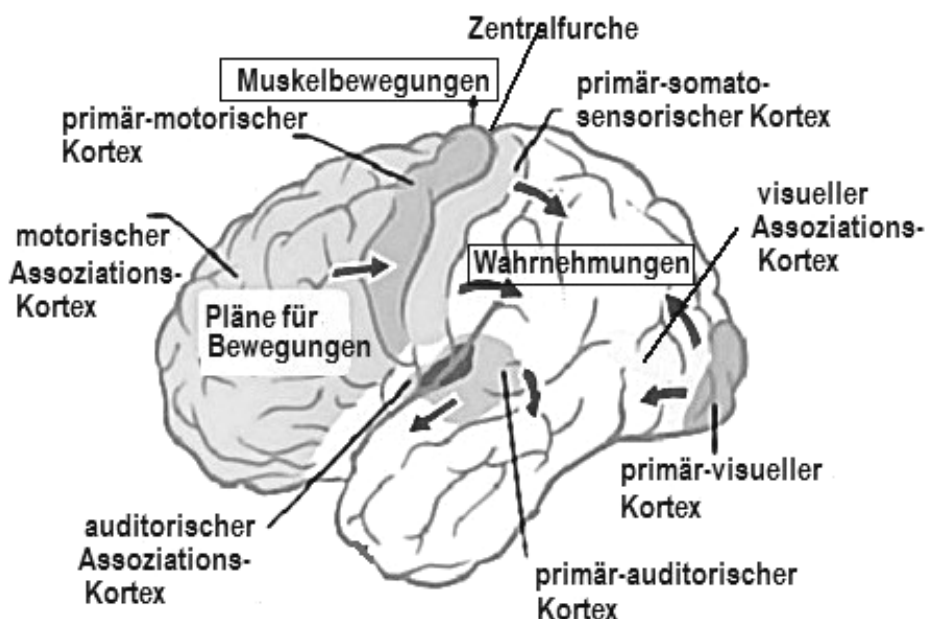
Der sehr komplexe Bau des Zentralnervensystems kann am Beispiel der Großhirnrinde besonders eindrucksvoll veranschaulicht werden. Die Rindensubstanz besteht aus sechs oberflächenparallelen, gut abgrenzbaren *Schichten*, die sich durch Art und Anordnung der Nervenzellen und Nervenzellfortsätze unterscheiden (z.B. die großen Pyramidenzellen). Die Anteile dieser Schichten in den einzelnen Arealen der Hirnrinde sind unterschiedlich, was auch verschiedenen Funktionen der Rinde entspricht. So heben sich Rindenfelder strukturell und funktionell voneinander ab.

Es muss zwischen *sensorischen* und *motorischen* Arealen unterschieden werden. Erstere liegen dorsal hinter der Zentralfurche (besonders in der hinteren Zentralwindung). Sie verarbeiten die von den Rezeptoren über aufsteigende Bahnen einlangenden sensorischen Erregungen zu bewussten Wahrnehmungen. Zweitere liegen ventral vor der Zentralfurche (besonders in der vorderen Zentralwindung). Sie erzeugen für eine willkürlich beabsichtigte Bewegung jene Erregungsmuster, welche über absteigende Leitungen (Pyramidenbahn) die entsprechenden Muskeln steuern.

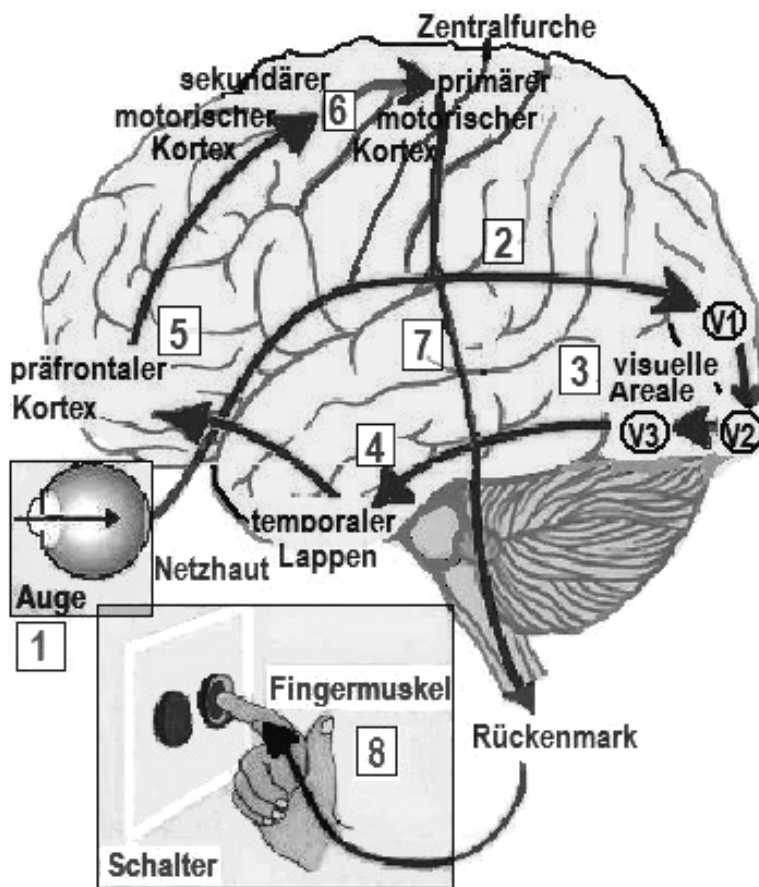
In den beiden Zentralwindungen sind sämtliche Regionen des Körpers repräsentiert (Homunculus-Projektion). Außerdem muss noch zwischen *primären* und *sekundären* Arealen unterschieden werden. Letztere enthalten so genannte Erinnerungsspuren von den primären sensorischen und motorischen Erregungsmustern und dienen auch zu deren Verknüpfung (Assoziationsfelder).

Schematischer Überblick über die Großhirnrinde.

In der Mitte liegt die Zentralfurche mit vorderer und hinterer Zentralwindung.



Informationsfluss in der Großhirnrinde bei einer motorischen Reaktion der Finger, welche durch eine visuelle Wahrnehmung ausgelöst wird.



- 1 Ein optischer Reiz trifft auf das menschliche Auge und erzeugt eine elektrochemische Erregung in der Netzhaut.
- 2 Weiterleitung im Sehnerv zu den visuellen Arealen (V1, V2, ...) im Hinterhauptslappen.
- 3 Dort kommt es zur Assoziation mit Erinnerungen und zu einer bewussten Wahrnehmung.
- 4 Weiterleitung der Signale zum Schläfenlappen.
- 5 Im Stirnlappen wird dann die bewusste Entscheidung zu einer Bewegung gefällt.
- 6 Weiterleitung über sekundäre motorische Rindenfelder zu den primären motorischen Feldern für die entsprechenden Finger.
- 7 Die Signale werden dann über die Pyramidenbahn zu den Fingermuskeln geleitet.
- 8 Dort erfolgt die Bewegung.

Einige wichtige primäre sensorische und motorische Rindenfelder:

1. Primäres Sehzentrum

- Ort : Sulcus calcarinus im Hinterhauptslappen
Funktion : Umsetzung von Erregungen des Sehnervs in bewusste, optische Empfindungen
Ausfall : Rindenblindheit (trotz Funktionstüchtigkeit von Auge und Sehnerv)

2. Primäres Hörzentrum

- Ort : Heschlsche Querwindung im Schläfenlappen
Funktion : Umsetzung von Erregungen des Hörnervs in bewusste, auditive Empfindungen
Ausfall : Rindentaubheit (trotz Funktionstüchtigkeit von Ohr und Hörnerv)

3. Primäre Hautsensibilität

- Ort : Abschnitte des Gyrus postcentralis hinter der Zentralfurche
Funktion : Umsetzung von sensorischen Erregungen in bewusste Hautempfindungen
Ausfall : Empfindungslosigkeit in den entsprechenden Projektionsgebieten

4. Primäre willkürliche Körpermotorik

- Ort : Abschnitte des Gyrus präcentralis vor der Zentralfurche
Funktion : Bewusste Erzeugung von motorischen Erregungen für Muskelbewegungen
Ausfall : Bewegungsstörungen bestimmter Muskelgruppen (Apraxien)

Einige wichtige sekundäre Rindenfelder (Assoziationsfelder):

1. Optisches Assoziationsfeld

- Ort : Gyrus angularis, hinten im Schläfenlappen
Funktion : Engramme (Erinnerungsspuren) von visuellen Signalmustern
Ausfall : Alexie, Unfähigkeit zu Lesen

2. Auditives Assoziationsfeld

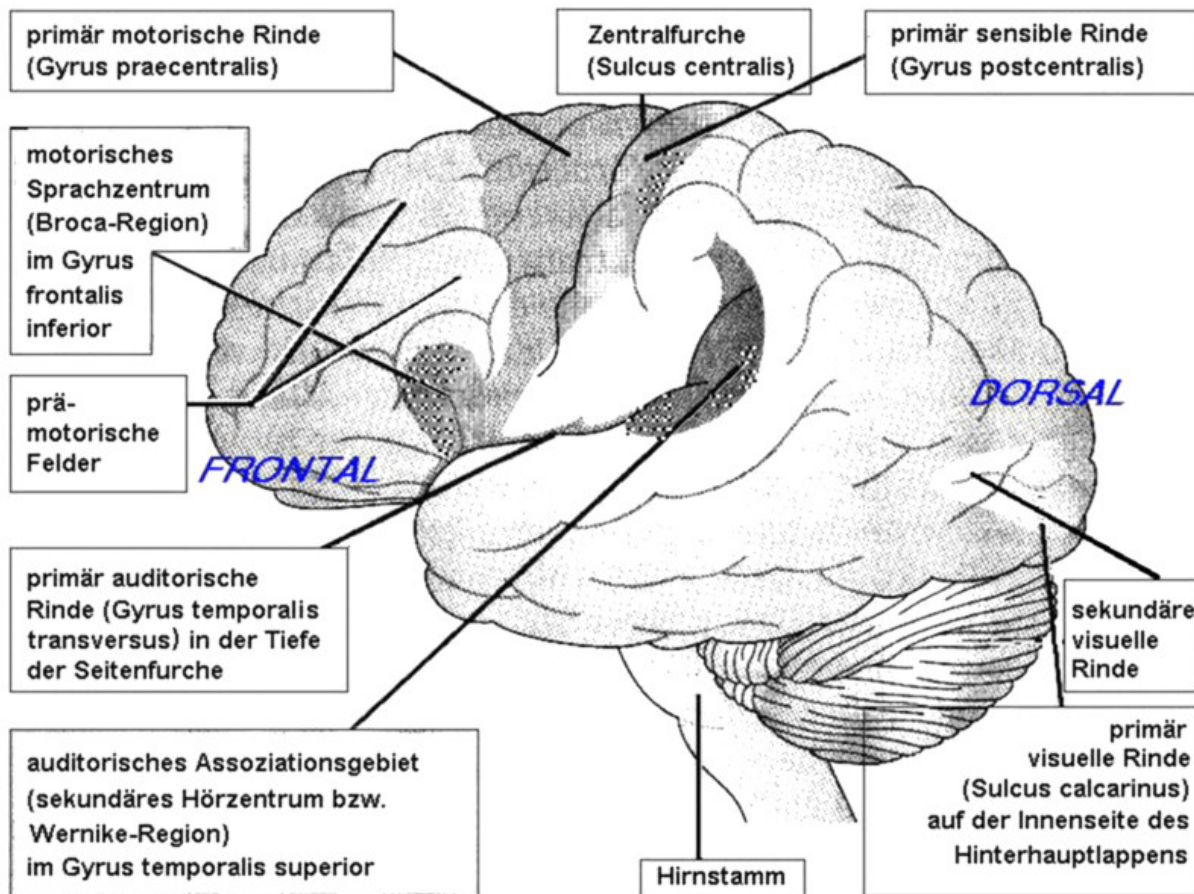
- Ort : Wernikesche Sprachregion, hinten im Schläfenlappen
Funktion : Engramme von akustischen Signalmustern
Ausfall : Sensorische Aphasie, Unfähigkeit zum Wortverstehen

3. Sprachmotorisches Assoziationsfeld

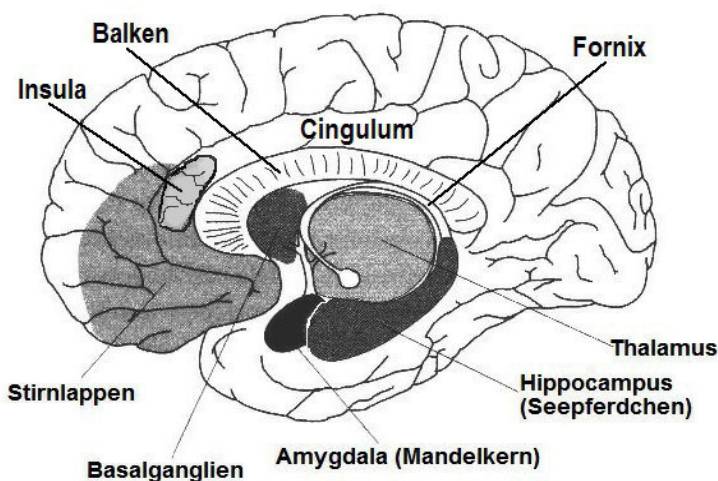
- Ort : Brocasche Sprachregion, seitlich hinten im Stirnlappen
Funktion : Engramme von motorischen Wort- und Satzmustern
Ausfall : Motorische Aphasie, Unfähigkeit zum sinnvollen Sprechen

4. Schreibmotorisches Assoziationsfeld

- Ort : Vor dem Gyrus präcentralis
Funktion : Engramme von koordinierten Schreibbewegungen der Hände
Ausfall : Agraphie, Unfähigkeit zum sinnvollen Schreiben



Mittels verschiedener moderner Lokalisationstechniken wurde die Kartierung des Cortex in den letzten Jahrzehnten sehr verfeinert. Interessant sind die Areale im *Stirnappen*. Dieser präfrontale Cortex erhält seine Zuleitungen (Afferenzen) hauptsächlich von unspezifischen Thalamus-Kernen und hat ausgedehnte reziproke Verbindungen zurück zum Thalamus und zu verschiedenen Teilen des limbischen Systems (Hippocampus, Amygdala) und Hypothalamus.



Die Grafik zeigt Areale des limbischen Systems im Querschnitt des Gehirns.

Während der Hypothalamus und das limbische System für Triebe und Gefühle verantwortlich sind, erweist sich der Stirnappen als die oberste kortikale Kontrollinstanz für triebhafte und auch emotionale Verhaltensweisen.

Zusätzlich steuert der Stirnappen über reziproke Bahnen zum Thalamus auch die selektive Aufmerksamkeit.

Individuen mit einer Stirnhirnläsion zeigen auffällige *Störungen im Sozialverhalten* und eine *allgemeine Antriebslosigkeit*, aber auch *Störungen der Aufmerksamkeit*.

[3.6] Sensorisches und motorisches System

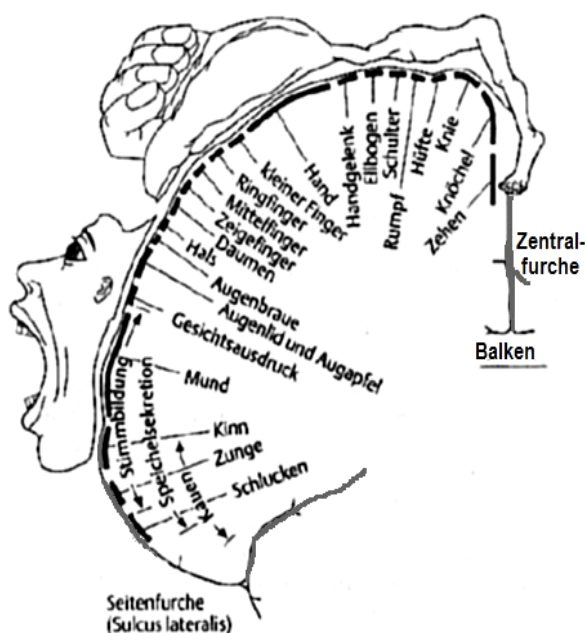
Grundsätzlich gibt es drei Arten von Neuronen:

(1) **Sensorische Neuronen**, deren Zellen direkt außerhalb des Rückenmarks in den hinteren Nervenwurzeln liegen. Sie erhalten Signale von den Sinnesorganen und leiten sie weiter ins ZNS.

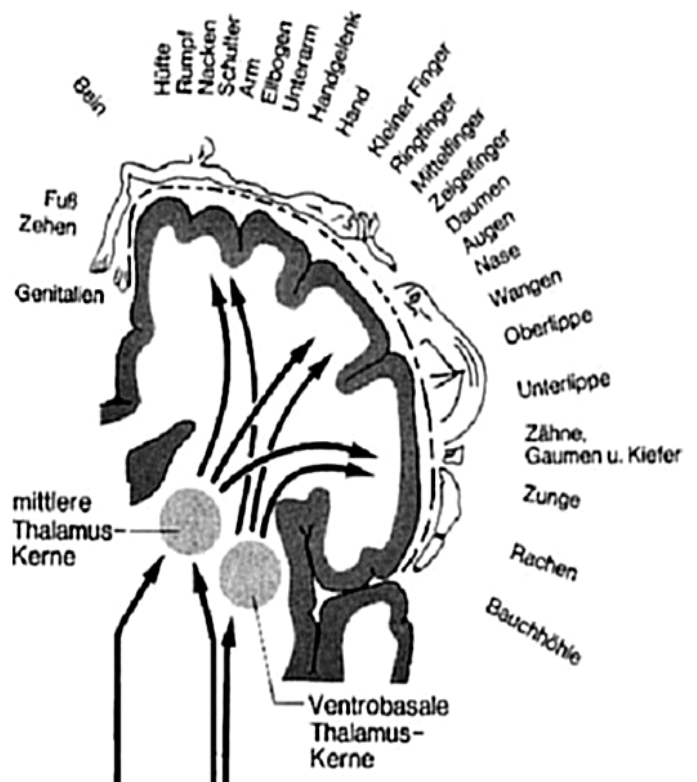
(2) **Motorische Neuronen** befinden sich in verschiedenen Regionen von Gehirn und Rückenmark. Ihre Axone ziehen zu den Muskeln und steuern dort über die motorischen Endplatten die Kontraktion der Muskelfasern.

(3) **Interneuronen** sind zwischen sensorischen und motorischen Neuronen geschaltet und machen 90% aller Nervenzellen aus. In ihnen kommt es zur spezifischen Verarbeitung der Signale (entweder verstärkend oder abschwächend). Sie sind als Zwischenschichten in neuronalen Netzen zu finden, beispielsweise in der Netzhaut des Auges, wo sie u.a. die laterale Inhibition bewirken. Dabei hemmen erregte Neuronen ihre direkten Nachbarn, was eine Kontrastverschärfung bewirkt.

**Motorische Zentren
in der vorderen Zentralwindung
der Großhirnrinde (Homunkulus)**



**Sensorische Zentren
in der hinteren Zentralwindung
der Großhirnrinde (Homunkulus)**



Das sensorische Nervensystem leitet die Signale von den Sinnesorganen in der Körperperipherie über das Rückenmark und den Hirnstamm bis in die primär sensorischen Felder der Großhirnrinde (Cortex). Dort entstehen bewusste Sinnesempfindungen. Eine wichtige Zwischenstation vor dem Cortex ist der *Thalamus* (Sehhügel) im Zwischenhirn, der mit vielen anderen Hirnteilen verbunden ist.

Das motorische Nervensystem mit seinen Motoneuronen steuert die Kontraktion der Muskelfasern der quergestreiften Skelettmuskulatur. Die unbewusste *Stütz- und Haltemotorik* wird mit Reflexen über Rückenmark und Kleinhirn reguliert.

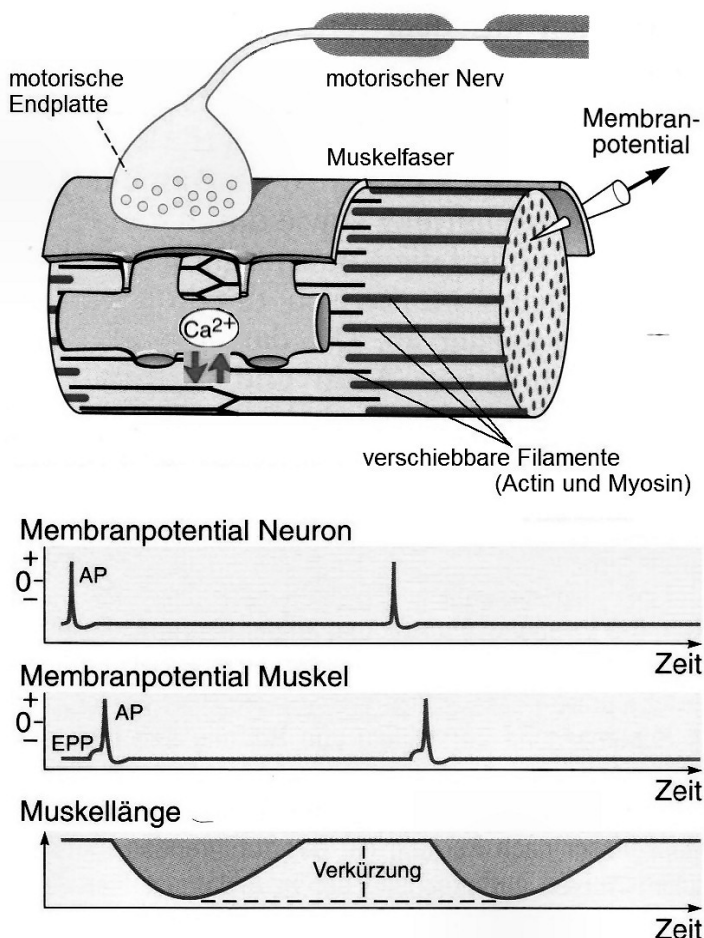
Reflexe laufen sowohl im somatischen wie auch im vegetativen Nervensystem automatisch zwischen Haut, Muskel und Eingeweide ab. Berührt man beispielsweise eine heiße Herdplatte, dann erfolgt ein kuti-motorischer Schutzreflex, der in den Schmerzsinneszellen der Haut beginnt und in der Armmuskulatur endet.

Erlernete Automatismen (Laufen, Klavierspielen, usw.) und die gesamte unwillkürliche Körpermotorik werden über extrapyramidale Bahnen (EPM) gesteuert.

Die bewusste *Zielmotorik* hingegen hat ihren Ursprung in der *vorderen Zentralwindung* der Großhirnrinde, wo die einzelnen Körperbereiche des Menschen repräsentiert sind, und wo die dicke *Pyramidenbahn* beginnt, welche über das Rückenmark zur Muskulatur zieht.

Neben der quergestreiften Skelettmuskulatur gibt es noch die *glatte Muskulatur* als Wandauskleidung von Blutgefäßen und inneren Hohlorganen. Ihre Steuerung erfolgt autonom über das *vegetative Nervensystem*. Das gilt auch für die Spezialmuskulatur des Herzens.

Die Abbildung zeigt einen motorischen Nerv mit seiner motorischen Endplatte, welche an der Membran einer Muskel-faser anliegt.



Die Muskelfasern besitzen so wie alle Zellen einen Kern und Zellorganellen. In ihnen liegen aber auch fadenförmige Gebilde (Filamente).

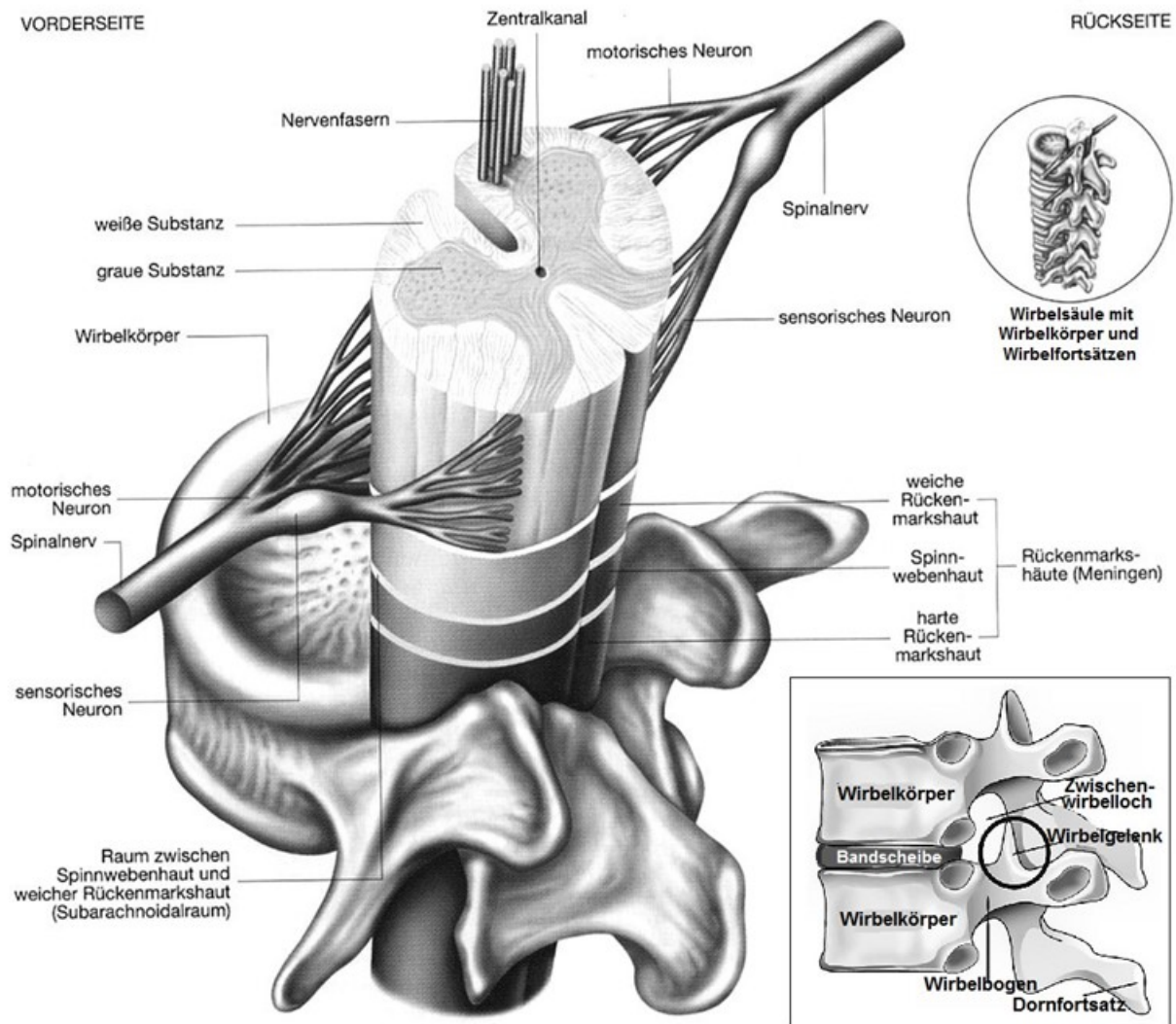
Erreicht ein Aktionspotential AP die motorische Endplatte, so werden dort entsprechende Transmitterstoffe ausgeschüttet (z.B. Acetylcholin).

Diese Transmitter überschreiten an der Membran der Muskelfaser einen ganz bestimmten Schwellenwert (EPP) und lösen dort ein Aktionspotential aus.

Das Membranpotential am Muskel bewirkt die Ausschüttung von Ca^{2+} -Ionen. Dann werden die Filamente ineinander geschoben und es kommt zu einer Verkürzung der Muskelfaser.

Wenn keine weiteren Aktionspotentiale folgen, werden Ca^{2+} -Ionen zurückgepumpt und die Muskelfaser erschlafft.

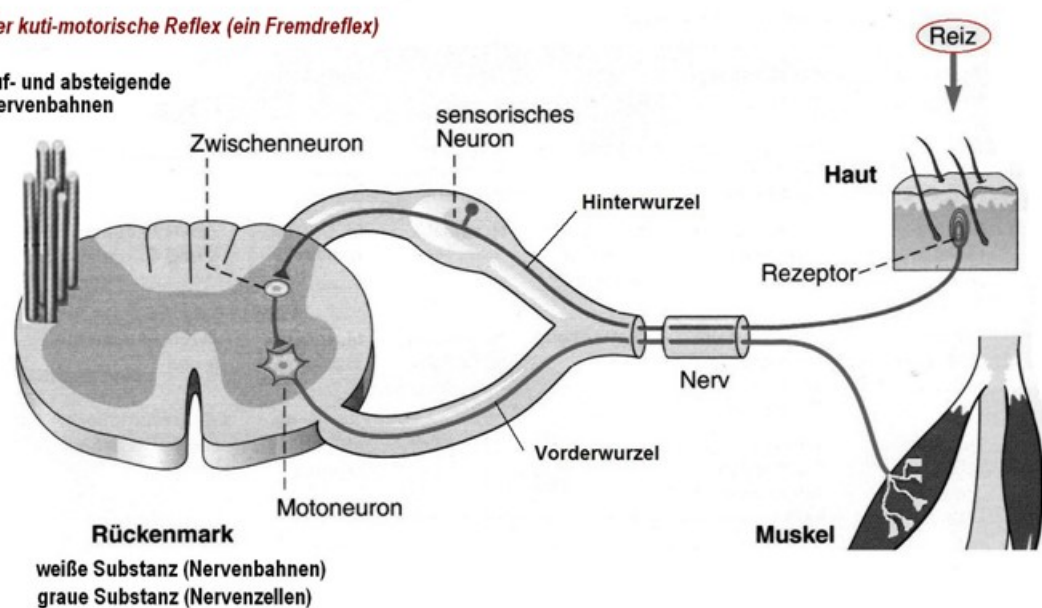
Die Abbildung zeigt das Rückenmark mit den Nervenwurzeln der Körpernerven.



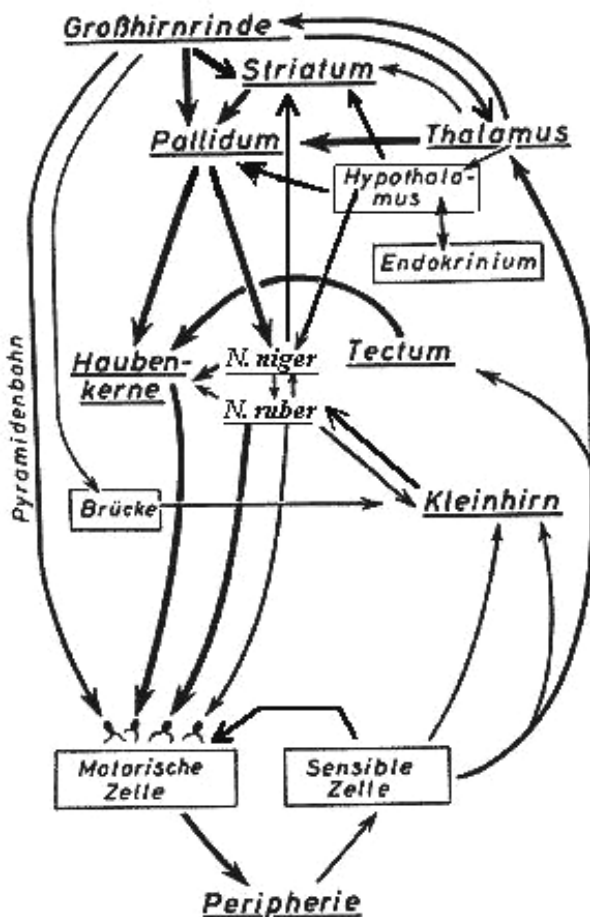
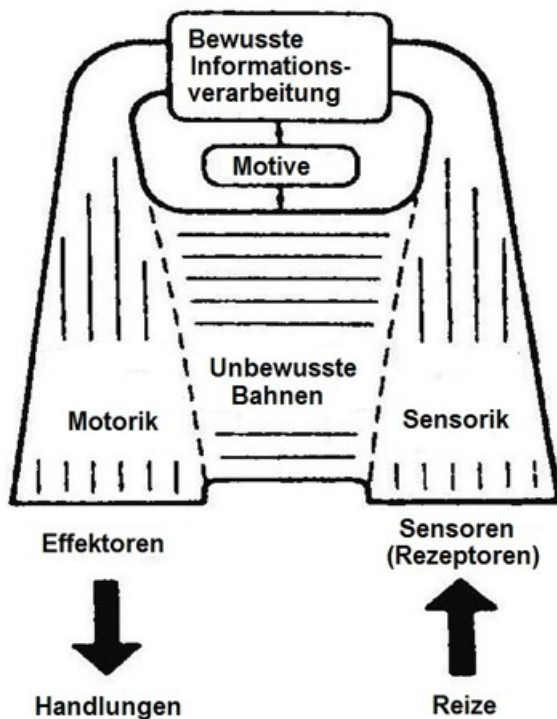
Die Abbildung zeigt einen kuti-motorischen Reflexbogen.

Der kuti-motorische Reflex (ein Fremdreflex)

auf- und absteigende Nervenbahnen

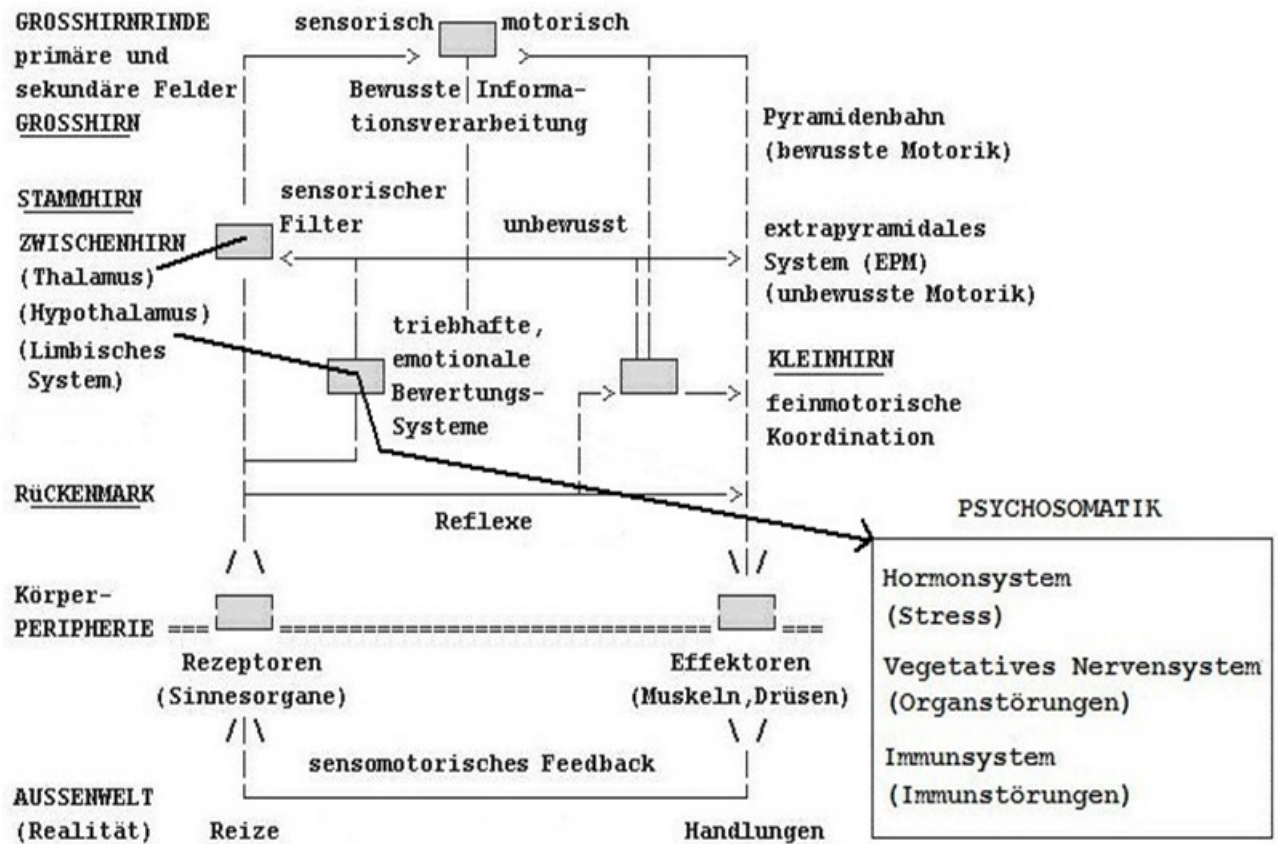


Schematische Darstellung der aufsteigenden und absteigenden Leitungsbahnen



- Großhirnrinde (motorisch – sensorisch)
- Basalganglien (Striatum, Pallidum, ...)
- Zwischenhirn (Thalamus, Hypothalamus, Hypophyse, ...)
- Mittelhirn (Tectum, Tegmentum, ...)
- Stammganglien (N. niger, N. ruber, ...)
- Brücke, Kleinhirn
- Verlängertes Mark
- Rückenmark
- Körperperipherie

Zusammenfassende Übersicht



Wichtige Stationen und Bahnen zwischen Peripherie und Zentrale

Sensorik

- Reizaufnahme und elektrochemische Signalerzeugung in den Sinnesorganen.
- Aufsteigende sensorische Nervenbahnen über Rückenmark ins Zwischenhirn.

Emotion und Kognition

- Unbewusste emotionale Reizbewertung im limbischen System.
- Verbindungen von limbischem System und vegetativem NS und Immunsystem.
- Filterung der sensorischen Erregungen durch Motive (Emotionen, Triebe).
- Weiterleitung über den Thalamus zur Großhirnrinde.
- Bewusste Informationsverarbeitung in der Großhirnrinde (Cortex).

Motorik

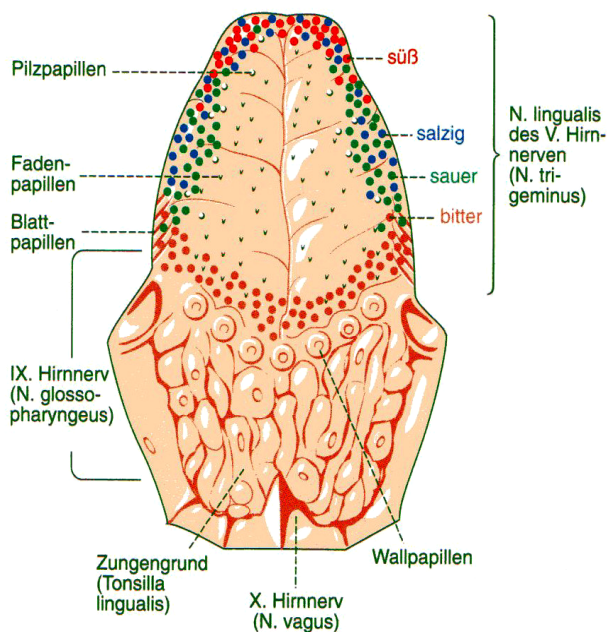
- Bewusste oder unbewusste Aktivierung von Bewegungsmustern im Cortex.
- Leitung der bewussten Motorik vom Cortex abwärts über die Pyramidenbahn.
- Leitung der unbewussten Motorik über das extrapyramidale System (EPM).
- Instinkte zur unbewussten, schnellen Reizbeantwortung im Hirnstamm.
- Reflexe zur unbewussten, schnellen Reizantwort in Hirnstamm/Rückenmark.
- Motorische Reaktion (Kontraktion) der Muskeln.

[3.7] Sinnesorgane - Tore zur Welt

Unterschiedliche Reize aus der Aussenwelt (mechanischer Druck, Schallwellen, Lichtstrahlen, usw.) wirken auf spezifische Sinneszellen in den verschiedenen Sinnesorganen und erzeugen dort elektrochemische Erregungen. Diese werden über sensorische Nerven zu den sensorischen Zentren im Gehirn weitergeleitet, wo die entsprechenden Sinneswahrnehmungen entstehen.

[3.7.1] Schmecken und Riechen

Schmecken mit der Zunge

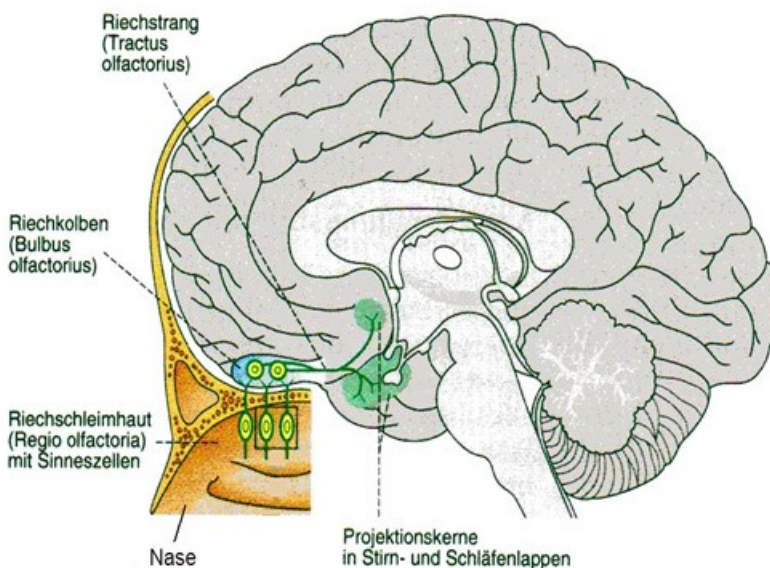


Bestimmte chemische Geschmacksstoffe reizen die Sinneszellen unter den Papillen auf der Zunge und am Gaumen.

Die dort erzeugten neuronalen Erregungen werden über afferente Fasern von drei verschiedenen Hirnnerven über das verlängerte Rückenmark weiter zum Thalamus im Zwischenhirn geleitet.

Von dort gelangen sie dann in entsprechende Projektionskerne der hinteren Zentralwindung der Großhirnrinde. Unter einem Projektionskern versteht man eine Ansammlung von zusammengehörigen Nervenzellen, in welche eine sensorische Nervenbahn einstrahlt.

Riechen mit der Nase



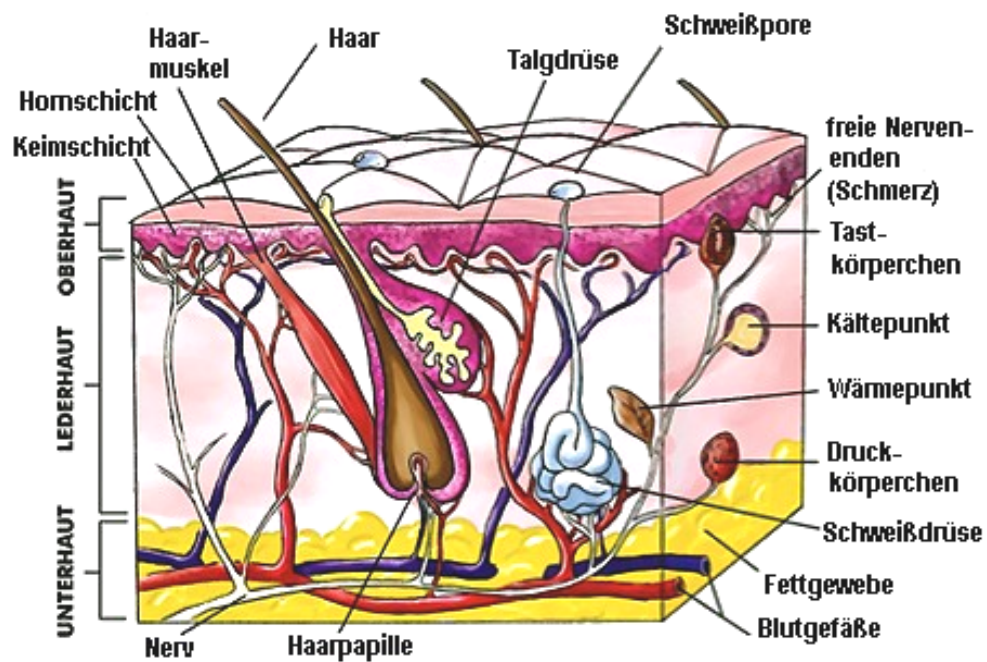
Bestimmte gasförmige Geruchsstoffe reizen die Sinneszellen im oberen Abschnitt der Nasenhöhle (Riechschleimhaut).

Die dort erzeugten neuronalen Erregungen ziehen über den Riechstrang in entsprechende Projektionskerne in Schläfen- und Stirnlappen der Großhirnrinde.

[3.7.2] Die Hautsinne

Die Haut (derma, cutis) ist ein Hüllorgan, welches der Abgrenzung von Außen und Innen dient. Sie besteht im Wesentlichen aus drei Schichten. Außen befindet sich die Oberhaut (Epidermis). Dabei handelt es sich um mehrschichtiges, verhornendes Plattenepithel. Dann folgt die Lederhaut (Dermis), welche aus Bindegewebefasern besteht. Sie dient der Verankerung und Ernährung der Oberhaut. Hier befinden sich auch die feinen Blutkapillaren. Die innerste Schicht der Haut ist die Unterhaut (Subcutis). Sie enthält Fett und lockeres Bindegewebe. In ihr liegen Nerven, versorgende Blutgefäße und Sinneszellen (Sensoren, Rezeptoren).

Die nachfolgende Grafik zeigt den Aufbau und die Bestandteile der Haut.



Die Hauptfunktionen der Haut sind (1) der Schutz vor äußeren Einflüssen (Endringlinge oder UV-Strahlen), (2) die Regulation des Wärmehaushaltes und (3) die Aufnahme von Sinnesreizen. Die einzelnen Bestandteile der Haut erfüllen spezialisierte Aufgaben.

Nicht rezeptive Teile:

- Haare: Schutz vor Wärmeverlusten, UV-Strahlen, usw.
- Schweißdrüsen: Produktion von Schweiß und Schutz vor Erhitzung durch Verdunstung.
- Keimschicht: Produktion von neuen Hautzellen.
- ...

Rezeptive Teile:

- Kälte- und Wärmesensoren zur Temperaturempfindung.
- Tast- und Lamellen-Körperchen zur Druckempfindung.
- Freie Nervenendigungen zur Schmerzempfindung.
- ...

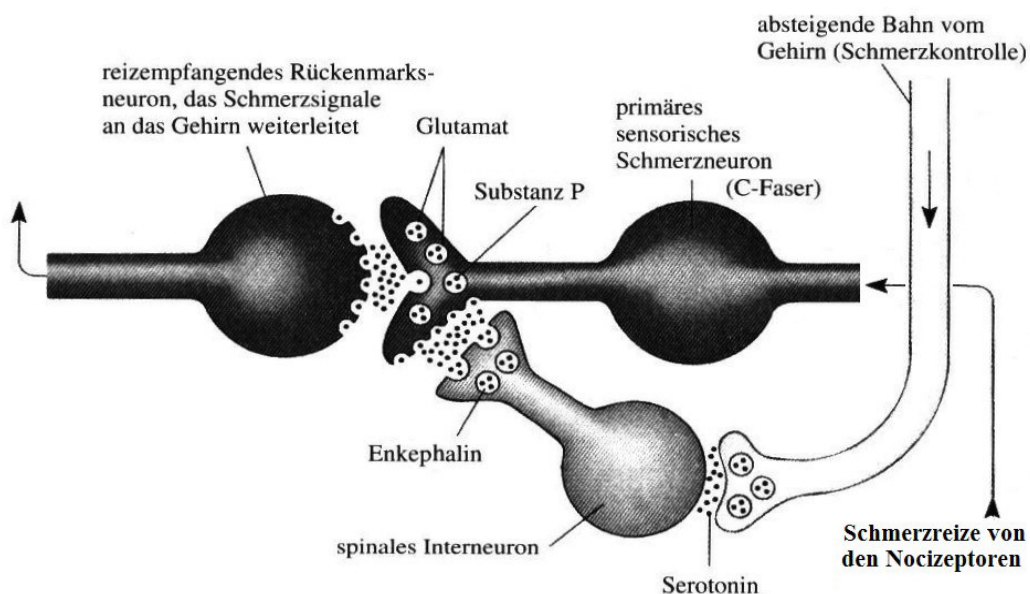
[3.7.3] Der Schmerz

Der Schmerz ist ein lebenswichtiges Signal und ein wesentlicher Bestandteil der organischen Selbstregulation. Er zwingt den Menschen dazu, sich seiner Körperwahrnehmung zuzuwenden, um herauszufinden was nicht stimmt und etwas zu unternehmen, um weitere Schädigungen abzuwenden. Bei Fortbestehen der Ursachen wird aus dem akuten ein chronischer Schmerz.

Ein akuter Schmerz beginnt mit einer intensiven Reizung von freien Nervenendigungen im Gewebe. Diese Schmerzrezeptoren (**Nocizeptoren**, Noxa = Schaden) befinden sich in der Haut, im Bindegewebe, in den Muskeln, Gelenken und Eingeweiden. Sie haben eine relativ hohe Erregungsschwelle und reagieren praktisch nur auf gewebsschädigende Reize (Noxen). Die elektrochemische Erregung wird vom Rezeptor zunächst zum Rückenmark geleitet. Zwei verschiedene Leitungssysteme stehen dafür zur Verfügung: **ein schnelles und ein langsames**. Die schnellen, von einer Markscheide (Myelin) umgebenen Fasern heißen A-Delta-Fasern. Ihre Leitungsgeschwindigkeit beträgt 20 m/sec und sie leiten stechende, gut lokalisierbare Schmerzen. Die langsamen, dünnen und marklosen Fasern heißen C-Fasern. Ihre Erregungsgeschwindigkeit beträgt ca. 1 m/sec. Sie leiten dumpfe, schlecht lokalisierbare Schmerzen. Beide Faserbahnen münden in einen umgrenzten Bereich der Hinterhörner in das Rückenmark (Substantia gelatinosa). Die präsynaptischen Enden der primären sensorischen Schmerzneuronen, welche mit den Nociceptoren verbunden sind, verwenden zur synaptischen Signalübertragung **Glutamat** als Neurotransmitter und eine so genannte **Substanz P** als Modulator. Die im Rückenmark befindlichen Zwischenneuronen leiten die Signale in aufsteigenden Bahnen weiter zum Gehirn.

Neben den beschriebenen **aufsteigenden Bahnen** enthält das Schmerzsystem auch **absteigende Bahnen**, die von der Großhirnrinde über den Hirnstamm bis ins Rückenmark führen. Sie leiten Signale, welche der **Schmerzhemmung** und der Schmerzkontrolle dienen. Diese Hemmung erfolgt bereits in der Substantia gelatinosa in den Hinterhörnern des Rückenmarkes. Von den Nervenendigungen der absteigenden Fasern werden mithilfe von Serotonin als Transmitter die Signale auf spinale Zwischenneuronen umgeschaltet, die ihrerseits **Hirnopiate** (Enkephaline und Endorphine) produzieren. Diese wirken über Opiat-Rezeptoren auf die primären sensorischen Schmerzneuronen. Sie blockieren die Glutamat-Rezeptoren, wodurch es zu einer Hemmung der synaptischen Signalübertragung kommt, was zu einer reduzierten Schmerzweiterleitung führt.

Die Grafik veranschaulicht die aufsteigende Schmerzleitung im Rückenmark und ihre Hemmung durch absteigende Nervenbahnen.



Im Hirnstamm liegen Schaltstellen in der *Formatio reticularis*. Ab hier teilen sich die Wege. Die **schnelle Schmerzbahn** zieht direkt weiter zu zwei Kernen im Thalamus (*Nucleus ventrobasalis* und *Nucleus posterior*). Gemeinsam mit dem sensorischen Signalsystem erfolgt die Weiterleitung zur Großhirnrinde. Dort kommt es dann zur bewussten Schmerzempfindung.

Langsame Schmerzbahnen ziehen von der *Formatio reticularis* im Hirnstamm zum zentralen Höhlengrau des Zwischenhirns und weiter zum Hypothalamus. Von hier aus erfolgen Umschaltungen zum Thalamus und zum limbischen System. Diese übergeordneten Regionen des langsamen Schmerzsystems (vor allem der *insuläre* und *cinguläre Cortex*) sind wesentlich beteiligt an den emotionalen und motivationalen Aspekten des Schmerzes. Sie bilden die Grundlage der Schmerzerfahrung, des Schmerzverhaltens und des Schmerzgedächtnisses.

Auf Grund ihrer chemischen Wirkung kann man verschiedene Arten von Schmerzmitteln unterscheiden. Die **nicht narkotischen Schmerzmittel** hemmen direkt den lokalen Entzündungsprozess nach Gewebsverletzungen. Zu dieser Medikamentengruppe gehört beispielsweise die *Acetylsalicylsäure* (Aspirin).

Narkotische Medikamente sind die Opiate und der Opiumbestandteil Morphin. Ihre analgetische (schmerzlindernde) Wirkung beruht auf ihrer Bindung an Opiat-Rezeptoren und einer daraus folgenden Unterdrückung neuronaler Aktivität im Zentralnervensystem. Um systemische Nebenwirkungen des Morphins (d.h. Einschränkungen des Bewusstseins) zu vermeiden, kann Morphin auch durch die harte Hirnhaut in den spinalen Liquorraum injiziert werden, um damit gezielt die Opiat-Rezeptoren in der *Substantia gelatinosa* des Rückenmarkes zu erreichen. Diese Technik wird als epidurale Analgesie bei vielen Operationen angewendet.

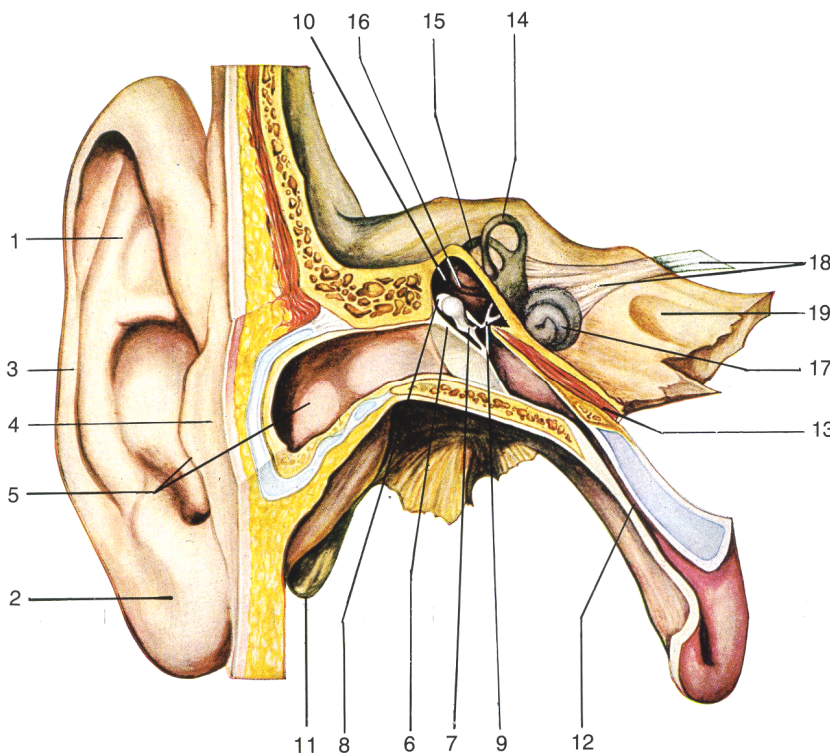
Cannabinoide sind chemische Stoffe, die sowohl natürlich in der Hanfpflanze als auch im menschlichen Körper vorkommen. Sie können auch synthetisch erzeugt werden. Im Nervensystem und im Immunsystem gibt es dafür eigene Rezeptoren (CB1, CB2), über welche sie auf den Energiestoffwechsel in den Mitochondrien der Zellen wirken. Von großer Bedeutung sind vor allem zwei Stoffklassen: **THC** (Anandamid) wirkt psychotrop (stimmungsaufhellend) und **CBD** (Cannabidiol) wirkt medizinisch (schmerzlindernd, entzündungshemmend, antibakteriell, oxidationshemmend, geschwulsthemmend, übelkeitshemmend, krampflösend, angstlösend, ...).

Unter dem Begriff des **pathophysiologischen Schmerzes** versteht man dreierlei: projizierte, neuralgische und übertragene Schmerzen. Eine akute Reizung innerhalb einer aufsteigenden Nervenleitung führt zur bewussten Schmerzempfindung im peripheren Versorgungsgebiet des Nerven, d.h. zur Verlagerung des Schmerzes von seinem eigentlichen Entstehungsort an den Endpunkt der Nervenleitung (**projizierter Schmerz**).

Die fortgesetzte Reizung innerhalb einer afferenten Nervenleitung führt zum Auftreten von chronischen, anfallsartigen Schmerzzuständen, welche ebenfalls in das Versorgungsgebiet des Nerven projiziert werden (**neuralgischer Schmerz**).

Die Neuriten der Nocizeptoren von bestimmten Hautgebieten strahlen in die selben Hinterhorn-Neuronen des Rückenmarkes wie die Neuriten der Nocizeptoren von bestimmten inneren Organen. Weil das Gehirn durch die Sinneswahrnehmung gelernt hat, dass die Reize von außen kommen, werden die Schmerzsignale aus den Eingeweiden als Schmerzen in der Peripherie (Haut) interpretiert (**übertragener Schmerz**). Für jedes innere Organ lassen sich typische Hautareale angeben, in welche die Eingeweideschmerzen übertragen werden (z.B. die Innenseite des linken Armes bei *Angina pectoris*). Diese Hautareale heißen *Headsche Zonen* und sind ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel.

[3.7.4] Der Hörsinn



Äußeres Ohr

- 1 Ohrmuschel
- 2 Ohrklappen
- 3 Ohrwulst
- 4 Ohrkorpel
- 5 äußerer Gehörgang

Mittelohr

- 6 Trommelfell
- 7 Hammer
- 8 Amboss
- 9 Steigbügel
- 10 Paukenhöhle
- 11 Schläfenbein-Vorwölbung
- 12 Ohrtrumpete (zum Rachen)
- 13 Trommelfell-Spannmuskel

Inneres Ohr

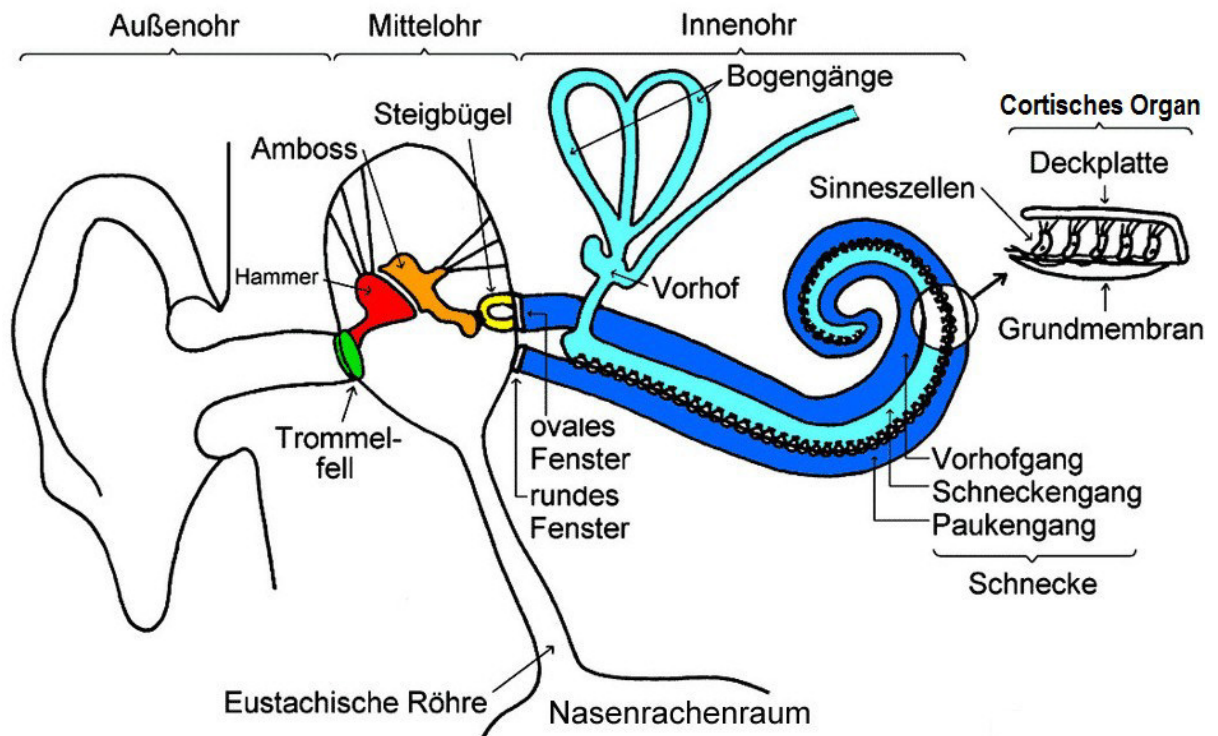
- 14 erster Bogengang
- 15 zweiter Bogengang
- 16 dritter Bogengang
- 17 Hörschnecke
- 18 VIII. Hirnnerv
(Gehör und Gleichgewicht)
- 19 Felsenbein

Das Ohr nimmt periodische Druckschwankungen der Luft im Frequenzbereich von 16 - 20000 Hz als Schall wahr. Je höher die Schallwellenfrequenz, desto höher der Ton. Die Intensität des Schalldrucks wird als Schalldruckpegel in Dezibel (dB) angegeben. Als Hörschwelle bezeichnet man den für eine Schallwahrnehmung notwendigen Minimalschalldruck. Die Hörschwelle ist stark frequenzabhängig, sie ist am niedrigsten zwischen 2000-5000 Hz. Zunahmen des Schalldrucks über die Hörschwelle werden als zunehmende Lautstärke empfunden. Wird bei unverändertem Schalldruck die Tonhöhe geändert, ändert sich auch die subjektiv empfundene Lautstärke, da nicht nur die Hörschwelle, sondern auch die Lautstärke frequenzabhängig ist.

Das Hören mit zwei Ohren dient der akustischen Raumorientierung und der Verbesserung der Hörbarkeit akustischer Signale in lärmgestörter Umgebung. Dabei werden neben Laufzeit- und Intensitätsunterschieden zwischen beiden Ohren auch die akustischen Eigenschaften der Ohrmuschel ausgenutzt.

Die Schallwellen gelangen durch den äußeren Gehörgang auf das Trommelfell. Das mitschwingende Trommelfell überträgt die Luftschwingungen auf die mechanischen Schwingungen einer Kette von Gehörknöchelchen im Mittelohr (Hammer, Amboss und Steigbügel). Die Grundplatte des Steigbügels ist beweglich in das ovale Fenster zum Innenohr eingepasst. Im Innenohr liegt die Gehörschnecke (Cochlea). Diese besteht aus drei übereinander liegenden Gängen, die mit einer Flüssigkeit (Perilymphe) gefüllt sind. Hinter dem ovalen Fenster beginnt der erste Schneckengang - die gewundene Vorhofstreppe, welche an der Schneckenspitze in den zweiten Gang übergeht. Dieser Paukengang führt zurück zum Mittelohr und ist durch ein zweites mitschwingendes Trommelfell im runden Fenster verschlossen.

Schematische Darstellung des Gehörs- und Gleichgewichtsorgan:



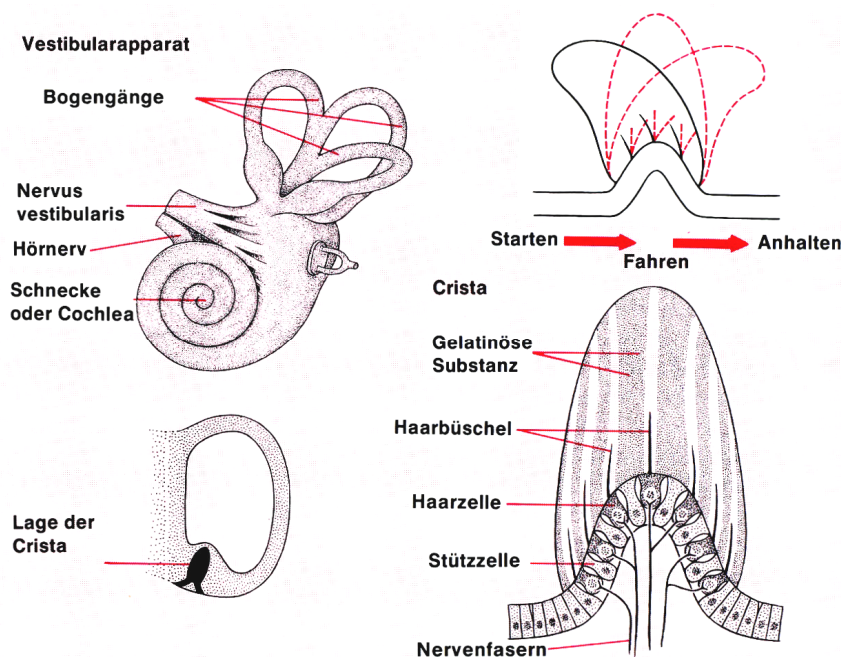
Die Gehörknöchelchenkette des Mittelohrs dient zur Verstärkung des Schalls beim Übergang von der Luft auf die Flüssigkeit des Innenohrs, weil die Flüssigkeit der Wellenausbreitung einen viel größeren Widerstand (Impedanz) entgegenstellt als die Luft.

Ein Druck der Gehörknöchelchen auf das ovale Fenster läuft in der Perilymphe als Wanderwelle über die Vorhoftreppe zur Schneckenspitze und dann über den Paukengang zum runden Fenster, wo dann ein Druckausgleich stattfindet. Der dritte Schneckengang (Schneckenkanal) ist durch die **Basilarmembran** von dem Paukengang getrennt. Dieser Schneckenkanal dient der zusätzlichen Resonanz der Wanderwellen.

Auf der Basilarmembran liegt der eigentliche Gehörsensor, das **Cortische Organ**, welches aus vier Reihen von Haarzellen besteht. Die äußeren Haarzellen dienen der Verstärkung der Wanderwellen. Die Wanderwellen erregen frequenzselektiv die äußeren Haarzellen und bringen sie zur Kontraktion. Die Kontraktionen führen zur Erregung der korrespondierenden inneren Haarzellen, welche als sekundäre Sinneszellen ihre Erregung synaptisch an die afferenten Nervenfasern des Hörnervs (Nervus acusticus) weiterleiten. In ihnen ist dann das Schallereignis durch die Entladungsrate und die Zeitdauer der Aktivierung verschlüsselt.

Die Hörbahnen führen von jedem Ohr über mindestens 5 bis 6 synaptische Umschaltungen zu den auditorischen Cortexgebieten beider Hirnhälften. Das zentrale auditorische System führt eine Musteranalyse des Schallsignals durch. Dabei werden verschiedene Charakteristika des Schallsignals analysiert. So werden in zunehmendem Maße bedeutsame Komponenten von Schallreizen (z.B. arteigene Kommunikationslaute) deutlicher herausgearbeitet. Die mit dem primären auditorischen Cortex verbundenen sekundären (assoziativen) Cortexareale sind für die Analyse der semantischen Bedeutung der Sprache zuständig.

[3.7.5] Der Gleichgewichtssinn



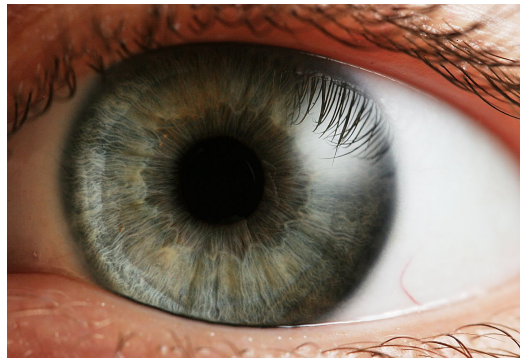
Der **Vestibularapparat** des Innenohrs besteht aus drei kleinen, mit Flüssigkeit gefüllten **Bogengängen**. Diese drei gebogenen Kanäle entsprechen den drei Raumebenen: aufwärts/abwärts und vorwärts/rückwärts und rechts/links. Jeder Kanal besitzt am Beginn eine Erweiterung, in der sich eine so genannte „Crista“ befindet. Das ist jene Vorwölbung, die mit **Haarzellen** besetzt ist. Diese Haarzellen liegen zwischen Stützzellen und tragen an ihren freien Enden lange Haarbüschel, die in eine gelatineartige Substanz eingebettet sind. Bewegungen der Kanalflüssigkeit verschieben die Gelatinesubstanz und die Haarbüschel mehr oder weniger. Dieses Abbiegen der Haarbüschel wiederum reizt die Haarzellen, die daraufhin durch ihre Nervenfasern elektrische Impulse zum Gehirn entsenden. Der Gleichgewichtsnerv verläuft direkt neben dem Hörnerv.

Oben rechts ist die Crista-Aktivität während verschiedener Kopfbewegungen dargestellt. Wenn sich der Kopf zu bewegen oder zu drehen beginnt, bleibt die Flüssigkeit wegen ihrer Trägheit zunächst zurück, wodurch die Haarbüschel in die entgegengesetzte Richtung gebogen werden. (So wie man beim plötzlichen Anfahren des Autos, in dem man sitzt, nach hinten geworfen wird.) Wird die Bewegung des Kopfes fortgesetzt, dann „holt“ die Flüssigkeit im Kanal die Bewegung des Kopfes wieder „ein“, und die Haarbüschel richten sich wieder auf. Solange sich der Kopf in gleichbleibendem Tempo in dieselbe Richtung bewegt, bleiben die Haarbüschel aufrecht. (Sowie man im Auto aufrecht sitzen bleibt, solange dieses gleichmäßig ohne Verlangsamungen und Beschleunigungen gradeaus fährt.) Wenn die Kopfbewegung aufhört, lässt die Trägheit der Flüssigkeit diese nach vorn schießen, und die Haarbüschel werden wiederum gebogen, diesmal nach vorn. Aus den genannten Gründen empfangen wir nervöse Impulse aus dem Vestibularapparat nur, wenn sich die Bewegung des Kopfes ändert, wie beim Anfahren, in Kurven, bei plötzlicher Beschleunigung oder Verlangsamung und beim Anhalten. Solange wir uns in gleichbleibendem Tempo in eine gleichbleibende Richtung bewegen, empfängt das Gehirn keine Impulse von den Bogengängen.

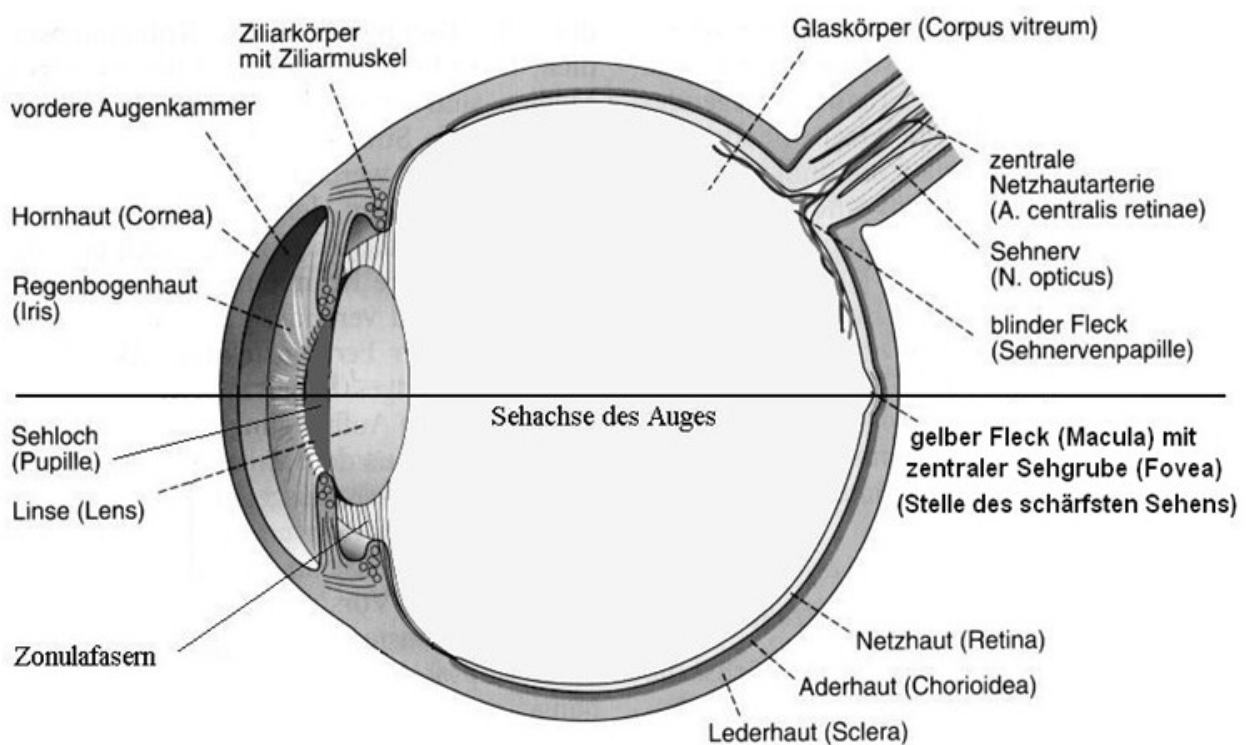
Die Information aus den Vestibulariskernen dient der Gleichgewichtserhaltung beim Stehen und Gehen, der Steuerung von Augenbewegungen, der Feinabstimmung der Motorik im Kleinhirn und über kortikale Projektionen der bewussten Empfindung von eigenen Körperstellungen.

[3.7.6] Der Sehsinn

Die optische Wahrnehmung liefert den größten Anteil an Information über die Welt in der wir leben. Zur optischen Wahrnehmung werden folgende Organe benötigt: das **Auge** mit seinen Hilfseinrichtungen (Lidern, Tränenapparat, Muskeln), der **Sehnerv** mit seinen Schaltneuronen im Zwischenhirn (seitliche Kniehöcker im Thalamus) und schließlich die optischen Projektionsfelder im Hinterhauptslappen der **Großhirnrinde**. Diese Teile sollen im Folgenden ausführlich besprochen werden.

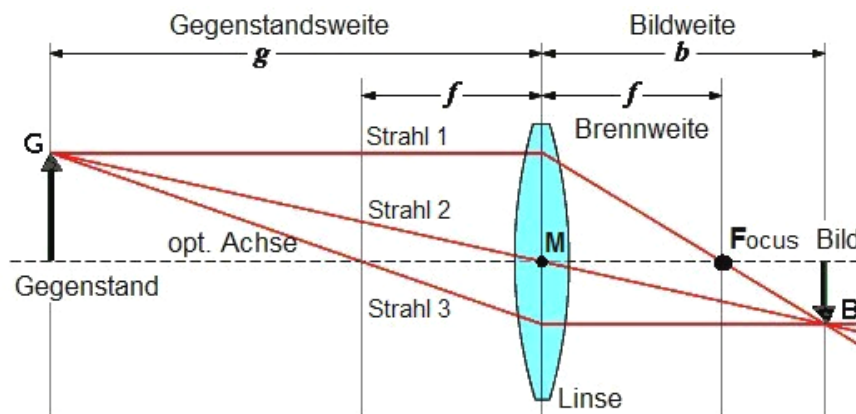


Der im Fettgewebe der knöchernen Augenhöhle liegende Augapfel, der einen Durchmesser von 24 mm hat, kann durch sechs quergestreifte Muskeln (4 gerade und 2 schräge) in alle Richtungen des Raumes bewegt werden. Außen wird der Augapfel durch die beiden Lider umgeben, welche von zwei zusätzlichen Muskeln (Lidheber und Lidschließer) gesteuert werden. Zum Tränenapparat gehört die seitlich oben liegende Tränendrüse, welche durch den Parasympathikus innerviert wird (Nervus lacrimaris) und mit ihrer Flüssigkeit die Vorderfläche des Auges befeuchtet und reinigt. Im Innenwinkel der Lidspalte befinden sich Tränenausführgänge, welche in den Tränensack und weiter in den unteren Nasenraum münden. Die Augenlider sind innen von einer dünnen Bindehaut (Conjunctiva) überzogen, die mit dem Augapfel verwachsen ist.

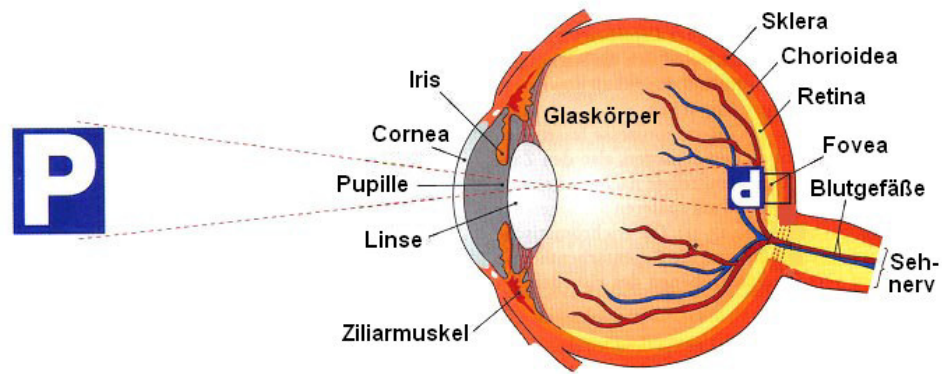


Die adäquaten (passenden) Reize für das Auge sind elektromagnetische Wellen von Frequenzen zwischen 400 und 750 Billionen Hertz. Die beiden Grenzwerte des sichtbaren Lichtbereiches werden als untere und obere Qualitätsschwellen bezeichnet. Die verschiedenen Frequenzen lösen verschiedenen Farbbeimpfindungen aus, von rot bis violett. Die Lichtintensität (Helligkeit) wird durch die Anzahl der auftreffenden Photonen (Lichtpartikeln) gesteuert. Es genügen bereits einige wenige Photonen, um eine Sinnesempfindung auszulösen. Jedenfalls ist das Auge ein sehr empfindliches Sinnesorgan, das nur aus einem sehr engen Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums Reize aufnehmen und verarbeiten kann. Die etwa 120 Millionen lichtempfindlichen Sensoren (Rezeptoren) liegen in der Netzhaut am Augenhintergrund, wo die empfindlicheren **Stäbchenzellen** für die Hell-Dunkel-Wahrnehmung und die gröberen **Zapfen** für die Farbwahrnehmung zuständig sind. Bei einer Farbwahrnehmung unterscheidet man **Farbton** (Frequenz), **Sättigung** (Reinheit des Frequenzgemisches) und **Helligkeit** (Intensität).

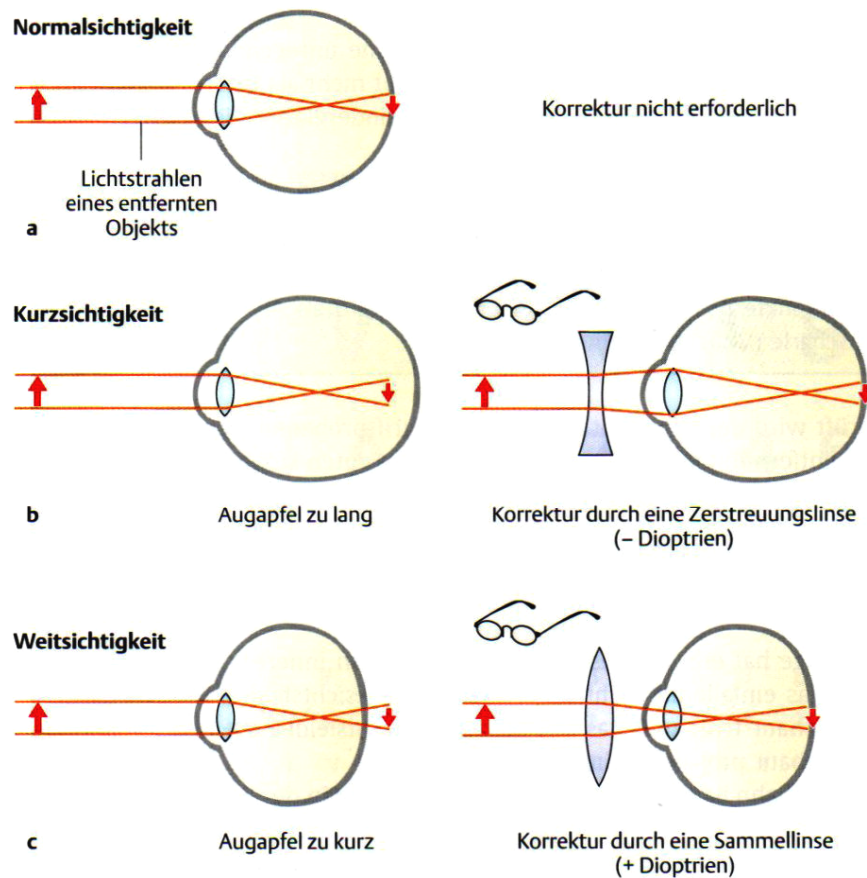
Die durchsichtige Augenlinse wirkt wie die Linse einer Kamera. Durch ihre konvexe (kugelige) Form werden die eintreffenden Lichtstrahlen aus ihrer geraden Bahn zur Linsenachse hin abgelenkt (gebrochen). Die Stärke dieser Lichtbrechung hängt von der Krümmung und einer Stoffkonstanten (Brechungskoeffizient) der Linse ab. Je stärker ihre Krümmung ist, umso stärker ist auch die Lichtbrechung. Unter der Brennweite (f) einer Linse versteht man jene Entfernung vom Linsenmittelpunkt, in der sich alle parallel einfallenden Lichtstrahlen nach ihrer Brechung zu einem Punkt (Brennpunkt, Focus) vereinigen. Diese Brennweite hängt somit von der Linsenkrümmung ab. Bei einer maximal abgeflachten Linse (d.h. bei geschlossenen Augen) beträgt die Brennweite 17 mm, was dann dem Abstand des Linsenmittelpunktes (M) von der Oberfläche der Netzhaut entspricht. Ihr Kehrwert ($1/f$) wird als die natürliche Augenbrechkraft (Dioptrie, dpt) bezeichnet ($0,017 \text{ m} = 59 \text{ dpt}$). Die von einem Gegenstand vor der Linse ausgehenden Lichtstrahlen durchlaufen die lichtbrechenden Schichten des Auges (Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper). Sie erzeugen dann hinter der Linse ein seitenverkehrtes, umgekehrtes Bild. Zwischen Gegenstandsweite (g), Bildweite (b) und Brennweite (f) besteht folgender Zusammenhang: $1/g + 1/b = 1/f$ (Linsengleichung).



Ein Gegenstand wird nur dann scharf wahrgenommen, wenn sein Bild **genau** auf die Netzhaut fällt. Je näher der Gegenstand an das Auge rückt, umso mehr muss sich die Linse krümmen, damit sein Bild immer scharf auf die Netzhaut projiziert wird. Diesen Anpassungsvorgang an die jeweilige Gegenstands Entfernung nennt man **Akkommodation**. Er wird durch das automatische Zusammenspiel des parasympathisch innervierten Ziliarmuskels, der Zonulafasern und der Eigenelastizität der Linse bewirkt. Bei stärkster Akkommodation nimmt die Brechkraft der Linse um etwa 11 dpt zu (Akkommodationsbreite eines normalen 30-jährigen Menschen). Dazu kann der Akkommodationsnahpunkt g_0 mit der Linsengleichung ermittelt werden: $59 + 11 = 70 \text{ dpt}$, d.h. $f = 1/70 = 14 \text{ mm}$, $b = 17 \text{ mm}$, $1/g_0 + 1/17 = 1/14$. Daher ist $g_0 = 80 \text{ mm}$.



Infolge einer im Alter immer schwächer werdenden Linsenelastizität nimmt die Akkommodationsbreite ab, und es kommt zur **Altersfehlsichtigkeit**, wobei das Sehen in die Ferne ungestört ist, jedoch zum Nahsehen (Lesen) eine Sammellinse (Lesebrille) vorgeschaltet werden muss. Neben der Altersfehlsichtigkeit können auch angeborene Fehler der Augapfelform Fehlsichtigkeiten verursachen. Normalerweise ist der Linsenmittelpunkt von der Netzhautoberfläche 17 mm entfernt. Ist dieser Abstand zu lang, dann fällt das projizierte Gegenstandsbild vor die Netzhaut und man spricht von **Kurzsichtigkeit**. Ist hingegen der Augapfel zu kurz, dann kommt das Bild hinter der Netzhaut zu liegen und man spricht von **Weitsichtigkeit**. In beiden Fällen wird der Gegenstand unscharf wahrgenommen. Im ersten Fall erfolgt die Korrektur durch eine vorgeschaltete Zerstreuungslinse (konkav), im zweiten durch eine Sammellinse (konvex).

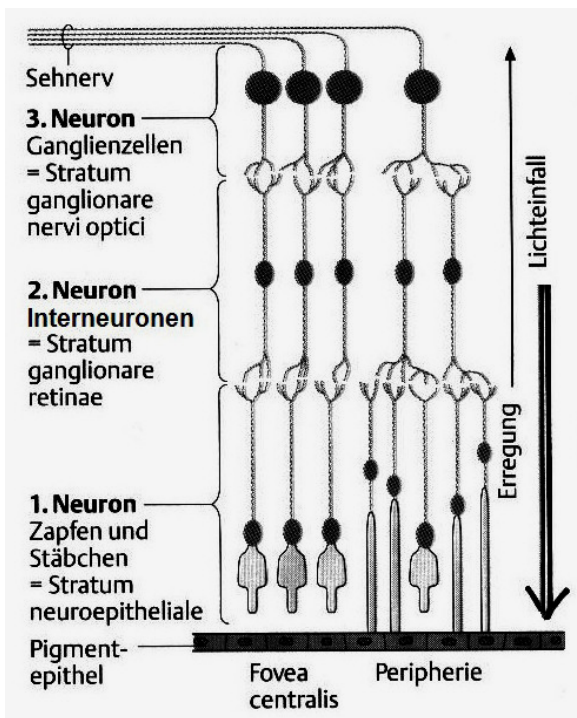


Weitsichtigkeit (Hyperopie) und Kurzsichtigkeit (Myopie).

a Normalsichtigkeit. b bei zu langem Augapfel (Kurzsichtigkeit) Korrektur mit Zerstreuungslinsen (- Dioptrien). c Bei zu kurzem Augapfel (Weitsichtigkeit) Korrektur mit Sammellinsen (+ Dioptrien).

Unter der **Sehschärfe** (Visus) versteht man das räumliche Auflösungsvermögen des Auges. Das ist jener Winkel, den die Sehstrahlen von zwei benachbarten Punkten einschließen, die gerade noch getrennt wahrgenommen werden. Im Normalfall ist das $1/60$ von einem Grad. Das entspricht 0,30 mm in einer Entfernung von einem Meter.

Unter der **Adaption** versteht man die automatische Anpassung des Auges an die jeweiligen Lichtverhältnisse. Diese wird durch zwei verschiedene Mechanismen bewirkt. **Erstens** wird durch Verengung der Pupille die einfallende Lichtmenge abgeschwächt (Blendenwirkung). Die Regenbogenhaut (Iris) ist ein Geflecht von glatten Muskeln. Die zirkulären, parasymphatisch innervierten Fasern verengen die Pupille. Die radiären, sympathisch innervierten Fasern erweitern die Pupille. Die Regenbogenhaut steuert somit Blende und Tiefenschärfe. **Zweitens** erfolgt bei Verringerung der Helligkeit eine Umschaltung der Lichtaufnahme von den Zapfenrezeptoren auf die Stäbchenrezeptoren. Die sehr lichtempfindlichen Stäbchen reagieren nur auf Hell-Dunkel-Reize, während die gröberen Zapfen für die Farbinformationen zuständig sind. Das erklärt, warum in der Dämmerung keine Farben mehr wahrgenommen werden können. Die Zapfen liegen dichter in der zentralen Sehgrube, die Stäbchen häufen sich an der Peripherie.



Die **Netzhaut** (Retina) hat **drei Zellschichten**:

- Eine vordere Schicht aus Ganglienzellen, deren Neuriten den Sehnerv bilden.
- Eine mittlere Schicht aus Zwischenneuronen (unterschiedliche Interneuronen).
- Eine hintere Schicht aus lichtempfindlichen Photorezeptoren (Zapfen und Stäbchen).

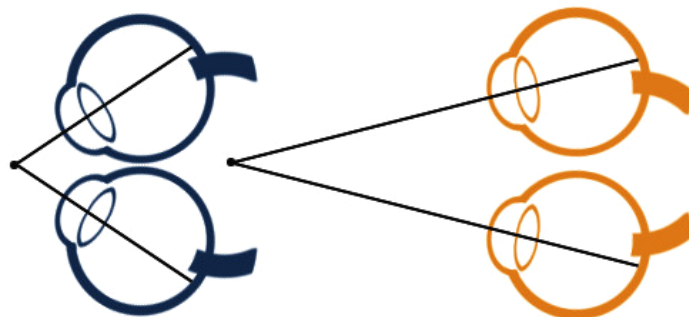
Kurioserweise muss das einfallende Licht die Schichten der Nervenfasern und Zellen passieren, um auf die Photorezeptoren im hinteren Bereich der Netzhaut zu treffen. Dadurch wird das Sehen sogar verbessert, weil sich im Auge die Menge an störendem Streulicht verringert, welches Zapfen und Stäbchen erreicht.

Stäbchen und Zapfen sind die Rezeptoren, welche die Lichtreize in elektrochemische Erregungsprozesse umwandeln. Im Folgenden soll diese Transformation genauer erklärt werden. Die Rezeptorzellen enthalten Farbstoffe (Pigmente), die aus dem einfachen Molekül **Retinal** und verschiedenen Varianten des komplexen Moleküls **Opsin** bestehen. Retinal ist ein Abkömmling von Vitamin A, Opsin ist ein Protein. Zusammen bilden sie das Rhodopsin. Treffen Lichtpartikel (Photonen) auf eine Rezeptorzelle, dann ändert sich die chemische Struktur des Rhodopsinmoleküls über mehrere Zwischenstufen bis zum **Metarhodopsin II**. Später spaltet sich das Molekül in Retinal und Opsin, um dann aus diesen Bausteinen erneut aufgebaut zu werden. Das Molekül Metarhodopsin II steuert über einen Second-Messenger-Mechanismus die Ausschüttung des Transmitters **Glutamat**. Der Überträgerstoff Glutamat aktiviert die **bipolaren Zwischenneuronen**, welche den Rezeptorzellen nachgeschaltet sind. Diese Interneuronen verarbeiten die erhaltenen Signale und leiten sie an die **retinalen Ganglienzellen** in der dritten Neuronenschicht der Netzhaut weiter. Die Neuriten der Ganglienzellen bilden den Sehnerv, der ins Gehirn zieht.

Von den Zapfen-Rezeptorzellen in der untersten Schicht der Netzhaut kennt man drei verschiedene Arten, welche jeweils unterschiedliche Varianten des Rhodopsinmoleküls in ihren Membranen enthalten. Der erste Typ reagiert auf die Frequenz des **roten** Lichtes, der zweite Typ auf **grünes** Licht und der dritte Typ auf **blaues** Licht. Die Stärke der einzelnen Grundfarben wird durch die Entladungshäufigkeit der entsprechenden Zapfen-Zellen bestimmt. Jedenfalls erhält das Gehirn drei verschiedene Farbinformationen über Rot (R), Grün (G) und Blau (B) in verschiedener Intensität. Daraus setzt es dann die entsprechende additive Mischfarbe zusammen.

Mehrere Lichtrezeptoren und die nachgeschalteten Zwischenneuronen projizieren ihre Signale auf **eine** retinale Ganglienzelle. Jenen Netzhautbereich, von dem eine Ganglienzelle Impulse erhält, nennt man deren **rezeptives Feld**. Es gibt zwei Arten von rezeptiven Feldern: Solche, die ein erregendes Zentrum und ein hemmendes Umfeld aufweisen (ON-Zentrum / OFF-Umfeld, d.h. die nachgeschaltete Ganglienzelle feuert dann am stärksten, wenn auf ihr rezeptives Feld ein heller Fleck mit dunklem Rand abgebildet wird) und andere, welche ein hemmendes Zentrum und ein erregendes Umfeld haben (OFF-Zentrum / ON-Umfeld). Die retinalen Ganglienzellen werden also besonders durch Reizkontraste aktiviert. Außerdem können drei Typen von retinalen Ganglienzellen (X, Y, W) unterschieden werden. X- und Y-Zellen besitzen einfache rezeptive Felder obiger Art und unterscheiden sich nur im zeitlichen Erregungsverhalten während einer Stimulation; X-Zellen reagieren dauernd gleich stark, Y-Zellen hingegen zuerst stark und dann immer schwächer. Die W-Ganglienzellen wiederum haben rezeptive Felder, welche empfindlich auf Bewegungen der Lichtreize in bestimmten Richtungen reagieren, d.h. **orientierungsselektiv** sind. Diese besonderen Leistungen sind auf die Wirkung von Interneuronen in der Zwischenschicht der Netzhaut zurückzuführen.

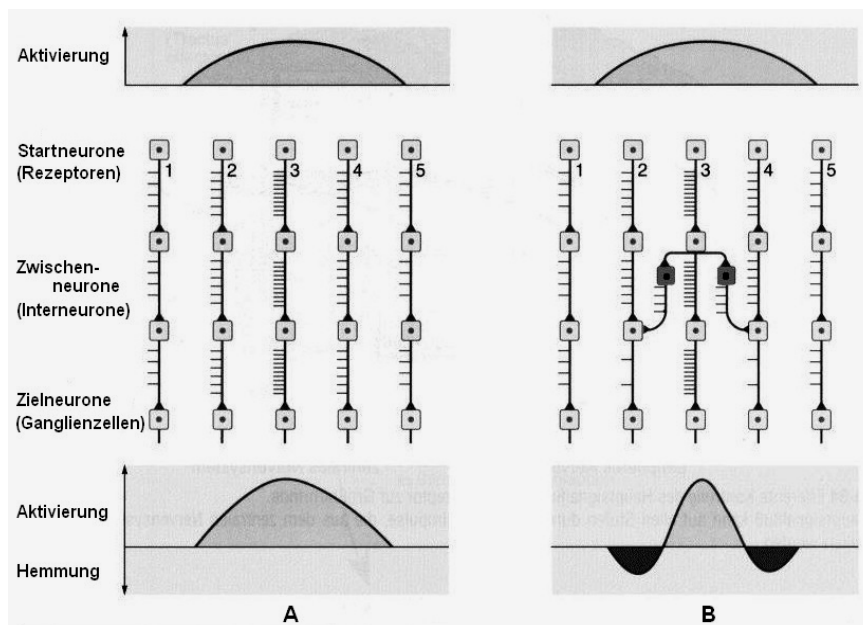
Das **räumliche Sehen** schließlich kommt hauptsächlich durch das Zusammenspiel beider Augen zu Stande (binokulares Sehen). Netzhautstellen, die in beiden Augen in derselben Richtung und Entfernung vom so genannten gelben Fleck liegen (Schnittpunkt der Augenachse mit der Netzhaut, also der Bereich des schärfsten Sehens), heißen korrespondierend. Nur wenn die zwei Bilder eines Gegenstandes auf korrespondierende Netzhautstellen in den beiden Augen fallen, entsteht ein einheitlicher Sinneseindruck - andernfalls Doppelbilder. Wird nun ein Gegenstand fixiert, sodass die beiden Augenachsen zu ihm hin konvergieren, dann fallen seine Bildpunkte auf korrespondierende Netzhautstellen. Für die Bilder von Objekten, welche vor oder hinter dem fixierten Gegenstand liegen, trifft das nicht mehr zu. Sie weichen von den korrespondierenden Punkten ein wenig seitlich ab (Querdisparation). So entsteht der Eindruck der **räumlichen Tiefe**.



Wird ein bestimmter Punkt beim zweiäugigen (binokularen) Sehen fixiert, dann werden beide Augen muskulär so bewegt, dass sich ihre optischen Achsen immer im fixierten Punkt treffen (**Konvergenz**). Je näher der fixierte Punkt rückt, desto stumpfer wird der von den Sehachsen eingeschlossene Winkel (die Augen wenden sich nach innen). Dieser Konvergenzwinkel wird vom Gehirn automatisch registriert und als Maß für die **Entfernung** des Punktes ausgewertet.

Eine weitere wichtige Tatsache ist, dass die Erregungspotentiale in der Netzhaut den verursachenden Lichtreiz überdauern (**retinale Nacherregung**). Bietet man dem Auge mehr als sechzehn verschiedene Einzelreize pro Sekunde hintereinander dar, so verschmelzen die ausgelösten Rezeptorpotentiale, und es entsteht ein kontinuierlicher Eindruck (Film!).

Eine interessante Wirkung der Interneuronen in der Zwischenschicht der Netzhaut ist die so genannte **laterale Inhibition**. Ein erregter Rezeptor wirkt über die horizontalen Zwischenzellen hemmend auf die direkt benachbarten Rezeptoren. Angenommen optische Reize regen einen größeren Bereich von Rezeptoren derart an, dass die Reizintensität von der Mitte zum Rand hin abnimmt. Dann werden die schwächer erregten Zellen, die am Rand liegen, von ihren stärker erregten Nachbarn im Innern des Bereiches entsprechend intensiver gehemmt und somit in ihrer Erregung noch zusätzlich abgeschwächt. Dieser Mechanismus führt dazu, dass an den Grenzen von Hell und Dunkel das Dunkle noch dunkler und das Helle noch heller erscheint. Der Kontrast wird verschärft, die Konturen werden hervorgehoben. Man bezeichnet diesen Mechanismus daher auch als **Kontrastverschärfung**.



Verschieden starke Reize erregen die Rezeptoren.

Die Erregungsstärken in der Neuronenkette sind durch die Zahl der Querstriche auf den Nervenfasern angezeigt. Das entspricht der Frequenz der Aktionspotentiale.

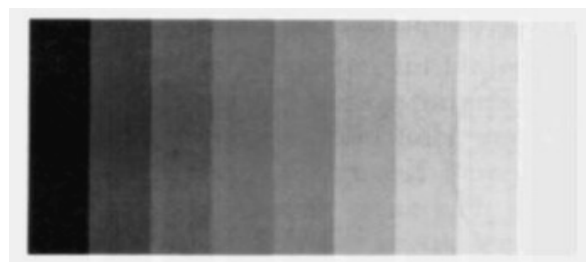
Inhibitorische Zwischenneurone bewirken eine gehemmte Aktivierung der nachgeschalteten Neuronen.

Dadurch entsteht dann eine Kontrastverschärfung im Erregungsmuster.

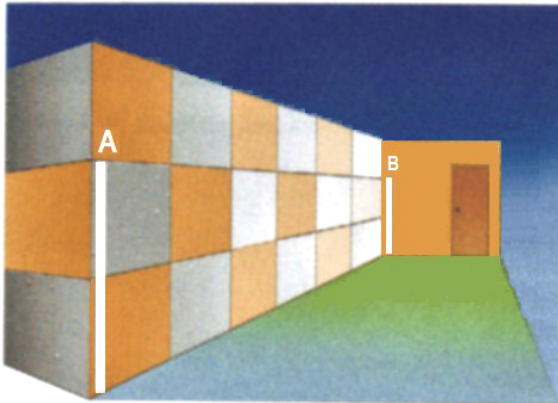
(A) Neuronenkette ohne inhibitorische Interneurone

(B) Neuronenkette mit inhibitorischen Interneuronen (die zwei dunklen Zellen)

Die unten stehende Abbildung zeigt anschaulich die Kontrasterscheinung auf der Grundlage der lateralen Inhibition: Bei jedem Streifen sieht der linke Rand heller aus als der rechte Rand, obwohl der ganze Streifen gleichmäßig grau getönt ist. Die Streifenränder liegen nahe bei den angrenzenden dunkleren oder helleren Feldern und sind somit stärker der Kontrastbildung unterworfen als der innere Bereich des Streifens.



Dieses Prinzip scheint nicht nur in der Wahrnehmung zu gelten. Auch unser Denken zeigt die Tendenz, Unterschiede zu verstärken. Man spricht dann in diesem Zusammenhang von einer **intellektuellen Kontrastverschärfung**. Dies betrifft sowohl die rein deskriptive Beschreibung der Welt mithilfe der Sprache, als auch die ethische Bewertung von Tatsachen. Ein Satz wie „Der Wanderer hat den Hügel erreicht“ entwirft das Bild eines Hügels mit fest bestimmbar Grenzen. Wo aber fängt ein Hügel an, und wo hört er auf? Auch die suggestive Unterscheidung zwischen guten und bösen Mitmenschen ist sehr oft eine Überzeichnung und nicht gerechtfertigt. Hat nicht jeder Mensch sowohl ethisch wertvolle als auch weniger wertvolle Eigenschaften? Der Grund für solche Kontrastverschärfungen ist wohl darin zu suchen, dass dadurch die Welt vereinfacht und die Orientierung in dieser vereinfachten Welt erheblich erleichtert wird. So wird Sicherheit erzeugt.



Entfernt sich ein Gegenstand ($A \rightarrow B$), so wird sein Netzhautbild kleiner, worauf die zweidimensionale Darstellung des Raumes (Perspektive) beruht.

Trotzdem wird jeder Gegenstand immer in der gleichen Größe erlebt. Kein Objekt schrumpft, wenn es sich fortbewegt. Das Gehirn gleicht somit die von der Sehdistanz abhängigen Veränderungen der Netzhautbilder aus. Diese **Größenkonstanz** ist eine Korrektur der visuellen Wahrnehmung durch die Erfahrung.

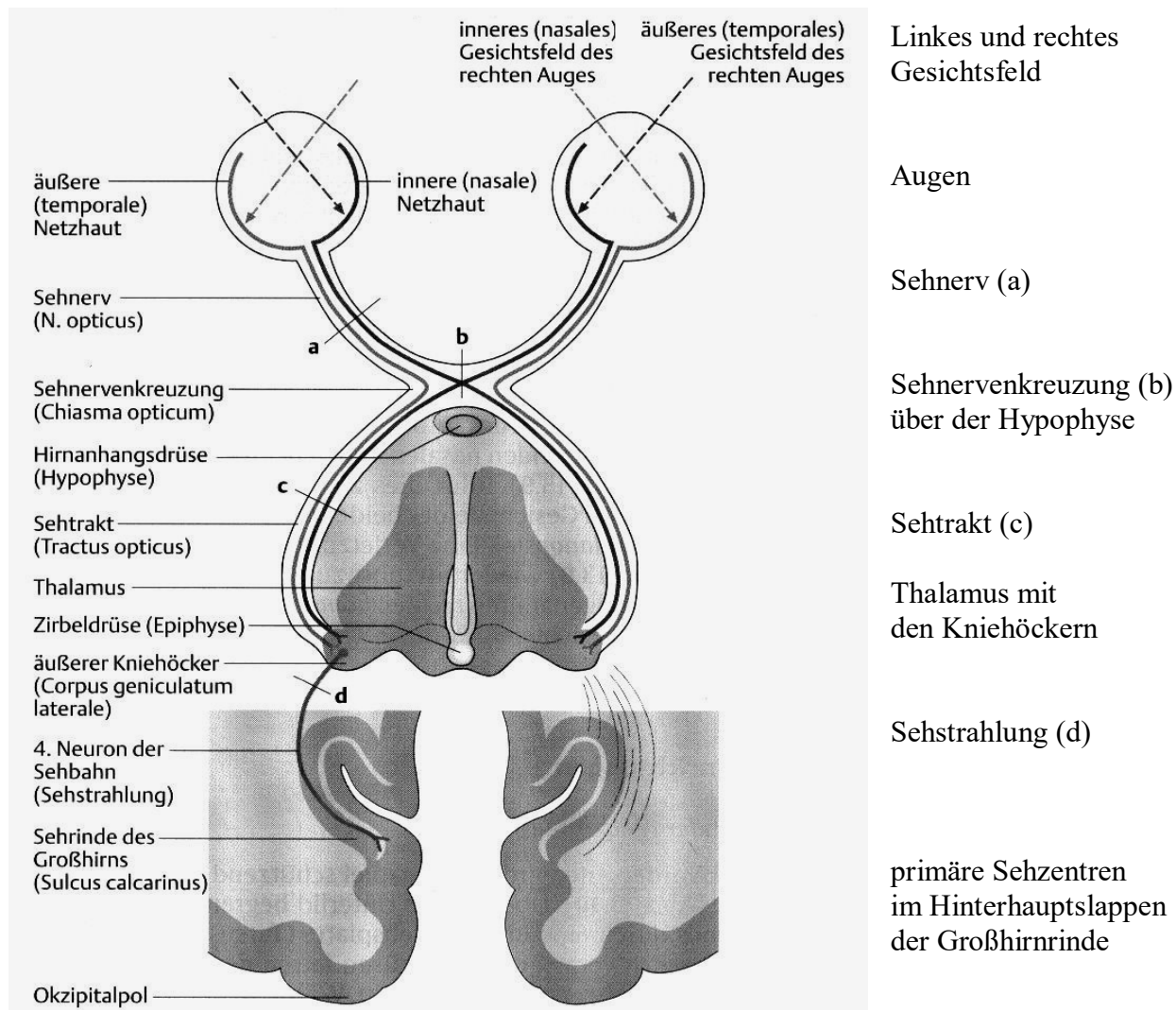
Unvollständige bzw. fehlende visuelle Sinnesempfindungen aus kleinen Teilen des Gesichtsfeldes (so genannte **Skotome**) werden durch das Gehirn ergänzt. Beispielsweise befinden sich an der Austrittsstelle des Sehnervs in der Netzhaut keine Rezeptoren (blinder Fleck). Trotzdem erscheint dort kein Loch in der Welt, sondern es findet eine den benachbarten Umgebungsreizen entsprechende **Wahrnehmungsergänzung** statt. Die bisherige Erfahrung, Ergänzungs- und Kontrastprozesse, Entfernungsmessungen und die räumlichen Tiefenwahrnehmungen unter Verwendung der Perspektive sind wesentliche Faktoren, die zur **Wahrnehmung einer geschlossenen Gestalt** beitragen.

Beim visuellen Abtasten eines vorgegebenen Reizmusters wechseln sich Fixationsperioden und rasche Augenbewegungen (**Sakkaden**) hintereinander ab, wobei die Augen vor allem durch Konturen, Konturenunterbrechungen und Konturenüberschneidungen festgehalten werden. Diese ausgezeichneten Stellen sind für die Wahrnehmung von Gestalten von erheblicher Bedeutung. So werden beispielsweise bei der Betrachtung eines Gesichtes besonders Augen und Mund wesentlich häufiger angesehen als andere Gesichtsstellen.

Die neuronalen Grundlagen von **Gestalten** liegen in der synaptischen Verstärkung von Nervenbahnen im Gehirn. Wenn bestimmte Reizmuster häufig (räumlich oder zeitlich) simultan auftreten, dann führen synaptische Verstärkungen zu einer bevorzugten Vernetzung entsprechender Neuronen (**neuronale Ensembles**). Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für eine korrelierte elektrische Entladung aller beteiligten Zellen. Durch eine, auf solche Art verbundene Neuronengruppe wird die visuelle Gestalt des Reizmusters in der Sehrinde repräsentiert. Wenn später nach der Bildung eines Zellenensembles nur ein Teil des Musters dargeboten wird, dann entlädt sich das gesamte Ensemble, was sich subjektiv als **Wahrnehmungsergänzung** der unvollständigen Gestalt niederschlägt.

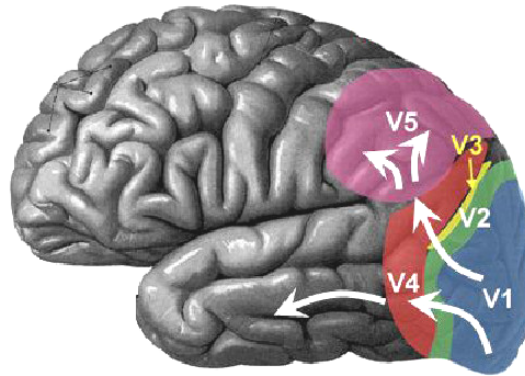
Die Sehbahn und die Sehrinde

Die Neuriten der retinalen Ganglienzellen verlassen im blinden Fleck als gebündelter Sehnerv die Netzhaut. Der Sehnerv enthält ca. eine Million Fasern. Im Chiasma Opticum (Sehnervenkreuzung) ordnen sich die Nervenfasern so um, dass nur die nasenseitigen zur gegenüberliegenden Hirnhälfte weiterziehen, während die schläfenseitigen Fasern zur gleichen Hirnhälfte umbiegen. Durch diese **Halbkreuzung** gelangt die gesamte optische Information der rechten Hälfte des Gesichtsfeldes in die linke Gehirnhälfte und umgekehrt. Die solcherart geordneten Fasern des Sehnervs ziehen zunächst in die **seitlichen Kniehöcker** des Thalamus im Zwischenhirn. Dort werden sie über Synapsen auf Zwischenneuronen umgeschaltet. Die Kniehöcker im Thalamus bestehen aus sechs Schichten von Neuronen, wobei auf Grund der Halbkreuzung des Sehnervs die erste, vierte und sechste Schicht des linken Kniehöckers Information von der linken Hälfte der rechten Netzhaut und die zweite, dritte und fünfte Schicht Information von der linken Hälfte der linken Netzhaut erhalten. Benachbarte Zellen in diesen Schichten bekommen ihre Signale auch von benachbarten rezeptiven Feldern in der Netzhaut. Beim rechten Kniehöcker ist es genau umgekehrt, er erhält nur Informationen von den rechten Netzhauthälften der zwei Augen.



Um die beiden Gesichtsfelder getrennt zu testen, kann der Daumen vor das Gesicht gehalten und dann mit einem offenen und einem geschlossenen Auge angesehen werden. Beim Wechsel zwischen den Augen erfolgt eine deutliche Verschiebung des Daumens (Daumensprung).

Vom seitlichen Kniehöcker des Thalamus im Zwischenhirn ziehen die Nervenfasern weiter in den Hinterhauptslappen der Großhirnrinde (Cortex). Die Sehrinde ist in verschiedene **Felder** (Areale) gegliedert. Das primäre Sehfeld wird mit **V1** bezeichnet, weil dort die Sehbahn vom Thalamus direkt einstrahlt. Vom Feld V1 werden die Signale in die angrenzenden sekundären Felder V2, V3, V4, V5, V6 weiter geschaltet. Diese visuellen Regionen weisen eine vollständige Projektion von der Netzhaut auf (d.h. eine **Landkarte** des gegengleichen Gesichtsfeldes) und erfüllen spezifische Aufgaben bei der visuellen Informationsverarbeitung. Wenn man einen kleinen Lichtkegel auf jeden einzelnen rezeptiven Bereich der Netzhaut richtet, dann reagiert ein entsprechender Bereich des jeweiligen visuellen Areales in der Hirnrinde.



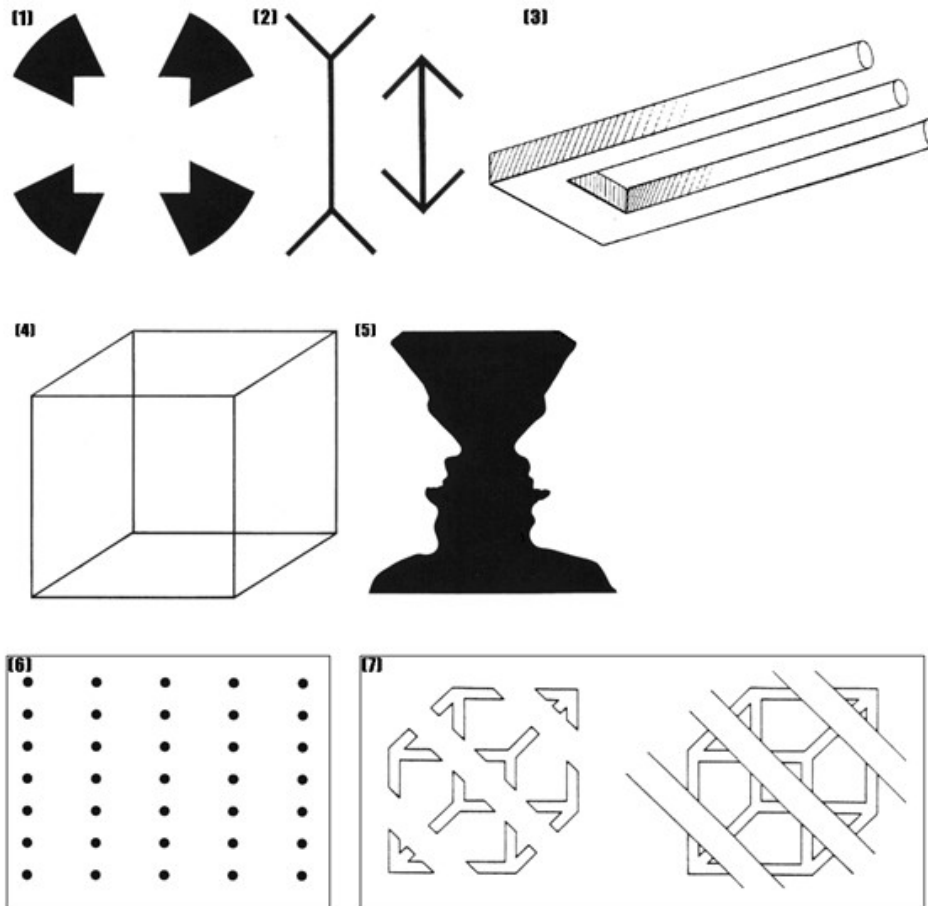
Die beiden Neurobiologen **David Hubel** und **Torsten Wiesel** lieferten eine große Fülle von Forschungsergebnissen über die Art und Weise, wie die Zellen in den einzelnen Feldern der Sehrinde die Gestalt eines sichtbaren Gegenstandes verschlüsseln. Von großer Wichtigkeit dabei war die Entdeckung, dass die Zellen in der Sehrinde in **vertikalen Säulen** angeordnet sind, in denen man zumindest **sechs horizontale Schichten** unterscheiden kann. Zunächst münden alle Fasern von einem seitlichen Kniehöcker in die vierte Schicht des primären Rindenfeldes V1. Den einfachen Empfangszellen sind komplexe Ganglienzellen in den angrenzenden Schichten nachgeschaltet, welche sich als Detektoren von Kanten, Ecken und Winkeln spezialisiert haben. So erfüllt jede dieser Schichten eine bestimmte Funktion. Schiebt man in den verschiedenen Feldern der Sehrinde eine Mikroelektrode senkrecht zur Hirnoberfläche in die Tiefe, so trifft man in jeder Säulenschicht auf Zellen, welche auf Kantenverläufe mit der gleichen räumlichen Orientierung reagieren. Die Neuronen einer anderen Säule sprechen auf geometrische Linien mit einer anderen Orientierung an.

Solche Säulen werden als **orientierungsselektiv** bezeichnet. Daneben gibt es aber auch Säulen, welche **farbselektiv** sind. Ein kleiner Netzhautbereich projiziert immer auf eine kleine Rindenregion. Innerhalb dieser Region gibt es die verschiedenen vertikalen Säulen, deren Zellen auf räumlich unterschiedlich orientierte Lichtreize oder auf verschiedene Farbsignale reagieren. Viele experimentelle neurobiologische Untersuchungen haben bestätigt, dass die verschiedenen visuellen Rindenfelder auf sehr unterschiedliche Funktionen spezialisiert sind: Beispielsweise Areal **V2** auf **statische Konturen**, Areal **V3** auf **bewegte Konturen**, Areal **V4** auf **Farbwahrnehmung**, Areal **V5** auf **räumliche Tiefe**, usw. Aus klinischen Berichten über Patienten, die Schädigungen des visuellen Areals V4 erlitten hatten, geht hervor, dass deren Farbwahrnehmung stark beeinträchtigt ist, nicht aber die Fähigkeit, Formen und Bewegungen zu erkennen.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass fast die Hälfte der Großhirnrinde der Verarbeitung von visuellen Signalen dient. Zur Wahrnehmung von Bildern werden die visuellen Signale zuerst in der primären Sehrinde registriert und dann in der sekundären Sehrinde analysiert und interpretiert. Die Verarbeitung erfolgt in drei parallelen Stufen (elementares Sehen, Raumerkennung und Objektwahrnehmung) in verschiedenen Abschnitten der Sehrinde.

Optische Täuschungen und Gestaltwahrnehmungen

Die folgenden Abbildungen demonstrieren Täuschungen, Mehrdeutigkeiten und unterschiedliche Gestaltbildungen in der visuellen Wahrnehmung.



Erklärungen:

- [1] Diese Reizanordnung erzeugt illusorische Konturen (ein scheinbar hellweißes Quadrat).
- [2] Die Richtung der Pfeile in den Endpunkten der beiden vertikalen Strecken vermittelt den Eindruck unterschiedlicher Streckenlängen (obwohl die beiden Strecken gleich lang sind).
- [3] Diese zweidimensional gezeichnete Figur erzeugt einen unmöglichen dreidimensionalen Eindruck.
- [4] Beim längeren Hinschauen ändert sich die räumliche Lage bzw. die Kantensichtbarkeit des Würfels sprunghaft. Die visuelle Wahrnehmung liefert also mehrdeutige Interpretationen.
- [5] Entweder sieht man eine Vase oder zwei Gesichtsprofile (Mehrdeutigkeit).
- [6] Die näher liegenden Punkte des Rasters werden zu vertikalen Linien zusammengefasst. Gestaltbildend wirkt hier offenkundig die gegenseitige Nähe.
- [7] Die kontinuierlichen parallelen Linien im rechten Bild werden als zusammengehörig erlebt und vermitteln den Eindruck von vordergründigen Balken, welche einen Würfel im Hintergrund verdecken.

[3.8] Gedächtnis und Lernen

[3.8.1] Habituation und Sensibilisierung

Unter **Habituation** (Gewöhnung) versteht man die Abschwächung einer Reaktion auf einen mehrmals wiederholten Reiz. Bei der wiederholten Aktivierung einer Synapse wird der Einstrom von Kalziumionen in das Neuron vermindert, die Transmitter-Ausschüttung und die Signal-Weiterleitung werden abgeschwächt. Die etwas länger abgeschwächte Erregbarkeit vor allem der Glutamat-Rezeptoren vom AMPA-Typ heißt synaptische Langzeitdepression (*LTD*). Die Habituation ist biologisch sinnvoll, denn ohne Gewöhnung würden Tiere die meiste Zeit damit verbringen, auf alle möglichen, auch biologisch bedeutungslosen Reize zu reagieren.

Sensibilisierung (Empfindlichkeitssteigerung) ist die Verstärkung einer Reaktion auf einen schwachen Reiz an einer ersten Synapse des Neurons, wenn mehrmals gleichzeitig ein zusätzlicher starker Reiz an einer zweiten Synapse des Neurons erfolgt. Beim Wegfall des starken Reizes zeigt die erste Synapse dann auch auf den schwachen Reiz alleine eine verstärkte Reaktion. Bei der Sensibilisierung kommt es zu einer nachhaltigen Änderung an der Synapse (Vermehrung der prä-synaptischen Transmitterbläschen und der postsynaptischen Rezeptormoleküle). Die länger gesteigerte Erregbarkeit vor allem der Glutamat-Rezeptoren vom NMDA-Typ heißt synaptische Langzeitpotenzierung (*LTP*). Die Sensibilisierung ist biologisch sinnvoll. Ein schmerzhafter Reiz oder ein unerwartetes, lautes Geräusch versetzen ein Tier in erhöhte Wachsamkeit auch für andere schwache Reize.

[3.8.2] Verschiedene Arten des Gedächtnisses

Grundsätzlich müssen beim Gedächtnis zuerst das Einspeichern und dann das Abrufen (Reproduzieren) von Inhalten unterschieden werden – entweder als aktives Erinnern oder als passives Wiedererkennen. *Vorstellungen* sind Erlebnisinhalte, die unabhängig von aktuellen Reizwahrnehmungen aus den Erinnerungszentren abgerufen werden können. Sie sind Imitate von Wahrnehmungen aus früheren Erlebnissen und häufig auch mit anderen Inhalten verknüpft (assoziiert). Vorstellungen können spontan auftreten oder willentlich aktualisiert werden. In Phantasievorstellungen werden bekannte Inhalte verzerrt oder neu kombiniert.

Sowohl vom Inhalt als auch von der Zeitdauer kann man verschiedene Arten des Gedächtnisses unterscheiden. Inhaltlich trennt man zwischen *Wissensgedächtnis* (deklarativ) und *Verhaltensgedächtnis* (prozedural). Das *deklarative Gedächtnis* ist entweder *episodisch* oder *sprachlich*. Entweder erinnern wir uns an bestimmte Ereignisse unseres Lebens oder an sprachliche Begriffe, die nicht zeitbezogen sind. Weil das deklarative Gedächtnis zumeist bewusst abläuft, heißt es auch *explizites Gedächtnis*.

Das *prozedurale (implizite) Gedächtnis* besteht in erlernten motorischen Fertigkeiten (Schreiben, Klavierspielen, Sportausübung, usw.), die zumeist unbewusst ablaufen können. Es beruht auf Nachahmen und Üben und auf Konditionierungen.

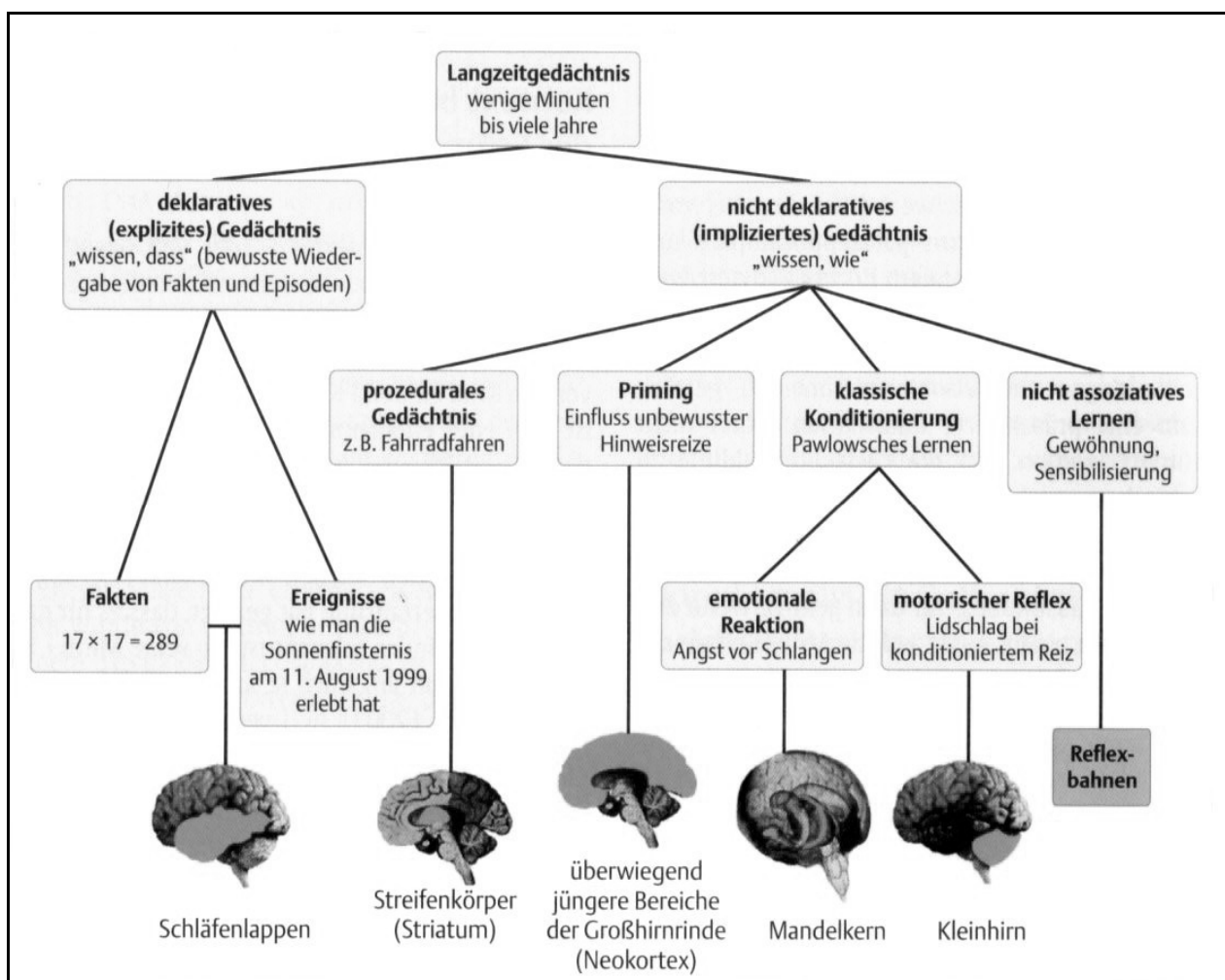
Nach der Zeitdauer werden ein *Ultrakurzzeitgedächtnis* (UZG), ein Arbeitsgedächtnis (*Kurzzeitgedächtnis*, KZG) und ein *Langzeitgedächtnis* (LZG) unterschieden. Sensorische Informationen gelangen zunächst in das UZG, das einige Zehntelsekunden dauert. Grundlage dafür sind die in den primären sensorischen Feldern der Großhirnrinde ablaufenden elektrischen Erregungen.

Was davon übrig bleibt gelangt für einige Sekunden ins KZG. Durch Wiederholung der Information wird diese dann im LZG eingespeichert (Konsolidierung). Beim LZG kommt es an den beteiligten Synapsen zu bleibenden chemischen Veränderungen. Die *Speicherorte* im Gehirn sind vor allem *Hippocampus* (Seepferdchen) und *Amygdala* (Mandelkern) im limbischen System und die *Assoziationsfelder* im Cortex.

Der Speicherort des Arbeitsgedächtnisses ist vorrangig der präfrontale Cortex. Von diesem aus erfolgt dann die dauerhafte Einspeicherung der Information in das Langzeitgedächtnis (LZG). Dabei handelt es sich jedoch nicht um ein einheitliches Gebilde, sondern um verstreute, miteinander vernetzte Areale des Gehirns. Die Speicherorte sind die Assoziationszentren im Cortex und subcortikale Zentren, vor allem im limbischen System. Dort spielt der **Hippocampus** eine organisierende Rolle bei der Überführung der Information vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis. Diesen Prozess nennt man auch *Konsolidierung*.

Bei der langzeitlichen Informationsabspeicherung wird das, einem Erlebnisinhalt zu Grunde liegende spezifische Erregungsmuster in eine bestimmte Gedächtnisspur (Engramm) verschlüsselt. Dabei werden Verbindungen der beteiligten Neuronen verstärkt, und zwar durch Vermehrung der Synapsen und durch Vermehrung der präsynaptischen Transmitterbläschen und der postsynaptischen Rezeptoren. Diese *synaptischen Verstärkungen* sind die Grundlage des Lernens.

Beim Erinnern und Wiedererkennen wird mit Hilfe der gespeicherten Gedächtnisspur wieder das ursprüngliche spezifische Erregungsmuster und damit auch der ursprüngliche Erlebnisinhalt erzeugt. Die nachfolgende Grafik zeigt das komplette System der Langzeitspeicherung.



[3.8.3] Gedächtnis und Gehirnstrukturen

[3.8.3.1] Gedächtnis und Kleinhirn

Das **assoziative Lernen**, wie es in der Kopplung von natürlichem und neutralem Reiz (US-CS) bei der Konditionierung vorkommt, ist vielleicht das wichtigste Lernschema der Lebewesen: Auf einen natürlichen (unkonditionierten) Stimulus erfolgt eine automatische (meist angeborene) Reaktion. Wird der natürliche Reiz mehrmals mit einem künstlichen (konditionierten) Reiz zusammen gegeben, dann erfolgt die Reaktion auch auf den künstlichen Reiz allein.

Was und wo sind die organischen Grundlagen hierfür? Zur Klärung dieser Frage hat der Biopsychologe **Richard Thompson** mehrere Experimente mit Kaninchen durchgeführt. Dabei wurde der Lidschlussreflex, der natürlicher Weise durch einen Luftstoß ausgelöst wird, auf ein akustisches Signal konditioniert. Um die elektrische Aktivität bestimmter, umgrenzter Neuronenbereiche zu messen, entwickelten Thompson und Mitarbeiter ein miniaturisiertes Steuerungssystem, mit dem Mikroelektroden ins Gehirn geschoben werden konnten. Außerdem konnten mit dem Gerät gezielt kleine, umgrenzte Neuronenbereiche zerstört und die Auswirkungen dieser Läsionen auf das Lernverhalten beobachtet werden.

Als Bildungsort der Gedächtnisspur für die konditionierte Lidschlussreaktion erwies sich ein bestimmter Bereich in der Tiefe des Kleinhirns, der so genannte **Nucleus interpositus**. Für sich allein genommen steigern Ton-CS und Luftstoß-US die Menge der Aktionspotentiale dieser Nervenzellen kaum. Wenn man jedoch die beiden Stimuli koppelt und das Tier lernt, so feuern die Nervenzellen stärker und erzeugen ein neuronales Aktivitätsmuster anhand dessen sich Zeitverlauf und Intensität der konditionierten Lidschlussreaktion vorhersagen lassen.

In weiteren Experimenten zeigte Thompson, dass durch Zerstörung des vorderen Teiles des Nucleus interpositus im Kleinhirn eine bereits gebildete Erinnerungsspur vollständig gelöscht wurde und neue Konditionierungen auch nicht mehr möglich waren. Damit war der erste schlüssige Nachweis des Sitzes einer Langzeit-Gedächtnisspur im Säugetierhirn gelungen.

Durch Aktivierung entsprechender Stellen in den motorischen Gebieten der Kleinhirnrinde kann jedwede diskrete Bewegung in Gang gesetzt werden (die Bewegung von Gliedmaßen, die Drehung des Kopfes, usw.). Diese Bewegungen lassen sich alle durch Training an einen beliebigen neutralen Reiz (z.B. Ton oder Licht) koppeln. Dadurch ist die Grundlage für das Erlernen elementarer motorischer Fertigkeiten festgelegt. Das Kleinhirn spielt somit eine wesentliche Rolle beim Erlernen und beim Speichern motorischer Fertigkeiten (**Automatismen**).

[3.8.3.2] Gedächtnis und Mandelkern

Nicht nur einzelne motorische Reaktionen können im klassischen Sinne konditioniert werden, sondern auch emotionale Reaktionen. Der Neurobiologe **Michael Davis** und sein Team untersuchten dazu die **Konditionierung der Furchtreaktion**. Ein anderes Forscherteam unter der Leitung von **Joseph LeDoux** untersuchte ebenfalls das Erlernen von Furchtverhalten.

Natürlicherweise reagiert ein Individuum auf einen plötzlichen, lauten akustischen Reiz (US) mit Furcht (R), deren Stärke indirekt an Puls, Blutdruck und an der muskulären Erstarrung (startle) gemessen wird. Wenn man den auditiven Schreckreiz mit einem neutralen Lichtreiz (CS) koppelt, dann kann die Furchtreaktion konditioniert werden, d.h. die Furchtreaktion wird durch Lichtreize ausgelöst. Aus der Verknüpfung (US – R) ist die Verknüpfung (CS – R) geworden.

Das Ergebnis dieser Forschungen war die Aufklärung des entsprechenden Hirnschaltkreises und die Erkenntnis, dass der **Mandelkern** (Amygdala) an der Basis des Großhirns auf der unteren Innenseite des Schläfenlappens eine ganz wesentliche Rolle bei der Gedächtnisspeicherung spielt. Schädigungen in diesem Neuronenbereich bewirken, dass keine Furcht erworben werden kann.

Michael Davis brachte während der Furchtkonditionierung die chemische Substanz **AP5** (englisch D-2-amino-5-phosphonopentanoic-acid) in den Mandelkern. **AP5** ist ein spezifischer **Glutamat-Antagonist**, welcher die Membranrezeptoren vom NMDA-Typ blockiert. Er verhindert also die Transmittereinwirkung an den Neuronen des Mandelkerns. Das Resultat ist, dass der Erwerb der Furcht auf optische und akustische konditionelle Reize vollständig unterbunden wird. Wichtig ist der Zeitpunkt der Ausschaltung des Mandelkerns. Erfolgt sie während oder unmittelbar nach dem Lernvorgang, so geht das Furchtgedächtnis immer verloren; doch setzt man die Läsion oder Blockierung einige Tage später, dann wird die Furchterinnerung kaum beeinflusst. Diese Erkenntnis ist von größter Wichtigkeit, denn sie zeigt, dass die permanente Langzeitgedächtnisspur für erlernte Furcht sich nicht nur im Mandelkern, sondern auch anderswo befinden muss. Jedenfalls zeigen die beschriebenen Versuche, dass im Mandelkern die Bildung der Gedächtnisspur für erlernte Furcht den Anfang hat und der Mandelkern für spätere Furchterinnerung unentbehrlich ist.

[3.8.3.3] Gedächtnis und Hippocampus

Der **Hippocampus** ist so wie der **Mandelkern** ein Teil des **limbischen Systems** an der Basis des Großhirns. Der Hippocampus hat eine überragende Stellung als jene Hirnstruktur erlangt, welche bei Säugetieren speziell für das mittelfristige Arbeitsgedächtnis und die Überführung in das Langzeitgedächtnis (Konsolidierung) zuständig ist.

Der Anstoß für das Interesse an den Gedächtnisfunktionen des Hippocampus waren die Folgen eines gehirnochirurgischen Eingriffes an dem mittlerweile berühmten Patienten **H.M.** (in der klinischen Literatur gibt man zum Schutze der Privatsphäre des Patienten nur die Initialen eines Pseudonyms an). Bei H.M. wurden in beiden Hirnhälften Bereiche des Schläfenlappens einschließlich des Hippocampus sowie Teile des Mandelkerns entfernt, um seine schweren, lebensbedrohenden Epilepsieanfälle zu beseitigen. Die Operation milderte zwar die Stärke der Epilepsie erheblich, wirkte sich jedoch ungünstig auf die Gedächtnisleistung aus. Die Fähigkeit, neue Informationen und Erfahrungen aus dem aktuellen Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis abzuspeichern, wurde durch die Entfernung des Hippocampus sehr stark gestört. Alte, jahrelang zurückliegende Erinnerungen konnte H.M. reproduzieren, seine Intelligenz war überdurchschnittlich und auch das prozedurale Lernen von motorischen Fertigkeiten funktionierte fehlerlos. Auch das eigentliche Kurzzeitgedächtnis arbeitete völlig normal, sodass er sich neue Telefonnummern lange genug merken konnte, um sie so gut wie jeder andere Mensch zu wählen. Jedoch gelang es H.M. nicht diese Zahlen im Langzeitspeicher bleibend abzulegen. H.M. lebte in einer immerwährenden Gegenwart. Der Transfer von Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis war unmöglich.

Aus dem Krankheitsfall von H.M. und auch aus ähnlichen Fällen folgt eindeutig, dass der Hippocampus eine wesentliche Rolle bei der Bildung von Gedächtnisspuren spielt, er jedoch nicht jener Ort allein ist, wo diese Spuren permanent abgespeichert sind. Offenbar erfolgt die Langzeitspeicherung in verschiedenen im Gehirn verteilten Regionen.

[3.8.3.4] Gedächtnis und Großhirnrinde

Schädigungen an den visuellen und auditiven Assoziationsfeldern der Großhirnrinde (Cortex) führen bei Menschen und Affen zu erheblichen Störungen von Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis. Eine umschriebene Region des Stirnlappens (Sulcus principalis), die vor den motorischen Feldern liegt, dürfte für das Arbeitsgedächtnis ebenfalls von entscheidender Bedeutung sein.

Das visuelle Arbeitsgedächtnis stützt sich vor allem auf die höheren optischen Assoziationsareale im hinteren, oberen Schläfenlappen. Mithilfe des PET-Scanners (Positronen-Emissions-Tomographen) konnten deutlich erhöhte Aktivitäten dieser Felder bei entsprechenden Lernaufgaben registriert werden. Das Arbeitsgedächtnis scheint ein Spezialgebiet der Großhirnrinde zu sein. Wo in der Großhirnrinde eine permanente Langzeitspeicherung stattfindet, ist noch Gegenstand der Forschung.

[3.8.3.5] Mechanismen der Langzeitspeicherung (Konsolidierung)

Die den Bewusstseinsinhalten zu Grunde liegenden elektrochemischen Erregungsvorgänge im Gehirn bilden die Basis für das **Arbeitsgedächtnis**, welches flüchtig und vorübergehend ist. Gut gelernte **Langzeiterinnerungen** sind jedoch von Dauer. Also müssen bleibende Veränderungen irgendwelcher Art im Nervensystem stattgefunden haben.

Wie **Eric Kandel** und seine Mitarbeiter herausfanden, führt bei der **Meeresschnecke** (*Aplysia*) die klassische Konditionierung des Kiemenrückziehreflexes zu deutlichen und messbaren Veränderungen an der Synapse zwischen sensorischer und motorischer Nervenzelle. Alle diese Veränderungen werden als **synaptische Verstärkungen** bezeichnet. Dabei erhöht sich die Anzahl der Synapsen auf den Dornen der Dendriten. Auch die Anzahl der Transmitterbläschen und der Rezeptormoleküle nimmt zu.

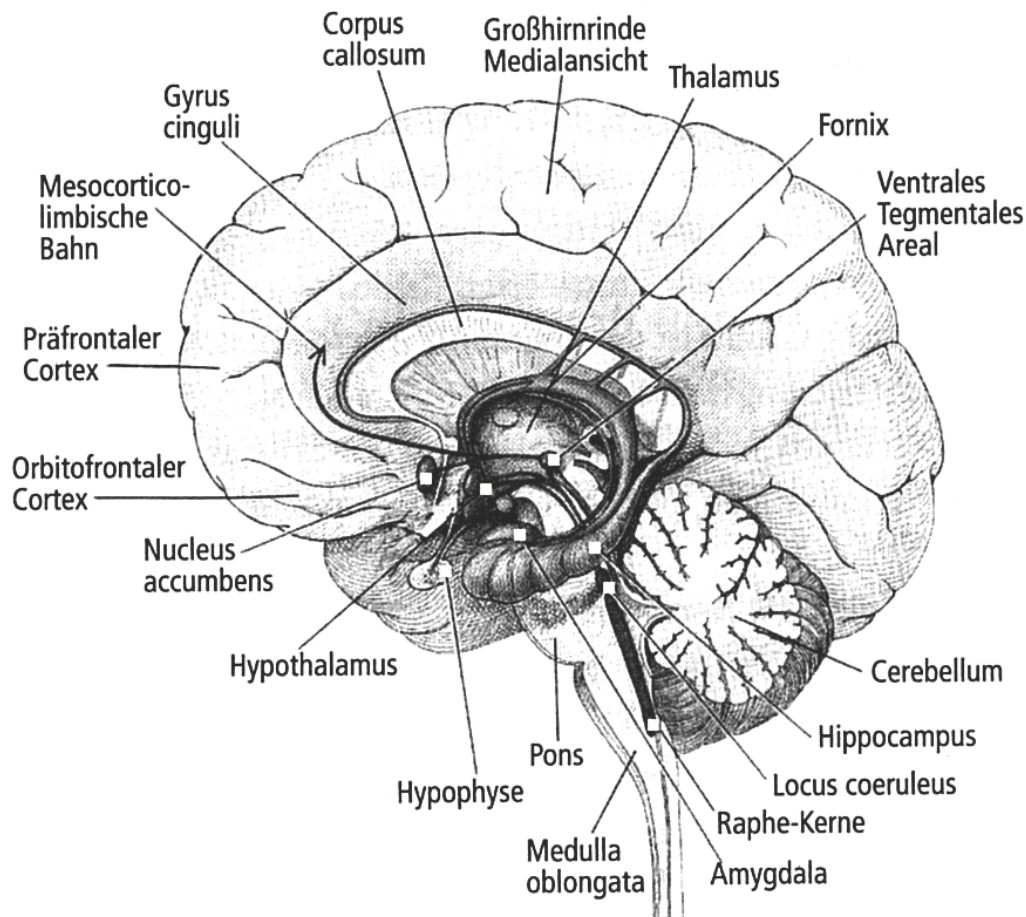
Müssen Gene aktiv werden, um die Struktur zu ändern? Geht also Gedächtnisbildung mit einer veränderten Genexpression von Proteinen in Nervenzellen einher? Proteine sind die Bausteine aller Zellen - und somit auch der Synapsen. Bestimmte Substanzen blockieren die Proteinsynthese, beispielsweise das Antibiotikum Puromycin. In sorgfältigen Untersuchungen brachte **Bernard Agranoff** von der Universität von Michigan Goldfischen einfache Verhaltensweisen bei und spritzte ihnen dann Puromycin direkt ins Gehirn. Die Ergebnisse waren beeindruckend. Injizierte er die Substanz innerhalb von 30 Minuten nach dem Training, so ging die Erinnerung verloren. Spritzte er Puromycin unmittelbar vor dem Training, so lernten die Tiere anfangs, doch blieb die nachfolgende Erinnerung aus. Aus solchen Experimenten folgt, dass **das Kurzzeitgedächtnis ohne Proteinsynthese auskommt, das Langzeitgedächtnis hingegen nicht**.

Wie funktioniert diese synaptische **Plastizität** als Grundlage der **Langzeitspeicherung**? Bei der Verarbeitung von äußeren Reizen werden zunächst Nervenzellen durch einen *First Messenger* - einen Neurotransmitter (z.B. Glutamat) oder einen Neuromodulator (z.B. Serotonin) - innerhalb von wenigen Millisekunden erregt. Durch einen aktivierten *Second Messenger* (z.B. Kalzium oder cAMP = *cyklisches Adenosin Mono Phosphat*) werden intrazelluläre Prozesse innerhalb von Sekunden eingeleitet, die dann *Third Messenger* (z.B. CREB = *cAMP Response Element Binding Protein*) im Zellplasma aktivieren. Die durch CREB ausgelöste Genaktivierung (Genom oder Epigenom) bezieht den Zellkern mit ein, erstreckt sich über Stunden und Tage, führt zu einer Produktion von Proteinen und setzt weitere zelluläre Effekte in Gang (z.B. Prozesse der Wachstumsdifferenzierung). Dadurch werden **neue Synapsen** gebildet.

Welche Lernerfahrungen der Organismus auch immer macht, so funktioniert der molekulare Ablauf - sowohl bei der Gedächtnisbildung, als auch im psychotherapeutischen Behandlungsprozess bei der Überschreibung und Änderung von unerwünschten Erfahrungsinhalten. Dabei gibt es viele biochemische Mitspieler. Ein Beispiel hierfür ist der Einfluss des Wachstumsfaktors *Brain Derived Neurotrophic Factor* (BDNF) auf die Synapsenbildung: BDNF wirkt auf das CREB, das die entsprechende Proteinsynthese auslöst. BDNF ist wichtig für die **Synapsenbildung** und für die Bildung von neuen Nervenzellen (**Neurogenese**) vor allem im Hippocampus und Neocortex. Ein Mangel an BDNF steht im Zusammenhang mit zahlreichen psychischen Störungen. BDNF wird hinauf- und hinabreguliert durch Neuromodulatoren wie Serotonin, aber auch durch Glukocorticoide wie Cortisol.

[3.9] Das limbische System

Das engere limbische System besteht aus der Amygdala (Mandelkern), dem Hippocampus (Seepferdchen) und dem Cingulum (Gürtel). Zum erweiterten limbischen System werden zusätzlich die Basalganglien, der Hypothalamus mit seinen Kernen, Teile des Thalamus und Teile der Großhirnrinde gezählt.



Das limbische System ist ein ausgedehnter Teil des zentralen Nervensystems, welcher sich von der Basis des Großhirns bis in den Hirnstamm erstreckt. Seine Kerngebiete regulieren die vitalen Triebe (Durst, Hunger, Schlaf, Sexualität) und die emotionale Bewertung von Wahrnehmungen als angenehm (positiv) oder unangenehm (negativ). Die Ergebnisse dieser Bewertungen werden dann gespeichert und zur Grundlage für zukünftiges Verhalten. Somit erweist sich das limbische System als der eigentliche Sitz der menschlichen Persönlichkeit.

Das limbische System kann grob in drei Funktionsebenen gegliedert werden: eine untere, eine mittlere und eine obere Ebene. In jeder Ebene befinden sich lokalisierbare Kerne (Neuronenhäufen), die bestimmte neuropsychische Funktionen erfüllen. Diese Kerne können durch Nervenfasern miteinander reziprok verbunden sein, aber auch mit den höheren Zentren in der Großhirnrinde so wie mit vegetativen Steuerzentren im Hirnstamm. Auf den Nervenbahnen können erregende oder hemmende Signale geleitet werden. Im Folgenden sind beispielhaft einige wichtige Kerne des erweiterten limbischen Systems beschrieben.

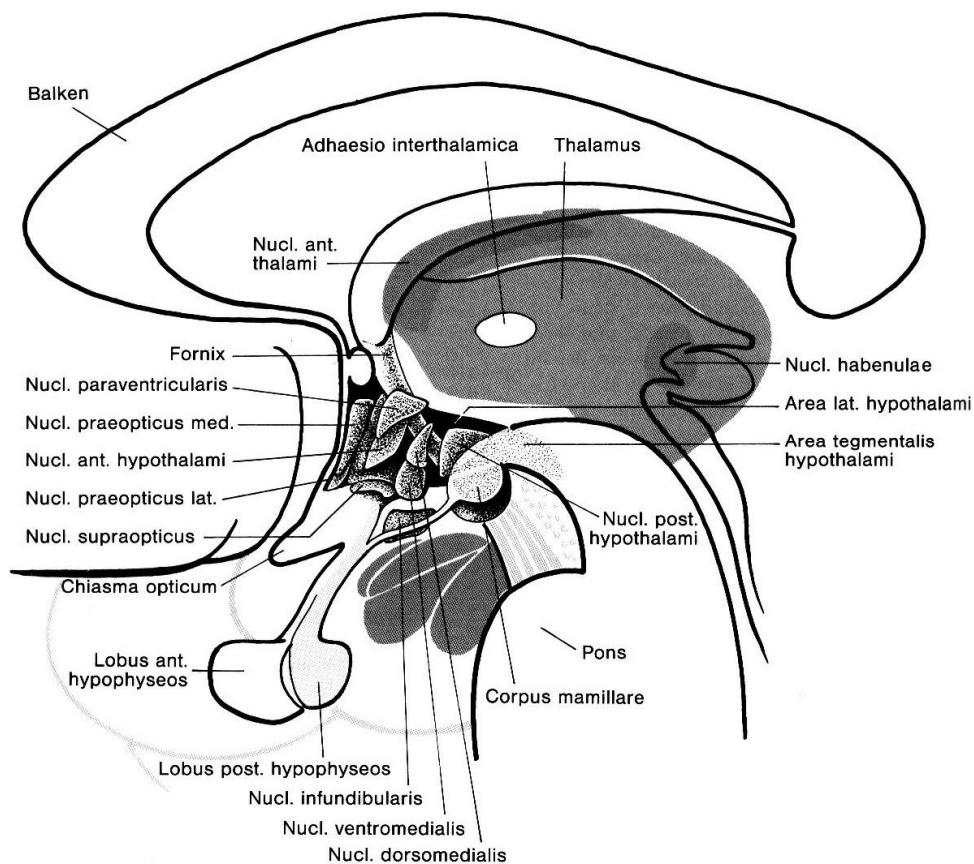
[3.9.1] Die untere Funktionsebene

In der unteren Ebene liegen die Regulationszentren von lebenswichtigen vegetativen Funktionen (Durst, Hunger, Sexualität, usw.). Hier erfolgt auch die Auslösung und Steuerung von angeborenen Verhaltensweisen wie Erstarren, Flucht, Aggression, Stressregulation und auch von elementaren affektiv-emotionalen Zuständen wie Angst, Zorn, Freude, Trauer. Diese Funktionen bedingen die grundlegenden Eigenschaften der Persönlichkeit, die als angeborenes Temperament bezeichnet werden. Sie sind überwiegend genetisch bestimmt, werden aber auch durch vorgeburtliche Erfahrungen der Mutter während der Schwangerschaft beeinflusst.

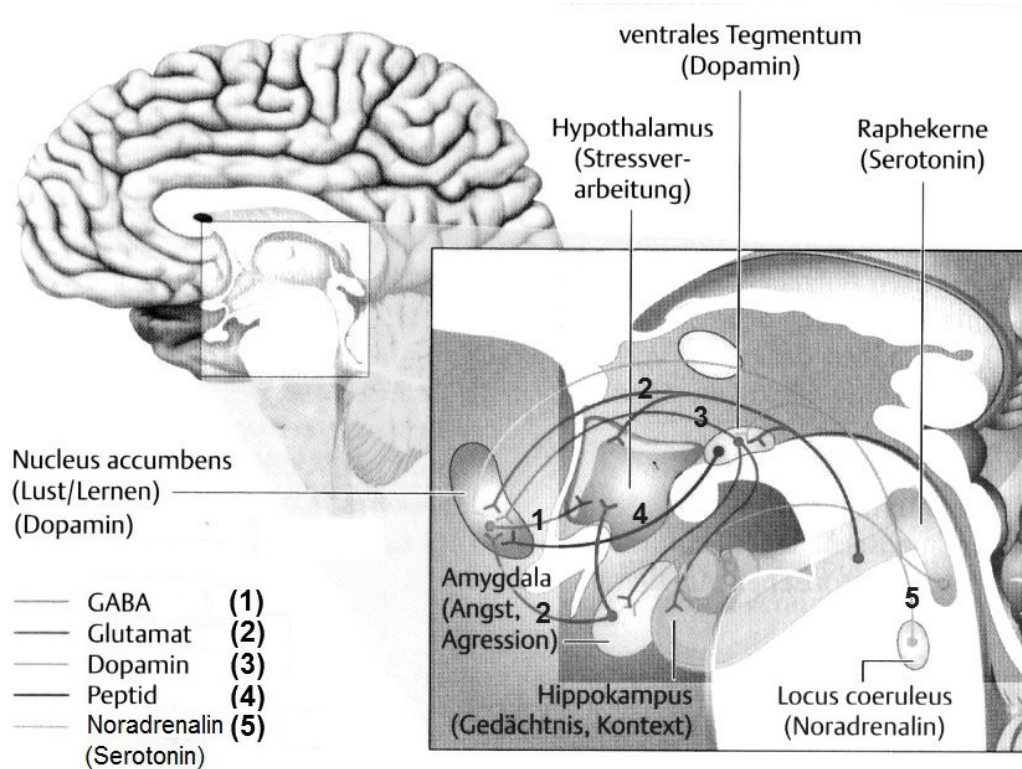
Die wichtigsten Gebiete befinden sich im **Hypothalamus** mit seinen Steuerzentren für vitale Triebe und vegetative Funktionen und auch für die oberste Hormondrüse (**Hypophyse**). Sie funktionieren oft wie Regelkreise und reagieren auf bestimmte Stoffkonzentrationen im Blut.

- *Nucleus suprachiasmaticus*: Steuerung der zirkadianen Rhythmik (Tag/Nacht).
- *Nucleus supraopticus*: Das Durstzentrum reagiert auf den Salzgehalt im Blut. Steigt er, dann feuern diese Neuronen und veranlassen den Menschen zu trinken. Sinkt er, dann verstummen diese Neuronen und das Trinken wird eingestellt. Hier ist auch eine Bildungsstätte der Hormone Vasopressin und Oxytocin.
- *Ventrolateraler Hypothalamus*: Aktivierung und Steuerung der Nahrungsaufnahme. Das Fresszentrum reagiert auf ein Sinken der Konzentration von Glukose im Blut.
- *Ventromedialer Hypothalamus*: Bei Erreichen eines Sollwertes an Glukose im Blut feuern diese Neuronen und hemmen das benachbarte Fresszentrum.
- *Nucleus anterior hypothalami und Nucleus praeopticus medialis*: Die beiden Kerne enthalten Nervenzellen, welche durch das männliche Sexualhormon Testosteron beeinflusst werden und am männlichen Sexual-, Aggressions- und Dominanzverhalten beteiligt sind. Diese Kerne sind bei den Männern deutlich stärker ausgeprägt als bei den Frauen.
- *Nucleus ventromedialis hypothalami*: Hier wird das weibliche Sexualverhalten gesteuert – induziert durch das weibliche Sexualhormon Östrogen. Die Sexualhormone werden in den Keimdrüsen produziert und über das Blut transportiert.
- *Nucleus paraventricularis*: Erzeugung des Hormons Oxytocin bei Wahrnehmung von typischen physiologischen Reizen (Geburt eines Kindes, Saugen an der Brust, Hautberührungen, sexuelle Aktivitäten, angenehme soziale Kontakte, usw.). Das Hormon wird über die Hypophyse in die Blutbahn ausgeschüttet. In den Zielorganen steuert es dann das mitmenschliche Fürsorgeverhalten und aktiviert das Sexualverhalten und wird daher auch als soziales Bindungshormon bezeichnet.
- *Corpus mamillare*: Mitbeteiligung bei unterschiedlichen Gedächtnisvorgängen.
- *Zentrales Höhlengrau*: Steuerung von automatisierten Abwehr-/Furcht-Reaktionen und von Wut-/Angriffsaffekten. Absteigende Schmerzunterdrückung.
- *Locus coeruleus*: Regulation der Wachheit und der Aufmerksamkeit über die Ausschüttung des Neurotransmitters Noradrenalin u.a. für das ARAS-System.
- *Raphe-Kerne*: Über die Ausschüttung von Serotonin werden affektiv-emotionale Zustände beeinflusst. Veränderungen an den serotonergen Neuronen können Depressionen und Angststörungen hervorrufen.

Kerngebiete im Hypothalamus



Kerngebiete und Transmitter im gesamten limbischen System



[3.9.2] Die mittlere Funktionsebene

Die mittlere Ebene ist die Ebene der emotionalen Konditionierung und Prägung, welche vorrangig im Rahmen der frühkindlichen Bindungserfahrungen stattfinden. Dabei beginnt das Kleinkind unter Anleitung der primären Bezugsperson (Mutter) seine Gefühlswelt zu differenzieren und die Gefühle von Anderen zu verstehen. Es wird die Basis der nichtverbalen emotionalen Kommunikation gelegt. Das Kind erfährt lustvolle Belohnungen und bildet entsprechende Belohnungserwartungen, welche dann die Grundlagen der infantilen egozentrischen Motivation bilden. („Ich will alles, und zwar sofort!“). Alle diese Geschehnisse prägen die Persönlichkeit. In dieser mittleren limbischen Funktionsebene erfolgt somit die unbewusste emotionale Bewertung von wahrgenommenen Reizen und wahrgenommenem Verhalten.

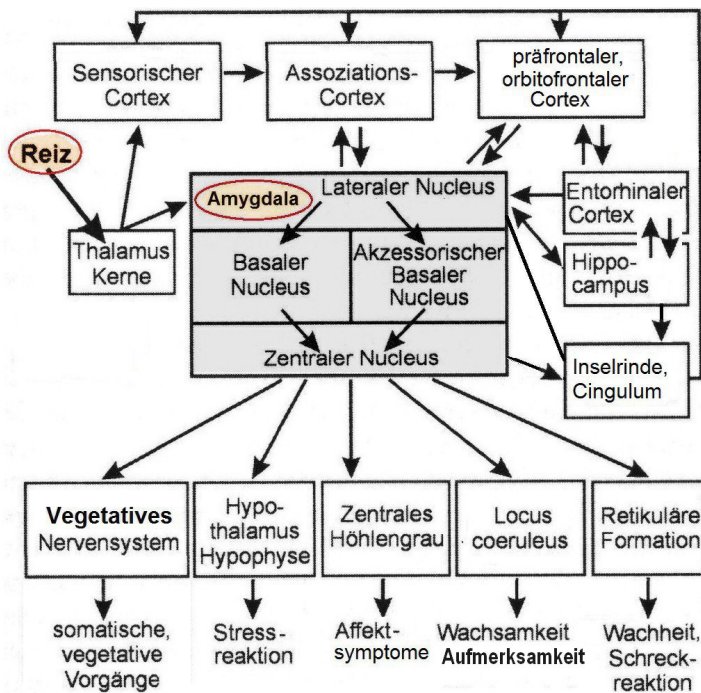
- *Septum*: Regulation von vegetativen Funktionen wie die Temperaturregelung. Steuerung von starken Affekten wie Aggression. Mitwirkung bei Lernprozessen.
- *Amygdala (Mandelkern)*: Regulation von wichtigen vegetativen Funktionen wie Herz- und Kreislauf, Atmung, Stressverhalten. Emotionale Verarbeitung von olfaktorischer, gustatorischer, viszeraler und nozizeptiver Information. Steuerung primärer Schreckreaktionen und sekundärer Angstkonditionierungen.
- *Hippocampus (Seepferdchen)*: Einspeicherung von Gedächtnisinhalten. Bildung von neuen Nervenzellen (Neurogenese) zum Erlernen von neuen Inhalten.
- *Nucleus accumbens und ventrales tegmentales Areal*: Erzeugung des Belohnungswertes von Handlungen und Bildung von Belohnungserwartungen mit Hilfe von Dopamin. Erzeugung von Lustgefühlen mittels endogenen Opiaten.
- *Basalganglien*: Sie umfassen Striatum, Pallidum, Putamen, Nucleus caudatus und enthalten assoziative und sensomotorische Schleifen zur Großhirnrinde. In diesen Bahnen laufen Erregungen zur Ausbildung und Assoziation von Bewegungen ab. Zusammenarbeit mit den Zentren in der Großhirnrinde zur Planung von Handlungsabläufen und Regulierung von Willkürbewegungen. Verbindungen zum Kleinhirn und zu absteigenden motorischen Bahnen.
- *Thalamus*: Einstrom von sensorischen Signalen aus der Körperperipherie und Weiterleitung zur Großhirnrinde. Reziproke Verbindungen zur Großhirnrinde zur Steuerung der Aufmerksamkeit. Reziproke Verbindungen auch zu vielen anderen Zentren. Der Thalamus ist das „**Vorzimmer**“ des Bewusstseins.

[3.9.3] Die obere Funktionsebene

Die obere Ebene umfasst die limbischen Areale der Großhirnrinde. Hierzu gehören der *cinguläre Cortex* und der *insuläre Cortex*. Die Aktivität dieser Zentren ist die Grundlage der bewusst erlebten Gefühle und Motive, aber auch von Prozessen der Sozialisierung und Erziehung. Hier bildet sich die Fähigkeit zur Impulshemmung, zum Belohnungsaufschub, zur Frustrationstoleranz und zum sozialen Mitgefühl.

Den beschriebenen drei Ebenen des limbischen Systems steht in der Großhirnrinde das **System der kognitiv-sprachlichen Fähigkeiten** als vierte Persönlichkeitsebene gegenüber. Hier werden die Wahrnehmungen, die Erinnerungen, die Vorstellungen und die Gedanken bewusst erlebt und auch die willkürlichen Handlungen bewusst geplant. Die Großhirnrinde ist das „**Wohnzimmer**“ des Bewusstseins.

Schematische Darstellung der Verbindungswege des limbischen Systems



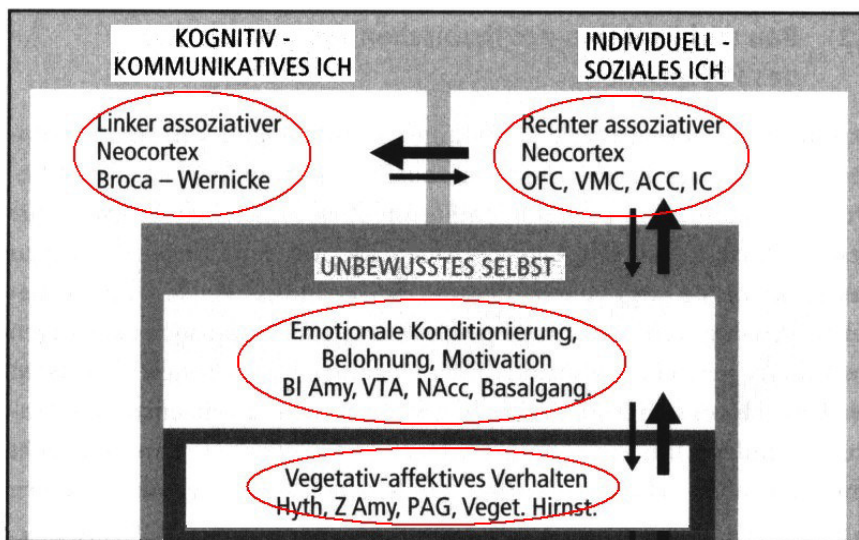
Ausgangspunkt ist ein Sinnesreiz, der über den Thalamus zum primär-sensorischen Cortex geleitet wird.

Der Reiz wird zuerst emotional im Amygdala-Hippocampus-System verarbeitet, wobei der entorhinale Cortex als Übergangsareal im medialen Schläfenlappen fungiert. Dann entstehen in der Inselrinde und im Cingulum entsprechende Gefühle.

Parallel dazu erfolgt eine kognitive Verarbeitung im Cortex des Großhirns. Über den präfrontalen und den orbitofrontalen Cortex werden die emotionalen Impulse kontrolliert.

Der Endpunkt sind vegetative und hormonelle Reaktionen.

Schematische Darstellung der vier Persönlichkeitsebenen



Vier Ebenen der Persönlichkeit. Die untere limbische Ebene des vegetativ-affektiven Verhaltens und die mittlere limbische Ebene der emotionalen Konditionierung, Bewertung und Motivation bilden zusammen das »unbewusste Selbst«. Auf bewusster Ebene bildet die obere limbische Ebene das »individuell-soziale Ich«, dem das »kognitiv-kommunikative Ich« gegenübergestellt wird. ACC = anteriorer cingulärer Cortex; Basalgang. = Basalganglien; Bl Amy = basolaterale Amygdala; Hyth = Hypothalamus; IC = insulärer Cortex; NAcc = Nucleus accumbens; PAG = zentrales Höhlengrau; OFC = orbitofrontaler Cortex; Veget. Hirnst. = vegetative Hirnstammzentren; VMC = ventromedialer präfrontaler Cortex; VTA = ventrales tegmentales Areal; Z Amy = zentrale Amygdala.

Beide Grafiken stammen aus dem Buch „Wie das Gehirn die Seele macht“ von Gerhard Roth.

[3.9.4] Der neuronale Schaltkreis der Furcht

(aus „Emotionale Intelligenz“ von Daniel Goleman)

Bei der Kartierung der Schaltungen für Furcht sind die Neurowissenschaftler am Genauesten fortgeschritten, doch eine vollständige Kartierung ist beim gegenwärtigen Stand der Wissenschaft für keine der Emotionen durchgeführt. Die Furcht ist ein passendes Beispiel für das Verstehen der neuronalen Dynamik der Emotion. In der Evolution spielt die Furcht eine besondere Rolle, denn wohl keine andere Emotion ist so wichtig für das Überleben. In der Neuzeit sind unbegründete Ängste dagegen der Fluch des Alltags, und so leiden wir unter Gereiztheit, Angst und banalen Sorgen - oder, im pathologischen Extremfall, unter Panikanfällen, Phobien oder obsessiven Zwangsvorstellungen. Angenommen, Sie sind nachts allein im Haus und lesen ein Buch, als Sie plötzlich aus einem anderen Zimmer **einen „Krach“ hören**. Was sich anschließend in Ihrem Gehirn abspielt, bietet einen Einblick in den neuronalen Schaltkreis der Furcht. Die erste Schaltung nimmt dieses Geräusch als bloße physikalische Wellen auf und transformiert sie in die Sprache des Gehirns, um Sie aufzurütteln. Diese Schaltung geht vom Ohr zum Hirnstamm und dann zum Thalamus. Dort trennen sich zwei Äste: ein kleineres Bündel von Projektionsfasern führt zum **Mandelkern** und zum nahe gelegenen **Hippocampus**, die andere, längere Bahn führt zur Hörrinde im Temporallappen, wo Geräusche analysiert und verstanden werden.

Der **Hippocampus**, ein zentraler Speicherplatz für Erinnerungen, vergleicht diesen „Krach“ rasch mit ähnlichen Geräuschen, die Sie schon gehört haben, um herauszufinden, ob es ein vertrautes Geräusch ist: Ist dies ein „Krach“, den Sie sofort erkennen? Unterdessen führt die **Hörrinde** eine eingehendere Analyse des Geräusches durch, um seine Quelle herauszufinden: Ist es die Katze? Ein Fensterladen, der gegen die Hauswand schlägt? Ein Herumtreiber? Die Hörrinde tischt ihre Hypothese auf - es könnte die Katze sein, die eine Lampe vom Tisch gestoßen hat, aber es könnte auch ein Herumtreiber sein - und schickt diese Nachricht zum Mandelkern und zum Hippocampus, die sie rasch mit ähnlichen Erinnerungen vergleichen.

Wenn die Schlussfolgerung beruhigend ist (es ist nur der Fensterladen, der bei jedem stärkeren Windstoß gegen die Hauswand knallt), steigert sich der allgemeine Alarm nicht zur nächsten Stufe. Wenn Sie sich aber noch nicht sicher sind, tritt eine weitere Spirale von hin- und her- gehenden Signalen zwischen **Mandelkern**, **Hippocampus** und dem **präfrontalen Cortex** in Aktion, die Ihre Unsicherheit weiter erhöht und Ihre Aufmerksamkeit fesselt, so dass es für Sie noch dringlicher wird, die Quelle des Geräusches zu identifizieren. Erbringt diese zusätzliche, eingehende Analyse keine befriedigende Antwort, löst der Mandelkern einen Alarm aus, sein Zentralbereich aktiviert **Hypothalamus**, **Hirnstamm** und **autonomes Nervensystem**.

In diesem Moment der Besorgnis und der unterschwelligen Angst wird deutlich, wie hervorragend der **Mandelkern** als zentrales Alarmsystem des Gehirns konstruiert ist. Der Mandelkern enthält mehrere Bündel von Neuronen mit eigenen Projektionen, deren Rezeptoren auf unterschiedliche Neurotransmitter eingestellt sind, vergleichbar mit den Sicherheitsfirmen, wo Telefonistinnen in Bereitschaft stehen, um die nächste Feuerwehrrstation, die Polizei oder einen Nachbarn anzurufen, sobald eine häusliche Alarmanlage Ärger signalisiert. Die einzelnen Teile des Mandelkerns empfangen unterschiedliche Informationen. In den zum Mandelkern gehörenden Nucleus lateralis münden Projektionen vom **Thalamus**, von der **Hörrinde** und von der **Sehrinde**. Geruchswahrnehmungen gelangen über den Riechkolben in die cortikomediale Gruppe des Mandelkerns, Geschmackswahrnehmungen und Nachrichten von den Eingeweiden gelangen in die zentralen Gehirnbereiche. Diese einlaufenden Signale machen den Mandelkern zu einem permanenten Wachtposten, der jede sensorische Wahrnehmung kritisch prüft.

Vom **Mandelkern** gehen Projektionen zu allen wichtigen Teilen des Gehirns aus. Von der zentralen und der medialen Gruppe verläuft ein Ast zu jenen Bereichen des **Hypothalamus**, die die **Notfallreaktionssubstanz** des Körpers ausschütten, das Cortikoliberin (Releasing Faktor für **Hypophysenhormone**), das über eine Kaskade anderer Hormone die Kampf- oder Flucht-Reaktion mobilisiert. Der Nucleus basalis des Mandelkerns schickt Fasern zum Corpus striatum, der eine Verbindung zum Bewegungssystem des Körpers herstellt. Und über den benachbarten Nucleus centralis schickt der Mandelkern Signale über das verlängerte Mark ans **autonome Nervensystem** und aktiviert eine Vielzahl von entfernten Reaktionen im kardiovaskulären System, den Muskeln und den Eingeweiden. Von der basolateralen Gruppe des Mandelkerns verlaufen Äste zum **zentralen Höhlengrau** am Boden der dritten Hirnkammer - das sind Zellen im Zwischenhirn, welche die großen Skelettmuskeln regulieren. Es sind diese Zellen, die einen Hund drohend die Zähne fletschen und eine Katze einen Buckel machen lassen, wenn jemand in ihr Territorium eindringt. Beim Menschen bewirken diese Bahnen eine Straffung der Stimmbänder und erzeugen die hohe Stimme, wenn man erschrickt.

Eine andere Bahn führt vom Mandelkern zum **Locus coeruleus** im Hirnstamm, der seinerseits Noradrenalin erzeugt und über das ganze Gehirn verteilt. Der Endeffekt des Noradrenalins besteht darin, die Reaktionsfähigkeit der Hirnbereiche, die es empfangen, insgesamt zu erhöhen, wodurch die sensorischen Schaltungen empfindlicher werden. Noradrenalin durchflutet den Cortex, den Hirnstamm und das limbische System und versetzt das ganze Gehirn in Spannung. Jetzt genügt schon ein gewohntes Knarren im Haus, um Sie vor Angst erbeben zu lassen. Diese Veränderungen vollziehen sich überwiegend außerhalb des Bewusstseins, so dass Sie noch keine bewusste Furcht empfinden.

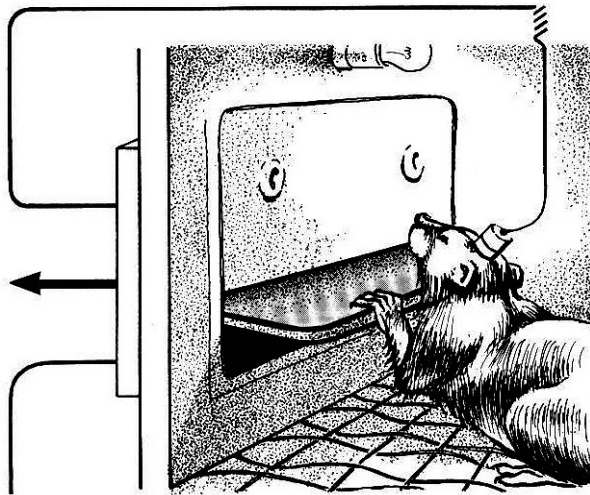
Doch sobald Sie wirklich Furcht empfinden, sobald also die unbewusste Angst ins Bewusstsein dringt, löst der Mandelkern unverzüglich eine weitreichende Reaktion aus. Er weist Zellen im **Hirnstamm** an, einen furchtsamen Ausdruck in Ihr Gesicht zu legen, Sie nervös und schreckhaft zu machen, unkoordinierte Bewegungen Ihrer Muskeln einzufrieren, Ihren Herzschlag zu beschleunigen, Ihren Blutdruck zu erhöhen und Ihre Atemfrequenz zu senken (vielleicht fällt Ihnen auf, dass Sie plötzlich den Atem anhalten, wenn eine Furcht Sie beschleicht, um deutlicher zu hören, was es ist, wovor Sie sich fürchten). Das ist nur ein Teil eines breiten, genau koordinierten Spektrums von Veränderungen, welche der Mandelkern und mit ihm zusammenhängende Bereiche veranlassen, wenn sie in einer kritischen Situation das Gehirn mit Beschlag belegen.

Unterdessen aktivieren der **Mandelkern** und der mit ihm verbundene **Hippocampus** jene Zellen, die Neurotransmitter aussenden (um zum Beispiel Dopamin auszuschütten). Diese führen dazu, dass die Aufmerksamkeit sich auf die Quelle Ihrer Furcht, die seltsamen Geräusche, heftet und die **Muskeln in Bereitschaft** versetzt, entsprechend zu reagieren. Gleichzeitig übermittelt der Mandelkern den sensorischen Bereichen für Sehen und Aufmerksamkeit den Befehl, dass die Augen Ausschau nach allem halten, was für die aktuelle kritische Situation relevant sein könnte. Die kortikalen Gedächtnissysteme werden zugleich in der Weise neu geordnet, dass Erkenntnisse und Erinnerungen, die für den vorliegenden emotionalen Notfall die größte Relevanz besitzen, ganz rasch aufgerufen werden können und gegenüber weniger relevanten Gedanken Vorrang erhalten. Sind diese Signale ausgeschickt, so hat die Furcht Sie voll im Griff.

Sie bemerken die charakteristische innere Anspannung, das rasende Herz, die Anspannung der Muskeln im Hals- und Schulterbereich und das Zittern Ihrer Gliedmaßen. Ihr Körper erstarrt, während Sie mit gespannter Aufmerksamkeit auf weitere Geräusche lauschen, und blitzschnell geht es Ihnen durch den Kopf, welche Gefahren dort lauern und wie Sie darauf reagieren könnten. Dieser ganze Ablauf - von der Überraschung über die Ungewissheit und Beklemmung bis zum bewussten Furchterlebnis - kann sich innerhalb einer einzigen Sekunde abspielen.

[3.9.5] Die neuronalen Zentren der Lust

Eine der aufregendsten Entdeckungen der Gehirnforschung machten **James Olds** und **Peter Milner** 1953 an der McGill-Universität in den USA. In der Hoffnung ein Schlafkontrollsystem zu reizen, versetzten sie verschiedenen Hirnregionen frei umherlaufender Ratten milde Stromstöße. Die implementierten Elektroden zeigten auf Regionen im ventrolateralen **Hypothalamus**. Die Tiere konnten sich selbst stimulieren, indem sie durch einen mechanischen Hebeldruck den elektrischen Stromkreis schlossen (**ICSS**, Intercranielle Selbststimulation). Es zeigte sich, dass die Tiere bis zu 5 000 Mal und mehr pro Stunde die Selbstreizung durchführten und dies bis sie vor Erschöpfung einschliefen. Olds und Milner hatten etwas gefunden, was sie ursprünglich gar nicht suchten, nämlich ein neuronales Lust- und Belohnungssystem. Sie nannten es „Pleasure Centres“ (Zentren der Freude). Bemerkenswert war dabei, dass nach einer relativ kurzen Lernzeit (2-5 Minuten) eine starke Einspeicherung jener Orte und Hebelmechanismen stattfand, durch welche die Lustempfindung ausgelöst worden war. Die **ICSS** wurde allen anderen Verhaltensweisen vorgezogen. Die Tiere nahmen das Überqueren elektrisch geladener Platten auf sich und ließen sogar ihre Sexualpartner und Jungen im Stich. Auch zeigte **ICSS** eine angstreduzierende Wirkung.



Durch die Entdeckungen von Olds und Milner wurden die anatomisch-biologischen Grundlagen für jene Verstärkersysteme gefunden, welche bei jeder instrumentellen Konditionierung wirksam werden, und die schon jahrzehntelang von Lernpsychologen wie von **B. F. Skinner** angenommen worden waren. Die Neuronen des Lustsystems bewirken mit ihren Signalen eine synaptische Verstärkung (Sensibilisierung) in den Leitungsbahnen von jenen Verhaltensweisen, welche zu einer Belohnung führen, d.h. die Lustgefühle auslösen. Dadurch erfolgt eine stärkere Einspeicherung.

Die moderne Neurobiologie hat festgestellt, dass **ICSS** im so genannten medialen Vorderhirnbündel (MFB, medial forebrain bundle) an der vorderen Basis des Großhirns und im ventrolateralen Hypothalamus (VLH) am wirksamsten ist. Besonders gut auslösbar ist die **ICSS** in jenen absteigenden Teilen des MFB, welche den VLH mit der vorderen Seite der Vierhügelplatte im Mittelhirn verbinden (VTA, ventrales tegmentales Areal). Dieses Areal leitet seinerseits aufsteigend weiter zum frontal gelegenen Nucleus accumbens (NA), welcher auch Informationen von Hippocampus und Mandelkern erhält und selbst motorische Kerne des Hirnstammes versorgt. Der **Nucleus accumbens** erweist sich so als eine zentrale Schaltstelle im Lustsystem.

In dem nervösen System MFB-VLH-VTA-NA spielt der Transmitter Dopamin die entscheidende Rolle bei der Erregungsübertragung. Es handelt sich dabei also um ein **dopaminerges System**. Künstliche Gaben von Dopamin-Antagonisten blockieren die Dopaminrezeptoren und heben so die Wirkung der **ICSS** auf, ja sie schalten sogar den belohnenden Effekt von Nahrung und Wasser aus, so dass bei der entsprechenden Triebbefriedigung keine Lustgefühle mehr entstehen (Anhedonie). Hingegen erregen künstliche Gaben von Dopamin-Agonisten die Dopaminrezeptoren und intensivieren die **ICSS** und die Lustempfindung beim Triebverhalten.

[3.9.6] Die Kontrolle affektiver Impulse

Im Sommer 1848 erleidet ein junger amerikanischer Bauarbeiter namens Phineas Gage einen schweren Arbeitsunfall, bei dem eine Eisenstange den Schädelknochen unterhalb des Auges durchbohrt und an der Schädeldecke wieder austritt. Wie ein Wunder überlebt Gage. Und wie ein Wunder scheinen auf den ersten Blick alle Fähigkeiten intakt geblieben zu sein. Allerdings stellte sich heraus, dass die Persönlichkeit von Gage sich auf markante Weise verändert hat: Der vormals ehrliche Mann galt in den restlichen dreizehn Jahren seines Lebens als verlogen, launisch und unzuverlässig. „Die Balance zwischen seiner intellektuellen Fähigkeit und seinen animalischen Trieben war zerstört“, notierte Gages Hausarzt John Harlow.

Denken und Gefühlsleben scheinen vollkommen unabhängig voneinander zu funktionieren. Bewegende Situationen lösen überhaupt keine Gefühlsreaktion aus. Umgekehrt kann es jedoch in emotional neutralen Situationen zu Wut- oder Freudenausbrüchen kommen. Überhaupt verflachen sich die emotionalen Reaktionen. Der Gehirn- und Gedächtnisforscher Alberto Damasio beschreibt diesen Zustand so:

"Der auffälligste Aspekt an dieser unerfreulichen Geschichte ist das Missverhältnis zwischen der normalen Persönlichkeitsstruktur, die Phineas Gage vor dem Unfall zeigte, und den anderen Persönlichkeitszügen, die danach zutage traten und wohl auch für den Rest seines Lebens erhalten blieben. . . . Nach dem Unfall kümmerten ihn keine sozialen Konventionen mehr, er verstieß gegen moralische Prinzipien, fluchte, beleidigte Leute, hielt Vereinbarungen nicht ein, und traf Entscheidungen, die seinen Interessen zuwiderliefen. . . . Er konnte keine vernünftigen Entscheidungen mehr treffen. . . ."

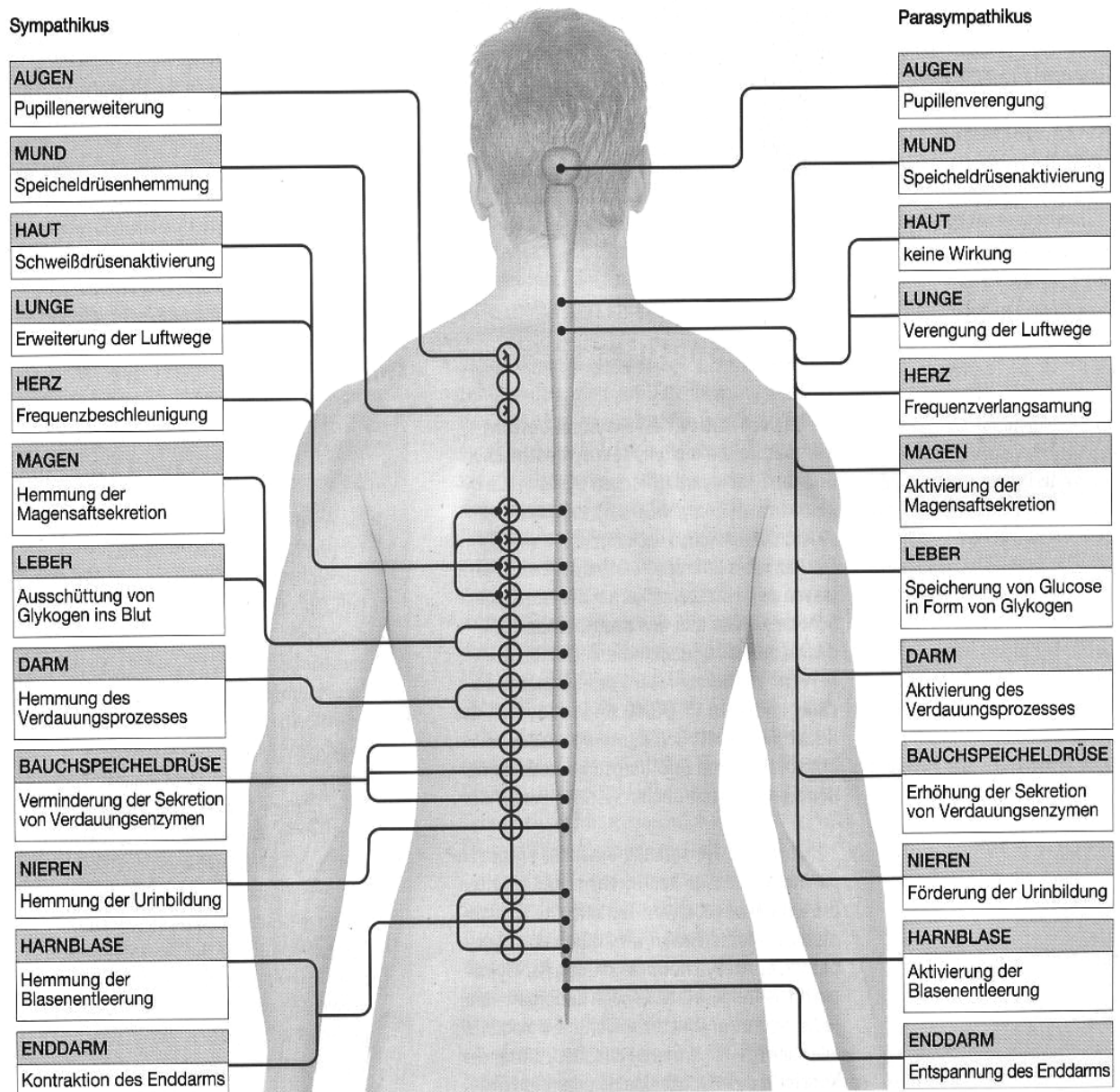
Ein zweiter wichtiger Aspekt in Gages Geschichte ist das Missverhältnis zwischen dem Verfall seines Charakters und der scheinbaren Unversehrtheit von zahlreichen geistigen Fähigkeiten. Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Gedächtnis, Sprache und Intelligenz scheinen intakt, aber das Zusammenspiel scheint nicht mehr zu klappen. Das, was man als "einheitliche Persönlichkeit" empfindet, scheint nicht mehr zu existieren. Phineas Gage scheint sich in unterschiedliche Teilpersönlichkeiten mit unterschiedlichen Charakteren aufgelöst zu haben. Dieses Zustandsbild, wo Verstand und Emotion auseinanderfallen, wird als Dissoziation bezeichnet.

In Gehirnuntersuchungen nach dem Tod von Gage stellt sich heraus, dass durch den Unfall vor allem präfrontale Rindengebiete im Stirnlappen irreversibel beschädigt worden sind. Daraus schließen Neurologen wie Damasio, dass diese Regionen etwas mit der Verbindung von Emotion und intellektuellen kognitiven Fähigkeiten zu tun haben müssen und dass dies wiederum eine sehr zentrale Voraussetzung für Planungen in die Zukunft darstellt. Damasio schreibt, "Die selektiven Schädigungen in den präfrontalen Rindenabschnitten im Gehirn von Phineas Gage waren schuld daran, dass er weitgehend die Fähigkeit verloren hatte, seine Zukunft zu planen, sich nach sozialen Regeln zu richten, die er einst gelernt hatte, und die Handlungsabläufe zu wählen, die letztlich für sein Überleben am günstigsten waren. In seinem Sozialverhalten war er triebhaft und distanzlos."

Der Fall „Phineas Gage“ und viele ähnliche Krankheitsfälle zeigen, dass der präfrontale und der orbitofrontale Cortex im Stirnlappen eine wesentliche Rolle bei der kognitiven Affektkontrolle spielen. Von hier werden hemmende Signale an die Amygdala im limbischen System gesendet. Im Zusammenspiel mit cingulärem und insulärem Cortex bilden sich die Fähigkeiten zu Impulshemmung, Belohnungsaufschub, Frustrationstoleranz und auch zu sozialem Mitgefühl.

[3.10] Das vegetative Nervensystem

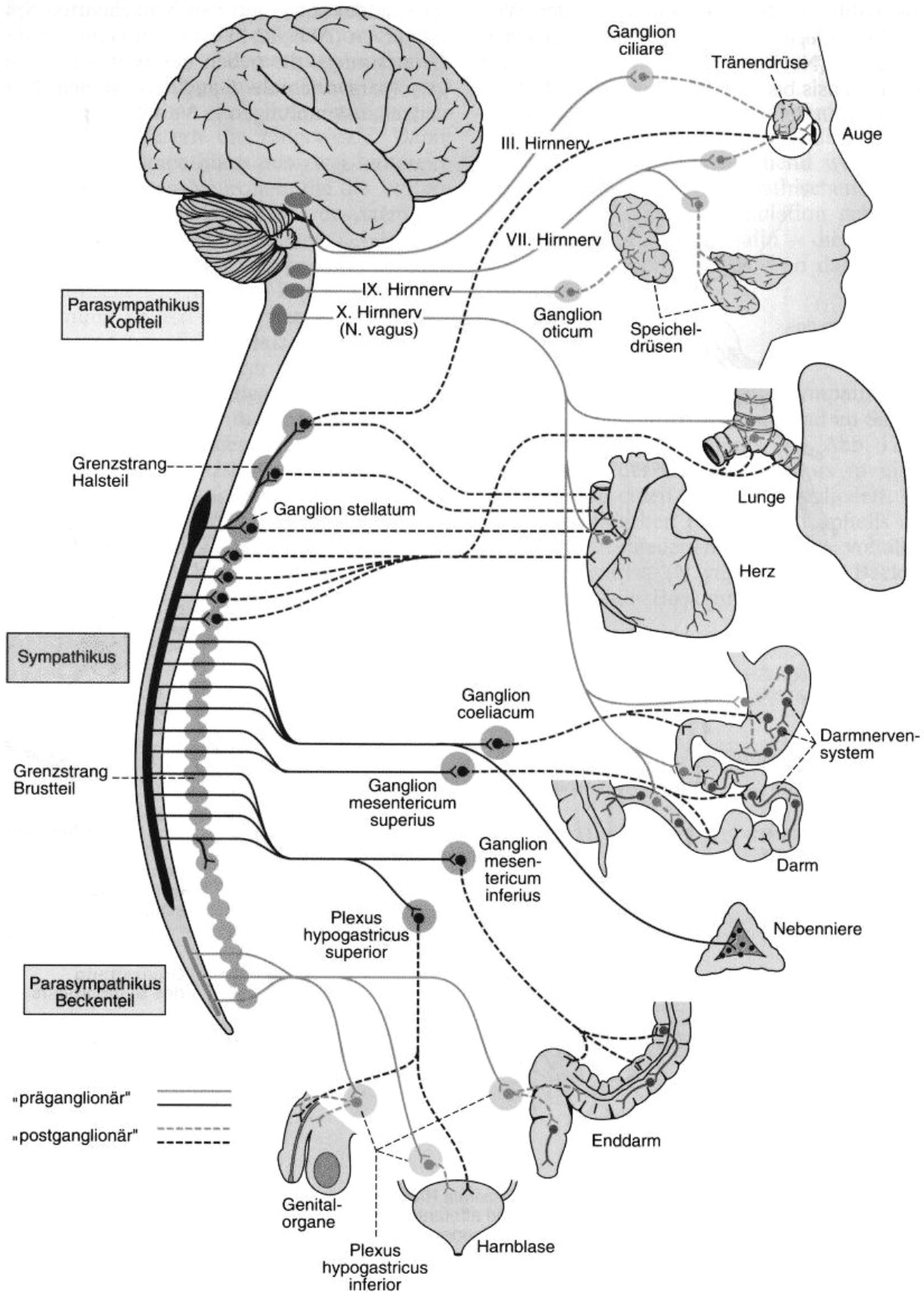
Das vegetative Nervensystem reguliert autonom die Tätigkeit der inneren Organe. Eine wichtige Steuerzentrale ist der Hypothalamus. Das vegetative Nervensystem besteht aus zwei Gegenspielern, dem Sympathikus und dem Parasympathikus. Die Abbildung zeigt die Wirkungen des vegetativen Systems auf einzelne Organe.



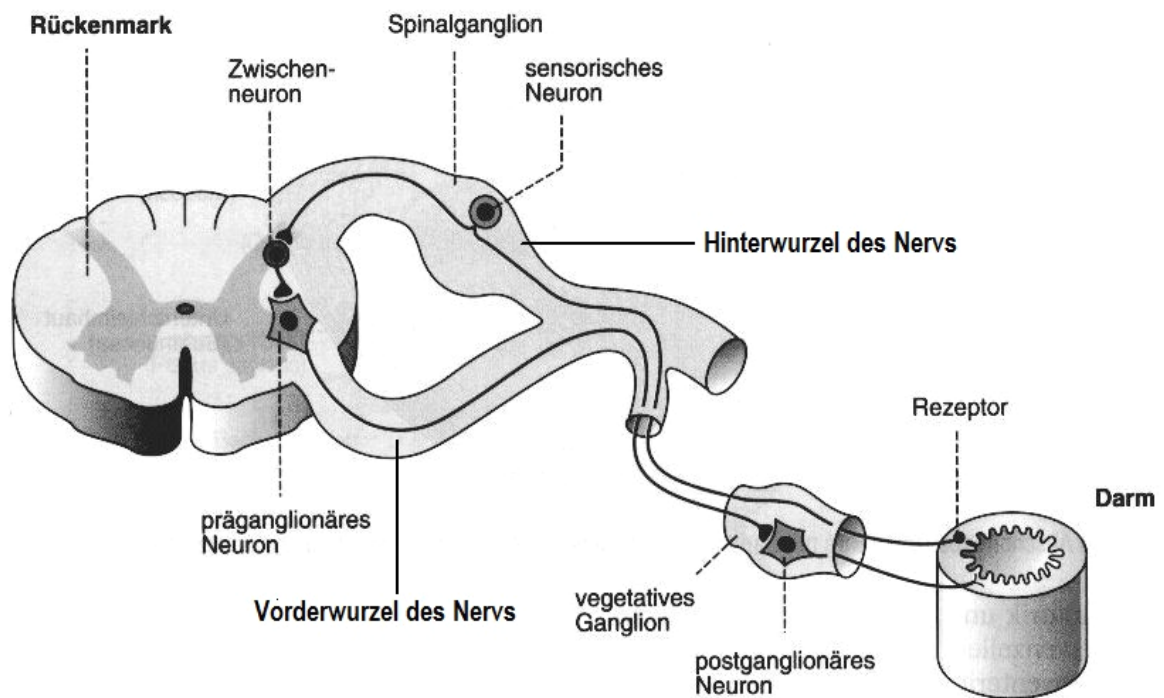
Der **Sympathikus** ist der Nerv der Spannung und Unruhe (er fördert u.a. die Kreislauffunktionen, "fight or flight"). Wichtige Ursprungszellen liegen im Rückenmark und seine Fasern verlaufen über den Grenzstrang links und rechts vom Rückenmark.

Der **Parasympathikus** hingegen ist der Nerv der Entspannung und Ruhe (er fördert u.a. die Verdauungsfunktionen, "feed or breed"). Wichtige Ursprungszellen liegen im Hirnstamm und im craniosakralen Rückenmark.

Übersicht über die gesamte Organisation des vegetativen Nervensystems
(Sympathikus = schwarze Fasern, Parasympathikus = graue Fasern)



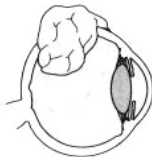
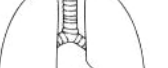
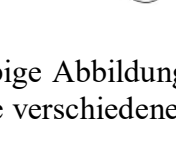
Die **vegetativen Reflexbögen** beginnen in den Rezeptoren (Mechano-, Thermo-, Chemo- und Schmerzsensoren) der glatten Muskulatur in der Wand eines inneren Hohlorgans. Der afferente Neurit führt zum sensorischen Neuron im Spinalganglion. Die Erregung wird weitergeführt über die Hinterwurzel in das Hinterhorn des Rückenmarkes. Dort erfolgt die Umschaltung auf das *erste vegetative Neuron* im Seitenhorn (*präganglionär*). Dessen efferenter Neurit zieht über die Vorderwurzel aus dem Rückenmark zu einem vegetativen Ganglion (Gruppe von Nervenzellen), wo dann die Weitschaltung auf das *zweite vegetative Neuron* erfolgt (*postganglionär*). Sein efferenter Neurit zieht nun direkt zur Zielzelle des Erfolgsorganes (glatte Muskelfaser, Spezialmuskulatur des Herzens, Drüsenzelle). Damit ist der Reflexbogen geschlossen.



Im Gegensatz zu den Motoneuronen des zentralen Nervensystems können vegetative Signale in den Zielzellen sowohl anregend (exzitatorisch) als auch hemmend (inhibitorisch) wirken. Die Reaktion der Zielzelle hängt vom jeweiligen Erfolgsorgan ab. Im **Sympathikus** vermittelt der Transmitter **Acetylcholin** die Erregungsübertragung vom prä- zum postganglionären Neuron. Die Signalweiterleitung von den postganglionären Fasern auf die Zielzellen wird durch **Adrenalin** und vor allem **Noradrenalin** bewirkt.

Je nach Zielorgan wirkt das Noradrenalin entweder hemmend oder anregend auf die Membranrezeptoren der Zielzellen. Man kennt verschiedene Bautypen von solchen Rezeptoren (α - und β -Rezeptoren). Diese können durch Medikamente gezielt besetzt und damit der natürliche Transmitter von seinem Bindungsort verdrängt werden. Dadurch entfällt seine spezifische Wirkung. Ein so genannter β -Blocker vermindert beispielsweise die Sympathikuswirkung auf den Herzmuskel. So kann die Schlagfrequenz gesenkt und eine Überlastung des Herzens vermieden werden. Medikamente, welche die Wirkung des Sympathikus senken, heißen Sympathikolytika. Medikamente, welche seine Wirkung steigern, heißen Sympathikomimetika.

Im **Parasympathikus** wird an allen Synapsen die Erregungsübertragung durch das **Acetylcholin** bewirkt. Die Auslösung hemmender oder anregender Aktionspotentiale in den Zielzellen ist vom jeweiligen Erfolgsorgan abhängig (organspezifisch), d.h. von der Bauart der dort befindlichen Membranrezeptoren. Auch hier hat die Medizin passende Parasympathikolytika und Parasympathikomimetika entwickelt.

	Parasympathikus	Sympathikus
	Tränendrüse Sekretion	
	Auge M. dilatator pupillae M. sphincter pupillae M. ciliaris	Kontraktion (Pupillen- erweiterung) (α_1) geringe Relaxation
	Herz Sinusknoten AV-Knoten Myokard (Kontraktilität) Koronararterien	Frequenzabnahme Erregungsabnahme Abnahme (nur im Vorhof) Frequenzzunahme (β_1) Erregungszunahme (β_1) Zunahme (Vorhof und Ventrikel) (β_1) Vasokonstriktion (α_1)
	Venen	Vasokonstriktion (α_1) (=Gefäßzusammenziehung)
	Arterien des Magen-Darm-Trakts der Nieren der Skelettmuskulatur	Vasokonstriktion (α_1) Vasokonstriktion (α_1) Vasokonstriktion (α_1) Vasodilatation: a) (β_2) b) cholinerg (=Gefäßausdehnung)
	Trachea und Bronchien Muskulatur Drüsen	Kontraktion Schleimsekretion Erschlaffung (β_2)
	Haut Blutgefäße Schweißdrüsen	Vasokonstriktion (α_1) Schweißsekretion (cholinerg!)
	Speicheldrüsen	dünnflüssige Sekretion zähflüssige Sekretion (α_1)
	Leber	Glykogenese Glykogenolyse (β_2)
	Gallenblase	Kontraktion Relaxation
	Pankreas Exokrine Sekretion Insulinausschüttung	Zunahme geringe Abnahme (α_1) Hemmung (α_2)
	Magen-Darm-Trakt Peristaltik Schließmuskeln Sekretion	Motilitätszunahme Erschlaffung Zunahme Motilitätsabnahme (α_2 / β_2) Kontraktion (α_1) Abnahme oder kein Effekt
	Harnblase Detrusor M. sphincter internus	Kontraktion Erschlaffung (gering) (β_2) Kontraktion (α_1)
	Genitalorgane Schwellkörper Geschlechtsdrüsen Uterus	Vasodilatation (Erektion) Sekretion Vasodilatation (Erektion) (?) Kontraktion (Schwangerschaft) (α_1) Erschlaffung (hormonabhängig) (β_2)

Die obige Abbildung zeigt übersichtsmäßig die Wirkungen von Sympathikus und Parasympathikus auf die verschiedenen Organe (mit den α - und β -Rezeptoren für die entsprechenden Transmitter).

[3.11] Die Neurowissenschaften

(Gegenstand und Methoden)

In den *Neurowissenschaften* sind die Forschungsfelder von Biologie, Medizin, Psychologie und Informatik zusammengefasst.

Im Einzelnen geht es in den Neurowissenschaften um die Analyse von Aufbau und Funktionsweise der zentralen Einheiten aller Nervensysteme, den Neuronen und auch anderen Zelltypen. Untersucht werden die Eigenheiten und die Auswirkungen der Vernetzung dieser Zellen zu neuronalen Netzwerken in komplexen Nervensystemen. Forschungsrichtungen der Neurowissenschaften, die sich hauptsächlich mit der Untersuchung von Aufbau und Leistungen des Gehirns von Primaten (d. h. Menschen und Menschenaffen) befassen, werden in der Umgangssprache unter der Bezeichnung *Gehirnforschung* zusammengefasst.

Grob lassen sich die Neurowissenschaften in vier Grunddisziplinen einteilen: Neurobiologie, Neurophysiologie, kognitive Neurowissenschaft und klinisch-medizinische Fächer.

An zentraler Stelle der Neurowissenschaften steht die *Neurophysiologie*. Obwohl die Physiologie normalerweise eine Unterdisziplin der Biologie ist, nimmt sie in den Neurowissenschaften insofern eine besondere Rolle ein, als neuronale Aktivität und somit die „Sprache der Nerven“ in den Bereich der Neurophysiologie fällt. Einen zentralen Platz auf einer höheren Ebene nimmt die *Kognitive Neurowissenschaft* ein. Sie befasst sich mit den neuronalen Mechanismen, welche den kognitiven und emotionalen Funktionen zugrunde liegen. Sie interessiert sich also vor allem für höhere Leistungen des Gehirns wie auch für dessen Defizite.

Die Methoden der Neurowissenschaften unterscheiden sich zunächst in ihrer Anwendbarkeit beim Menschen. *Nichtinvasive Verfahren* können zum Studium des menschlichen Nervensystems eingesetzt werden. Die nachfolgende Aufzählung gibt die verfügbaren nichtinvasiven Verfahren der Neurowissenschaften an, also Verfahren, die das System nicht schädigen. Ausnahme sind hier die Läsionsstudien, welche versuchen, durch systematischen Vergleich von bereits geschädigten Gehirnen Aufschluss auf die Lokalisation von Funktionen zu bekommen. Dabei wird die Schädigung nicht gezielt vorgenommen, sondern Patienten mit Hirnverletzungen oder Schlaganfällen stellen die Basis für die Studie dar.

Die Entwicklung der *Elektroenzephalographie* (EEG) erlaubt es, dem Gehirn beim Arbeiten indirekt zuzuschauen. Die Aktivität von Nervenzellen erzeugt ein elektrisches Feld, das außerhalb des Schädels gemessen werden kann. Da sich orthogonal zu jedem elektrischen Feld auch ein Magnetfeld ausbreitet, kann auch dieses gemessen werden, diese Methode bezeichnet man als *Magnetoenzephalographie* (MEG). Beiden Methoden ist gemeinsam, dass sie es ermöglichen, die Aktivität von großen Zellverbänden in hoher zeitlicher Auflösung zu messen und damit Aufschluss über die Reihenfolge von Verarbeitungsschritten zu erhalten. Die räumliche Auflösung ist mäßig, dennoch erlaubt sie den Forschern, Erkenntnisse über Ort und Zeitpunkt von neuronalen Prozessen am lebenden Menschen zu gewinnen.

Bei der *Computertomographie* (CT) werden verschiedene Hirnschichten röntgenologisch gescannt. Dadurch ist es möglich, Ort und Ausdehnung einer Läsion auch beim lebenden Patienten zu bestimmen. Läsionsstudien werden damit schneller und auch genauer, da das Gehirn bereits unmittelbar nach einer Schädigung *gescannt* werden kann und die Anatomie der Schädigung bereits Hinweise auf mögliche (kognitive) Ausfälle gibt, die dann gezielt studiert werden können.

Weil das Gehirn sich von einer Schädigung bis zum Tode des Patienten verformen kann, ist die genaue anatomische Bestimmung der ursprünglichen Schädigung nach dem Tode erschwert. Diese Verformung spielt beim CT insofern keine Rolle, als die Zeitspanne zwischen Schädigung und Tomographie für gewöhnlich kurz ist. Dies gilt im gleichen Maße für die *Magnetresonanztomographie* (MRT, auch Kernspintomographie genannt). Mittels MRT wird der Blutdurchfluss bestimmter Areale über die dabei verstärkten kernmagnetischen Resonanzen der beteiligten Wasserstoffionen registriert. MRTs haben eine gute räumliche Auflösung.

Funktionelle Studien, welche die Funktion bestimmter, umgrenzter Hirnareale untersuchen, sind erst durch *bildgebende Verfahren* möglich, deren gemessene Signalstärke sich in Abhängigkeit von der Aktivität der Hirnareale verändert. Zu diesen Methoden zählen die *funktionelle Magnetresonanztomographie* (fMRT) und die *Positronen-Emissions-Tomographie* (PET). Bei der PET wird die regionale Hirndurchblutung mit Hilfe radioaktiver Markierungssubstanzen gemessen. Aus Intensität und Richtung der gemessenen Strahlung werden mithilfe von Computern die räumliche Verteilung der radioaktiven Marker ermittelt und daraus schattierte oder unterschiedlich gefärbte Bilder der Hirnregionen hergestellt. Damit wird die neuronale Aktivität auch von tieferen Hirnregionen gut erfasst. Der Nachteil liegt in der trägen zeitlichen Auflösung, d.h. die schnelle zeitliche Abfolge von neuronalen Prozessen kann nicht registriert werden.

In tierischen Modellsystemen oder in klinischen Studien kommen auch *invasive Verfahren* zum Einsatz, welche gezielt die Eigenschaften des Nervensystems verändern oder durch die Messung bestimmte, umgrenzte Schäden oder Verletzungen verursachen. Auf globaler Ebene verändern vor allem pharmakologische Wirkungen die Eigenschaften von Neuronen oder von anderen für die neuronale Aktivität, Plastizität oder Entwicklung relevanten Mechanismen. Bei der *pharmakologischen Intervention* kann dadurch je nach Substanz ein Hirnareal beeinflusst bzw. zerstört oder aber im gesamten Gehirn lediglich ein ganz bestimmter Kanal- oder Rezeptortyp der neuronalen Zellmembran beeinflusst werden. Die pharmakologische Intervention ist damit gleichermaßen eine globale wie eine spezifische funktionelle Methode. Um die Effekte der Intervention zu messen, greift man für gewöhnlich auf die *Elektrophysiologie* oder die *Histologie* zurück.

Die *Transkranielle Magnetstimulation* (TMS) erlaubt es, kurzfristig Hirnareale auszuschalten. Sie wird auch beim Menschen angewendet, da man dabei nicht von bleibenden Schäden ausgeht. Mittels eines starken Magnetfeldes wird Strom schmerzfrei in ganze Hirnareale induziert, deren Aktivität dadurch nichts mehr mit der normalen Aufgabe der Areale zu tun hat. Man spricht daher manchmal auch von einer temporären *Läsion*. Die Dauer der Läsion ist für gewöhnlich im Millisekundenbereich und erlaubt daher Einblick in die zeitlich schnelle Abfolge von neuronalen Prozessen.

Mittels *Elektrostimulation* kortikaler Areale kann man, ebenso wie bei der TMS, kurzfristig die Verarbeitung von Nervenimpulsen in bestimmten Hirnarealen künstlich beeinflussen oder ganz ausschalten. Im Gegensatz zur TMS wird dazu allerdings der Schädel geöffnet und dann eine Elektrode in ein Hirnareal von Interesse implantiert. Das erlaubt eine sehr exakte räumliche Bestimmung der betroffenen Areale. Die Elektrostimulation wird vor allem in der Neurochirurgie zur Bestimmung der Sprachzentren angewandt, die bei Operationen nicht beschädigt werden dürfen - aber auch in Tiermodellen, um kurzfristig die neuronale Aktivität beeinflussen zu können. Dem entgegengesetzt arbeitet die *Elektrophysiologie*. Statt Ströme ins Gehirn zu induzieren, misst sie elektrische Signale von einzelnen Zellen oder Zellverbänden. Dabei wird zwischen *In-vivo*- und *In-vitro*-Experimenten unterschieden. Bei *In-vivo*-Experimenten werden Elektroden ins Gehirn lebender Tiere gebracht. *In-vitro*-Experimente studieren die elektrische Aktivität von Zellen und werden nicht an lebenden Tieren vorgenommen, sondern nur am Hirngewebe.

[4] Die menschliche Psyche

Die Psyche ist eine emergente Systemfunktion des Gehirns. Sie ist das Resultat von informations-verarbeitenden Prozessen in komplexen Netzwerken aus Milliarden von Nervenzellen.

Durch Interaktion des Gehirns mit seiner Umwelt hat sich die menschliche Psyche evolutionär entwickelt - von einfachen Reflexen für die Reizbeantwortung über unbewusste, instinktive Handlungen für die Lebenserhaltung bis zu den begriffsbildenden neuronalen Netzen in der Großhirnrinde, wodurch Denken als Probehandeln möglich wird. Psychische Prozesse können unbewusst oder bewusst ablaufen. Das Denken erzeugt im Gehirn ein Modell der Umwelt. Mit Hilfe der Sprache kann dieses Wissen an andere Gehirne weitergegeben und auch auf materielle Datenträger gespeichert werden. Dadurch wird das subjektive Wissen zum objektiven Geist und zur Grundlage der Kultur. Im Sinne einer realistischen Auffassung sind das Gehirn, seine psychischen Funktionen und sein Bewusstsein der biologischen Evolution unterworfen.

Die höchste Entwicklung ist die Selbstwahrnehmung (Selbstreflexion) des Gehirns, d.h. der Mensch konstruiert ein Modell von sich Selbst (Ich-Bewusstsein).

Wirft man drei Holzstäbe (z.B. von einem Mikadospiel) in die Luft, so fallen sie in einer zufälligen Anordnung zurück auf den Tisch. Ordnen sie sich dabei in der Gestalt eines Dreiecks an, dann treten neue Strukturmerkmale auf, die vorher nicht zu bemerken waren: z.B. die Winkelsumme, die Gleichseitigkeit oder der Flächeninhalt. Jeder muss wohl zugeben, dass es völlig unsinnig ist, von der Winkelsumme eines einzelnen Stabes zu sprechen. Das System bzw. die Ganzheit, in unserem Beispiel das Dreieck, ist mehr als bloß die Summe seiner Einzelteile (Prinzip der **Übersummativität** bzw. **Emergenz**). Eine Lichtung in einem Wald ist ebenfalls ein Systemmerkmal, welches dem Wald als Ganzes zukommt - nicht aber dem einzelnen Baum. Ein Systemmerkmal resultiert aus den Beziehungen der einzelnen Elemente untereinander.

In diesem Sinne kann auch das **Bewusstsein** als ein ganzheitliches, übersummatives Strukturmerkmal des zentralen Nervensystems, als eine emergente Systemfunktion verstanden werden. Erst wenn bestimmte Nervenzellen des Gehirns im Laufe der Evolution in einer besonderen Weise miteinander interagieren, sich anordnen und sich vernetzen (zu neuronalen Netzwerken) entstehen die **immateriellen, bewussten Erlebnisse**.

Über dieses primäre Bewusstsein hinausgehend, hat das Gehirn noch die Möglichkeit der **Selbstwahrnehmung**, d.h. es kann ein Modell des eigenen Bewusstseins entwerfen (Ich-Bewusstsein). Dieses sekundäre Bewusstsein bildet sich aber erst im **Dialog mit anderen Gehirnen** („Ich weiß, dass **Du** weißt, dass **Ich** fühle . . .“). Weil die am Dialog mit dem werdenden Gehirn teilhabenden Bezugspersonen (Eltern, Lehrer, usw.) ihrerseits wieder stark von Gesellschaft und Kultur geprägt sind, erhält das Bewusstsein zur sozialen noch eine kulturhistorische Dimension.

Bewusstsein ist ein weiter Begriff, der den Strom des unmittelbaren Erlebens umfasst, welcher sich aus Wahrnehmungen, Erinnerungen, Vorstellungen, Gedanken, Trieben, Gefühlen und Wünschen zusammensetzt. Bewusste Erlebnisse laufen in den Arealen der Großhirnrinde oder in der obersten limbischen Ebene im cingulären und im insulären Cortex ab. Mit dem Begriff des **Vorbewussten** sind alle Inhalte des Langzeitgedächtnisses gemeint, welche unmittelbar nicht bewusst sind. Sie werden in den sekundären Rindenzentren und im Hippocampus abgespeichert. Sie können entweder durch passives Wiedererkennen oder durch aktives Erinnern bewusst werden. Die Vielzahl aller anderen Prozesse im Gehirn, die weder bewusst noch vorbewusst sind, nennt man **unbewusst**.

[4.1] Ein Modell der Psyche

Die menschliche Psyche ist eine emergente Systemeigenschaft des Gehirns. Der österreichische Psychologe *Hubert Rohrer* (1903 - 1972) gliedert die immateriellen Inhalte der Psyche (Erlebnisse) in *psychische Funktionen* und *psychische Kräfte*.

Psychische Funktionen sind Wahrnehmungen, Gedächtnis (Lernen), Denken und Sprechen. Sie sind Werkzeuge zur Erreichung von gesetzten Zielen.

Psychische Kräfte sind die angeborenen Instinkte und Triebe, erlernte Interessen, die Gefühle (Emotionen) und die Willenserlebnisse. Sie werden als drängend und zielsetzend erlebt.

Der Zusammenhang wird durch das Prinzip der funktionalen Aktivierung erklärt: Es gibt keine funktionale Aktivität ohne inneren Antrieb oder äußeren Anreiz.

Psychische Funktionen

- Wahrnehmung:** Aufnehmen von Informationen.
(*sehen, hören, riechen, schmecken, tasten, ...*)
- Gedächtnis (Lernen):** Speichern und Abrufen von Informationen.
(*Lernen durch Wiederholung, Konditionierung, Nachahmung, ...*)
- Denken:** Verknüpfen von Informationen zur Problemlösung.
(*wahrnehmungsgebunden oder begrifflich-abstrakt*)
- Sprechen:** Weitergeben von Informationen durch phonetische Artikulation von bewussten Erlebnisinhalten.

Psychische Kräfte

- Instinkte und Triebe:** Angeborene Drangzustände, die überwiegend zu lebenserhaltenden Aktionen führen.
(*Durst, Hunger, Schlaf, Bindungsbedürfnis, Sexualität, Neugierde, Geltungsdrang, Aggression, ...*)
- Interessen:** Zumeist erlernte Drangzustände, die zur Ausführung kultureller Aktionen streben.
- Gefühle (Emotionen):** Reaktive Erlebniszustände auf äußere oder innere Reize, die angenehm oder unangenehm erlebt werden.
(*Freude, Trauer, Überraschung, Furcht, Wut, Ekel, Verachtung, ...*)
- Wollen:** Bewusste Entscheidungserlebnisse.

Als Beispiel sei die Situation nach intensiver Sportbetätigung angeführt. Durch den Flüssigkeitsverlust beginnt über einen Regelkreismechanismus ein Nervenzentrum (Durstzentrum) im tiefer gelegenen Zwischenhirn zu feuern, d.h. elektrochemische Erregungen zu produzieren. Diese steigen höher in die Großhirnrinde und erzeugen dort das unlustvolle Trieberlebnis des Durstes. Dadurch werden die Wahrnehmung, das Gedächtnis und das Denken aktiviert, um in der Umwelt nach durstlöschenden Objekten zu suchen. Nach deren Auffindung kommt es zur lustvoll erlebten Triebbefriedigung (Trinken). Dabei werden über entsprechende motorische Steuerungen die passenden Verhaltensweisen ausgeführt.

Die Emotionen von Lust und Unlust dienen als sinnvolle Triebverstärkungen. Ursprünglich sind die gestellten Handlungsziele auf Lebens- und Arterhaltung gerichtet. Mit Hilfe des psychischen Apparates, insbesondere der Denkleistungen hat sich das menschliche Gehirn einen entscheidenden Leistungsvorteil im täglichen Daseinskampf geschaffen.

Die bewussten Erlebnisse sind emergente Systemfunktionen von komplex vernetzten Bereichen des zentralen Nervensystems, insbesondere der Großhirnrinde (Cortex). Zentrales Nervensystem und Bewusstsein haben sich *evolutionär entwickelt* und dienen letztendlich der optimalen Anpassung an die Umwelt. Unter *Psyche* versteht man die Gesamtheit der bewussten Erlebnisse, aber auch der vorbewussten und unbewussten Prozesse im zentralen Nervensystem. Der Begriff *Seele* wird hier ausschließlich als Synonym für eine so verstandene Psyche verwendet.

Entsprechend der stammesgeschichtlichen Entwicklung des Gehirns und des zentralen Nervensystems durchläuft die Psyche unterschiedliche Ausbildungsstufen. Immer dann, wenn einfachere Formen sensomotorischer Informationsverarbeitung (z.B. Reflexe) zur Steuerung und Kontrolle des Organismus nicht mehr ausreichen, hat sich eine höhere und leistungsfähigere Funktionsebene entwickelt. Bei *einfachen Reflexen* wird ein Reiz von den peripheren Sensoren (Sinnesorganen) aufgenommen und in eine spezifische Folge von elektrischen Spannungsschwankungen verschlüsselt. Diese wird entlang von Nervenfasern über das Rückenmark oder den Hirnstamm zu den Effektoren (Muskeln, Drüsen) weitergeleitet, wo der Reiz durch entsprechende motorische Reaktionen beantwortet wird.

Etwas komplexer gestaltet sich der Ablauf einer *Instinktreaktion*. Hier fließt der Informationsstrom über höher gelegene Hirnstamm-Zentren im zentralen Nervensystem. Als Beispiel sei das Hinaus-treten aus einem dunklen Raum in das helle Sonnenlicht genannt. Zunächst erfolgen reflektorische Reaktionen (Pupillenreflex), dann instinktive Schutzreaktionen (Heben der Hände zum Augenschutz) und schließlich noch komplexere Handlungen (Aufsetzen einer Brille).

Reichen reflektorisches und instinktives Verhalten zur Problemlösung nicht aus, dann erfolgt die Informationsverarbeitung in den noch höher gelegenen Zentren in der äußeren Rinde des Großhirns (Cortex). Hier werden unsere Wahrnehmungen bewusst erlebt und unsere Handlungen bewusst veranlasst. Allen diesen *bewussten Erlebnissen* liegen *spezifische Erregungskonstellationen* zu Grunde, die in wechselseitig gekoppelten Gruppen von Nervenzellen (*neuronale Ensembles*) ablaufen. Schließlich ziehen dann die entsprechenden elektrischen Signalfolgen über die so genannte Pyramidenbahn abwärts zu den Muskeln und steuern dort die willkürlichen Handlungen. Damit ist die höchste Stufe sensomotorischer Regelkreise erreicht: Reize werden selektiv wahrgenommen und mit motorischen Reaktionen bewusst beantwortet. Das Ergebnis des Verhaltens wird wieder wahrgenommen (*Feedback*) und führt zu weiteren Reaktionen, usw.

Erfolgreich wiederholte Rückkopplungen (Feedback) von motorischem Verhalten und Sinnesrezeptionen führen zur Ausbildung von *synaptischen Verstärkungen* in den beteiligten Nervenbahnen. Dadurch werden die molekularen Grundlagen für das *Gedächtnis* geschaffen.

[4.2] Intelligenz und Persönlichkeit

[4.2.1] Faktoren der kognitiven Intelligenz

Die **kognitive Intelligenz** ist der Leistungsgrad der psychischen Funktionen (von Wahrnehmung, Gedächtnis, Denken) bei der Lösung von neuen Aufgaben - und zwar unter normalen emotionalen Bedingungen.

Der britische Forscher **Louis Thurstone** entwickelte faktorenanalytische Methoden zur Erfassung des intelligenten Verhaltens. Thurstone kommt nach umfangreichen statistischen Untersuchungen von Testdaten, welche er aus 56 verschiedenen Tests an 240 Personen gewonnen hatte, zu genau sieben Grundfaktoren der Intelligenz (*seven primary mental abilities*).

P - perceptual speed, Wahrnehmungsgeschwindigkeit

- (a) speed of closure (Gestalterkennung)
- (b) flexibility of closure (Umstrukturierung)

S - space ability, räumliches Anschauungsvermögen

- (a) visualisation (Veranschaulichung)
- (b) spatial relations (Lagebeziehungen)

M - memory, mechanische Gedächtnisleistung

N - numerical ability, einfache Rechenfertigkeit

W - word fluency, motorische Wortflüssigkeit

V - verbal comprehension, sensorisches Sprachverständnis

R - reasoning, logisches Problemlösen

- (a) deduction (vom Allgemeinen zum Einzelfall)
- (b) induction (vom Einzelfall zum Allgemeinen)

Diese sieben Grundfaktoren sind voneinander relativ unabhängig und bilden die Basis für viele Intelligenztests, wie der Intelligenz-Struktur-Test (IST-70) von **Rudolf Amthauer** oder der Wilde-Intelligenz-Test (WIT) von **Jäger und Althoff**.

[4.2.2] Die emotionale (und soziale) Intelligenz

Neben der kognitiven Intelligenz wird noch eine **emotionale Intelligenz** unterschieden. Nach **Daniel Goleman** ist ein emotional intelligentes Verhalten durch die folgenden fünf Grundmerkmale gekennzeichnet:

- (E1) Die eigenen Emotionen wahrnehmen und analysieren (Selbsteinsicht).
- (E2) Die eigenen Emotionen kontrollieren und gestalten (Impulskontrolle).
- (E3) Die eigenen Emotionen produktiv einsetzen und nutzen (Selbstwirksamkeit).
- (E4) Die Emotionen der Mitmenschen erkennen und verstehen (Empathie).
- (E5) Auf Emotionen der Mitmenschen angepasst reagieren (soziale Kompetenz).

Soziale Intelligenz ist die Fähigkeit, Gedanken und Motivationen und Absichten des Mitmenschen zu erkennen und sich auch angemessen zu verhalten (d.h. praktische Menschenkenntnis).

[4.2.3] Faktoren der Persönlichkeit

Unter Persönlichkeit versteht man die Gesamtheit der psychischen Eigenschaften und der Verhaltensweisen, welche dem Menschen seine eigene, charakteristische und unverwechselbare Individualität verleihen. **Raymond Catell** fand mit Hilfe der Faktorenanalyse sechs relativ unabhängige Grundfaktoren der Persönlichkeit:

F1, Extraversion vs. Introversion
F2, Emotionale Stabilität vs. Neurotizismus
F3, Gefühlsbetontheit vs. Gefühlskälte
F4, Soziale Abhängigkeit vs. Unabhängigkeit
F5, Kooperationsbereitschaft vs. soziale Dominanz
F6, Willenskontrolle vs. Spontanität

Paul Costa und Robert McCrae entwickelten einen Test, der fünf relativ unabhängige Persönlichkeitsfaktoren (THE BIG FIVE) überprüft. Sie stimmen teilweise mit den sechs Grundfaktoren von **Raymond Catell** überein.

NF1, Extraversion vs. Introversion:

außengeleitet – innengeleitet
 gesprächig – schweigsam
 offen – verschlossen
 gesellig – zurückgezogen

NF2, Emotionale Stabilität vs. Neurotizismus:

gelassen, entspannt – nervös, angespannt
 ruhig, stabil – unruhig, labil, ängstlich
 beherrscht, kontrolliert – unbeherrscht, launisch
 zufrieden – unzufrieden, selbstbemitleidend

NF3, Verträglichkeit, Liebenswürdigkeit vs. Unverträglichkeit:

mitfühlend, freundlich – hartherzig, unfreundlich
 gutmütig, sanftmütig – aufbrausend, streitsüchtig
 vertrauensvoll, anpassungsfähig – misstrauisch, eigensinnig
 hilfsbereit, altruistisch – ablehnend, egoistisch

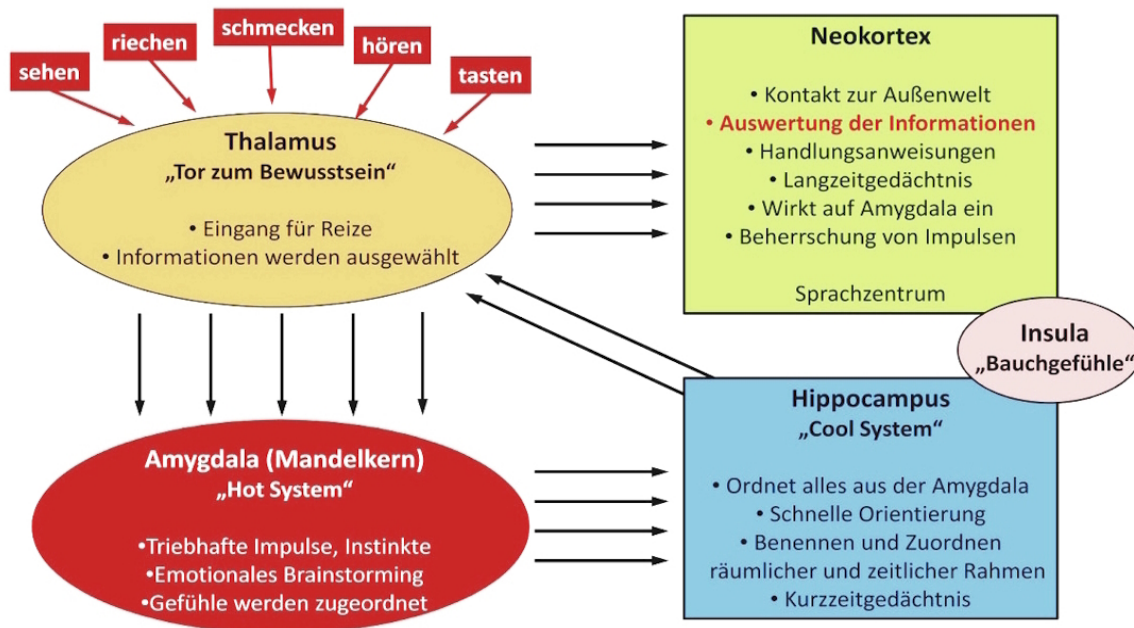
NF4, Gewissenhaftigkeit, Pflichtbewusstsein vs. Gewissenlosigkeit:

ordentlich – nachlässig
 verantwortungsvoll, zuverlässig – verantwortungslos, unzuverlässig
 gewissenhaft – skrupellos
 ausdauernd – wankelmütig

NF5, Offenheit für Neues vs. Verschlossenheit für Neues:

künstlerisch sensibel – künstlerisch unsensibel
 intellektuell offen – engstirnig, gedankenlos
 gewandt, vornehm – ungehobelt, rüpelhaft
 fantasievoll – einfältig, primitiv

[4.3] Die sechs psychoneuronalen Grundsysteme



Die emotionalen und motivationalen Merkmale der menschlichen Persönlichkeit werden hauptsächlich durch die Funktionsebenen des limbischen Systems bestimmt. In seinem Buch „Wie das Gehirn die Seele macht“ unterscheidet *Gerhard Roth* sechs psychoneurale Grundsysteme, welche in den neurobiologischen Strukturen des Gehirns verankert sind.

- (1) *Die Stressverarbeitung (STRE)*
- (2) *Das Beruhigungssystem (BERU)*
- (3) *Das Belohnungssystem (BELO)*
- (4) *Die Impulskontrolle (IMPU)*
- (5) *Das Bindungssystem (BIND)*
- (6) *Realitätsprüfung und Risikobewertung (REAL)*

Die individuellen Ausprägungen und die Interaktionen dieser Systeme sind bedingt durch die genetische Ausstattung und durch die frühkindlichen Lernerfahrungen des Menschen. Im Folgenden werden die Funktionalität der sechs psychoneuronalen Grundsysteme und deren Beziehungen zu den Persönlichkeitsmerkmalen erläutert.

[4.3.1] Die Stressverarbeitung (STRE)

Das Stressverarbeitungssystem soll es dem Organismus ermöglichen, auf körperliche und auch auf psychische Belastungen angemessen zu reagieren. Die **Stresstoleranz** gibt an, wie viel Stress ein Mensch vertragen kann.

Entscheidend bei der Stressreaktion ist das Zusammenspiel von Hypothalamus, Hypophyse und Nebennierenrinde (Adrena), die sogenannte **HPA-Achse**. Wirken starke Stressoren auf den Organismus, werden die wahrgenommenen Signale zuerst an Hypothalamus, Amygdala und Hippocampus weitergeleitet. Im Hypothalamus kommt es zur Produktion des Neuropeptids *CRF* (corticotropin-releasing-factor). Das CRF veranlasst die Hypophyse zur Ausschüttung des adrenocorticotropen Hormons (*ACTH*).

Das ACTH gelangt über den Blutweg in die Rinde der Nebenniere und führt dort zur Bildung und Freisetzung des Glukocorticoid-Hormons **Cortisol** in den Blutkreislauf. Dieses Hormon bewirkt eine vermehrte Bereitstellung von Zucker (Glukose) und somit eine erhöhte Energiezufuhr für die Muskelzellen. Der Zucker wird in den Muskelzellen als Brennstoff verwendet, welcher die Energie für die Muskelkontraktion liefert. So kann Flucht- oder Kampfverhalten gestartet werden („flight or fight“). Cortisol wirkt auch entzündungshemmend und immunsuppressiv.

Das **Cortisol** wirkt aber über den Blutweg wieder zurück auf das Zwischenhirn und bremst dort die weitere Produktion von CRF („negatives Feedback“).

Zusätzlich wird über den Sympathikus auch das Nebennierenmark angeregt, die Stresshormone **Noradrenalin** und **Adrenalin** auszuschütten, welche u.a. Herzfähigkeit und Blutdruck erhöhen.

Positive frühkindliche Bindungserfahrungen bewirken eine erhöhte Produktion des Hormons **Oxytocin**, eine vermehrte Ausschüttung von **endogenen Opiaten** und eine vermehrte Ausschüttung des Hormons *Serotonin*. Das alles führt zu einem emotionalen Wohlbefinden des Kindes.

Das **Oxytocin** hemmt die Freisetzung von **Cortisol** und es kommt zu einer verstärkten Stresstoleranz. Bei negativen frühkindlichen Bindungserfahrungen hingegen kommt es zu einer deutlich verminderten Stresstoleranz.

Menschen, die emotional instabil sind, die hohe Merkmalswerte in Neurotizismus und niedrige Werte in Extraversion aufweisen, zeigen folgende typische Stressverarbeitung: Ihre tägliche Normalkonzentration an Cortisol im Blut ist relativ hoch. Durch den negativen Feedback-Mechanismus des erhöhten Cortisols auf die HPA-Achse kommt es dann bei Belastungssituationen zu keiner angemessenen Stressantwort. Die betroffenen Menschen sind im Dauerstress und wenig belastbar.

Die Stresshormone wirken auf das vegetative Nervensystem und auf das Immunsystem und können bei Dauerstress zu *psychosomatischen Erkrankungen* führen. Als ein Beispiel sei die Gastritis (Entzündung der Magenschleimhaut) angeführt.

[4.3.2] Das Beruhigungssystem (BERU)

Das interne Selbstberuhigungssystem ist überwiegend durch den Neuromodulator **Serotonin** (5-Hydroxytryptamin, 5-HT) bestimmt. Das Serotonin, das vor allem in den Raphe-Kernen erzeugt wird, bewirkt über spezifische Rezeptoren eine allgemeine Beruhigung und Dämpfung. In diesem Sinne wirkt es auch auf das Stressverarbeitungssystem. Umgekehrt kann das Stresshormon Cortisol in hohen Konzentrationen die Ausbildung von Serotoninrezeptoren verringern.

Generell vermag ein Serotoninmangel emotionale Angespanntheit, Ängstlichkeit und Depression hervorzurufen. Ein stark erhöhter Serotoninspiegel in Kombination mit niedrigem Cortisolspiegel führt zu einer deutlichen Dämpfung der emotionalen Hirngebiete. Die davon betroffenen Menschen erscheinen gefühlsarm und antriebslos.

Das serotonerge Beruhigungssystem ist an fast allen Persönlichkeitsmerkmalen beteiligt. Ein niedriger Serotoninspiegel führt zum Überwiegen der Merkmale des Neurotizismus (Emotionale Instabilität, Ängstlichkeit, Depression, usw.).

[4.3.3] Das Belohnungssystem (BELO)

Eine grundlegende Motivation für unser Handeln ist Lust zu gewinnen und Unlust zu vermeiden (hedonistisches Prinzip). Bei der intercraniellen Selbststimulation (ICSS) werden Elektroden in das Gehirn so implementiert, dass sie auf Areale im *ventrolateralen Hypothalamus* zeigen. Die Versuchstiere (Ratten) können sich nun selbst stimulieren, indem sie mit einem mechanischen Hebeldruck den elektrischen Stromkreis schließen.

Die Reizung dieser Areale erzeugt starke Lustgefühle, welche durch Freisetzung von **Dopamin** und von **endogenen Opiaten** vermittelt werden. Bei solchen Versuchen (ICSS, intercranielle Selbststimulation) stimulieren sich die Tiere tausende Male pro Stunde bis zur völligen Erschöpfung. Bemerkenswert ist dabei, dass bereits nach einer kurzen Lernzeit von einigen Minuten jene Orte und jene Hebelmechanismen eingespeichert werden, welche die Lustgefühle auslösen. Damit ist aber auch die Funktionsweise der instrumentellen Konditionierung erklärt: Die in den Nervenzellen des Lustsystems freigesetzten Signalstoffe bewirken eine synaptische Verstärkung in den Leitungsbahnen jenes Verhaltens, welches die Lustgefühle auslöst. Diese Mechanismen spielen auch beim Suchtverhalten eine wichtige Rolle.

Einmal erfahrene Belohnungen erzeugen die Erwartung, dass bei einer Wiederholung des erfolgreichen Verhaltens das Lustgefühl neuerlich empfunden wird (Belohnungserwartung). Wichtige Neuronenkerne sind der *Nucleus accumbens*, der *ventrolaterale Hypothalamus* und die *Substantia nigra*, wo vorrangig Dopamin und auch endogene Opiate als Neuromodulatoren freigesetzt werden.

Bei der Einnahme von Dopamin-Antagonisten (*Neuroleptika*) werden die Dopaminrezeptoren und damit auch das Belohnungssystem blockiert. Dadurch wird die Wirkung der ICSS aufgehoben und es entstehen keine Lustgefühle (*Anhedonie*).

Bei der *Schizophrenie* ist in bestimmten Arealen des Gehirns ein übermäßig hoher Dopaminspiegel nachweisbar. Um die psychotischen Symptome der Schizophrenie zu dämpfen werden Dopamin-Antagonisten verabreicht. Als unerwünschte Nebenwirkung kommt es dann zur Anhedonie.

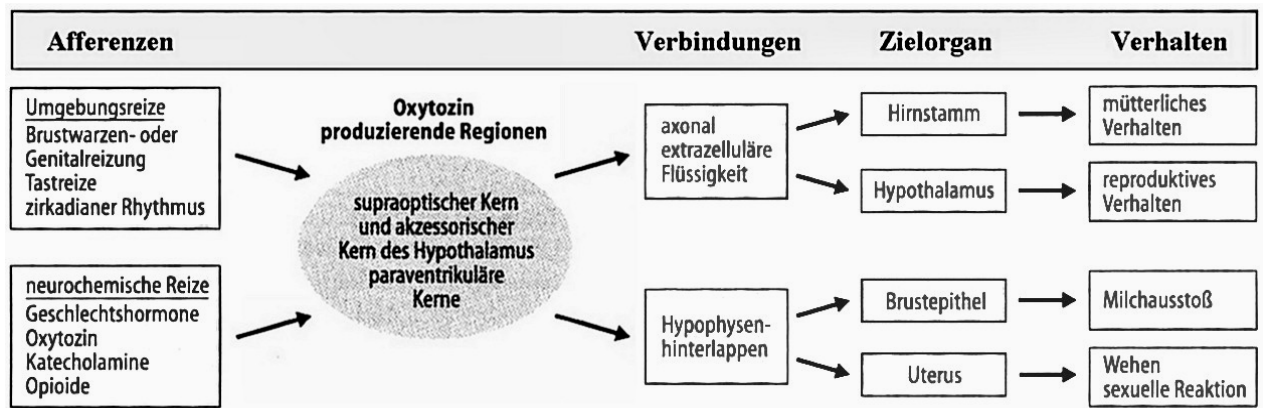
Bei der *Parkinsonschen Schüttellähmung* sind in der Substantia nigra die Dopamin produzierenden Zellen abgestorben, so dass dann in den Basalganglien ein deutlich verringerter Dopaminspiegel nachweisbar ist. Zur Therapie wird L-Dopa eingenommen, eine chemische Vorstufe von Dopamin, welche die Blut-Hirn-Schranke passieren kann und im Gehirn zu Dopamin umgebaut wird.

Einige bedeutsame Merkmale der *Extraversion* (gesprächig, gesellig, offen) und der *Kreativität* sind eng mit dem dopaminergen Belohnungssystem verbunden. Das *Borderline-Syndrom* und die *antisoziale Persönlichkeitsstörung* werden als eine Unterfunktion des endogenen Opiatsystems und des Serotoninsystems interpretiert.

[4.3.4] Das Bindungssystem (BIND)

Das Bedürfnis nach **sozialer Bindung** ist ein zentraler Trieb. Die Entwicklung des Bindungssystems im Gehirn beginnt in den ersten Wochen nach der Geburt, wenn der Säugling anfängt, seine Mutter anzulächeln und in vielfältiger Weise mit ihr zu interagieren. Hierbei spielt das Neuropeptid **Oxytocin** eine wesentliche Rolle. Dieses Hormon wird bei Wahrnehmung bestimmter physiologischer Reize im Hypothalamus erzeugt und über die Hypophyse in die Blutbahn ausgeschüttet und gelangt so zu den Zielorganen.

Die unterschiedlichen Funktionen von Oxytocin:



Das Bindungs-Hormon Oxytocin wirkt bei allen vertrauensvollen sozialen Kontakten. Es ist die Grundlage für das Mitgefühl (Empathie) und für das Fürsorgeverhalten. Das Bindungssystem steht in enger Beziehung zu dem Belohnungssystem und zu dem Beruhigungssystem. Die Wirkung des Oxytocins wird meistens begleitet von der Ausschüttung endogener Opiate, welche das Wohlfühl bei sozialen Kontakten vermitteln. Dabei kommt es auch zu vermehrter Ausschüttung von Serotonin, welches für den Beruhigungseffekt bei Bindungen zuständig ist.

Bei negativen, aversiven frühkindlichen Erfahrungen kommt es zu einer deutlich verringerten Produktion von Oxytocin. Das kann zu schwerwiegenden Störungen im späteren Sozialverhalten führen (*Bindungsunsicherheit*). Zusätzlich ist auch eine Verringerung der Stresstoleranz und der Impulskontrolle feststellbar.

Bei positiven frühkindlichen Erfahrungen hingegen kommt es zu einer vermehrten Oxytocinproduktion, wodurch sich *Bindungssicherheit* und ein mitfühlendes Sozialverhalten (Altruismus, Empathie) entwickeln. Auch können dann sozialer Stress besser bewältigt und die affektiven Impulse besser kontrolliert werden.

[4.3.5] Die Impulskontrolle (IMPU)

Die Säuglinge und die Kleinkinder erfahren in der Regel positive frühkindliche Inputs (Zuwendungen und Belohnungen) und bilden entsprechende Belohnungserwartungen aus. Sie dulden keinen Befriedigungsaufschub. Ihr Gehirn sagt: „Ich will alles, und zwar sofort!“. Doch dieser egozentrische Anspruch würde ein soziales Leben und damit auch das eigene Vorankommen erheblich behindern.

Daher müssen unbedingt Impulskontrolle (Impulshemmung), Belohnungsaufschub und auch **Frustrationstoleranz** vom ersten Lebensjahr an bis ins Erwachsenenalter hinein entwickelt werden – ein zumeist sehr mühsamer Prozess, der durch eine entsprechende Erziehung mit achtsamen, aber unmissverständlichen Grenzsetzungen unterstützt werden sollte.

Dass sich eine Impulshemmung ausbildet, beruht hirnanorganisch auf der Interaktion zwischen präfrontalem Cortex, cingulärem Cortex und Amygdala. Dabei wird die Dopaminfreisetzung verringert und gleichzeitig die Serotoninausschüttung erhöht, d.h. das Belohnungssystem wird gedämpft und das Beruhigungssystem wird aktiviert.

Unterschieden werden muss dabei zwischen *aktiver und reaktiver Impulsivität*. Die aktive Impulsivität ist mit hohen Werten in Extraversion und eher geringen Werten im Neurotizismus verbunden. Das Streben nach sozialer Akzeptanz und auch Dominanz, so wie die zwanghafte Gier nach Lustgewinn sind weitere Merkmale. Bei aktiver Impulsivität ist der Dopaminspiegel stark erhöht. Aktiv-impulsive Gewalttäter gehen oft auf die Suche nach möglichen Opfern, um ihren aggressiven Drang nach Gewaltausübung zu stillen.

Die reaktive Impulsivität geht mit niedrigen Serotoninwerten und hohen Cortisol- und Adrenalinwerten einher. Eine mangelnde Kontrolle der Affekte ist die Folge. Bei den reaktiv-impulsiven Gewalttätern ist bei einer Bedrohung die Impulskontrolle ausgeschaltet. Sie werden dann in vermeintlichen oder tatsächlichen Bedrohungssituationen gewalttätig. Sie weisen geringe Werte in Extraversion und hohe Werte im Neurotizismus auf.

[4.3.6] Realitätsprüfung und Risikobewertung (REAL)

Das psychoneurale System zur Realitätsprüfung und Risikobewertung entwickelt sich verstärkt nach dem dritten Lebensjahr, wenn sich die kognitiven Fähigkeiten des Gehirns (bewusste Aufmerksamkeit, systematisches Lernen und begriffliches Denken) allmählich ausbilden. Diese Funktionen sind an die beiden Transmitter *Acetylcholin* und *Noradrenalin* gebunden. Beteiligt sind dabei hauptsächlich die assoziativen sensorischen Areale der Großhirnrinde, wobei die Windungen im Stirnlappen eine wichtige Rolle spielen.

Das Gehirn konstruiert ein angemessenes Modell der Außenwelt (Realität), aber auch ein davon unterscheidbares Modell seiner Innenwelt (Selbstreflexion, Ichbewusstsein). So wie das Immunsystem lernt das Gehirn zwischen „selbst“ und „fremd“ zu unterscheiden und sich optimal zu verhalten.

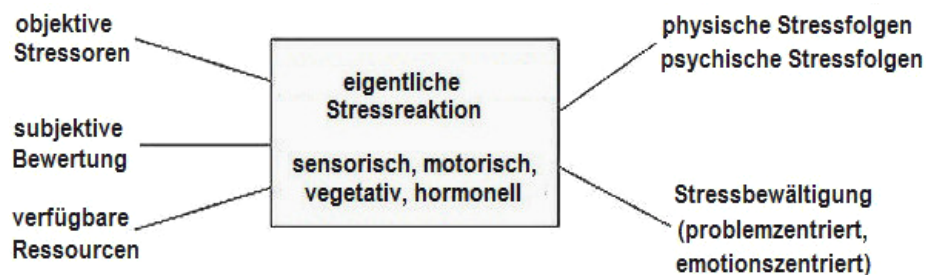
Dieses System entwickelt sich parallel zur Sozialisation sehr langsam und ist erst zu Beginn des Erwachsenenalters mehr oder weniger ausgereift. Das Erreichen des Erwachsenenalters ist entsprechend dadurch charakterisiert, dass junge Menschen langsam „zur Vernunft kommen“, reale Situationen richtig bewerten, ihre eigenen Kräfte richtig einschätzen, ihr eigenes und fremdes Verhalten kritisch analysieren und die Konsequenzen ihres Handelns bedenken.

Das Ergebnis von realitätsgerechter Risikoabschätzung im Leben ist nicht nur ein Gewinn an Sicherheit, sondern auch ein Gewinn an Selbstwirksamkeit. Dadurch kann sich dann ein gesundes Selbstbewusstsein entwickeln.

[4.4] Die Stressreaktion

Unter **STRESS** versteht man eine starke Belastung des Organismus. Die Stressursachen, auch *Stressoren* genannt, können in physische und psychische eingeteilt werden. Die Antwort des Organismus auf solche Belastungssituationen besteht in verschiedenen Anpassungsreaktionen zur Wiederherstellung des durch Stressoren gestörten Gleichgewichtes (Homöostase).

Die verschiedenen Folgen der Stressreaktion hängen nicht nur von den eigentlichen Stressoren ab, sondern auch von anderen Bedingungen, den Moderatorvariablen. Dazu zählt man vor allem die *subjektive Bewertung* des Stressors und auch die *Ressourcen*. Das sind jene Mittel, welche für die Stressbewältigung jeweils zur Verfügung stehen, beispielsweise die medizinische Versorgung, die soziale Unterstützung und auch persönliche Kompetenzen wie Belastungstraining oder Entspannungstechniken.



Häufige Stressoren: physische Bedrohungen, Verletzungen, Katastrophen, Krankheiten, zeitliche Hetze, optische Überreizung, Lärm, hässliche Umgebung, Gedränge, große Lebensveränderungen, kleine alltägliche Ärgernisse, Verlust, Tod, erlebte Hilflosigkeit, Erwartungsenttäuschungen (Frustrationen), Mobbing, akute oder chronische Konflikte, soziale Isolation.

Wenn im Experiment viele Ratten in einem engen Käfig eingesperrt werden, dann steigt die Konzentration der Hormone des Nebennierenmarkes (*Noradrenalin* und *Adrenalin*) im Blut auf das 10- bis 20-fache der Normalwerte. Auch die *Cortisol*-Ausschüttung der Nebennierenrinde ist deutlich erhöht. Dadurch wird eine Notfallreaktion des Körpers bewirkt (z. B. Beschleunigung der Herz-/Kreislauffähigkeit und Erhöhung des Blutzuckerspiegels zur Energielieferung).

Die gleichen vegetativen und hormonellen Veränderungen treten bei Menschen im Straßenverkehr auf, wenn sie schnell und häufig überholend mit dem Auto fahren.

Als weiteres Beispiel sei der *Schulstress* angeführt, den Schüler oftmals als sehr belastend erleben. Zu den objektiven Stressoren zählen dabei hohe Leistungsanforderungen, strenge Prüfungen und hochgesteckte Erwartungen durch das Elternhaus. Diese wirken besonders dann belastend, wenn es auch zur subjektiven Überbewertung schulischer Leistungsbeurteilung und Benotung kommt. Hilfreiche Ressourcen zur Stressbewältigung sind die verständnisvolle Unterstützung durch die Eltern (emotionszentriert), eine fachliche Nachhilfe (problemzentriert) und entspannender Ausgleich durch Sport oder ein Hobby.

Die Stressreaktion ist in der Natur durchaus biologisch sinnvoll: In Notsituationen wird eine erhöhte Freisetzung von Energiestoffen veranlasst, was zu einer effektiveren motorischen Reaktion (Kampf oder Flucht) führt. Die motorische Abreaktion braucht und verbraucht die freigesetzten Stoffe. Unsere zivilisierte Gesellschaft verhindert jedoch diese Aktivitäten. So ist der gestresste Autofahrer in seinem fahrenden Auto bewegungsuntätig eingesperrt. Bedrohten Ratten fehlt im Käfig die Fluchtmöglichkeit. Andauernder Stress und die zivilisationsbedingte Hemmung der motorischen Abreaktion bewirken, dass die verstärkte Freisetzung der Energiestoffe (Zucker, Fette) und die erhöhte Herz-/Kreislauffähigkeit dem Organismus schadet (*negative Stressfolgen*).

Das Stress-Modell von Hans Selye

(1) Die Alarmphase

Die *Stressoren* verursachen im Cortex und im limbischen System eine erhöhte Erregung. Eine Signalfut strömt zum *Hypothalamus* im Zwischenhirn. Von hier aus wird dann einerseits das *sympathische vegetative Nervensystem* stimuliert (Erhöhung der Pulsfrequenz und der Atemtätigkeit, Anregung des Nebennierenmarkes), und andererseits wird über die Hypophyse das *Hormonsystem* aktiviert (Anregung der Nebennierenrinde). Alarmbereitschaft des Organismus über die so genannte **HPA-Achse**: Hypothalamus (H) – Hypophyse (P) – Nebennierenrinde (A).

(2) Die Widerstandsphase

Die Anregung des Nebennierenmarks durch den Sympathikus bewirkt eine vermehrte Ausschüttung von *Adrenalin* und *Noradrenalin*. Durch das Hormon *Adrenalin* kommt es zu einer deutlichen Steigerung der Herzaktivität, einer Erhöhung des Blutdrucks und zur Mobilisierung der Fett- und Zuckerreserven. In der Nebennierenrinde wird *Cortisol* ausgeschüttet. Das Cortisol (ein Glukocorticoid-Hormon) aktiviert die Bildung von Kohlenhydraten, erhöht die Freisetzung von Zucker als Energielieferant, beeinflusst den Wasser- und Elektrolythaushalt und wirkt auch immun-suppressiv und entzündungshemmend. Notfallreaktion zur Abwehr der Stressoren.

(3) Die Erschöpfungsphase

Ohne entsprechende Regeneration tritt Erschöpfung (Entleerung der Ressourcen) oder Tod ein.

Beispiele von negativen Stressfolgen

Verminderung der psychischen Leistungsfähigkeit

Das Hormon Noradrenalin zeigt eine direkte, inhibitorische Wirkung auf die Synapsen im Hippocampus, die für das Gedächtnis wichtig sind. Zusätzlich schädigen hohe Dosen von Glukocorticoid-Hormonen (Cortisol aus der Nebennierenrinde) die Zellen des Hippocampus. Der Stress wird zur Ursache der so genannten *affektiven Gedächtnishemmung*.

Gastritis und Magengeschwüre

Die vermehrten Stresshormone bewirken eine verstärkte Säure-/Enzymproduktion in der Magenschleimhaut. Salzsäure und Pepsin greifen die Magenschleimhaut an (der Magen verdaut sich selbst). Folgen sind Gastritis (Entzündungen der Schleimhaut) und Ulcus (Geschwürbildungen).

Arteriosklerose (Verengung, Verhärtung, Verkalkung der Arterien)

Erhöhte sympathische Erregung verstärkt die Wandspannung bestimmter Blutgefäße. Fettmoleküle bleiben an der Wand hängen. Es kommt dann dort zur Ablagerung von Blutplättchen, Fibrin und auch Kalzium. Die Blutgefäße verengen sich dadurch und werden unelastisch und hart. Als Folge dieser Arteriosklerose kann es zum Verschluss von Blutgefäßen und zur Unterversorgung nachfolgender Gewebeteile kommen (z.B. Gehirnschlag, Angina pectoris, d.h. Enge der Herzkranzgefäße, Herzinfarkt). Anzeichen von Arteriosklerose ist ein geringer Unterschied zwischen diastolischem und systolischem Blutdruck (Zeichen für mangelnde Elastizität der Gefäßwände).

Herzinfarkt

Die Herzkranzgefäße (Coronargefäße) werden durch Arteriosklerose verengt. Durch zusätzliche vegetative Verkrampfung (erhöhte sympathische Erregung) bei psychischer Aufregung oder physischer Anstrengung kann es zum Verschluss von Herzkranzgefäßen kommen, und so zu mangelhafter Versorgung des Herzmuskels. Die Folgen sind ein ganzer oder teilweiser Ausfall der Herzfunktion und das Absterben (Nekrose) von Gewebeteilen des Herzmuskels.

Schwächung der Immunabwehr

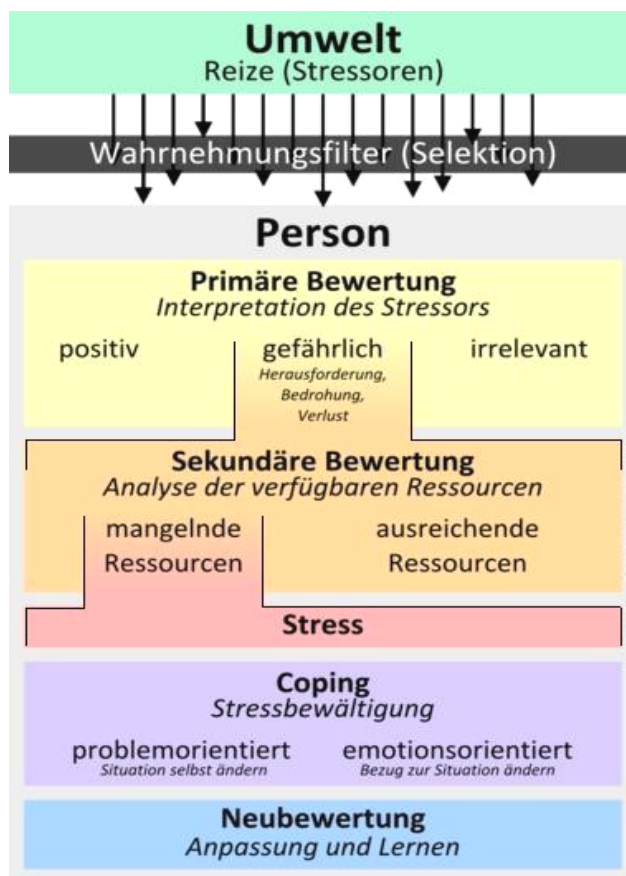
Das Nebennierenmark-Hormon Adrenalin bewirkt langfristig eine Reduzierung der Lymphozytenaktivität. Die Glukocorticoide (Cortisol) aus der Nebennierenrinde führen an den meisten Immunzellen zu einer Hemmung ihrer Immunfunktionen. Sie wirken immunsuppressiv.

Viele Untersuchungen zeigen, dass die Stressauswirkungen nicht nur von der *objektiven*, äußeren Situation abhängen, sondern vielmehr auch davon, wie das Individuum die (bedrohliche, gefährliche) Situation *subjektiv* erlebt. So können neue Herausforderungen (sportliche oder berufliche Aufgaben) als positiver Stress durchaus lustvoll erlebt werden (*Eustress* anstelle von *Distress*). Die wesentlichen Aspekte dabei sind *Einsicht*, *Kontrolle* und *Sicherheit*.

Je weniger ein Individuum in eine möglicherweise gefährliche Situation Einsicht hat und je weniger es darauf Einfluss nehmen kann, umso angstvoller, unsicherer und belastender wird die Situation erlebt. Ein Mangel an Wissen und an Kontrolle widerspricht dem natürlichen Streben nach Sicherheit und Geborgenheit. Diese *subjektiv erlebte Hilflosigkeit* bewirkt eine deutliche Verstärkung des Stress und seiner negativen Folgen.

Auch muss zwischen *akutem Stress* (Notfallreaktion) und *chronischem Stress* unterschieden werden. Die *posttraumatische Belastungsstörung (PTBS)* nach sehr starken traumatischen Ereignissen (Krieg, Flugzeugabsturz, Vergewaltigung, usw.) kann nach Wochen oder Monaten in ein chronisches Leiden übergehen.

Das Stress-Modell von Richard Lazarus



Stress-Reize werden wahrgenommen und negativ (gefährlich, bedrohend) bewertet. Nur dann, wenn keine Abwehr-Ressourcen ausreichend zur Verfügung stehen, werden sie emotional belastend als Stress erlebt.

Bei der *Bewältigung von Stress* (coping) werden zwei Formen unterschieden:

Bei der *problemzentrierten* Bewältigung stehen die Problemlösung und die Beseitigung der Stressursachen im Mittelpunkt.

Bei der *emotionszentrierten* Bewältigung wird versucht, nicht die Stresssituation, sondern die daraus folgenden Gedanken und Gefühle zu verändern. Nicht die Dinge, sondern die Einstellungen zu den Dingen werden geändert – durch Entspannungstechniken und/oder durch Neubewertungen der Situation.

Hilfreich ist dabei immer die Unterstützung durch die Umwelt (*social support*). Einsame Menschen sind stets gefährdeter als sozial verankerte Menschen.

[4.5] Psychosomatik

Unter *Gesundheit* versteht man das körperliche und seelische Wohlbefinden. *Krankheit* kann ganz allgemein als ein Fehlen von Gesundheit definiert werden. Die Ursachen für ein nicht vorhandenes Wohlbefinden sind vielfältig:

- *durch Unfälle oder durch Schadstoffe verursachte Verletzungen*
- *durch Erreger (Bakterien, Viren) bedingte Infektionskrankheiten*
- *vererbte Krankheiten*
- *durch psychosoziale Belastungen erzeugte organische Funktionsstörungen*

Interessant ist die Statistik der *häufigsten Todesursachen*. Die bedeutendste Todesursache in der westlichen Industriegesellschaft ist der ungesunde Lebensstil der Menschen. Übergewicht, falsche Ernährung, Rauchen, erhöhter Alkoholkonsum, Autofahren ohne Sicherheitsgurt, ein wahlloser Geschlechtsverkehr ohne Schutz und ein stressreiches Leben - alle diese Faktoren spielen eine wichtige Rolle bei Herzkrankheiten, Krebs, Schlaganfällen, Aids, usw. Schätzungen zufolge ist fast die Hälfte aller Todesfälle das Resultat von ungesunden Lebensgewohnheiten.

Die *Psychosomatik* beschäftigt sich mit den Wechselwirkungen von psychischen Befindlichkeiten, sozialen Situationen und körperlichen (somatischen) Zuständen. Unter einer psychosomatischen Krankheit im engeren Sinne versteht man eine Erkrankung, die unter belastenden psychosozialen Lebenssituationen verschiedener Art auftreten kann. *Was kränkt, macht krank*. Solche kritische Lebensereignisse sind: Tod, Erkrankung, Verlust eines geliebten Menschen, Scheidung, Trennung, Mobbing, Kündigung, Unfall, usw.

Von zentraler Bedeutung für das Zusammenspiel von Psyche und Soma sind:

- *die Großhirnrinde (bewusstes Erleben, Kognition)*
- *das limbische System (Gefühle, Emotionen)*
- *das vegetative Nervensystem (Sympathikus, Parasympathikus)*
- *das endokrine System (Hormone)*
- *das Immunsystem (Infektionsabwehr)*

Konflikte und Stress bewirken immer eine erhöhte intrapsychische Anspannung. Die Blockierung der Abfuhr nervöser Erregungsenergie und das Ausbleiben einer entspannenden Reaktion führen dann zu psychosomatischen Symptomen. Hinter diesen Symptomen steht zumeist kein echter organischer Defekt. Sie sind durch Fehlsteuerungen des vegetativen Nervensystems und des Hormonsystems bedingte Funktionsstörungen der Organtätigkeit, welche als Reaktionen auf psychosoziale Belastungssituationen auftreten können. Siehe „*Stressreaktion*“ in Kapitel [3.10].

Der Zusammenhang von Leib und Seele spiegelt sich in der Alltagssprache wider (Krankheit als Sprache der Seele):

*Das Herz schlägt mir bis zum Hals.
 Mein Hals ist wie zugeschnürt.
 Das liegt mir im Magen.
 Da bleibt mir die Luft weg.
 Ich habe eine Wut im Bauch.*

.....

Wichtiger Hinweis: Der Begriff „*Seele*“ wird hier als Synonym für „*Psyche*“ verwendet !

Psychosomatische Erkrankungen sind meistens *nicht eindimensional* zu erklären, sondern *multikausal* (mehrfach verursacht bzw. mehrfach bedingt). Oft liegen die tieferen Ursachen für psychosomatische Erkrankungen in einer gestörten Eltern-Kind-Beziehung in der Primärgruppe (Elternhaus). Häufig reagieren Mutter/Vater ihr eigenes, nicht verarbeitetes Konfliktgeschehen am Kind ab, anstatt das Kind als selbständiges Individuum zu respektieren. Das Kind wird nicht als Selbstzweck geachtet, sondern als Mittel missbraucht. Zwei Fehlentwicklungen lassen sich grundsätzlich unterscheiden:

(a) *Emotionaler Rückzug* oder auch *Ablehnung* durch Mutter/Vater bewirken eine Blockierung in der Entfaltung des Grundstrebens nach Beschützt- und Geliebt-Werden (Bindungsbedürfnis, Regulation über Parasympathikus und Oxytocin).

(b) *Zwanghafte Kontrolle* oder auch *übertriebene Besorgtheit* durch Mutter/Vater bewirken eine Blockierung des Grundstrebens nach Freiheit, Kreativität und Aggressivität (Autonomiestreben, Regulation über Sympathikus und Stresshormone).

In beiden Fällen (Vernachlässigung oder Überbehütung) kommt es zur Unterdrückung von Gefühlsregungen und zur Einengung des Verhaltensspielraums. Die Folge sind ein verringerter Selbstwert und eine mangelhafte Selbstwirksamkeit. Es entsteht eine Diskrepanz zwischen dem realen Erleben und den subjektiven Erwartungen. („Ich kann das nicht haben, was ich haben will.“ „Ich kann das nicht sein, was ich sein will.“). Daraus resultieren Konflikte und eine erhöhte intrapsychische Spannung, wodurch es zu Störungen im vegetativen Nervensystem, im Hormonsystem und Immunsystem kommen kann. Siehe dazu auch „*Psychoneuroimmunologie*“ im Kapitel [3.13].

Wenn keine Konfliktlösung und keine Spannungsreduktion erfolgen, dann können daraus rückbildbare, funktionelle Organstörungen entstehen. Werden diese chronisch, verringert sich die Möglichkeit der Symptomrückbildung. Beispiele für psychosomatische Erkrankungen sind Immunschwäche und Infektionsanfälligkeit, hoher Blutdruck, Arrhythmien der Herztätigkeit, Gastritis und Magengeschwüre, usw.

Beispiel: Herzerkrankung

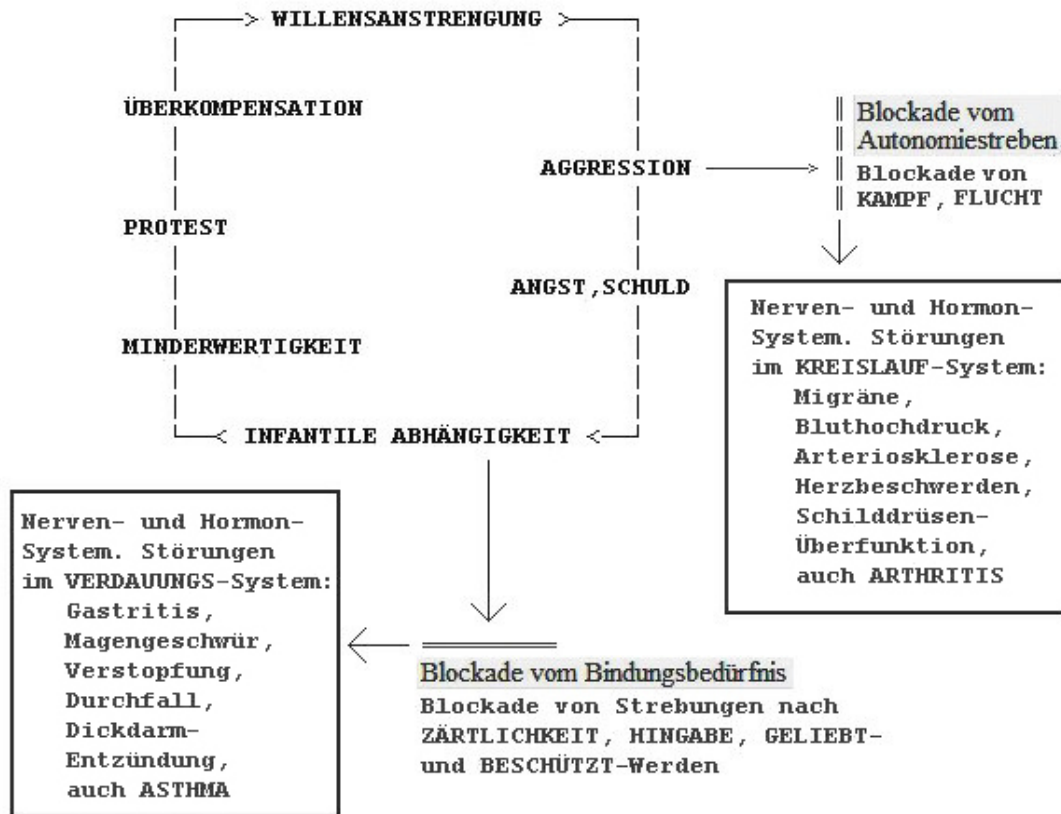
Leistungsmäßige Dauerbelastung (chronischer Stress) bewirkt über das vegetative Nervensystem (Sympathikus) eine erhöhte Wandspannung der Blutgefäße und damit eine Verengung der Gefäße und Bluthochdruck. Bei zusätzlicher falscher Ernährung und bei Bewegungsarmut sind die Grundlagen für eine Verengung und Verhärtung der Blutgefäße (*Arteriosklerose*) geschaffen. Die Verengungen und Verhärtungen von Blutgefäßen führen auch zu einer mangelnden Versorgung des Herzmuskels. Bei *Angina pectoris* (Brustenge) schreit das Herz aus Leibeskräften um Sauerstoff bzw. um Hilfe.

Stress verstärkt u.a. die Gerinnungsfähigkeit des Blutes, wodurch die Thrombosegefahr steigt. Kommt es dann dabei zum Verschluss eines Herzkranzgefäßes, so erhält das dahinter liegende Gewebe des Herzmuskels kein Blut und keinen Sauerstoff mehr und stirbt ab (*Herzinfarkt*). Unser Herz braucht Zuwendung und Achtsamkeit. Die Herzensangelegenheiten benötigen Anerkennung und Geduld. Werden sie nicht gewährt, wird das Herz krank und stirbt.

Der deutsche Psychiater **Franz Alexander** (1950) beschreibt in seinem Werk über die psychosomatische Medizin die "*holy seven*" der psychosomatischen Erkrankungen: peptisches Magengeschwür, bronchiales Asthma, Bluthochdruck, rheumatische Arthritis, Migräne, Colitis ulcerosa und Neurodermitis.

Das psychosomatische Basismodell von Franz Alexander

Franz Alexander hat 1950 ein Grundmodell der Psychosomatik entwickelt. Es werden mögliche gegenseitige Zusammenhänge von emotionalen Erlebniszuständen und organischen Symptomen dargestellt. Das Modell beschreibt eine Abfolge von Befindlichkeiten, die aus dem Zustand der *kindlichen Abhängigkeit* erwachsen und, falls keine *befreiende Abreaktion* erfolgt, wieder in diesen Zustand zurücktreiben.



Das schematische Modell von *Franz Alexander* muss aus heutiger Sicht in der Weise relativiert werden, dass die Beziehungen zwischen seelischen und körperlichen Zuständen nicht einfach und monokausal sondern komplex und multikausal gesehen werden. Biologische und auch soziale Bedingungen sind miteinzubeziehen. Ein derart modifiziertes, **biopsychosoziales Modell** leistet dann durchaus gute Dienste zur Erklärung von Krankheitsverläufen. Auch viele Erkenntnisse der modernen Schematherapie sind hier bereits vorweggenommen.

Dieses Modell mit seinen möglichen Abfolge-Zuständen gilt aber nicht nur für die Abhängigkeit des Kindes von Mutter/Vater, sondern es kann auch auf verschiedene andere Abhängigkeits-Situationen übertragen werden.

Abhängigkeit der Frauen von den Männern

(Protest = Emanzipation, Aggression = Scheidung)

Abhängigkeit der Arbeitnehmer von den Arbeitgebern

(Protest = Streik, Aggression = Klassenkampf)

Im Falle der materiellen und emotionalen Abhängigkeit des Kindes von den Eltern (infantile Abhängigkeit) läuft der Protest zunächst immer narzisstisch ab, d.h. nur ICH-bezogen. Es kann sich daraus aber auch ein solidarischer Protest entwickeln, d.h. mehrere Individuen kämpfen für dieselbe Sache.

Das psychosomatische Kettenmodell (Rudolf & Henningsen, 2013):

In einem Experiment stellte McKay 1991 zwei Gruppen von Versuchspersonen (Vpn) zusammen. Die Vpn in der ersten Gruppe hatten negative Einstellungen zu sozialen Beziehungen und waren misstrauisch und ängstlich. Die Vpn in der zweiten Gruppe hatten positive Einstellungen zu sozialen Beziehungen. Beiden Gruppen wurde ein Videofilm über eine gefühlsbetonte zwischenmenschliche Situation gezeigt (Mutter Theresa bei der Versorgung von Waisenkindern). In einer nachfolgenden Untersuchung wurde das Immunglobulin A im Speichel gemessen. Dabei zeigte die Negativ-Gruppe eine deutliche Verschlechterung der Immunwerte. Die Positiv-Gruppe jedoch zeigte eine deutliche Verbesserung der Immunwerte. Diese und ähnliche Befunde führen zu folgender **psychosomatischen Kette** bei der Entstehung von psychosomatischen Erkrankungen:

- *Konfliktvolle Beziehungserfahrung in der Lebensgeschichte*
- *Verinnerlichung dieser Erfahrung*
- *Erhöhte Stressbereitschaft*
- *Ängstlich-misstrauische Beziehungserwartung*
- *Aktualisierung der negativen Erwartung und Stress in Beziehungssituationen*
- *Verschlechterung der Immunlage*
- *Erhöhte körperliche Krankheitsanfälligkeit*

Die **konservative Schulmedizin** ist dem Kausalitätsprinzip verpflichtet und sucht für ein vorliegendes Krankheitsgeschehen immer bestimmte Ursachen, als deren Folge sie die Krankheit versteht. Das erklärte Ziel der Schulmedizin ist die radikale Bekämpfung und Beseitigung der Krankheit. Diese wird als Feind angesehen, welcher vernichtet werden muss, und zwar möglichst schmerzfrei und ohne viel Mühe und Anstrengung für den Patienten.

Eine **alternative Sichtweise** von Krankheit, welche über die konservative Schulmedizin hinausgeht, hinterfragt die individuelle (Lebens-) Situation des Patienten, welche sich hinter und unter der Symptomboberfläche verbirgt. Gefragt wird nach der subjektiven Bedeutung der Krankheitserscheinung. Was bedeutet die Krankheit in der individuellen Lebensgeschichte des Patienten? Die Schulmedizin beschränkt sich aus vielerlei Gründen auf die körperliche Ebene und erbringt im Reparaturbereich großartige Leistungen. Eine alternative Medizin aber wagt mehr, sie richtet ihr Augenmerk auf den untrennbaren Zusammenhang von Körper und Seele (Psyche). Eine alternative Medizin geht davon aus, dass nicht der Zufall das Organ bestimmt, das erkrankt und leidet, sondern die Auswahl kann man als ein Symbol verstehen.

Körper und Seele können sich wechselseitig darstellen und wechselseitig erklären. Diese Beziehung kann sich bei jedem Menschen anders äußern. Die individuelle Umwandlung eines seelischen Konfliktes in ein körperliches Symptom bezeichnet man als *Konversion*. Diese erfolgt unbewusst und dient der Vermeidung des unangenehmen Konfliktes. Als Patient kann man sich vier Grundfragen stellen:

- *Warum wird gerade dieses Organ krank und nicht ein anderes ?*
- *Warum tritt die Störung gerade zu diesem Zeitpunkt auf ?*
- *Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Störung und bedeutsamen Lebensveränderungen bzw. schweren Konflikten?*
- *Was verbinde ich mit diesem Organ, welche Bedeutung hat es für mich ?*

Der Patient sollte versuchen bei der sprachlichen Beschreibung (und auch bei der bildlichen Imagination) seiner Krankheiten und Beschwerden deren Bedeutungen für sein Leben zu erkennen und auch jene tieferen Emotionen wahrnehmen, die bisher fremd und unzugänglich waren und sich nur organisch ausdrücken konnten.

[4.6] Psychoneuroimmunologie (PNI)

Klassische Konditionierung des Immunsystems

Dass sogar das Immunsystem durch Konditionierung lernen kann, beweist ein grundlegendes Experiment von Robert Ader und Nicholas Cohen (1975), welches den Anfang der PNI darstellt.

- *Bei Ratten führt das chemisch hochwirksame Cyklophosphamid zu einer Unterdrückung des Immunsystems. Nach mehreren Versuchen mit gleichzeitiger Gabe des Süßstoffes Saccharin, erfolgt die Immunsuppression dann auch auf den Süßstoff allein.*

Zusammenspiel von Psyche und Immunsystem

Als ein Beispiel für den Zusammenhang von Psyche und Immunsystem sei der Zustand der „erlernten Hilflosigkeit“ angeführt:

- *Bei mehrmals erlebter Hilflosigkeit wirken depressive Emotionen auf das Stresssystem und erzeugen u.a. eine vermehrte Ausschüttung von Cortisol. Dieses Hormon bindet sich dann an die Lymphozyten und bewirkt eine nachweisbare Schwächung des Immunsystems, was zu einer erhöhten Anfälligkeit für Infektionskrankheiten führt.*

Zwischen Zentralnervensystem, Hormonsystem und Immunsystem gibt es zahlreiche Wechselwirkungen. Zentralnervöse Prozesse können immunologische Reaktionen auf vielfältige Weise beeinflussen, und diese Immunantworten wirken auf zentralnervöse Prozesse zurück. Emotionen, Kognitionen, Verhaltenstendenzen einerseits und Immunreaktionen andererseits beeinflussen sich gegenseitig. Diese Interaktionen werden über das vegetative Nervensystem bzw. über signalgebende Stoffe (Neurotransmitter, Zytokine, Hormone) vermittelt.

Elektrische Reizungen im Hypothalamus modifizieren die Immunaktivität. Umgekehrt treten bei verstärkter Immuntätigkeit im Hypothalamus spezifische Aktivierungsmuster auf. Immunzellen nehmen biochemische Signale über spezifische Rezeptoren auf und produzieren ihrerseits Signalstoffe, um Informationen weiterzugeben. Sowohl das Zentralnervensystem als auch das Immunsystem sind über alle psychophysiologischen Prozesse im Körper informiert und tauschen sich darüber aus. Dabei ergibt sich ein „Beziehungsdreieck“ der Kommunikation:

- *Nervenzellen wirken über Transmitter auf Immunzellen und Hormonzellen.*
- *Immunzellen wirken über Zytokine auf Nervenzellen und Hormonzellen.*
- *Hormonzellen wirken über Hormone auf Nervenzellen und Immunzellen.*

Studien von **Robert Dantzer** (2007) an Menschen, die an Krebs und Hepatitis C erkrankt sind, beweisen, dass die von den Immunzellen erzeugten, entzündungsfördernden chemischen Signalstoffe (Zytokine) über die Aktivierung von zentralnervösen Kernen im Hypothalamus depressionsähnliche Beschwerden hervorrufen (sickness behavior): emotionale Verstimmtheit, Antriebsminderung, sozialer Rückzug, Konzentrationsstörungen, Erschöpfung, Appetitverlust und Schlafstörungen.

In umgekehrter Richtung werden unter *emotionalen Belastungen (Stress)* immunologische Prozesse durch Stresshormone verändert. So kann das *Adrenalin* aus dem Nebennierenmark innerhalb kürzester Zeit einen Anstieg der Killerzellenaktivität bewirken, langfristig jedoch kann es über Aktivierung von T-Hemmzellen die Immunabwehr reduzieren.

Bei *Stress, Angst, Depression und Hilflosigkeit* werden die Immunfunktionen auch durch die erhöhte Hormonproduktion von *Cortisol* aus der Nebennierenrinde langfristig geschwächt. Dabei werden die Reaktivität der Lymphozyten und die Aktivität der natürlichen Killerzellen deutlich vermindert.

Die **Psychoneuroimmunologie (PNI)** befasst sich mit Zusammenhängen zwischen spezifischen Lebenssituationen, psychischem Befinden, Persönlichkeitsmerkmalen und dem Immunstatus. Die kanadische Psychologin **Janice Kiecolt-Glaser** und der Immunologe **Ronald Glaser** untersuchten Menschen, die verschiedene Belastungen durchlebten, und konnten immunologische Veränderungen bei ihnen nachweisen. So wurde eine Abnahme der Killerzellen- und Helferzellenaktivität bei Medizinstudenten während längerer Prüfungszeiten festgestellt. Von großer Bedeutung für den Immunstatus scheint auch die Qualität der zwischenmenschlichen Beziehungen und das Ausmaß sozialer Unterstützung zu sein: Bei Studenten, die sich einsamer fühlten als ihre Kollegen, war die Killerzellenaktivität deutlich vermindert.

Nach *Trennungen und Verlustserfahrungen* ist das Risiko, an Infektionen oder auch Krebs zu erkranken, erheblich erhöht. Für spezifische Phasen der Trauerreaktion und für Depressionen wurden Schwächungen der Immunfunktion nachgewiesen. Mehrere Untersuchungen an Familienangehörigen und Betreuern von Patienten, die an der *Alzheimerkrankheit* litten, zeigten, dass sie sich im Vergleich zu Kontrollpersonen belasteter und depressiver fühlten und ihre Immunfunktionen deutlich schwächer waren. Dies trifft auch auf Betreuer anderer Schwerkranker zu.

Von besonderer Bedeutung für Störungen der Immunfunktion scheinen gelernte Reaktionen auf belastende oder traumatische Situationen zu sein, welche dem Menschen das Gefühl geben, dass sein Handeln sinnlos ist, und dass er unfähig zur aktiven Kontrolle der einwirkenden aversiven Reize ist (*erlernte Hilflosigkeit*). Verschiedene Forscher haben aber auch darauf hingewiesen, dass nicht alle Menschen auf Lebensbelastungen mit Störungen der Immunfunktionen reagieren. Wichtiger als die objektiv feststellbaren Stressursachen (Stressoren) scheint die *subjektiv-emotionale Bewertung der Belastungssituation* zu sein: Einerseits das Ausmaß erlebter Feindseligkeit, Angst, Hilflosigkeit, Einsamkeit, Depression und andererseits das optimistische Vertrauen, die Belastung bewältigen zu können.

Zusammenhänge zwischen Immunstatus und aktiver bzw. passiver Krankheitsbewältigung wurden bei Krebspatienten beobachtet. **Sandra Levy** (1984) untersuchte 75 Brustkrebs-Patientinnen nach deren Brustoperation. Sie kontrollierte jeweils die Aktivität der Killerzellen, die eine besondere Rolle bei der Beseitigung abnormer Zellen spielen. Parallel erhob sie psychologische Daten und ermittelte, wie die Frauen sich mit ihrer Krankheit auseinandersetzten. Sie stellte dabei fest, dass die Aktivität der Killerzellen bei denjenigen Frauen besonders verringert war, die passiv und depressiv reagierten.

In anderen Studien gingen **Kiecolt & Glaser** (1988) der Vermutung nach, dass die offene Auseinandersetzung mit belastenden Erfahrungen sich günstiger auf das psychophysiologische Befinden auswirkt als die zudeckenden Vermeidungs- und Verdrängungs-Reaktionen. Es liegen mehrere Untersuchungen vor, die sich mit Interventionen zur Beeinflussung der Immunfunktion befassen. Einige Studien deuten darauf hin, dass *Entspannung* einen sehr günstigen Einfluss hat. **Kiecolt & Glaser** untersuchten die Killerzellenaktivität bei alten Menschen im Zusammenhang mit einem dosierten *Entspannungstraining* und verglichen die Effekte mit einer Kontrollgruppe. Die alten Menschen, die einen Monat lang dreimal wöchentlich eine Entspannungsübung durchführten, entwickelten eine deutlich höhere Killerzellenaktivität, das heißt, sie verbesserten ihren Immunstatus.

Bei achtsamen *Entspannungsübungen* wird der Sympathikus heruntergeschraubt. Der Sympathikus ist jener Teil des vegetativen Nervensystems, welcher u. a. den Blutdruck erhöht und das Immunsystem in einen Entzündungszustand versetzt. Ist der Sympathikus beruhigt, sinkt u. a. der Blutdruck und die Entzündung wird abgeschwächt. Gleichzeitig verstärkt zusätzlich der Parasympathikus seine Tätigkeit. Dasselbe betrifft die HPA-Achse (Hypothalamus, Hypophyse und Nebennierenrinde): Es wird weniger Cortisol ins Blut ausgeschüttet, wodurch das Immunsystem wieder in eine normale Balance zurückkehrt.

Weitere Studien zeigen auf, dass die Immunabwehr durch bildhafte Vorstellungsübungen (*Visualisierungen* und *Imaginationen*) positiv beeinflusst werden kann: **John Schneider** und seine Mitarbeiter (1983) leiteten gesunde Studenten unter Entspannung zur Imagination spezifischer Fresszellenaktivitäten an. Die Teilnehmer sollten sich vorstellen, wie die Fresszellen die Blutbahn verlassen und Abfallprodukte im Körpergewebe beseitigen. Die Effekte der Visualisierung und Imagination wurden durch Blutuntersuchungen vor und nach der Übung überprüft, um festzustellen, ob sich die Anzahl der Fresszellen im Blut der Teilnehmer tatsächlich verringert hatte. Es wurde, auch bei Wiederholungen des Versuchs, ein signifikantes Absinken der Fresszellenanzahl im Blut nach der Imagination gemessen, d.h. diese Vorstellungen veranlassten die Fresszellen, aus dem Blut in das Gewebe überzutreten und dort ihre Aktivitäten zu entfalten.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Studie von **Gruber und Mitarbeitern** (1988), wo Krebspatienten über ein Jahr lang regelmäßig Imaginationen zum Immunsystem durchführten. Dabei erhöhte sich die Anzahl der T-Lymphozyten deutlich.

Neben den Techniken der *Entspannung*, *Imagination* und *Meditation* gibt es auch mehrere positive psychische Einflussfaktoren auf die Immunabwehr. Dazu zählen:

- *Optimistische Lebenseinstellung*
- *Selbstwert und Selbstwirksamkeit*
- *Sichere soziale Bindungen*
- *Angenehme Gefühle (Dankbarkeit, Fröhlichkeit, Begeisterung)*

Diese positiven emotionalen Faktoren stärken nachhaltig das Immunsystem, wobei vor allem die entzündungsfördernden Zytokine im Blut gesenkt werden. So wirkt sich psychisches Wohlbefinden günstig auf die mit dem Altern verbundenen Entzündungs- und Abbauprozesse aus. Das Gleiche gilt für religiöse Menschen mit häufigen Kirchenbesuchen. Ihr positiver Glaube stärkt ihre Widerstandskraft und führt zu einer signifikant höheren Lebenserwartung.

Diese psychoimmunologischen Erkenntnisse geben einen Einblick in das differenzierte Zusammenspiel zwischen psychischer und körperlicher Abwehrkraft. Sie zeigen auch, wie wichtig es ist, über lebensgeschichtlich erlernte Ängste, Depressionen und Hilflosigkeiten offen zu sprechen, sie aufzuklären und sie zu überwinden.

Von großer Bedeutung für die psychosomatische Widerstandskraft sind vor allem das Vertrauen in die eigene Wirksamkeit, die Überwindung von passivem Vermeidungsverhalten und ein allgemeines Wohlbefinden. Über Imaginationen zum Immunsystem können solche persönlichen Haltungen zur Abwehr von Bedrohungen und Belastungen bewusst zugänglich gemacht werden, man kann sie erkunden und neue Strategien überlegen und durchspielen. Optimismus, soziale Verankerung, sowie Selbstvertrauen und Selbstwirksamkeit sind wichtig für die (Selbst-) Heilung von Krankheiten.

[4.7] Neurobiologie und Psychotherapie

[4.7.1] Das Zwei-Phasen-Modell

Aus neurobiologischer Sicht ist es faktisch nicht möglich, dass durch eine Psychotherapie eine vollständige Reparatur oder ein Ersatz von fehlerhaften Hirnstrukturen erreicht wird. Erreicht werden können eine Vermehrung oder Verminderung von Neurotransmittern (bzw. Neuromodulatoren) und deren Rezeptoren. Erreicht werden können auch eine Vermehrung von Synapsen und sogar eine Neubildung von Nervenzellen. Durch psychotherapeutische Methoden, die gezielt diese *Neuroplastizität* ausnützen, ist es möglich, die psychische Befindlichkeit und das Verhalten der Patienten zu ändern und ihr Leiden erträglicher zu gestalten.

Allen verschiedenen Psychotherapien gemeinsam ist die Bildung einer *therapeutischen Allianz* zwischen Patient und Therapeut, d.h. eine positive emotionale und kognitive Beziehung zwischen den beiden. Diese ist therapeutenseitig gekennzeichnet durch fachliche Kompetenz, Mitgefühl (Empathie), Ermutigung, Verlässlichkeit und dem Willen zu helfen. Seitens des Patienten sind es Vertrauen, Akzeptanz und der Wille sich helfen zu lassen.

In dieser *ersten Phase der Therapie* wird dann auf neurobiologischer Ebene zuerst das *Bindungssystem* aktiviert. Dabei kommt es zu einer starken Erhöhung des Oxytocinspiegels. Dadurch werden das Belohnungssystem mit vermehrter Freisetzung von endogenen Opiaten und das Beruhigungssystem mit erhöhter Ausschüttung von Serotonin aktiviert. Jedoch wird das Stresssystem mit seinen Stresshormonen, insbesondere dem Cortisol aus der Nebennierenrinde deutlich gehemmt. Durch diese Mechanismen kommt es bei leichteren psychischen Störungen zu einer schnellen, kurzfristigen Besserung des psychischen Leidens. Die Ursachen und Folgen einer tiefergreifenden (frühkindlichen) Traumatisierung werden dadurch aber nicht berührt.

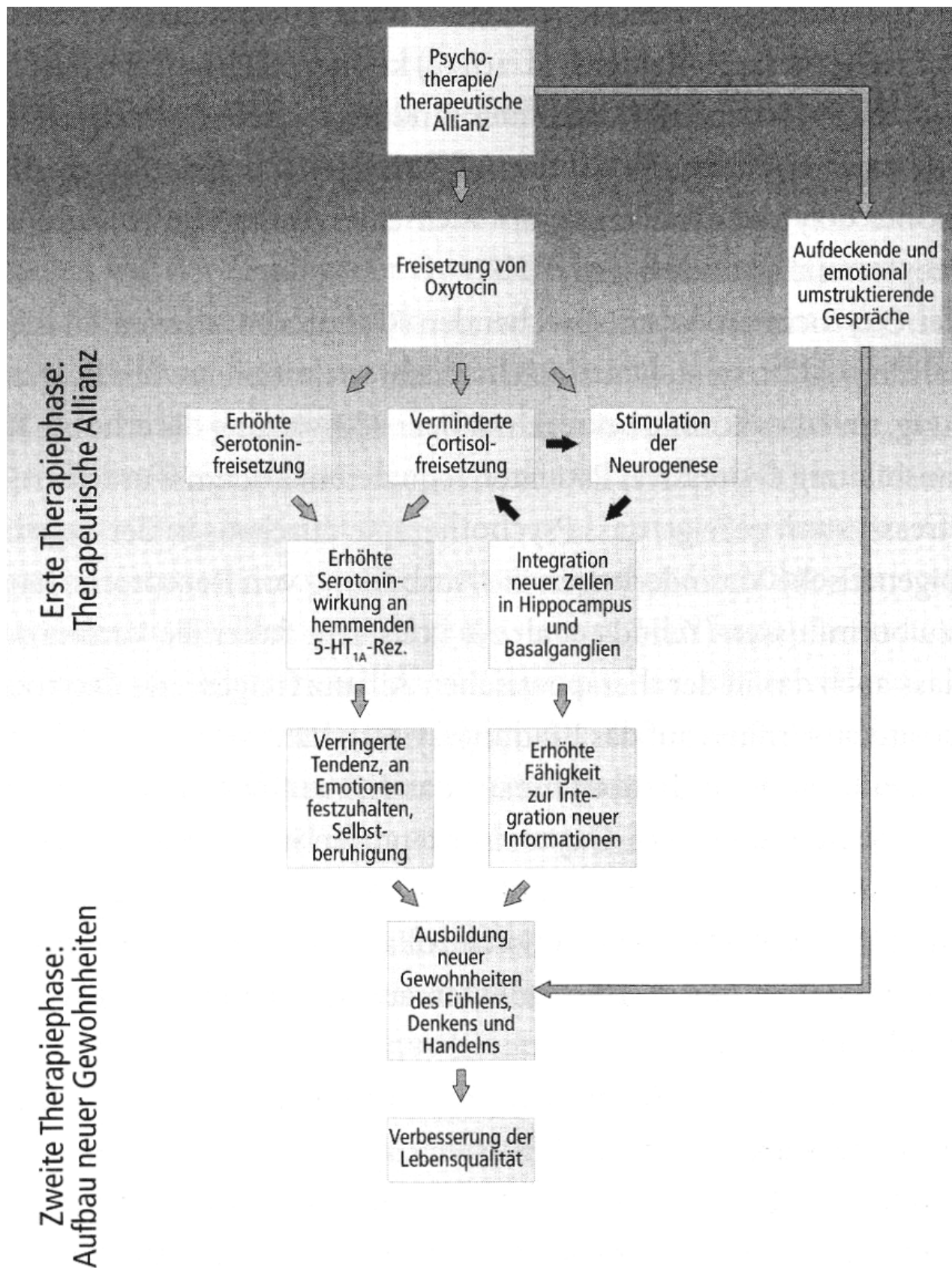
Aufbauend auf dieser ersten Phase, in welcher die oben beschriebenen neurobiologischen Mechanismen gestartet werden, folgt die *zweite Phase der Therapie*. Das Ziel ist nun eine nachhaltige Besserung des Leidens. In dieser mühsamen und langwierigen Phase geht es um das Ändern von tief eingegrabenen Gewohnheiten des Fühlens, Denkens und Handelns. Diese sind im Gehirn in den Assoziationszentren der Großhirnrinde und im limbischen Amygdala-Hippocampus-System und vor allem in den Basalganglien (Striatum und Pallidum) lokalisiert.

Durch eine anhaltende Allianz mit wiederholtem Üben erfolgt immer wieder eine vermehrte Freisetzung von Oxytocin und verminderte Freisetzung von Cortisol. So wird eine Neubildung von Nervenzellen (*Neurogenese*) im Hippocampus und im Striatum angeregt, wodurch ein *Umlernen der alten Gewohnheiten* erleichtert wird.

Beim Menschen können in einem Tag im Hippocampus rund 1400 neue Zellen entstehen, d.h. in einem Jahr ungefähr eine halbe Million neue Nervenzellen. Das Alles ist durch entsprechende neurowissenschaftliche Untersuchungen verifiziert.

Die nachfolgende Grafik zeigt die möglichen Auswirkungen der Psychotherapie auf das depressive Gehirn in zwei Phasen, *Allianzphase* und *Umlernphase*. (Aus „Wie das Gehirn die Seele macht“ von Gerhard Roth, Seite 358.)

Allianzphase und Umlernphase



[4.7.2] Neurobiologie (NB) und Psychoanalyse (PA)

Ein zentraler Vorgang der PA besteht im Bewusstmachen von Unbewusstem. Das ist aber aus der Sicht der NB nicht möglich. Die unbewussten, subcortikalen Prozesse in der Amygdala, welche die Basis unserer Emotionalität sind, können nicht bewusst gemacht werden. Das autobiografische Gedächtnis eines Menschen zeigt keine Erinnerungen an die ersten zwei bis drei Lebensjahre. Die Erlebnisse aus dieser Zeit unterliegen der so genannten infantilen Amnesie. Auch hier besteht keine Möglichkeit sie später einmal bewusst zu machen.

Aus der Sicht der NB können bewusste Inhalte nur in das Vorbewusste vergessen (oder vielleicht auch verdrängt) werden. Nur von dort ist ein Wiedererkennen oder Erinnern möglich. Grundsätzlich spielen sich aktuell bewusste Erlebnisinhalte in den assoziativen Arealen der Großhirnrinde oder in der obersten Ebene des limbischen Systems im cingulären und im insulären Cortex ab. Vorbewusste Inhalte liegen in den im Gehirn verteilten Langzeitspeichern.

Aus der Sicht der NB ist die Persönlichkeitstheorie der PA mit den Instanzen „Es“, „Ich“ und „Über-Ich“ nicht direkt verifizierbar. Das Gleiche gilt auch für eine verschiebbare Triebenergie (libido), mit welcher unterschiedliche Objekte besetzt werden können. Vorstellbar ist nur, dass bestimmte unbewusste Erregungsmuster in der Amygdala, im Nucleus accumbens oder im Striatum auf den Hippocampus einwirken und von dort die Art und Weise der Langzeitspeicherung der bewussten Inhalte beeinflussen. Das könnte den Unterschied zwischen Vergessenem und Verdrängtem ausmachen, bzw. die Ursache für die unterschiedliche Leichtigkeit des Erinnerns sein. Ebenso könnten auch Erregungsmuster in den obersten limbischen Cortexgebieten diese Prozesse fördern oder behindern. Die nachfolgende Übersicht zeigt mögliche analoge Entsprechungen zwischen NB und PA.

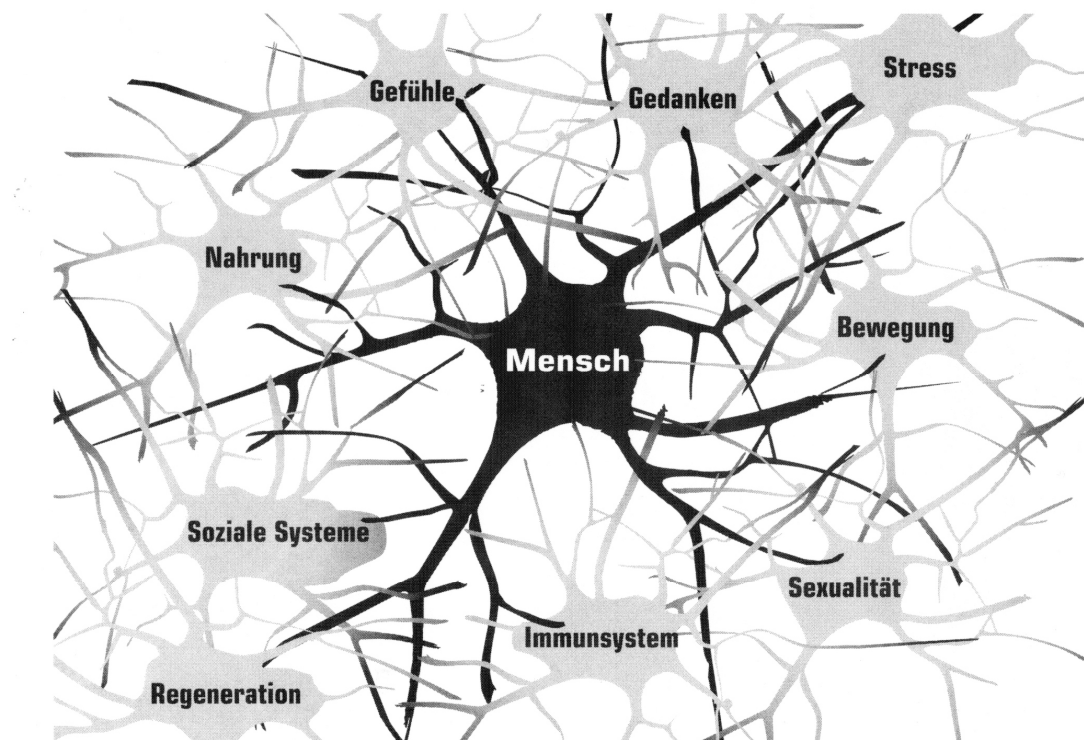
	<i>Hirnstruktur</i>	<i>Hirnfunktion</i>	<i>Psychoanalyse</i>	
↓	Assoziative Cortexareale	Höhere Assoziationen, erlernte moralische Normen	ÜBER-ICH	↓
↑↓	Hippocampus, Amygdala, Orbitalhirn	Vermittlung zwischen Kognition und Emotion	ICH	↑↓
↑	Hypothalamus, Hirnstamm	Elementare Triebe/Gefühle	ES	↑

[4.7.3] Neurobiologie (NB) und Verhaltenstherapie (VT)

Ein zentraler Vorgang der VT besteht darin, dass die durch Konditionierung erlernten Assoziationen auch wieder gelöscht werden können (z.B. durch systematische Desensibilisierung). Neuere Untersuchungsergebnisse der NB zeigen, dass beispielsweise eine vollständige Löschung (Extinktion) von einmal in der Amygdala eingepprägten Furchtkonditionierungen nicht möglich ist. Diese bleiben dort bestehen. Sie werden nur durch neue, stärkere Lernerfahrungen überdeckt.

Eine zentrale These der kognitiven Verhaltenstherapie (KVT) behauptet, dass der einsichtige Verstand in den kognitiven Arealen der präfrontalen Großhirnrinde die emotionalen Zustände in der mittleren limbischen Ebene kontrollieren und umstrukturieren kann. Aus der Sicht der NB wird dieser kognitive Einfluss auf die Gefühle überschätzt. Es gibt keinen Primat des Verstandes über die Gefühle. Genau das Umgekehrte scheint der Fall zu sein. Die kognitiven Areale des präfrontalen Cortex sind den Rindenbereichen der oberen limbischen Ebene, dem cingulären und dem insulären Cortex, hierarchisch eher untergeordnet als übergeordnet. Das zeigt aber, dass ein Primat der Gefühle über den Verstand vorliegt, so dass meistens die Emotionen die Kognitionen steuern und nicht umgekehrt.

Verschiedene Einflussfaktoren auf die Gesundheit



Die Lebensenergie

Unter Energie versteht man ganz allgemein die Fähigkeit Arbeit zu verrichten. Verzichtet man auf religiöse oder mythologische Spekulationen, dann kann die Quelle unserer Lebensenergie nur in den - im Buchkapitel [1.2] ausführlich beschriebenen - Energie liefernden biochemischen Prozessen liegen. Die lebende Zelle arbeitet wie eine Energie transformierende Fabrik. Die *synchrone Arbeit* vieler Zellen eines Gewebes bewirkt eine nach außen hin beobachtbare und messbare Aktivität. Direkt beobachtbar ist der Aktivitätszustand des Organismus vor allem in vier Bereichen:

- *Atemtätigkeit (Frequenz, Tiefe)*
- *Herz-Kreislauf-System (Puls, Blutdruck)*
- *Peristaltik des Darmes*
- *Spannungszustand der Skelettmuskulatur*

Die **Lebensenergie** ist keine eigenständige mystische Kraft, sondern sie ist der Sammelbegriff für die synchrone Arbeit unserer Zellen. Synchronisation und Regulation erfolgen durch die Signalsysteme des Hormon- und Nervensystems, aber auch des Immunsystems.

Mit Lebensenergie wird auch oft die Selbstheilungskraft des Organismus bezeichnet. Im Laufe der Menschheitsgeschichte taucht dieser Begriff der Lebensenergie in sehr verschiedenen Formen auf: Als **Qi** (China), **Prana** (Indien), **Num** (Afrika), **Vis vitalis** (Europa), **Libido** (Sigmund Freud) oder **Orgon** (Wilhelm Reich).

[4.8] Die Selbstheilung

Auch wenn das Selbstheilungssystem des Organismus unsichtbar oder nur schwer erkennbar ist, ist seine Existenz offenkundig. Allein aus evolutionärer Notwendigkeit heraus ist klar, dass der Organismus über verschiedene, sehr mächtige Mechanismen der Selbstheilung verfügen muss, um Schädigungen und Krankheiten zu widerstehen, d. h. um überleben zu können.

Das Selbstheilungssystem umfasst mehrere zusammenspielende Funktionen: Es ist ständig aktiv (*Wachsamkeit*), es kann defekte Strukturen ausfindig machen (*Fehlererkennung*) und kann die fehlerhaften Strukturen entfernen und ersetzen (*Reparatur*). Es besitzt Fähigkeiten zur Diagnose und Therapie. Selbstheilung wird auf verschiedenen Ebenen wirksam.

Heilung auf der Ebene der Moleküle

Die Erbanlagen (Gene) sind durch die DNA-Moleküle (Desoxyribonukleinsäuren) in den Kernen der Zellen vorgegeben. Zur Weitergabe der genetischen Information redupliziert sich die DNA, so dass zwei identische Tochtermoleküle entstehen. Wird dieser komplizierte chemische Vorgang durch bestimmte Ereignisse gestört, dann werden die Tochtermoleküle falsch zusammengebaut.

Die geschädigte DNA kann verheerende Folgen für den Organismus haben. Um dies zu vermeiden, stehen unterschiedliche Enzyme (hochspezialisierte Eiweißmoleküle) zur Reparatur der DNA zur Verfügung. Diese Reparaturenzyme erkennen fehlerhafte DNA-Abschnitte, schneiden sie heraus und ersetzen sie durch richtige Strukturen. Damit ist eine fehlerfreie Weitergabe der genetischen Information sichergestellt.

Heilung auf der Ebene der Zellen

Die Zellen bestehen aus dem Zellkern und dem Zellplasma und sind allseitig von Plasmahäuten (Membranen) umschlossen. Diese bilden die Grenzflächen zur extrazellulären Umwelt im Gewebe. In den Membranen findet der Transport von Stoffen zwischen der Zelle und ihrer Umgebung statt. Dieser Transport erfolgt mithilfe von Rezeptormolekülen in der Membran, welche aus spezifischen Eiweißstrukturen zur Bindung von Nährstoffen und von bestimmten Hormonen bestehen.

Wenn sich die Leistung der Rezeptormoleküle verschlechtert und sie ihre Transportaufgaben nicht mehr erfüllen können, dann werden sie in das Innere der Zelle hineingesaugt und dort in eigenen Zelleinrichtungen (Lysosomen) abgebaut. Zuletzt werden sie durch neu synthetisierte Rezeptormoleküle ersetzt. Auf diese Weise können die Zellen ihre defekten Membranstrukturen reparieren.

Heilung auf der Ebene der Gewebe

Zellverbände bilden Gewebe. Auf der Ebene der Gewebe verläuft die Selbstheilung komplexer, sie erfolgt jedoch nach den gleichen allgemeinen Prinzipien. Ein bekanntes Beispiel ist der *Prozess der Wundheilung*. Bei einer Verletzung des Gewebes beginnt das Immunsystem zu arbeiten. Zuerst werden weiße Blutkörperchen (Leukozyten) zur Wundstelle geschickt, wodurch eine komplexe immunologische Abwehr eingeleitet wird, so dass eindringende Bakterien unschädlich gemacht werden. Dann folgen die Fresszellen (Makrophagen), welche abgestorbenes Gewebe aufnehmen und abbauen. Parallel zu dieser Immunreaktion setzt an den Wundrändern eine Erzeugung von neuen Zellen ein. Diese Zellproliferation wird von kleinen spezialisierten Eiweißmolekülen (den Wachstumsfaktoren) reguliert.

Entscheidend für die Heilung ist das Gleichgewicht zwischen den wachstumsfördernden und den wachstumshemmenden Faktoren. Ein ungehemmtes Zellwachstum könnte zur Entartung in ein Krebsgewebe führen. Neben der beschriebenen Wundheilung ist auch der *Heilungsprozess bei Knochenbrüchen* ein anderes, gut untersuchtes Beispiel von Selbstheilung auf der Ebene von Geweben.

Heilung auf der Ebene der Organsysteme

Auf den Ebenen des Kreislauf-, Verdauungs- oder Immun-Systems begegnet man ebenfalls beeinflussende Mechanismen der Selbstheilung. Durch bestimmte Entspannungstechniken können stressbedingte Erkrankungen gelindert werden. Durch eine Umstellung der Ernährung können Verdauungsprobleme behoben werden. Durch eine Veränderung des Lebensstils (z.B. mehr Bewegung) können Kreislaufbeschwerden (Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen) abgeschwächt werden.

Heilung auf der Ebene der Psyche

Als Beispiel sei die „*Trauer um einen Verlust*“ besprochen. Das kann die Trennung von einem Partner oder dessen Tod, aber auch der Verlust des Arbeitsplatzes usw. sein. Trauer ist eine menschliche Emotion, die als eine abgewandelte Form der Selbstheilung betrachtet werden kann. Sie durchläuft meistens unterschiedliche Phasen.

Eine, sehr oft die erste Phase, ist durch *Schock und Leugnen* gekennzeichnet. („Furchtbar, das darf doch nicht wahr sein!“). Als ein zeitlich vorübergehender Mechanismus wird dadurch jedenfalls ein Mindestmaß an Weiterfunktionieren im täglichen Leben ermöglicht. Daraufhin folgt dann eine Phase von *Wut und Zorn*. („Verdammt, warum muss das ausgerechnet mir passieren!“). Damit kann ein für den Organismus schädlicher Stau von Erregungen abgebaut werden.

Nach dieser Phase folgt oft eine Phase des *Wunschdenkens*. („Wenn ich mich doch anders verhalten hätte, dann wäre das nicht passiert!“). Hier wird Schmerzvermeidung versucht, und zwar durch ein Ausweichen und einen in der Phantasie erzeugten Realitätersatz.

Dann folgt häufig eine Phase der *Depression*. („Ich kann nicht mehr!“). In dieser Phase wird der Verlust akzeptiert und angenommen, und auch das Wunschdenken abgebrochen.

Schließlich kann nach der *bewussten Verarbeitung* des Verlustes die Trauer beendet und ein neuer Zugang zum Leben eröffnet werden. Wichtig ist, dass Therapeuten den mehrphasigen Prozess der emotionalen Selbstheilung verstehen und ihren Klienten dabei helfen.

[5] Gesundheit und Krankheit

[5.1] Säulen der Gesundheit

[5.1.1] Gesunde Ernährung

Die in immer größerem Ausmaß eingesetzte technische Denaturierung der Nahrungsmittel (Erhitzen, Konservieren, Präparieren) dient dazu, die Nahrungsmittel länger haltbar zu machen. Damit verbunden ist ein starker Verlust an Vitalstoffen (Vitamine, Spurenelemente, Mineralstoffe, Ballaststoffe), was wiederum zu ernährungsbedingten Zivilisationskrankheiten führt. Dazu zählt man Gebissverfall, Darmträgheit, Gallensteine, Stoffwechselstörungen, Rheuma, Arteriosklerose, Herzinfarkt. So sind z.B. nachgewiesene Risikofaktoren für den Herzinfarkt: Übergewicht, erhöhte Blutfette (Triglyceride, Cholesterin), Diabetes, Bluthochdruck, Nikotin, Stress und Mangel an körperlicher Bewegung. Die schädliche Wirkung der denaturierten Nahrungsmittel (Auszugsmehl, Fabrikzucker, Fabrikfette und präparierte Zusatzstoffe) ist eine Langzeitwirkung, die sich erst nach vielen Jahren falscher Ernährung bemerkbar macht.

Was ist nun eine **gesunde Ernährung**? Als Grundregel kann gelten, dass unsere Ernährung **abwechslungsreich** und **ausgewogen** sein soll: **Mehrere kleine** Mahlzeiten statt nur weniger üppiger; **ballaststoffreich** (Faserstoffe) und **vitalstoffreich** (Vitamine und Spurenelemente); Vollkornprodukte statt Auszugsmehl. Die Erhaltung des Keimes und der Hüllenschicht von Getreidekörnern garantiert die lebensnotwendigen Vitalstoffe.

Einschränkung der Aufnahme von Fabrikzucker, weil dieser dem Organismus Vitamin B1 (wichtig für die Nervenzellen) und Kalzium entzieht, Schleimhautreizungen verursacht und die Darmverträglichkeit für Frischkorn und Frischkost empfindlich stört (Zucker macht krank). **Einschränkung der Aufnahme von Fabrikfetten**, welche fast nur mehr **gesättigte Fettsäuren** enthalten. Aber auch **mehrfach ungesättigte Fettsäuren** sind giftig. Bei der Erhitzung klappen ihre Moleküle aus der natürlichen Cis-Form in die künstliche Trans-Form um. Diese **Trans-Fettsäuren** können nun extrem schädlich sein. Von allen tierischen Fetten ist die Butter für den Organismus am wenigsten schädlich, weil sie über 70 Fettsäuren in einem halbwegs ausgewogenen Verhältnis aufweist: 65% gesättigte Fettsäuren und 35% ungesättigte Fettsäuren. Empfehlenswert sind **einfach ungesättigte Fettsäuren**, wie sie im kalt gepressten Olivenöl vorkommen - und auch die **Omega-3-Fettsäuren**, die im Fisch enthalten sind. Allgemein kann gesagt werden, dass die Aufnahme von mehr Baustoffen und weniger Energiestoffen vorteilhafter ist (also fettarme Fleischsorten, Fisch, pflanzliches Eiweiß). Gesund sind Frischkorn und Frischkost, weil sie viele Vitalstoffe bereitstellen.

Frischkost: Ein Drittel rohes Obst, zwei Drittel rohes Gemüse als Salat zubereitet (50% unter und 50% über der Erde gewachsen). **Frischkorn:** Drei Esslöffel einer Mischung von Roggen, Weizen, Gerste, Hafer, Hirse, Leinsamen werden grob geschrotet und über Nacht in Wasser aufgequollen. Danach kann zerkleinertes, frisches Obst, geriebene Nüsse und Honig beigesetzt und alles mit Joghurt oder Sauermilch aufbereitet werden.

Ernährungsfehler Überfettung: Ein Überangebot an tierischen Fetten, Süßspeisen und auch an Alkohol bewirkt eine **Erhöhung der Blutfette** (Triglyceride, Cholesterin). Dadurch können **Gefäßverengungen** (Arteriosklerose) entstehen. **Cholesterin** ist ein wesentlicher Bestandteil der Zellmembranen tierischer Zellen. Der Tagesbedarf wird bei gemischter Kost etwa zu einer Hälfte aus der Nahrung (Eigelb, Fleisch) und zur anderen Hälfte aus der körpereigenen Biosynthese gewonnen, welche vor allem in Darm und Leber stattfindet. Cholesterin ist eine wichtige Ausgangssubstanz im biochemischen Stoffwechsel (für Gallensäuren, Steroidhormone und als Membranbestandteil).

Durch Kopplung an Plasmaproteine zu so genannten Lipoproteinen erfolgt der Transport im Blutweg. **LDL** (low density lipoprotein) befördert das Cholesterin von der Leber zu den Zellen im Gewebe. **HDL** (high density lipoprotein) nimmt freies Cholesterin aus den Zellen auf. Ein hoher LDL-Spiegel (>150 mg/dl) und ein niedriger HDL-Spiegel (< 35 mg/dl) sind wesentliche Faktoren bei der Entstehung von Arteriosklerose, bei der Cholesterin in den Blutgefäßwänden abgelagert wird. Bluthochdruck, mangelnde Blutversorgung des Gewebes und Gefäßverschluss mit Infarktgefahr können die Folgen sein. Der Gesamtspiegel an Cholesterin im Blut sollte 230 mg/dl nicht übersteigen. Er kann durch Ernährungsdisziplin gesenkt werden.

Ernährungsfehler Übersäuerung: Ein wichtiger Gesichtspunkt einer gesunden Ernährung ist die konstante Erhaltung eines normalen **Säure-Base-Gleichgewichts** (pH-Wert im Blut um 7,4). Der Zuckerabbau im zellulären Stoffwechsel verläuft in zwei Phasen. In der ersten Phase erfolgt der enzymatische Abbau ohne Sauerstoff (anaerob) und endet auf der Zwischenstufe von verschiedenen Säuren (Zitronensäure, Brenztraubensäure, Oxalessigsäure, Milchsäure), die auch als intermediäre toxische Metaboliten (**ITM**, d.h. giftig wirkende Zwischenprodukte des zellulären Stoffwechsels) bezeichnet werden. Erst in der zweiten Phase werden diese sauren Substanzen mithilfe von Sauerstoff und unter Einwirkung weiterer Enzyme vollständig zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut, welche dann ausgeschieden werden. Dabei wird Energie für die verschiedenen Zellaktivitäten gewonnen.

Erfolgt die Oxidation der ITM-Säuren nur unvollständig, d.h. verbleiben giftige Säurereste im Organismus, dann entsteht ein saures Milieu, welches Ausgangspunkt für verschiedene Krankheiten wird. Zu diesen zählen: Direkte Schleimhautschädigungen (Reizungen und Entzündungen im Magen und in der Harnröhre), Demineralisation (weil die Mineralstoffe zur Neutralisation der Säuren mit Hilfe von Basen dem Gewebe entzogen werden), daraus resultierende arthrotische Gelenkerkrankungen, Bildung von Ablagerungen und auch Schwächungen des Immunsystems. Typische Symptome einer Übersäuerung (Acidose) sind: rasche Ermüdung, schlechte Erholung, Zahnkaries, Haarausfall, Hautrisse, brüchige Nägel, Muskelkrämpfe, Gelenks- und Nervenschmerzen, Brennen beim Harnlassen, erhöhte Infektionsanfälligkeit.

Ursachen für ein saures Milieu:

- Erhöhte Säurezufuhr von außen durch direkt saure Nahrungsmittel (unreife, saure Früchte, Essig).
- Vermehrte Aufnahme von erst im Körper säurebildenden Stoffen (Fleisch, Fett, Käse, Zucker).
- Mangel an Vitaminen und Spurenelementen. Diese sind unentbehrlich für die Enzymaktivität bei der biologischen Oxidation von Zucker. Das Fehlen eines einzigen derartigen Stoffes bremst oder blockiert die Kette aller nachfolgenden Enzyme. Dadurch bleibt der Abbau von Zucker auf giftigen, sauren Zwischenstufen stehen (ITM).
- Körperliche Überanstrengung, Stress und Schlafmangel
- Chronischer Sauerstoffmangel
- Mangelhafte Funktion der Verdauungsdrüsen
- Ungenügende Ausscheidung der Abfallstoffe über Nieren und Haut

Ein einfaches Mittel zur Feststellung einer Übersäuerung des Organismus ist die Messung des so genannten pH-Wertes im Urin; je saurer der Harn, umso kleiner der pH-Wert. Dieser wird mit Hilfe der Farbreaktion eines eingetauchten Teststreifens gemessen. Bei einer Übersäuerung sollte die Aufnahme von direkt sauren Speisen (alte Molke, unreife und saure Früchte, Essig usw.) und von im Körper säurebildenden Nahrungsmitteln (Fleisch, Eier, Käse, tierische Fette, Brot und Teigwaren, Hülsenfrüchte, raffinierter Zucker, Süßigkeiten, Kaffee, Tee, Wein, usw.) eingeschränkt werden.

Verstärkt sollten hingegen basenbildende Speisen (Kartoffeln, grünes Gemüse, Milch, Bananen und Mandeln, basisches Mineralwasser) aufgenommen werden. Diätmäßig sind so genannte Basenmischungen in Apotheken erhältlich (Natrium-, Kalium-, Kalzium-, Magnesium-, Eisen-, Mangan-Zitrate oder -Karbonate, Molke- und Fruchtpulver) .

Ernährungsfehler Vitalstoffmangel: Viele lebenswichtige Vitalstoffe werden durch die übliche Ernährung dem Körper nicht mehr in ausreichender Menge zugeführt. Der Boden in unserer Landwirtschaft ist ausgelaugt und arm an Mineralstoffen. Daher sind diese auch nicht mehr in ausreichender Menge in den Pflanzen zu finden. Mangel an Vitaminen und Mineralstoffen kann zu verschiedenen Krankheiten führen. Beispielsweise kann Selen-Mangel zu einer Herzmuskelschwäche führen, und so genannte Aneurysmen (ballonartige Ausweitungen von Arterien mit der Gefahr zum Platzen) können durch Kupfer-Mangel hervorgerufen werden. Ein chronischer Mangel an Chrom und Vanadium erzeugt erhöhten Blutzucker und Diabetes. Ein sehr wichtiger Mineralstoff ist das Kalzium (Ca). Ein Kalzium-Mangel bewirkt eine Vielzahl von körperlichen Schädigungen, vor allem die Osteoporose. Dieser langsam fortschreitende Abbau der Knochensubstanz ist wiederum Ursache für andere Störungen. Bei Nierensteinen wird das Kalzium aus den Knochen ausgelagert. Zur Vermeidung von Osteoporose muss dann die Nahrung mit Kalzium angereichert werden. Auch Muskelkrämpfe sind die Folge eines Kalzium-Mangels. Schließlich hat eine mehrjährige Studie in den USA ergeben, dass hohe tägliche Dosen von Kalzium (2000 mg) zu einer deutlichen Besserung des Bluthochdruckes führen. Erhöhte Zufuhren der **antioxidativen Vitamine C und E** zeigen nachgewiesene positive Wirkungen bei vielen Erkrankungen (Krebs, koronare Herzkrankheit, Atemwegkrankungen, usw.).

Der Bedarf an Vitalstoffen (d.h. an Vitaminen und Mineralstoffen, in Summe ca. 90 an der Zahl) wird durch die heute übliche Ernährung nicht ausreichend abgedeckt. Daher ist eine kontrollierte Zufuhr von so genannten (geprüften) Nahrungsergänzungsmitteln durchaus sinnvoll. Zu beachten ist dabei die Vermeidung von Überdosierungen und von Wechselwirkungen: z.B. behindert zuviel Magnesium die Kalzium-Aufnahme, zuviel Zink behindert die Eisen- und Kupfer-Aufnahme, und zuviel Eisen führt zu einer vermehrten Bildung von zellschädigenden freien Radikalen.

Die Ernährungspyramide und die Tagesrationen



- Fette, süße, salzige Speisen eher selten.
- 1-2 Esslöffel pflanzliche Öle, Nüsse oder Samen. Streich-, Back- und Bratfette und fettreiche Milchprodukte sparsam.
- **Pro Woche** 1-2 Portionen Fisch, maximal 3 Portionen fettarmes Fleisch oder fettarme Wurstware, maximal 3 Eier.
- 3 Portionen fettarme Milch und Milchprodukte.
- 4 Portionen Getreide, Brot, Nudeln, Reis oder Erdäpfel (5 Portionen für sportlich Aktive und Kinder) - ratsam Vollkorn.
- 3 Portionen Gemüse und/oder Hülsenfrüchte und 2 Portionen Obst.
- 2 Liter Wasser oder alkoholfreie bzw. energiearme Getränke.

[5.1.2] Gesunde Bewegung

Bei der körperlichen Bewegung werden mithilfe von Muskelkontraktionen Knochen um Gelenke bewegt. Die Steuerung und Koordination erfolgt dabei durch das Nervensystem. Eine Folge dieser Bewegung ist eine stärkere Durchblutung der entsprechenden Körperregionen und damit verbunden eine positive Beeinflussung des lokalen Stoffwechsels und der Immunabwehr.

Bewegung wirkt sich auch stärkend auf das Herz-Kreislauf-System und die Atmung aus und regt außerdem die Verdauung an. **Bewegungsarmut** jedoch führt zu Kreislaufschwäche, Mangel durchblutung, Muskelverkürzungen, Muskelschwund, Knochenfehlstellungen, Gelenksversteifungen. Neben dem Bewegungsmangel ist auch die falsche und übertriebene Bewegung gesundheitsschädlich. Letztere tritt sehr häufig im **Leistungssport** auf. Folgen davon sind Muskelverletzungen und Gelenksabnützungen, die dann ihrerseits den Bewegungsumfang erheblich einschränken können. Für das Wohlbefinden des Menschen ist seine freie Beweglichkeit (Mobilität) ein sehr wichtiges Kriterium.

Zunächst sollten Bewegungsübungen zu keinem Leistungsstress und den dadurch bedingten Verkrampfungen und Fehlsteuerungen führen. Gesunde Bewegung wird entspannt durchgeführt. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Atmung, wobei auf eine vertiefte regelmäßige Atemtechnik geachtet werden soll. Damit verbunden ist eine systematische Stärkung des Kreislaufsystems. Als Grundregel gilt, dass bei allen nach unten gerichteten Bewegungen ausgeatmet und bei allen Bewegungsrichtungen nach oben eingeatmet werden soll. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die physiologische Muskelkraft bei der Ausatmung größer ist, daher soll bei besonderer Anstrengung ausgeatmet werden. Eine weitere Grundregel ist, dass zuerst Aufwärmübungen, Dehnungsübungen und danach erst Kräftigungsübungen erfolgen sollen. Schließlich muss noch unterschieden werden zwischen Schnellkrafttraining, Krafttraining und Ausdauertraining.

Beachtung verdient dabei die Tatsache, dass die Muskelzelle im Gegensatz zur Nervenzelle auch noch unter Sauerstoffschuld eine Arbeitsleistung vollbringen kann (anaerobe Phase). Eine nachfolgende Regeneration durch Lockerung und Massage dient zum Abtransport der nicht vollständig verbrannten Betriebsstoffe (Milchsäure) aus der Muskelzelle und zur Vermeidung von Muskelkater und Ablagerungen im Muskelgewebe.

Ein mittleres Ausmaß an täglicher Bewegung (30 Minuten Gymnastik) in entspannter, harmonischer Atmosphäre ist ein unerlässlicher Grundpfeiler unserer Gesundheit. Empfehlenswert ist auch ein regelmäßiges Ausdauertraining, welches mindestens dreimal pro Woche je eine halbe Stunde durchgeführt werden sollte (z.B. Schwimmen, schnelles Gehen, Laufen, Radfahren).

Der physiologische Vorteil des regelmäßigen Ausdauertrainings liegt vor allem in Verbesserungen des Wirkungsgrades der Herztätigkeit. Als Maß hierfür dient das so genannte Herzzeitvolumen, d.h. die in der Zeiteinheit vom Herzen beförderte Blutmenge. Diese versorgt die Muskeln des Körpers mit Sauerstoff und Zucker. Das Herzzeitvolumen ergibt sich aus dem Schlagvolumen des Herzens (ca. 70 ml) mal seiner Schlagfrequenz. Bei einem Ruhepuls von 70 Schlägen pro Minute folgt daraus ein Herzminutenvolumen von ca. 5 Liter.

Durch regelmäßiges Training wird nun der Herzmuskel vergrößert und damit auch das Schlagvolumen des Herzens erhöht. Zur Erreichung eines für eine bestimmte körperliche Leistung erforderlichen Herzzeitvolumens kann durch das größere Schlagvolumen des trainierten Herzens dessen Schlagfrequenz entsprechend geringer gehalten werden als beim Untrainierten.

Zusätzlich bedeutet eine Abnahme der Herzfrequenz, dass die schonende Diastole (Erschlaffung des Herzmuskels) relativ zur Systole (Herzkontraktion) immer länger wird. Das bewirkt auch eine bessere Durchblutung und einen besseren Stoffwechsel des Herzmuskels, weil nur während der Diastolen die versorgenden Kapillaren der Herzkranzgefäße nicht zusammengedrückt werden. Ein dritter Vorteil ist das Absinken des Blutdruckes, da die peripheren Blutgefäße sich weiter öffnen und der Durchflusswiderstand abnimmt. Somit erweist sich ein regelmäßiges Herz-Kreislauf-Training als beste Vorbeugung gegen frühzeitiges Altern. In Ruhe betragen die Normalwerte für den Puls ca. 75 Schläge pro Minute und für den systolischen/diastolischen Blutdruck ca. 135/85 mmHg.

Der Sinnspruch „*Wer rastet, der rostet*“ hat in unserer heutigen Sitzgesellschaft (Auto, Büro, Fernsehen usw.) mehr denn je an Gültigkeit gewonnen. Ein anderer orthopädischer Leitspruch lautet: „*Der Mensch ist nur so jung wie seine Gelenke!*“

Hinweis: Geprüfte Nahrungsergänzungsmittel, die Chondroitinsulfat (tgl. 800 mg) und Glukosamin (tgl. 1000 mg) enthalten, beide aus Tierknorpeln gewonnen, sind sinnvolle Unterstützung der Gelenke. Hyaluronsäure-Injektionen direkt ins Gelenk erhöhen die Gelenksschmiere.

[5.1.3] Gesunde Atmung

Die unwillkürliche Atemtätigkeit wird durch das Atemzentrum im verlängerten Rückenmark des Gehirns gesteuert. Dabei sprechen Chemorezeptoren auf den CO₂-Gehalt des Blutes an. Übersteigt dieser einen bestimmten Schwellenwert, dann feuern die Neuronen des Atemzentrums und setzen die Atemtätigkeit in Gang. Über sensible Fasern des Nervus vagus wird die Ausdehnung der Lunge erfasst. Übersteigt diese einen bestimmten Grenzwert, dann wird die Einatmung reflektorisch beendet.

Die **Atemfrequenz** beträgt beim Erwachsenen in Ruhe 10 bis 15 Atemzüge pro Minute. Dabei ist das durchschnittliche **Atemzugsvolumen** etwa 0,6 Liter. Das Atemminutenvolumen ist das Produkt aus Atemfrequenz und Atemzugsvolumen, also beispielsweise $13 \cdot 0,6 = 7,8$ Liter.

Die meisten Vorgänge in unserem Körper (wie Herzschlag, Verdauung, Harnproduktion) können wir willentlich nicht beeinflussen. Eine Ausnahme ist die Atmung, die wir in Grenzen steuern können. Da sich die Atmung ihrerseits auf die Herzfrequenz auswirkt, haben wir sogar die Möglichkeit durch langsames Atmen unseren Herzschlag zu drosseln bzw. durch schnelles Atmen ihn zu beschleunigen.

Starke Affekte wie Angst oder Schmerz können unwillkürlich zu einer beschleunigten Atmung führen (**Hyperventilation**). Das bewirkt einerseits eine nur geringfügig vermehrte Sauerstoffaufnahme und andererseits eine stärkere Abnahme der Kohlendioxid-Konzentration im Blut. Diese führt zu einer Konstriktion der Hirngefäße und damit zur paradoxen Situation, dass eine vermehrte Atemtätigkeit trotz maximaler Sauerstoffsättigung eine Unterversorgung des Gehirns mit Sauerstoff bewirkt.

Eine willkürliche Hyperventilation kann in der Therapie beim **holotropen Atmen** eingesetzt werden. Durch die willentlich beschleunigte und vertiefte Atmung kommt es über die CO₂-Abnahme zu einer Mangel durchblutung des Großhirns, während das limbische System weniger betroffen ist. Dadurch sinkt die Kontrolle des Cortex-Thalamus-Filters und es können uralte, längst vergessene Kindheitserlebnisse erinnert werden.

Zusätzlich steigt bei der Hyperventilation der Spiegel eines körpereigenen Halluzinogens (DMT, Dimethyltryptamin). Daraus resultiert eine weitere Öffnung des Tors zum Bewusstsein für paranormale, affektbesetzte Erlebniszustände.

Angst und Panik sind meist mit Herzklopfen bzw. Herzrasen und raschen, flachen Atemzügen verbunden. Diesen Zusammenhang können wir nutzen, indem wir den Organismus durch gezieltes ruhiges Atmen in einen entspannten Zustand versetzen. Grundsätzlich gibt es zwei Stufen der Atmung, die flachere Brustatmung und die tiefere Bauchatmung. Das Ziel von Atemübungen ist es, eine tiefe und langsame Bauchatmung zu erreichen. Jede der nachfolgenden Übungen soll etwa 10-Mal wiederholt werden. Dabei ist eine Rückenlage mit leicht angewinkelten Knien einzunehmen

1. Übungsstufe - Brustatmung

Einatmen: Normal ausatmen. Die Hände beiderseits des Brustbeins auf die unteren Rippen legen, sodass sich die Fingerspitzen fast berühren. Beim Einatmen fühlen, wie sich die Rippen weit nach außen dehnen und die Hände sich voneinander entfernen.

Ausatmen: Beim Ausatmen nähern sich dann die Fingerspitzen wieder.

2. Übungsstufe - Bauchatmung

Einatmen: Die Hände in Höhe des Nabels auf den Bauch legen. Zunächst ausatmen. Beim Einatmen hebt sich der Bauch. Damit senkt sich das Zwerchfell und die unteren Lungenlappen füllen sich mit Luft. Die Hände werden dadurch nach oben gedrückt.

Ausatmen: Beim Ausatmen kehrt das Zwerchfell in seine kuppelförmige Position zurück. Der Bauch wird flach und die Hände kommen in ihre Ausgangslage zurück.

Weitere Hinweise

→ Menschen atmen normalerweise 10- bis 15-Mal pro Minute ein und aus. Achten Sie besonders in Angstsituationen darauf, nur 8-Mal oder sogar noch weniger pro Minute zu atmen. Sie werden angenehm überrascht sein, wie beruhigend dies unmittelbar wirkt. Indem Sie sich auf die Atmung konzentrieren, lenken Sie sich zugleich von inneren und äußeren Angstreizen (bzw. ängstigenden Gedanken) ab.

→ Bemühen Sie sich vor allem um eine verhältnismäßig lange und tiefe Ausatmung. Denn diese Phase bringt die eigentliche Entspannung. Die Ausatmung sollte möglichst doppelt so lange dauern (wenn nicht sogar dreifach solange) wie die Einatmung.

→ Atmen Sie möglichst immer durch die Nase ein. Wenn Sie die Luft bei geschlossenem Mund gleichsam „einschnüffeln“ (Schnuppern, Riechen), unterstützen Sie automatisch die (gesündere) Bauchatmung. Ein weiterer Trick zur Förderung der Bauchatmung besteht darin, die Arme hinter dem Kopf zu verschränken (und so die Brustatmung gleichsam einzufrieren). Einschnüffeln vermittelt zudem das Gefühl, ganz durchatmen zu können.

→ Setzen Sie beim Ausatmen die „Lippenbremse“ ein. Bei dieser entweicht die Luft durch die leicht geschlossenen bzw. minimal geöffneten Lippen. Die „Lippenbremse“ verlangsamt die Ausatmung und fördert wesentlich die Entspannung.

→ Verbinden Sie das Ausatmen mit einem Geräusch (wie „pfff“, „uuu“, „oouumm“) oder mit einem entspannten Seufzen und Stöhnen.

→ Lassen Sie nach dem Ausatmen einen Moment der „Atemstille“ zu, bis Ihr Körper wieder nach Einatmung verlangt. Halten Sie nach dem Einatmen nicht die Luft an, sondern wechseln Sie nahtlos zur Ausatmung über.

→ Stellen Sie sich beim Einatmen vor, dass Sie mit dem Atemstrom Kraft und Energie tanken und beim Ausatmen Verbrauchtes, Belastendes und Ängstigendes abwerfen. Finden Sie eine für Sie passende Formel mit der Sie das Ein- und Ausatmen begleiten (wie „Mit jedem Atemzug gewinne ich mehr Energie und Selbstvertrauen“, „Mit jedem Ausatmen werden Angst, Anspannung und Schmerz schwächer“).

[5.1.4] Tägliche Körperpflege (Hygiene)

Eine sorgsame Körperpflege ist ein weiterer, wichtiger Grundpfeiler unserer Gesundheit. Eine besondere Beachtung verdient dabei unsere Haut. Die Haut als wichtigstes Grenzorgan zur Umwelt ist enormen Belastungen ausgesetzt: Schmutz und Schweiß verstopfen die Poren, Bakterien siedeln sich massenhaft an und zersetzen die schmutzigen Schweißreste unter intensiver Geruchsbildung. Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Notwendigkeit einer gesunden Hautpflege, welche eine schonende Reinigung, eine Durchblutung fördernde Massage, kreislaufstützende Wechselbäder und Austrocknung verhinderndes Eincremen umfasst. Dazu gehören aber auch gründliche Fuß- und Nagelpflege, sowie das Tragen sauberer Kleidung.

Weiters zählen zur Körperpflege die tägliche Mundhygiene (Zähne putzen); die Sexualhygiene (Schutz vor Geschlechtskrankheiten, Pilzbefall und AIDS); Hygiene im Haushalt, am Arbeitsplatz und in der Umwelt.

[5.1.5] Entspannung und Ausgeglichenheit

Entspanntheit und Ausgeglichenheit sind die Gegenpole zu Leistungsstress, Angst und Verspannung. Atemübungen, autogenes Training, Entspannungsübungen, Meditation, Selbstbesinnung und Sinnfindung im Leben sind Wege dorthin. Beim **autogenen Training** (nach dem deutschen Neurologen **I. H. Schultz**, 1930) wird durch die Konzentration auf suggestive, formelhafte Vorstellungen eine Entspannung der Muskulatur und eine Steigerung der Durchblutung durch Gefäßerweiterung erreicht. Damit gelingt zumindest teilweise eine willentliche Kontrolle des vegetativen Nervensystems. Die folgenden Grundübungen werden in entspannter Körperhaltung (sitzende Droschkenkutscherhaltung) und mit geschlossenen Augen durchgeführt.

1. **Übung:** Arme und Beine sind ganz schwer. Ich bin ganz ruhig.
2. **Übung:** Arme und Beine sind ganz warm. Ich bin ganz ruhig.
3. **Übung:** Das Herz schlägt ruhig und regelmäßig. Ich bin ganz ruhig.
4. **Übung:** Die Atmung ist ruhig und fließend. Ich bin ganz ruhig.
5. **Übung:** Das Sonnengeflecht ist strömend und warm. Ich bin ganz ruhig.
6. **Übung:** Die Stirn ist angenehm kühl. Ich bin ganz ruhig.

Jeder Übungsvorsatz sollte sechsmal hintereinander erfolgen, dann der Entspannungssatz. Am Ende der gesamten Übungseinheit erfolgt ein deutliches Zurücknehmen durch Anspannen der Arme, kräftiges Ein- und Ausatmen und Öffnen der Augen (Arme fest, Atmen, Augen auf). Natürlich müssen die einzelnen Übungen schrittweise und langsam erlernt werden. Im Durchschnitt dauert es zwei bis drei Monate bei täglich mindestens einmaliger Übung bis diese Grundschule des autogenen Trainings beherrscht wird.

Grundtechnik der progressiven Muskelentspannung

Die progressive Muskelentspannung (PME) wurde im Jahre 1935 von dem amerikanischen Arzt **Edmund Jacobson** entwickelt und später durch **Joseph Wolpe** und andere modifiziert. Eine vereinfachte Form der PME umfasst fünf Muskelgruppen, ergänzt durch eine Ganzkörperübung. Die PME wird in einer ruhigen, möglichst abgedunkelten Umgebung und leicht angelehnt im Sessel sitzend durchgeführt. Die Augen sind geschlossen und die Hände liegen locker auf den Oberschenkeln. Die PME erfolgt immer vom „Scheitel zur Sohle“ und der Kerngedanke ist, dass jeder **Muskelentspannung** eine **Muskelanspannung** vorausgeht. Das bewusste Anspannen und das Loslassen sollen nicht abrupt sondern rund und kontinuierlich ablaufen. Die Entspannungsphasen können durch bewusste Gedanken wie "Ich bin ganz ruhig und gelassen" und bildhafte Vorstellungen mental unterstützt werden.

Folgende sechs Übungen sollten mindestens einmal täglich trainiert werden. Jede Übung wird dabei zweimal durchgeführt. Nach zwei bis drei Wochen kann zur schrittweisen Entspannung nur die sechste Übung allein eingesetzt werden:

1. Übung: Runzeln Sie Ihre Stirn, pressen Sie Ihre Augen zu, und steigern Sie den Druck langsam bis zu einem Höhepunkt (ca. 6 Sekunden) . . .

Entspannen Sie sich anschließend, indem Sie den Druck langsam reduzieren und dabei tief durch die Nase ein- und ausatmen (ca. 30 Sekunden) . . .

2. Übung: Rümpfen Sie Ihre Nase, spitzen Sie die Lippen, als ob Sie pfeifen wollten, und steigern Sie die Spannung langsam bis zu einem Höhepunkt (ca. 6 Sekunden)

Entspannen (wie bei Übung 1) . . .

3. Übung: Heben Sie Ihre Schultern, drücken Sie sie gleichzeitig nach vorne, pressen Sie den Druck bis in Ihre Fingerspitzen, und erhöhen Sie langsam die Anspannung bis zu einem Höhepunkt (ca. 6 Sekunden) . . .

Entspannen (wie bei Übung 1) . . .

4. Übung: Pressen Sie Ihren Bauch nach außen, und erhöhen Sie langsam die Anspannung bis zu einem Höhepunkt (ca. 6 Sekunden) . . .

Entspannen (wie bei Übung 1) . . .

5. Übung: Pressen Sie Ihre Fußsohlen fest gegen den Boden, und erhöhen Sie langsam die Anspannung bis zu einem Höhepunkt (ca. 6 Sekunden) . . .

Entspannen (wie bei Übung 1) . . .

6. Übung: Pressen Sie Ihre Zungenspitze nach oben gegen den Gaumen, lassen Sie die Spannung auf Ihren ganzen Körper ausstrahlen, und erhöhen Sie langsam die Anspannung bis zu einem Höhepunkt (ca. 6 Sekunden) . . .

Entspannen (wie bei Übung 1) . . .

Durch wissenschaftliche Kontrolluntersuchungen wurden verschiedene positive physiologische und psychologische Auswirkungen der PME nachgewiesen, beispielsweise die Senkung von Pulsfrequenz und Blutdruck, die Behebung von Einschlafstörungen, eine Negativierung des kortikalen Gleichspannungspotentials, eine deutliche Verbesserung der Lernfähigkeit, der Abbau von Nervosität, Labilität, Depressivität und schließlich der Aufbau eines positiven Selbstbildes (C. Kniffki, 1979).

Einige besinnlichen Gedanken zum Tod

Der Tod ist der unausweichliche Endpunkt, auf den das Leben hin gerichtet ist. Trotzdem setzen sich nur wenige Menschen offen und bewusst mit ihm auseinander. Die Gedanken an ihn werden in unserer Gesellschaft verdrängt, sowie auch die Sterbenden isoliert und abgeschoben werden. Zum Abschluss sollen daher einige Gedanken des indischen Philosophen und Gurus **Bhagwan Shree Rajneesh** über das Tabu „Tod“ wiedergegeben werden.

*Wenn es soweit ist,
lässt das Blatt seinen zarten Halt los
und grüßt sein Sterben voller Anmut:
Ist das die Zeit, wo das Tor aufgeht,
und das Leben sein Eigentliches empfängt,
noch ehe das Blatt den Boden berührt?*

Ja, das ist das Geheimnis allen Lebens wie auch des Todes, das Geheimnis aller Geheimnisse: der Existenz zu erlauben, ungehindert durch Dich hindurchzugehen, ohne Widerstand; es ist die Weisheit des Sich-Fügens und des Annehmens. **Buddha** nennt es **Tathata**, das So-Sein. Dein ICH ist der Widerstand, und Loslassen heißt, dass dieses egoistische ICH verschwindet. Wenn Du nur noch ein hohles Bambusrohr bist, singt die Schöpfung Millionen Lieder durch Dich. Du bist zu einer reinen Flöte geworden. Aber erst werde zu einem hohlen Bambus, leer bis zum Äußersten, sodass nichts den Fluss hindern kann.

Ein totales JA ist **Sannyas**. Ein bedingungsloses JA, ein JA zu allem, zum Leben und zum Tod. Denn der Tod ist nicht der Feind des Lebens, sondern seine Apotheose, sein höchster Gipfel. JA zur Freude, aber auch JA zur Trauer, denn Freude kann nicht ohne Trauer bestehen; Freude ist nur vor dem Hintergrund der Trauer möglich. Beide sind so eng miteinander verknüpft, dass sie untrennbar zusammengehören. Und was machen die Menschen? Sie wollen beides mit Gewalt auseinander reißen. Der Mensch versucht seit eh und je das Unmögliche - er will um den Tod herum kommen. Aber das ist ein aussichtsloses Unterfangen. Das Leben schließt den Tod mit ein. Der Tod sitzt bereits im innersten Kern des Lebens. Ihn verneinen, heißt automatisch auch das Leben verneinen. Alle Menschen, die versuchen den Tod zu leugnen, sind längst selbst schon tot, bevor der Tod sie tatsächlich einholt. Indem sie dem Tod ausgewichen sind, haben sie auch das Leben gemieden, denn je mehr Du lebst, desto mehr öffnest Du Dich dem Tod. Wenn das Leben seine Höhepunkte erreicht, ist der Tod am nächsten. Das meinen auch die Franzosen, wenn sie den Orgasmus als „petite morte“ bezeichnen. Meidest Du den Tod, dann meidest Du auch die Höhepunkte des Lebens. Dann musst Du ein lauwarmes Leben fristen, weder tot noch lebendig. Und das ist schlimmer als der Tod selbst.

Du musst lernen, mit Anmut und Würde zu sterben („Wenn es so weit ist, lässt das Blatt seinen zarten Halt los und grüßt sein Sterben voller Anmut . . . “). Der Weg des Blattes ist auch der Weg des Sannyasin. Und Dein Halt muss zart sein, sonst fällt Dir die Ablösung schwer. Dein Halt darf fast gar kein Halt mehr sein, auf keinen Fall darf es ein gieriges oder starres Festhalten sein. Festhalten und Besitzen, das machen nur Menschen, die das dialektische Spiel der Existenz nicht begreifen und mit ihrem starren Festhalten alles kaputtmachen. Sterben müssen auch sie, aber ihr Tod ist ohne jede Anmut. Ihr Tod wird zum Todeskampf (Agonie). Sie sterben verbissen, und doch ist ihr Kampf eine völlig sinnlose Anstrengung. Jeder Sieg ist ausgeschlossen, aber trotzdem kämpfen sie verzweifelt weiter. Millionen haben es schon vergebens versucht - keiner ist um das Sterben herumgekommen. Vor dem Tod gibt es kein Entrinnen. Seht daher zu, dass Euer Halt und Eure Bindungen nur locker sind, sodass Ihr sie in jedem Moment loslassen könnt und ein verbissener Kampf gar nicht erst aufkommt. Wenn es sein muss, dann lasst ohne zu zögern los - ein einziger Augenblick des Zögerns, und Du hast das Wesentliche verfehlt, hast alle Anmut und Würde zerstört.

[5.2] Häufige Krankheiten

Krankheiten sind Störungen der normalen physischen oder psychischen Funktionen, die einen solchen Grad erreichen, dass die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden eines Lebewesens deutlich reduziert sind. Jede Krankheit ist gekennzeichnet durch spezifische Symptome, welche als Abweichungen von Regelgrößen interpretiert und auf innere oder äußere Ursachen zurückgeführt werden können.

[A] Innere Krankheitsursachen

[A1] *Genetische Defekte, Vererbung und vorgeburtliche Entwicklungsstörungen.*

Beispielsweise verursacht bei der Bluter-Krankheit ein genetischer Defekt einen Mangel an Gerinnungsfaktoren, so dass schon leichte Verletzungen zu schweren Blutungen führen können. Durch Vererbung sind gewisse Bereitschaften (Dispositionen) zu bestimmten Krankheiten vorgegeben. Hingegen kann eine Hüftfehlstellung (Dysplasie) durch eine vorgeburtliche Störung während der Schwangerschaft verursacht werden.

[A2] *Unkontrolliertes Zellwachstum.*

Krebszellen vermehren sich unkontrolliert zu wachsenden Tumoren, die das umliegende Gewebe schädigen können. Über das Blut- und das Lymphsystem gelangen sie in andere Körperregionen und erzeugen dort Tochtergeschwülste (Metastasen). Ursachen können erbliche Veranlagung, Strahlenbelastung, Chemikalien und auch Viren sein.

[A3] *Autoimmunerkrankungen.*

Dabei verliert das Immunsystem seine Unterscheidungsfähigkeit zwischen körpereigenen und körperfremden Zellen, so dass Antikörper und Lymphozyten das eigene Gewebe angreifen und schädigen.

[B] Äußere Krankheitsursachen

[B1] *Infektionen durch Mikroorganismen.*

Viren, Bakterien, Pilze oder Einzeller dringen in den Organismus ein und führen dann zu einer Schädigung von Zellen und Gewebe des Körpers. Diese Krankheitserreger werden über verschiedene Transportwege (Atemluft, Blut, usw.) zwischen Lebewesen übertragen.

[B2] *Chemische und physikalische Einflüsse.*

Dazu zählen Schadstoffe, aber auch die Lärmbelastung als krankmachender Stressor.

[B3] *Abnutzung und Verschleiß.*

Sich sehr häufig wiederholende Bewegungen oder sehr starke einseitige mechanische Beanspruchungen führen zur Abnutzung von Muskeln, Sehnen und Gelenken. Dann können Sehnenscheidenentzündungen und Knorpelverschleiß oft irreparable Folgen sein.

[B4] *Traumatische Erlebnisse.*

Auch starke psychische Belastungen wie Naturkatastrophen, Kriege, Lebenskrisen oder Tod erzeugen Stress, der dann physische und psychische Erkrankungen verursacht.

Erkrankungen können **akut** (plötzlich und heftig) oder **chronisch** (langsam und andauernd) verlaufen. Akute Unfälle, Verletzungen oder Herzinfarkte können chronische Folgeschäden haben.

Wichtige medizinische Begriffe sind: **Anamnese** (Vorgeschichte) - **Symptomatik** (Anzeichen) - **Diagnose** (Erkennung) - **Prognose** (Heilungsaussicht) - **Therapie** (Heilbehandlung).

Volkskrankheiten

Die häufigsten Krankheiten in Deutschland

- 25,7% Bluthochdruck
- 24,1% Rückenschmerzen
- 18% Fettstoffwechselstörungen
- 18% Atemwegserkrankungen
- 9,4% Depressionen



17,6
Tage

war der Deutsche durchschnittlich 2010 krankgeschrieben.

Gründe für Krankschreibung 2010:

23 Tage psychische Erkrankungen

13 Tage Rückenschmerzen

6,4 Tage Atemwegserkrankungen

Häufigste Todesursache in Deutschland

42%

Herzinfarkt und Schlaganfall

35%

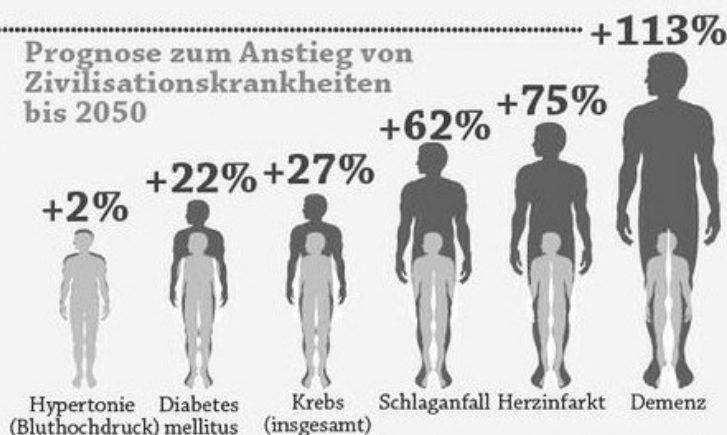
Krebsleiden

3,7%

Unfall oder Verletzung

Mit **895** Mrd. Dollar weltweit ist Krebs die teuerste Krankheit der Welt.

Prognose zum Anstieg von Zivilisationskrankheiten bis 2050



Berufsunfähigkeit 2010

25 %

der Berufstätigen werden im Laufe ihres Lebens berufsunfähig.

35 %

der Berufs unfähigkeiten sind auf eine psychische Erkrankung zurückzuführen.

13 %

Aber nur 13 % der Berufstätigen schätzen das Risiko richtig ein.



Herzinfarkt

26.216

Frauen sterben jährlich in Deutschland an einem Herzinfarkt.

30.550

Männer sterben jährlich in Deutschland an einem Herzinfarkt.



Herzinfarkte am **Vormittag** verlaufen schlimmer als Herzinfarkte am **Nachmittag**.

Die häufigsten psychischen Erkrankungen

68 %

der Deutschen halten "Sparen" für eine ausreichende Vorsorge für das Risiko der Berufs unfähigkeit.

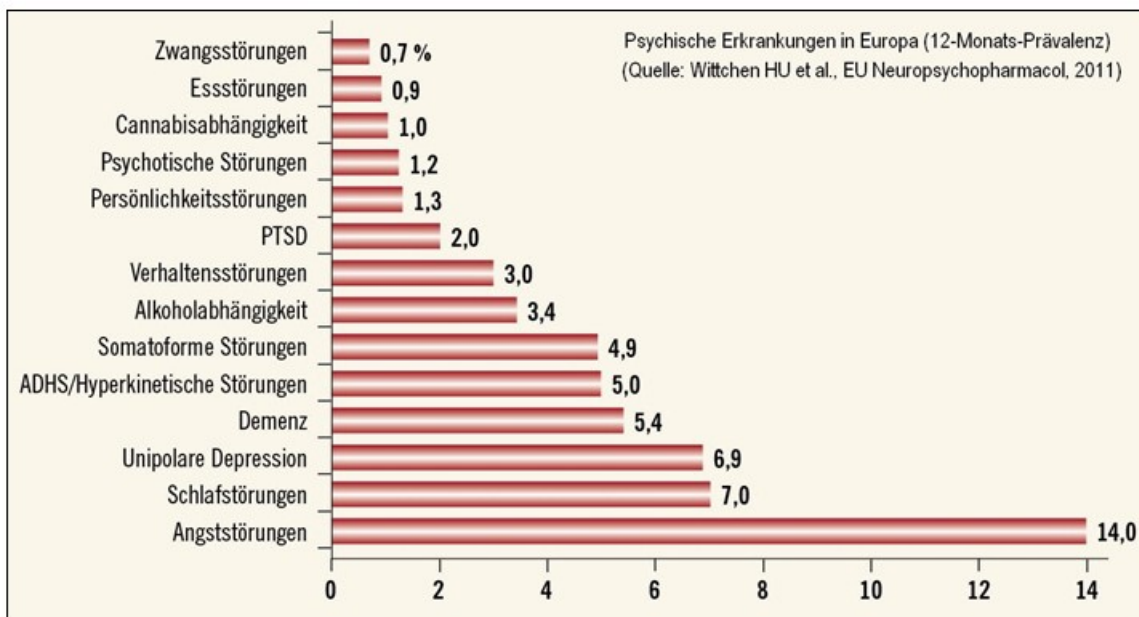
**Depression
Burn out
Angstzustände**



Die häufigsten Diagnosen in der allgemeinärztlichen Praxis 2012.
(Quelle: Zentralinstitut für kassenärztliche Versorgung)



(Hinweis: Auch Mehrfacherkrankungen sind möglich.)



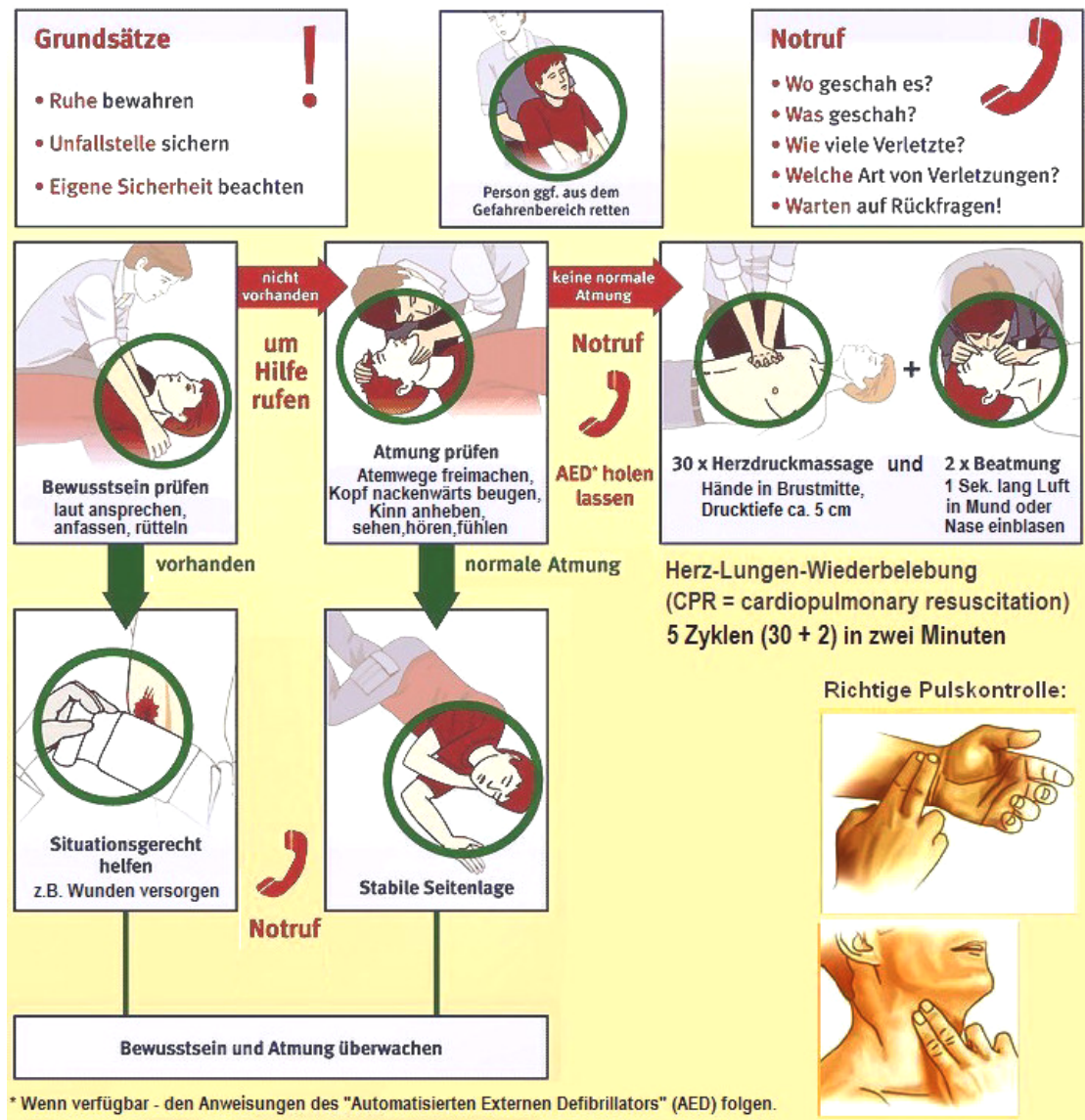
Die häufigsten Berufsunfähigkeits-Ursachen
Versicherungs-Statistik, 2012



Anmerkung: Ein gesichertes Ergebnis aus vielen Untersuchungen ist die Erkenntnis, dass zwei psychische Einstellungen des Patienten sich positiv auf den Verlauf von Krankheiten auswirken: (1) die Motivation unbedingt gesund zu werden und (2) die Erwartung der Selbstwirksamkeit.

Übersichtstafel zur Ersten Hilfe

Um die Gesundheit zu erhalten, muss bei Unfällen eine richtige „Erste Hilfe“ geleistet werden. Die wichtigsten drei Vitalfunktionen sind **Bewusstsein**, **Atmung** und **Kreislauf**. Ihr Ausfall kann schon in kurzer Zeit zum Tode führen. Daher müssen sie zuerst überprüft werden. Ein Notfallcheck umfasst somit die Bewusstseinskontrolle (Ansprechen, Berühren, Schmerzreizung), die Atemkontrolle (Sehen, Hören, Fühlen) und die Kreislaufkontrolle (Messen von Blutdruck und Puls). Beim Puls sind vor allem seine Frequenz und sein Rhythmus zu beachten.



Neben der Feststellung von **Herzfrequenz**, **Blutdruck**, **Atemfrequenz** und **Körpertemperatur** ist auch die Messung des **Zuckergehaltes** und der **Sauerstoffsättigung** des Blutes bedeutsam.

Der **Blutzucker** (Glucose) ist der wichtigste Energielieferant des Körpers. Wenn er erhöht ist, kann ein Diabetes mellitus vorliegen. Eine Unterzuckerung jedoch kann die Hirnleistung vermindern, zu Krampfanfällen und zu vermehrter Adrenalin ausschüttung führen. Der normale Blutzuckerwert liegt im nüchternen Zustand zwischen 70 und 100 mg/dl. Bei der Messung wird durch einen Einstich in eine Fingerkuppe ein Blutstropfen entnommen, und dieser dann auf einem Teststreifen aufgebracht. Nach einer kurzen Wartezeit kann mithilfe eines kleinen Messgerätes der Zuckergehalt auf dem Teststreifen ermittelt werden.

Die **Sauerstoffsättigung** gibt jenen prozentuellen Anteil des Hämoglobins an, der mit Sauerstoff gesättigt ist. Sie ist abhängig vom Sauerstoffgehalt und vom pH-Wert des Blutes. Sie ist bei Erkrankungen von Lungen, Herz und Kreislauf zu niedrig. Ein Anstieg wie beispielsweise bei schneller und tiefer Atmung hat hingegen keinen Krankheitswert. Grundsätzlich sind die arterielle (SaO_2) und die niedrigere venöse (SvO_2) Sauerstoffsättigung zu unterscheiden. Die Normwerte der SaO_2 liegen zwischen 94 und 98%, die Normwerte der SvO_2 liegen zwischen 65 und 80%. Die arterielle Sauerstoffsättigung wird mithilfe eines Clips am Finger gemessen. Dieser enthält auf der einen Seite eine Lichtquelle, welche den Finger durchleuchtet. Auf der anderen Seite misst eine Photoelektrode jene Lichtanteile, welche den Finger durchdrungen haben. Je nachdem wie gut das Blut mit Sauerstoff gesättigt ist, dringen unterschiedliche Lichtanteile durch den Finger. Daraus errechnet das Gerät dann automatisch den Sättigungswert.

Kreislaufschock

Die Schockbekämpfung spielt in der Ersten Hilfe eine wichtige Rolle. Der Schock ist ein lebensbedrohlicher Zustand, der durch eine generalisierte mangelhafte Sauerstoffversorgung (Hypoxie) des Gewebes gekennzeichnet ist, welche beispielsweise durch Blutverlust verursacht wird. Beim Schock können zwei Stadien unterschieden werden:

- **Zentralisation** (Kompensationsphase): Ausgangspunkt ist ein vermindertes Herzzeitvolumen. In einer Notfallreaktion werden über den Sympathikus Noradrenalin und Adrenalin im Nebennierenmark freigesetzt. Dadurch wird die Herzaktivität gesteigert. Die arteriellen Gefäße in Haut und Verdauungsorganen werden verengt (Vasokonstriktion und Mangeldurchblutung). Dabei kommt es zu einer Umverteilung des Blutes zu den zentralen Organen (Gehirn, Herz, Lunge), wodurch diese mit lebensnotwendigen Stoffen versorgt werden können.
- **Dezentralisation** (Dekompensation): Die Mangeldurchblutung von großen Gewebereichen bewirkt dort eine mangelhafte Sauerstoffversorgung. Dadurch werden die Kohlenhydrate (bzw. Zucker) in den Zellen des Körpers nur unvollständig abgebaut. Im anaeroben (sauerstofffreien) Stoffwechsel kommt es zu einer Anhäufung von sauren Abbauprodukten (ITM, intermediäre toxische Metaboliten), wie beispielsweise der Milchsäure, deren Salze die Laktate sind. Diese Übersäuerung des Körpers (metabolische Azidose) führt zusätzlich zu einer Erschlaffung und Erweiterung (Vasodilatation) der kleinen arteriellen Blutgefäße. Es erfolgt ein Austreten von Flüssigkeit aus den Kapillargefäßen ins Gewebe, d.h. ein weiterer Verlust von Blutvolumen (Hypovolämie). Dadurch werden aber jetzt auch die zentralen Organe nur ungenügend mit Blut und Sauerstoff versorgt. Parallel dazu entsteht in den venösen Gefäßen ein Stau, sodass eine Verringerung des venösen Rückstroms erfolgt. Das bewirkt zusammen mit der verringerten Herzleistung eine weitere Verminderung des Herzzeitvolumens. Dieser Teufelskreis führt dann zu irreversiblen Schäden und letztlich zum Versagen der Organe.

Allgemeine Symptome des Schocks

- Blasse, kühle Haut
- Kalter, klebriger Schweiß
- Zittern und Frieren
- Beschleunigte, flache Atmung
- Beschleunigter, schwacher Puls (HF, Herzfrequenz, $> 100/\text{min}$)
- Abfall des systolischen Blutdrucks (RR, Riva Rocci, $< 100 \text{ mmHg}$)
- Ängstlichkeit, Unruhe, Verwirrung

Ein Testwert ist der Schockindex, der dem Verhältnis von Herzfrequenz zu Blutdruck (HF/RR) entspricht. Ein Schockindex größer als Eins kennzeichnet die Schwere des Schockzustandes.

Verschiedene Arten des Schocks

• *Der hypovolämische Schock*

Ursachen: Verringerung des Blutvolumens durch Blutverlust bei äußeren oder inneren Blutungen.

Therapie: Schocklagerung (Oberkörper tief und Beine hoch). Volumenersatz durch intravenöse Infusion (i.v.) einer 0,9%-igen Kochsalzlösung und Bluttransfusionen. Eine verbreitete Variante der Kochsalzlösung ist die Ringer-Lösung. Sie enthält neben Natriumchlorid die Salze Kaliumchlorid, Calciumchlorid und Natriumhydrogencarbonat, das alleine auch zum Abpuffern der Übersäuerung (Azidoseausgleich) verwendet werden kann.

• *Der anaphylaktische Schock*

Ursachen: Substanzen, welche heftige allergische Reaktionen auslösen können (Insektengifte, Medikamente, Nahrungsmittel, usw.).

Ablauf: Bei der allergischen Reaktion wird im Gewebe massiv der Botenstoff Histamin freigesetzt. Das führt zu einer Gefäßerweiterung mit relativem Flüssigkeitsmangel und Blutdruckabfall. Der vierstufige Ablauf beginnt mit Hautsymptomen (Juckreiz, Rötungen) und Kopfschmerzen oder Schwindel. Dann treten leichte Atemnot, erhöhte Herzfrequenz und erniedrigter Blutdruck auf, oft begleitet von Übelkeit und Erbrechen. Es folgen schwere Atemnot, starker Blutdruckabfall und heftiges Herzrasen. Am Ende kommt es zu Atem- und Kreislaufstillstand.

Therapie: Die Zufuhr der Allergene stoppen. Volumenersatz wie beim hypovolämischen Schock. Medikamentöse Gaben von Adrenalin, von Cortison und von Antihistaminika.

Es gibt noch weitere Arten von Schockzuständen, wie beispielsweise den *kardiogenen Schock*, der durch Herzerkrankungen ausgelöst wird. Dabei ist zwar genügend Blut vorhanden, aber das Herz ist zu schwach, um es ausreichend durch den Körper zu pumpen.

Kreislaufkollaps

Ein Kreislaufkollaps liegt dann vor, wenn die arteriellen Blutgefäße der Haut (und der Baueingeweide) stark erweitert werden, so dass es zu einem Blutdruckabfall und dadurch zu verminderter Blut- und Sauerstoffzufuhr im Gehirn kommt. Oft folgt darauf eine kurze Bewusstseinsstörung (Ohnmacht). Ursache kann Überwärmung durch hohe Umgebungstemperaturen sein (Hitzschlag). Eine erste Abhilfe schafft „Liegen mit hochgelagerten Beinen“.

Schlaganfall

Ein Schlaganfall (Apoplexie) wird entweder durch einen Verschluss eines Blutgefäßes durch einen Thrombus (ischämischer Anfall) oder durch das Zerplatzen eines Blutgefäßes (hämorrhagischer Anfall) im Gehirn verursacht. Dadurch erhalten die Nervenzellen im Gehirn zu wenig Sauerstoff und Nährstoffe und gehen zu Grunde. Dies kann zu einem anhaltenden Ausfall von Teilfunktionen des Zentralnervensystems führen, wie z. B. zu Lähmungen und Sprachstörungen. Ein Schlaganfall kann mithilfe des *FAST-Tests* auch von Laien einfach diagnostiziert werden:

- **Face:** Beim Versuch zu lächeln wird das Gesicht einseitig verzogen.
- **Arms:** Beim Versuch die Arme zu heben (Handflächen oben) sinken diese wieder herab.
- **Speech:** Beim Versuch zu sprechen kommt es zu erheblichen Sprachstörungen.
- **Time:** Sehr wichtig ist die möglichst schnelle Verständigung des Notarztes.

Eine Therapie besteht oft in der medikamentösen Auflösung eines Blutgerinnsels (Thrombolyse).

Entzündungen

Neben den Ödemen (Wasseransammlungen im Gewebe), den Emphysemen (Luftansammlungen im Gewebe) und den Tumoren (unkontrolliertes Zellwachstum) zählen die Entzündungen zu den wichtigsten und häufigsten pathogenen Mechanismen im Gewebe. Eine Entzündung besteht in einer Reaktion des Immunsystems, welche durch Giftstoffe oder Krankheitserreger (Antigene) ausgelöst wird und zu deren Beseitigung führen soll. Gelingt dies nicht, dann wird aus einer akuten eine chronische Entzündung. Die typischen Anzeichen einer Entzündung sind:

Rötung (rubor) - **Erwärmung** (calor) - **Schwellung** (tumor) - **Schmerz** (dolor) - **Funktionsstörung** (functio laesa).

Allgemeine unspezifische Entzündungszeichen sind: Krankheitsgefühl, Fieber, Leukozytenerhöhung, CRP-Anstieg (C-reaktives-Protein), erhöhte BSG (Blutsenkungsgeschwindigkeit).

Jede Entzündung beginnt mit einer **Akute-Phase-Reaktion**. Durch die eindringenden Antigene werden die Immunzellen aktiviert, welche zunächst spezifische Botenstoffe (Zytokine) erzeugen. Interleukin-1 und Prostaglandin-I₂ verursachen eine Erhöhung der Durchlässigkeit der Blutgefäße, wodurch Rötung und Schwellung zustande kommen. Die dabei eingewanderten Zellen und Plasmaproteine werden als Infiltrat bezeichnet. Dann werden Schmerz-Botenstoffe (Prostaglandine und Kinine) und weitere Zytokine (Tumor-Nekrose-Faktoren) durch die Immunzellen ausgeschüttet, wodurch die Schmerzrezeptoren (Nocizeptoren) gereizt werden. Die Schmerzempfindung soll zu einer Ruhigstellung des betreffenden Körperteils und zu einer Schonung von Energie-reserven durch geringere Aktivität führen. Die Temperaturerhöhung entsteht durch einen vermehrten Stoffwechsel, welcher ebenfalls durch spezifische Zytokine und Prostaglandine vermittelt wird. Am Ende dieser Prozesse stehen häufig die Zerstörung der Antigene und die Abstoßung von kranken, geschädigten bzw. abgestorbenen Gewebeteilen und die anschließende Neubildung von Zellen zur Reparatur des Gewebeschadens.

Eine Entzündung kann lokal in einem kleinen umschriebenen Gebiet auftreten oder auch den ganzen Körper betreffen. Beispiele für lokalisierte Entzündungen (**E**) sind: Konjunktivitis (**E** der Augenbindehaut), Pharyngitis (**E** des Rachens), Bronchitis (**E** der Bronchien), Dermatitis (**E** der Haut), Arthritis (**E** der Gelenke), Hepatitis (**E** der Leber), Gastritis (**E** des Magens), Enteritis (**E** des Dünndarms), Kolitis (**E** des Dickdarms), Myokarditis (**E** des Herzmuskels), Pneumonitis (**E** der Lunge), usw.

Verwendete Medikamente sind meistens nicht-steroidale Entzündungshemmer (NSAIS) wie beispielsweise Ibuprofen oder Voltaren. Sie hemmen die Produktion der Prostaglandine, welche hauptverantwortlich für den Schmerz sind. Sie wirken schmerzstillend (analgetisch), fiebersenkend (antipyretisch) und entzündungshemmend (antiphlogistisch). Die häufigsten unerwünschten Nebenwirkungen sind Verdauungsbeschwerden. Entzündungshemmend wirken auch Corticosteroide (Cortison). Leichtere Schmerzmittel sind Paracetamol und Acetylsalicylsäure (Aspirin). Stark wirksame Schmerzmittel sind Morphine bzw. Opiate wie Tramal oder Codein, die bei schweren chronischen Schmerzen eingenommen werden.

Infektionskrankheiten

Infektionskrankheiten sind Erkrankungen, die durch Viren, Bakterien, Pilze und andere Erreger hervorgerufen werden. Im Folgenden werden wichtige Merkmale von Infektionskrankheiten beschrieben: die Art und Weise der Übertragung, die Symptomatik, die Inkubationszeit, Diagnose und Therapiemöglichkeiten, und einige Beispiele von Infektionskrankheiten.

• Übertragung

Bei der *Tröpfcheninfektion* wird der Erreger durch Niesen oder Husten weitergegeben, bei der *Schmierinfektion* durch Blut, Schleim, Kot, Sperma oder Eiter, bei der *Vektoreninfektion* sind Zecken, Insekten oder Nagetiere die Überträger, bei *Kontaminationen* können Nahrungsmittel oder Wasser das Virus übertragen.

Beispiel Röteln: Erreger sind Rubella-Viren. Die Übertragung erfolgt über eine Tröpfcheninfektion.

• Ausbreitung

Eine ungebremsste Ausbreitung erfolgt immer exponentiell. Bei einem ungebremssten Wachstum gilt die Formel $M_X = M_1 \cdot 2^{(X/D)}$. Dabei sind: M_X = Menge nach X Tagen, M_1 = Anfangsmenge und D = Verdoppelungszeit. Bleibt die Ausbreitung auf eine Region beschränkt, dann wird von einer Epidemie gesprochen. Eine Pandemie liegt dann vor, wenn die Ausbreitung der Erreger über regionale Grenzen hinaus global erfolgt.

• Inkubation

Unter der Inkubationszeit versteht man jene Zeitspanne, welche zwischen der Ansteckung und dem ersten Auftreten von Symptomen liegt. Sie dauert meistens einige Tage bis einige Wochen.

Beispiel Röteln: Die Inkubationszeit beträgt 2 bis 3 Wochen.

• Symptome

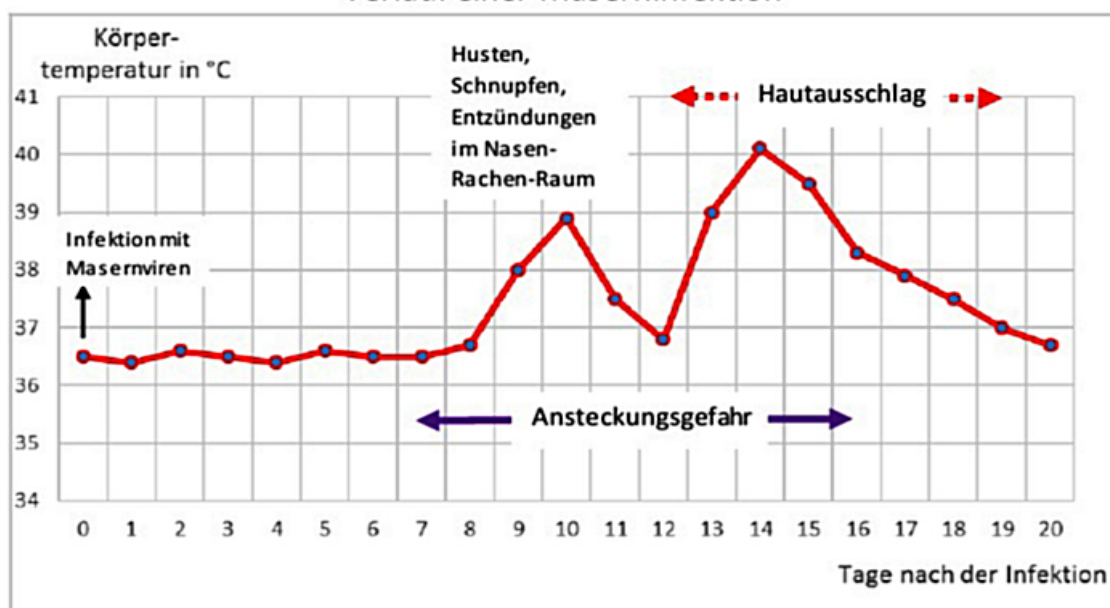
Infektionen können typische Symptome verursachen, können aber auch ohne Symptome verlaufen. *Beispiel Röteln:* Zunächst erkältungsähnliche Symptome (Husten, Schnupfen, Fieber) und auch geschwollene, oft schmerzhafte Lymphknoten im Halsbereich, weil die Erreger sich zuerst im lymphatischen Gewebe vermehren, bevor sie sich über das Blut im Körper verteilen. Später treten dann typische Hautausschläge mit kleinen, hellroten Flecken auf, zuerst im Gesicht und dann im ganzen Körper.

• Krankheitsverlauf

Der Verlauf einer Infektionskrankheit kann sehr unterschiedlich sein, entweder milde und ohne Komplikationen, oder heftig und auch mit schwerwiegenden Komplikationen. Das hängt von der Infektionssituation und dem Immunsystem des Patienten ab.

Beispiel Röteln: Meistens ein problemloser Krankheitsverlauf. Bei älteren Patienten können auch schwerere Komplikationen auftreten (z.B. Entzündungen von Mittelohr, Gelenken und Herzmuskel).

Verlauf einer Maserninfektion



• **Diagnose**

Bei Infektionsverdacht ist eine ärztliche Diagnose wichtig. Die Verfahren dazu reichen von einer Erhebung der Krankheitsgeschichte und medizinischer Begutachtung bis zu spezifischen Tests. Bei solchen Tests wird häufig ein Schleimhautabstrich im Labor untersucht. Dabei sind grundsätzlich zwei Verfahren zu unterscheiden: Erstens kann bei Kenntnis des Erbgutes des Erregers ein direkter Gentest mit dem so genannten PCR-Verfahren (Polymerase-Kettenreaktion) durchgeführt werden. Zweitens kann - wenn technisch möglich - ein Test auf entsprechende Antikörper im Blut erfolgen. *Beispiel Röteln*: Beide Untersuchungsverfahren sind möglich, sowohl ein direkter Virennachweis, als auch ein Antikörpertest.

• **Therapie**

Auch hier gibt es unterschiedliche Methoden. *Antibiotika* sind Medikamente gegen Bakterien. *Virostatika* sind mögliche Mittel gegen Viren. Oft kann keine kausale Therapie erfolgen, weil es dazu keine Medikamente gibt. Dann ist nur eine symptomatische Behandlung möglich, wie beispielsweise mit den fiebersenkenden Mitteln *Ibuprofen* oder *Paracetamol*, welche zusätzlich auch schmerzlindernd wirken. Das ist auch bei *Röteln* der Fall.

Ein Problem bei *Antibiotika* ist die Entwicklung von *resistenten* Bakterien. Das sind Bakterien, die durch Veränderungen der Gene (Mutation, Gentransfer) vom Antibiotikum nicht zerstört werden. Ein sehr gefährlicher Krankenhauskeim ist MRSA (Methicilin-resistenter *Staphylococcus aureus*).

• **Hygiene und Infektionsschutz**

Einfache Hygienemaßnahmen: Desinfektion der Hände (mit Alkohol, Wasserstoffperoxid, ...) und Flächendesinfektion, Haushalt- und Lebensmittelhygiene, die Sozialkontakte und die Kontaktdichte verringern (2 m Abstand), Schutzmasken, Quarantäne.

• **Impfungen**

Wenn ein Impfstoff vorhanden ist, dann sind Impfungen der beste Infektionsschutz. Bei der *aktiven* Impfung wird beispielsweise das Virus in abgeschwächter Form verabreicht, wobei zwar die Antigene aber nicht die krankheitsauslösenden Moleküle am Virus vorhanden sind. So kann das Immunsystem des Geimpften selbständig Antikörper gegen den Erreger entwickeln. Bei *passiver* Impfung werden spezifische Antikörper verabreicht. Beide Impfverfahren sind bei *Röteln* möglich.

• **Beispiele von Infektionskrankheiten**

Durch *Bakterien* ausgelöst:

Pest, Cholera, Tuberkulose, Typhus, Tetanus, Gonorrhoe, Syphilis, ...

Durch *Viren* ausgelöst:

Masern, Mumps, Röteln, Windpocken (Kombinationsimpfung MMR+W),
Hepatitis, Kinderlähmung (Poliomyelitis), Frühsommer-Meningitis (FSME),
Gürtelrose (Herpes-Zoster-Viren), Gebärmutterhalskrebs (HPV-Viren),
AIDS (Erworbenes Immunschwäche Syndrom, HIV-Viren),
SARS (Schweres Akutes Atemweg Syndrom, SARS-Corona-Viren), ...

Sterben und Tod

Das Sterben ist ein mehr oder weniger lang dauernder Prozess, an dessen Ende der Tod steht. Beim Eintritt des Todes erlöschen die drei wichtigsten Vitalfunktionen (**Bewusstsein, Atmung und Kreislauf**). Das irreversible Erlöschen der Gehirntätigkeit wird als biologischer Tod bezeichnet. Die ersten Leichenzeichen sind immer die blauvioletten Totenflecken und die Totenstarre. Danach treten Fäulnis, Verwesung, Tierfraß, Mumifizierung und Skelettierung ein.

[5.3] Wichtige medizinische Parameter

Wichtige chemische Stoffkonzentrationen werden im medizinischen Labor mithilfe von Messgeräten aus Blut, Plasma, Serum und Urin ermittelt. Je nachdem, ob sie pathologisch erhöht oder erniedrigt sind, haben sie unterschiedliche klinische Bedeutung.

Häufig benutzte Abkürzungen in der Medizin

ACh	= Acetylcholin
ACTH	= adreno-corticotropes Hormon
ADH	= antidiuretisches Hormon
ADP	= Adenosindiphosphat
AEP	= akustisch evoziertes Potential
ANF	= atrialer natriuretischer Faktor
Anti-A	= Antikörper im Plasma zur Blutgruppe B
Anti-B	= Antikörper im Plasma zur Blutgruppe A
Anti-D	= Antikörper im Plasma von rh-negativen Individuen
AP	= Aktionspotential
ATP	= Adenosintriphosphat
AV-Rhythmus	= Rhythmus des AV-Knotens
avDO ₂	= arteriovenöse O ₂ -Differenz
BSG	= Blutsenkungsgeschwindigkeit
dpt	= Dioptrien
EEG	= Elektroenzephalogramm
EKG	= Elektrokardiogramm
EMG	= Elektromyogramm
EOG	= Elektrookulogramm
EP	= evozierte Potentiale
f	= Frequenz
FSH	= follikelstimulierendes Hormon
GFR	= glomeruläre Filtrationsrate
5-HT	= 5-Hydroxytryptamin, Serotonin
Hb	= Hämoglobin
HCG	= Choriongonadotropin
HDL	= high density lipoprotein
HLA	= human leukocyte antigen
HMV	= Herzminutenvolumen
HZV	= Herzzeitvolumen
IFN	= Interferone
Ig	= Immunglobuline
LDL	= low density lipoprotein
LH	= luteinisierendes Hormon
MCH	= mittlerer Hämoglobingehalt des Erythrozyten
MP	= Membranpotential
NA	= Noradrenalin
pCO ₂	= Kohlendioxidpartialdruck
pO ₂	= Sauerstoffpartialdruck
PRL	= Prolaktin
PTT	= partial thromboplastin time
RBF	= renaler Blutfluß
REM	= Rapid-eye-movement-Schlaf
RhD ⁻	= Rhesus-negativ
RhD ⁺	= Rhesus-positiv
RQ	= respiratorischer Quotient
SEP	= somatosensorisch evoziertes Potential
STH	= somatotropes Hormon
T	= absolute Temperatur
T ₃	= Trijodthyronin
T ₄	= Thyroxin
TSH	= thyreoideastimulierendes Hormon
VIP	= vasoaktives intestinales Peptid
V _E	= Atemzugvolumen
ZNS	= Zentralnervensystem
ZVD	= zentraler Venendruck

Abkürzungen von häufig verwendeten anatomischen Bezeichnungen

Einzahl

A.	= Arteria
Lig.	= Ligamentum
M.	= Musculus
N.	= Nervus
R.	= Ramus
V.	= Vena

Mehrzahl

Aa.	= Arteriae
Ligg.	= Ligamenta
Mm.	= Musculi
Nn.	= Nervi
Rr.	= Rami
Vv.	= Venae

Abkürzungen von Richtungsbezeichnungen als Bestandteile anatomischer Begriffe

ant.	= anterior	= vorderer
caud.	= caudalis	= unten
dext.	= dexter	= rechts
dist.	= distalis	= weiter vom Rumpf entfernt
dors.	= dorsalis	= hinten (rückwärts)
ext.	= externus	= außen (i.S. von oberflächlich)
inf.	= inferior	= unterer
int.	= internus	= innen (i.S. von tief)
lat.	= lateralis	= außen (i.S. von seitlich)
med.	= medialis	= innen (als Gegensatz von seitlich)
palm.	= medius	= mittlerer (von drei)
	= palmaris	= in oder nach der Hohlhand zu
post.	= posterior	= hinterer
prof.	= profundus	= tief
prox.	= proximalis	= näher zum Rumpf liegend
sin.	= sinister	= links
sup.	= superior	= oberer
superf.	= superficialis	= oberflächlich
ventr.	= ventralis	= vorn (bauchwärts)

Bewegungsrichtungen

Flexion → Beugung
Extension → Streckung

Abduktion → vom Körper weg
Adduktion → zum Körper hin
Rotation → Drehung, Kreiselung

Achsen und Ebenen

- 1) **Vertikale (longitudinale) Achse** → Längsachse des Körpers
- 2) **Transversale (horizontale) Achse** → Querachse
- 3) **Sagittale Achse** → verläuft von der Hinter- zur Vorderfläche des Körpers
- 4) **Mediansagittalebene** → teilt den Körper in zwei annähernd gleiche Hälften (Symmetrieebene)
- 5) **Sagittalebene** → Paramedianebene, jede parallel zur Mediansagittalebene stehende Ebene
- 6) **Frontale Ebene** → eine Ebene parallel zur Stirn
- 7) **Transversale Ebenen** → stehen senkrecht zur Mediansagittalebene und zu einer Frontalebene. Bei aufrechtem Stand liegen sie horizontal.

Griechisches Alphabet

α A Alpha	β B Beta	γ Γ Gamma	δ Δ Delta	ε E Epsilon	ζ Z Zeta	η H Eta	θ Θ Theta	ι I Jota	κ K Kappa	λ Λ Lambda	μ M My
ν N Ny	ξ Ξ Ksi	ο O Omikron	π Π Pi	ρ Ρ Rho	σ Σ Sigma	τ Τ Tau	υ Υ Ypsilon	φ Φ Phi	χ Χ Chi	ψ Ψ Psi	ω Ω Omega

Bezeichnungen und Symbole der SI-Basiseinheiten

Basisgröße	Basiseinheit	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
elektrische Stromstärke	Ampere	A
thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge (Substanzmenge)	Mol	mol
Frequenz	Hertz	Hz
Kraft	Newton	N
Druck	Pascal	Pa
Energie	Joule	J
Leistung	Watt	W
Elektrizitätsmenge/elektrische Ladung	Coulomb	C
elektrische Potentialdifferenz (Spannung)	Volt	V
elektrischer Widerstand	Ohm	Ω

Maße und Einheiten

Länge	1 hundertstel Meter 1 tausendstel Meter 1 millionstel Meter 1 milliardstel Meter	1 Meter 1 Zentimeter 1 Millimeter 1 Mikrometer 1 Nanometer	1 m 1 cm 1 mm 1 μm 1 nm
Volumen	Das Volumen ist eine von der Länge abgeleitete Einheit. 1 Liter entspricht dem Volumen eines Würfels von je 10 cm Länge, Breite und Tiefe.		
	1 Liter	1 l	= 1000 cm ³
	1 zehntel Liter	1 Deziliter	1 dl = 100 cm ³
	1 tausendstel Liter	1 Milliliter	1 ml = 1 cm ³
	1 millionstel Liter	1 Mikroliter	1 μl = 1 mm ³
	1 milliardstel Liter	1 Nanoliter	1 nl
Masse	1000 Gramm	1 Kilogramm	1 kg
	1 tausendstel Gramm	1 Gramm	1 g
	1 millionstel Gramm	1 Milligramm	1 mg
		1 Mikrogramm	1 μg

Volumen- und Massenkonzentration

Die Konzentration ist der Volumen- oder Massenanteil eines Stoffes in 1 Liter (oder Milliliter) Lösungsmittel.

1 ml/l	1 Milliliter pro Liter	Volumenkonzentration
1 g/l	1 Gramm pro Liter	Massenkonzentration
1 g/dl	1 Gramm pro Deziliter	Massenkonzentration
1 mg/dl	1 Milligramm pro Deziliter	Massenkonzentration
1 μg/l	1 Mikrogramm pro Liter	Massenkonzentration

Umrechnungsbeziehungen zwischen einigen alten Einheiten und SI-Einheiten

Größe	Umrechnungsbeziehungen
Kraft	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
	1 kp = 9,81 N
Druck	1 cm H ₂ O = 98,1 Pa
	1 mm Hg = 133 Pa
	1 atm = 101 kPa
	1 bar = 100 kPa
	= 10 ⁻⁷ J
Energie (Arbeit)	= 9,81 J
	1 cal = 4,19 J
Leistung	1 mkp/s = 9,81 W
	1 PS = 736 W
	1 N = 10 ⁵ dyn
	1 N = 0,102 kp
	1 Pa = 0,0102 cm H ₂ O
	1 Pa = 0,0075 mm Hg
	1 kPa = 0,0099 atm
	1 kPa = 0,01 bar
	1 J = 10 ⁷ erg
	1 J = 0,102 mkp
	1 J = 0,239 cal
	1 W = 0,102 mkp/s
	1 W = 0,00136 PS

Vorsilben und Symbole einiger Zehnerpotenzwerte

Zehnerpotenz	Vorsilbe	Symbol
10^6	Mega- (millionenfach)	M
10^3	Kilo- (tausendfach)	k
10^2	Hekto- (hundertfach)	h
10^1	Deka- (zehnfach)	da
10^{-1}	Dezi- (zehntel)	d
10^{-2}	Zenti- (hundertstel)	c
10^{-3}	Milli- (tausendstel)	m
10^{-6}	Mikro- (millionstel)	μ
10^{-9}	Nano- (milliardstel)	n

Stoffmengenkonzentration

Gibt die Zahl der Teilchen (Moleküle) an, die in 1 Liter Lösungsmittel (z. B. Blutserum) enthalten sind.

1 mol/l 1 mol pro Liter
1 mmol/l 1 tausendstel mol pro Liter

Umrechnungsbeziehungen zwischen alten Konzentrationseinheiten (mg%; g%) und SI-Einheiten

Stoff	alte Einheit	SI-Einheit
Glucose	1 mg%	0,0555 mmol/l
Harnstoff	1 mg%	0,1660 mmol/l
Harnsäure	1 mg%	59,48 μ mol/l
Creatinin	1 mg%	88,40 μ mol/l
Bilirubin	1 mg%	17,10 μ mol/l
Cholesterin	1 mg%	0,0259 mmol/l
Plasmaeiweiß	1 g%	10 g/l

(SI = internationales Einheitensystem)

Blut-, Harn-, Liquor-Normalwertetabelle

Anmerkung: Die genannten Werte gelten für Erwachsene. (f = weiblich; m = männlich).

Kleines Blutbild

Hämoglobin	
m	14–18 g/dl
f	12–16 g/dl
Erythrozyten	
m	4,6–6,2 Mio/ μ l
f	4,2–5,4 Mio/ μ l
Hämatokrit	
m	40–52 %
f	35–47 %
MCV	81–100 μ m ³
MCH (= Hb _e)	27–34 pg
MCHC	31–36 g/dl
Retikulozyten	18–158000/ μ l
Leukozyten	4300–10000/ μ l
Thrombozyten	150000–440000/ μ l

Enzyme

Alpha-Amylase	bis 120 U/l
alk. Phosphatase	60–170 U/l
saure Phosphatase	bis 11 U/l
prostataspez. Phosphat.	bis 4 U/l
GOT m/f	bis 19/15 U/l
GPT m/f	bis 23/19 U/l
LDH	120–240 U/l
LAP	11–35 U/l
GLDH m/f	bis 4/3 U/l
Gamma-GT	
m	6–28 U/l
f	4–18 U/l
Alpha-HBDH	55–140 U/l
Cholinesterase	2000–3700 U/l
Lipase	20–190 U/l
CK m/f	bis 80/70 U/l
CK-MB	bis 10 U/l
	(und unter 6 % der CK)

Differentialblutbild

	rel. %	absolut
Stabkernige	3,0	bis 700/ μ l
Segmentkernige	56	1800–7000/ μ l
Eosinophile	2,7	bis 450/ μ l
Basophile	0,5	bis 200/ μ l
Lymphozyten	34	1000–4800/ μ l
Monozyten	4,0	bis 800/ μ l
BSG	1 h	2 h
m	2–8 mm	5–18 mm
f	4–10 mm	6–20 mm

Säure-Basen-Blutgase

pH (art.)	7,37–7,45
pH (ven.)	7,35–7,43
Standardbikarbonat	21–26 mmol/l
O ₂ -Sättigung (art.)	94–98 %
(ven.)	65–80 %
pO ₂ (art.)	71–104 mm Hg
pCO ₂ (art.)	35–46 mm Hg
(ven.)	37–55 mm Hg
art.-ven. O ₂ -Diff.	4,5–5,5 Vol. %
BE	–2,3 bis +3 mmol/l

Gerinnungsparameter

Thromboplastinzeit (Quick)	70–120%
unter Antikoagulation	10–22%
partielle Thromboplastinzeit (PTT)	30–45 sec
Thrombinzeit (TZ)	17–24 sec
Blutungszeit (Duke)	2–5 min
Gerinnungszeit	5–7 min
Fibrinogen	250–500 mg/dl

Blutfette

Cholesterin	
verdächtig	ab 200 mg/dl
erhöht	ab 260 mg/dl
HDL-Cholesterin	
m	$\geq$ 65 mg/dl
f	$\geq$ 55 mg/dl
LDL-Cholesterin	$\leq$ 150 mg/dl
Triglyzeride	$\leq$ 150 mg/dl

KI. Chemie/Elektrolyte

Natrium	137–148 mmol/l
Kalium	3,5–4,8 mmol/l
Calcium	2,2–2,7 mmol/l
Magnesium	0,8–1,1 mmol/l
Chlorid	94–111 mmol/l
Kupfer	70–150 µg/dl
Eisen	
m	40–150 µg/dl
f	60–140 µg/dl
Eisenbindungskapazität (total)	260–400 µg/dl
Phosphor (anorg.)	0,8–1,5 mmol/l
Bilirubin	bis 1,1 mg/dl
Harnstoff	10–50 mg/dl
Harnsäure	
m	3,5–7,0 mg/dl
f	2,5–5,7 mg/dl
Kreatinin	
m	0,6–1,1 mg/dl
f	0,5–0,9 mg/dl
Kreatinin-Clearance	
m	98–156 ml/min
f	95–160 ml/min

Proteine/Immunglobuline

Gesamteiweiß	6,6–8,3 g/dl
Albumin	3,6–5,0 g/dl
CRP	<0,6 mg/dl
α_1 -Antitrypsin	190–350 mg/dl
Coeruloplasmin	15–60 mg/dl
Haptoglobin	50–330 mg/dl
Transferrin	220–372 mg/dl
IgA	90–450 mg/dl
IgG	800–1800 mg/dl
IgM	
m	60–250 mg/dl
f	70–280 mg/dl
CEA	<5,0 µg/l
AFP	<10,0 µg/l
Ferritin	20–300 µg/l

Glucose

kapillär	60–100 mg/dl
venös	70–110 mg/dl
Belastung mit 75 g	nach 1 h < 200 mg/dl
HbA _{1c}	nach 2 h < 140 mg/dl
	4–7 % des ges. Hb

Hormone

TSH	0,3–4,5 mU/l
3 h nach oralem TRH	bis 30 mU/l
Gesamt-Thyroxin (T ₄)	5–12 µg/dl
freies Thyroxin (FT ₄)	0,8–2,0 ng/dl
Trijodthyronin (T ₃)	70–180 ng/dl
Cortisol (8.00 Uhr)	5–25 µg/dl
(24.00 Uhr)	0–5 µg/dl

Harn

spezifisches Gewicht	1,016–1,022
nach H ₂ O-Zufuhr/-Karenz	1,002–1,030
Volumen	1,0–1,6 l/die
pH-Wert	5,5–7,0
Sediment, vereinzelt	
Leukos u. Epithelien	(0–5)
Glucose	bis 30 mg/dl
Eiweiß	bis 10 mg/dl
	bis 150 mg/die
17-Ketosteroide	5–20 mg/die
Porphobilinogen	<2,0 mg/die
Uroporphyrine (ges.)	20–60 µg/die

Liquor

pH-Wert	7,4–7,5
spez. Gewicht	1,006–1,008
Glucose	40–75 mg/dl
Eiweiß	15–45 mg/dl
IgG	bis 4 mg/dl
Lactat	11–19 mg/dl
Zellen	bis 3/µl
Druck (liegend)	70–220 mm H ₂ O

Abkürzungen von einigen chemischen Stoffen, welche in den Tabellen vorkommen (jedoch nicht im Buchtext):

MCH (Hb_E) = mittleres korpuskuläres Hämoglobin
 MCV = mittleres Erythrozytenvolumen
 HbA_{1c} = glykosyliertes Hämoglobin
 Ferritin = Eisenhaltiges Protein

CRP = C-reaktives Protein (Entzündungsmarker)
 Ig A,D,E,G,M = Immunglobuline (Immunmarker)
 PSA = Prostata-spezifisches Antigen (Tumormarker)
 CEA = karzinoembryonales Antigen (Tumormarker)
 AFP = Alpha-Fetoprotein (Tumormarker)

GOT = Glutamat-Oxalacetat-Transaminase
 GPT = Glutamat-Pyruvat-Transaminase
 γ -GT = Gamma-Glutamyl-Transferase
 GLDH = Glutamat-Dehydrogenase
 CK = Kreatin-Kinase
 LDH = Laktat-Dehydrogenase
 α -HBDH = Alpha-Hydroxy-Butyrat-Dehydrogenase
 AP = alkalische Phosphatase
 LAP = Leucin-Amino-Peptidase

Erhöht bei Diabetes mellitus.
 Niedrig bei Eisenmangel, chronischen Infektionen.

Erhöht bei Entzündungen und Infektionen.

Erhöht bei Erkrankungen der Prostata.
 Erhöht bei Karzinomen der inneren Organe.
 Erhöht bei Karzinomen der Leber.

Erhöht bei Entzündungen der Leber.
 Erhöht bei Entzündungen der Leber.
 Erhöht bei Fettleber und Pankreaserkrankungen.

Erhöht bei Herzinfarkt und Muskelerkrankungen.
 Erhöht bei Herzinfarkt und Lungenembolie.
 Erhöht bei Herzinfarkt und Lungenembolie.

Schlusswort

Zum Schluss sollen der Biologe und Nobelpreisträger **Francis Crick** und der Psychiater **Manfred Spitzer** zu Wort kommen.

Die erstaunliche Hypothese besagt Folgendes: die Menschen, ihre Freuden und Leiden, ihre Erinnerungen, ihre Ziele, ihr Sinn für die eigene Identität und Willensfreiheit - bei alldem handelt es sich in Wirklichkeit nur um das Verhalten einer riesigen Ansammlung von Nervenzellen und dazugehörigen Molekülen (Francis Crick).

Man kann davon ausgehen, dass jeder Mensch mit einer bestimmten neuromodulatorischen Grundausstattung geboren wird. Die chemischen Neuromodulatoren wie Serotonin, Noradrenalin und Dopamin bestimmen sein Temperament bzw. sie sind sein Temperament. Unterschiede in ihrem Vorhandensein zwischen einzelnen Menschen legen damit den Grundstein für Verhaltensdispositionen und Reaktionsweisen. Wir sind jedoch diesem genetischen Schicksal nicht völlig ausgeliefert, diese Neuromodulatoren und ihre Effekte sind vielmehr auch beeinflussbar durch unsere individuellen Lernerfahrungen (Manfred Spitzer).

Weil alle Theorie grau und wirkungslos bleibt, wenn man daraus nicht Lehren für die persönliche Lebenspraxis gewinnen kann, soll zuletzt an die fünf Leitlinien für eine gesunde Lebensführung erinnert werden.

- **Gesunde Ernährung.**

Eher weniger, aber regelmäßig essen. Überfettung und Übersäuerung meiden.
Für genügend Vitamine, Spurenelemente und Radikalfänger (Antioxidantien) sorgen.
Kein Nikotin, wenig Alkohol. Viel Flüssigkeit (2 bis 3 Liter pro Tag) trinken.

- **Gesunde Bewegung.**

Täglich ca. 20 Minuten schnell gehen (Herz-Kreislauf-Training)
und ca. 20 Minuten leichte Gymnastik (Gelenkigkeit).

- **Ausgleichende Entspannung.**

Massage, Meditation, Atemübungen, Entspannungstraining, . . .

- **Körperhygiene.**

Tägliche Reinigung, Infektionsschutz bei der Sexualität, ausreichender Schlaf, . . .

- **Psychohygiene.**

Ein verlässliches Wertesystem aufbauen, einen stabilen Selbstwert entwickeln.
Lebenszufriedenheit finden, d.h. Zufriedenheit im Beruf und im Privatleben.
Innere Ausgeglichenheit und Achtsamkeit gegenüber sich selbst und den Anderen.
Harmonische Sozialkontakte pflegen - geleitet von Mitgefühl, Respekt und Toleranz.
Positive Grundeinstellung zum Leben und zum Erleben. Mehr Lachen als Grübeln.
Geistig aktiv bleiben. Lebenslanges Lernen.

Quellennachweis

Die meisten Grafiken des vorliegenden Buches sind dem Buch *<Ein Fenster zum ICH>* von Herbert Paukert (erschienen 1999 im öbv-hpt-Verlag) entnommen und entsprechend den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen abgeändert worden. In diesem Lehrbuch findet man auch die Quellenangaben der Abbildungen.

Alle anderen Grafiken - wenn im Buchtext nicht anders angegeben - wurden vom Autor selbst angefertigt, oder sie stammen aus dem *<Handbuch Anatomie>* von Speckmann/Wittkowsky und wurden dann vom Autor nachbearbeitet und in den entsprechenden Kontext gestellt.

Literaturhinweise

<Handbuch Anatomie> von Speckmann/Wittkowsky (Ullmann Verlag, 2012)

<Der Körper des Menschen> von Faller/Schünke (Thieme Verlag, 2012)

<Das Gehirn> von Rita Carter (Dorling Kindersley Verlag, 2010)

<Gehirn, Psyche, Körper> von Caspar Rüegg (Schattauer Verlag, 2014)

<Wie das Gehirn die Seele macht> von Gerhard Roth (Klett Cotta Verlag, 2014)

<Psychoneuroimmunologie> von Christian Schubert (Schattauer Verlag, 2015)

