

Die ENERGIE des LEBENS

Eine Biochemie der Zellen, Organe und der Psyche

© Herbert Paukert, Version 6.0

(01) Der Energiebegriff	< 02 >
(02) Die Entwicklung des Lebens	< 04 >
(03) Die Zellen	< 09 >
(04) Der Stoffwechsel der Zellen	< 13 >
(05) Verdauung und Stoffwechsel	< 17 >
(06) Teilung und Spezialisierung	< 20 >
(07) Der Kreislauf der Energie	< 24 >
(08) Das System "Mensch"	< 25 >
(09) Bilder wichtiger Organe	< 29 >
(10) Kleine Biochemie der Organe	< 40 >
(11) Die Selbstheilung	< 46 >
(12) Die "Lebensenergie"	< 48 >
(13) Die menschliche Psyche	< 49 >
(14) Intelligenz und Persönlichkeit	< 54 >
(15) Die psychoneuralen Grundsysteme	< 56 >
(16) Lebensglück und Lebensfreude	< 60 >

Texte und Abbildungen entstammen dem Somatologie-Lehrbuch „**Wege zum Körper**“ des Autors. Das Buch kann von der Homepage www.paukert.at als pdf-Datei kostenlos heruntergeladen werden.

(01) Der naturwissenschaftliche Energiebegriff

Die klassische Physik beginnt ihre Untersuchungen an der direkt beobachtbaren Materie. Dabei stellt sie verschiedene Kraftwirkungen fest: die Gravitation als Kraft zwischen Massen, die elektrostatischen An- und Abstoßungen von ruhenden elektrischen Ladungsträgern und schließlich die magnetischen Kraftwirkungen von bewegten elektrischen Ladungsträgern.

Zur Beschreibung dieser Tatsachen wird der Feldbegriff eingeführt. Der gesamte dreidimensionale Raum wird durch das Vorhandensein materieller Quellen (schwerer Massen oder elektrischer Ladungen) in seinen physikalischen Eigenschaften verändert. In jedem Raumpunkt kann die Kraftwirkung dieser Materiequellen in ihrer Stärke und Richtung gemessen werden. Einem Raumpunkt wird dadurch ein Kraftvektor (Pfeil) zugeordnet. Die Menge all dieser Kraftvektoren bildet das Feld. Diese Kraftwirkung breitet sich im Raum von einer Quelle ausgehend mit einer bestimmten Geschwindigkeit aus. Das ergibt zeitlich veränderliche Kraftvektoren in den einzelnen Raumpunkten.

Die so genannten Maxwell'schen Gleichungen stellen den raum-zeitlichen Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Kraftwirkungen in Form von mathematischen Gleichungen dar. Sie beschreiben in vollständiger Weise das elektromagnetische Feld. Ausgehend von bewegten materiellen elektrischen Ladungsträgern breitet sich das Kraftfeld aus, so dass die Kraftvektoren in jedem Raumpunkt sich in ihrer Stärke und Richtung periodisch ändern. Man spricht in diesem Zusammenhang von elektromagnetischen Wellen.

Daneben erzeugen auch die schweren Massen im Raum Felder von Anziehungskräften, welche als Gravitationsfelder bezeichnet werden. Die Relativitätstheorie betrachtet ein Feld nicht mehr als Modell zur Beschreibung von Wirkung und Ausbreitung einer Kraft, sondern als fundamentale Struktureigenschaft von Raum und Zeit. Gravitationsfelder, die durch die Massenverteilung im Universum bestimmt sind, beeinflussen die Geometrie des Raumes. Sie führen zu Raumkrümmungen in dem Sinne, dass die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen dadurch beeinflusst wird (Abweichung eines Lichtstrahls von seiner geraden Bahn in der nahen Umgebung einer schweren Masse).

Eine weitere Hauptleistung der Relativitätstheorie ist die Entdeckung der Äquivalenz von Masse und Energie. Die Beziehung zwischen Masse (m) und der Gesamtenergie (E) eines bewegten Teilchens wird durch die Formel $E = m \cdot c^2$ beschrieben mit c als Lichtgeschwindigkeit.

Nach dieser physikalischen Zusammenschau sollen noch einfache Grunderkenntnisse der Physik in Bezug auf den Energiebegriff erläutert werden. Dazu zwei Beispiele:

1. Beispiel: Ein Mensch hebt einen Körper mit der Masse m gegen die Schwerkraft der Erde um die Höhe s . Dazu hat er mit seiner Muskelkraft F die Arbeit W verrichtet, welche durch die Formel $W = F \cdot s$ beschrieben wird, d.h. die Hubarbeit ist gleich Kraft mal Weg.

2. Beispiel: Ein Auto mit der Masse m soll auf einer normalen, ebenen Fahrbahn beschleunigt werden, und zwar längs der Wegstrecke s in der Zeit t von Ruhe auf die Endgeschwindigkeit v . Dazu wird eine Kraft benötigt, die gleich dem Produkt von Masse mal Beschleunigung ($F = m \cdot a$) ist. Um die verrichtete Arbeit zu ermitteln, werden die Beziehungen $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$, $v = a \cdot t$ in die Formel für die Arbeit $W = F \cdot s$ eingesetzt. Daraus ergibt sich eine neue Formel für die Beschleunigungsarbeit: $W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.

Energie wird nun als der Vorrat an Arbeitsleistung definiert, der in einem Körper steckt. Die Energie des Körpers aus dem ersten Beispiel wird auch als eine Energie der Lage (**potentielle Energie**, $E_p = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$) bezeichnet. Im zweiten Beispiel spricht man von einer Energie der Bewegung (**kinetische Energie**, $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$).

Für alle Bewegungen von Körpern, welche unter dem Einfluss von Reibungskräften ablaufen (z.B. Reibung der Autoreifen an Bodenunebenheiten oder Luftwiderstand) kommt noch eine Energieform ins Spiel, welche als Wärme bezeichnet wird. Diese **thermische Energie** eines Körpers ergibt sich aus der mittleren Geschwindigkeit der Molekularbewegungen des Körpers. Ein Maß dafür ist die Temperatur (T).

So wie bei mechanischen Vorgängen kann auch bei der Verschiebung einer elektrischen Ladung im elektrischen Feld (Stromfluss) die verrichtete Arbeit berechnet werden. Die zugrunde liegende Formel setzt die **elektrische Arbeit** gleich dem Produkt aus Ladung mal Spannung: $W = Q \cdot U$.

Die elektrischen Ströme im Nervengewebe des Gehirns erzeugen in direkter Umgebung Magnetfelder, die etwa eine Milliarde schwächer sind als das Erdmagnetfeld. In den letzten Jahren wurden Geräte entwickelt, welche der Messung von Magnetfeldern dieser geringen Stärke dienen. Sie werden als SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) bezeichnet. Die Aufzeichnung dieser schwachen Magnetfelder, hervorgerufen durch Gehirnströme, nennt man Magnetoenzephalographie (MEG). Sie dient der Lokalisierung und Darstellung des zeitlichen Verlaufes von Gehirnaktivitäten.

Als weiteres Beispiel zum Energiebegriff sei noch die **chemische Bindungsenergie** von Molekülen angeführt. Bei der Bildung von einem Wasserstoffmolekül aus zwei Wasserstoffatomen wird die Bindung der beiden elektrisch positiv geladenen Atomkerne durch die zwischen ihnen angehäufte negative Ladung der Elektronen ermöglicht. Die Bindung beruht also auf elektrischen Anziehungskräften (ungleichnamige Ladungen ziehen sich bekanntlich an).

Jene Energie, die zur Trennung einer solchen Bindung aufgewendet werden muss, heißt chemische Bindungsenergie. Sie kann in Form von Wärme von außen zugeführt werden. Bei chemischen Reaktionen verändert sich die Anordnung der einzelnen Atome, wodurch neue Moleküle entstehen. Dabei wird entweder Arbeit aus den elektrischen Bindungskräften gewonnen (exotherme Reaktion) oder es muss Arbeit gegen diese Kräfte verrichtet werden (endotherme Reaktion).

Als letztes sei noch die **Atomenergie** erwähnt. In einem Atomkern sind die einzelnen elementaren Teilchen durch eine besonders starke Kraft aneinander gebunden (starke Wechselwirkung). Diese Kernkraft hat eine sehr geringe Reichweite und unterscheidet sich dadurch von der elektrischen Anziehungskraft und der Gravitationskraft.

Diese im Atomkern wirkenden Kräfte sind millionenfach stärker als die Anziehungskräfte in der Elektronenhülle, die bei chemischen Reaktionen eine Rolle spielen. Durch Beschuss mit Neutronen (elektrisch neutralen Kernteilchen) können die Atomkerne des Elementes Uran gespalten werden. Dabei werden weitere Neutronen freigesetzt, die eine Kettenreaktion auslösen können. Die dabei freiwerdende Kernenergie erzeugt enorme Wärme und durch technische Einrichtungen wird die Wärme in andere Energieformen transformiert.

Durch Erwärmung von Wasser wird die thermische Energie über den entstehenden Wasserdampf in mechanische Bewegungsenergie (Antrieb von Turbinen) und diese wiederum in elektrische Stromenergie umgewandelt.

Das alles geschieht in den Atomkraftwerken. Der unangenehme Nebeneffekt dabei ist, dass bei jeder Kernspaltung auch gesundheitsschädliche radioaktive Strahlung und radioaktiv strahlende Endprodukte auftreten. Das erzeugt wiederum Probleme des Strahlenschutzes und der Endlagerung.

(02) Die Entwicklung des Lebens

Die **unbelebte Welt** ist der Bereich von Zeit und Raum, 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 verschiedener Moleküle bilden sich immer komplexere Stoffklassen. So bildeten sich in der Uratmosphäre aus sehr 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 wurden in die mineralsalzreichen Urozeane geschwemmt und sie bildeten dort noch komplexere Moleküle; z.B. werden aus den einfachen Aminosäuren längere Polypeptidketten, die sich zu Proteinen (Eiweißen) zusammenfalten. Eine andere Klasse sind die so genannten Phospholipide (komplexere 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 Membrane. Durch Einlagerung von Polypeptiden in diese Membrane können 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, die in enge Wechselwirkung miteinander treten können. Solche, in der Ursuppe schwimmende 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 stabil gegen Wasser, aber instabil gegen kohlenstoffhaltige Hydroxylgruppen. Sie verbinden sich solcherart 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** bzw. englisch **DNA**) 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, so 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 diese identische Reduplikation (bzw. Replikation) sind solche Makromoleküle in der Lage, gleichartig aufgebaute Tochtermoleküle zu erzeugen.

Abb. 1 und Abb. 2: Die chemischen Bausteine der DNS

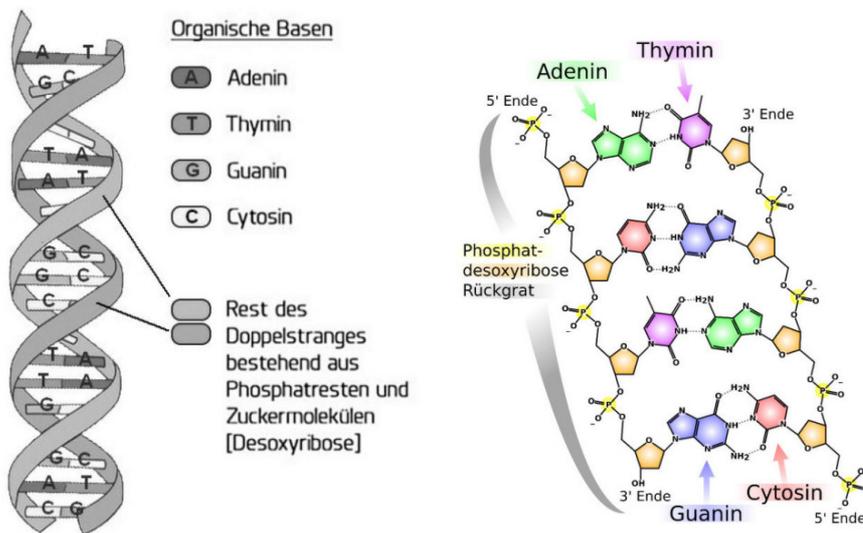
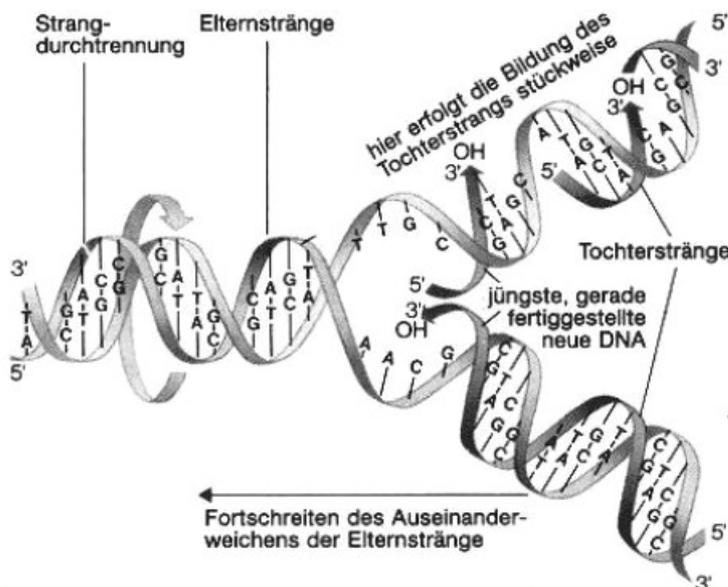


Abb. 3: Die Aufspaltung der DNS

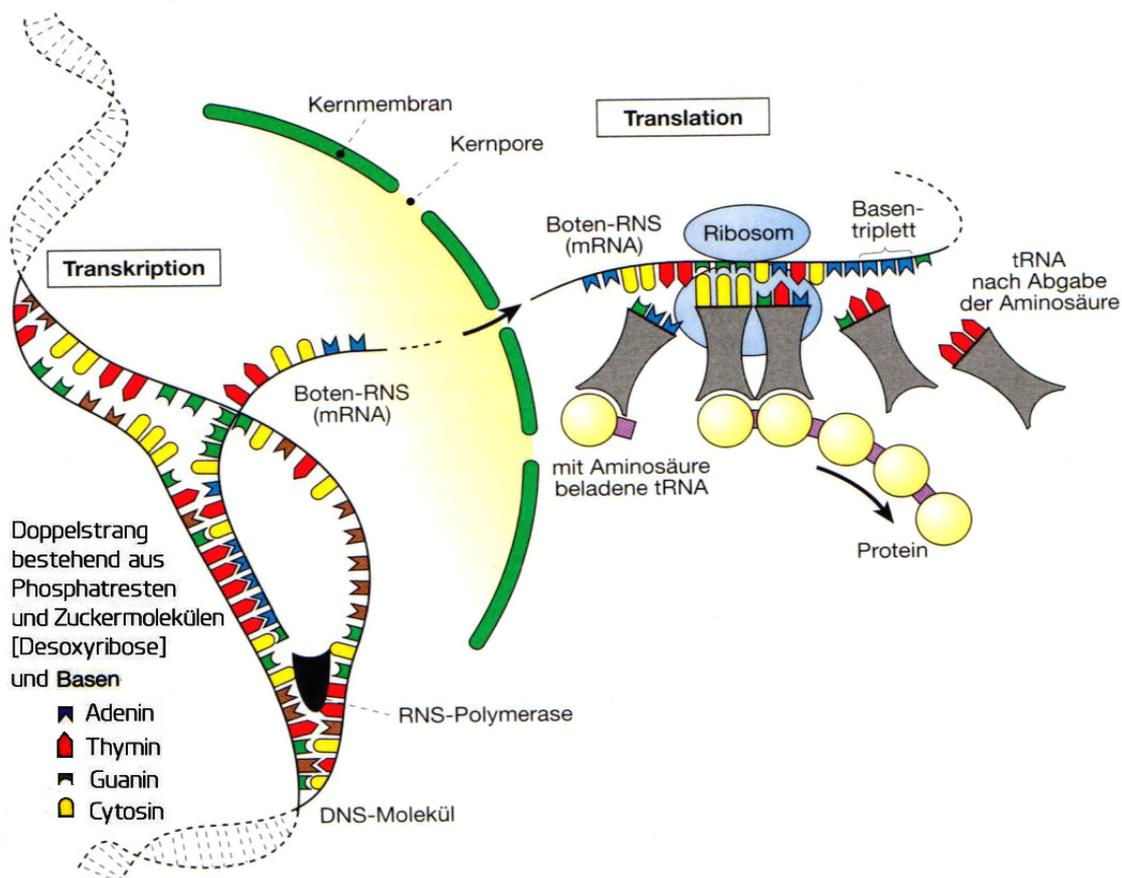


Aus dem bereits komplexen chemischen Geschehen in der Präzelle entwickelt sich eine neue Struktur, nämlich die **Zelle**. Diese weist nunmehr völlig neue Funktionsmerkmale auf: einen **Energiestoffwechsel**, die identische **Reduplikation** und einen **Baustoffwechsel**. Für diese Arbeitsleistungen haben 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 (**Zellorganellen**) regulieren sich gegenseitig derart, dass immer eine optimale Anpassung an die jeweiligen chemisch-physikalischen Situationen erfolgt. Die im Vergleich zur unbelebten Präzelle neuen strukturellen und funktionellen Systemmerkmale 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 dann 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** (natürliche Auslesen).

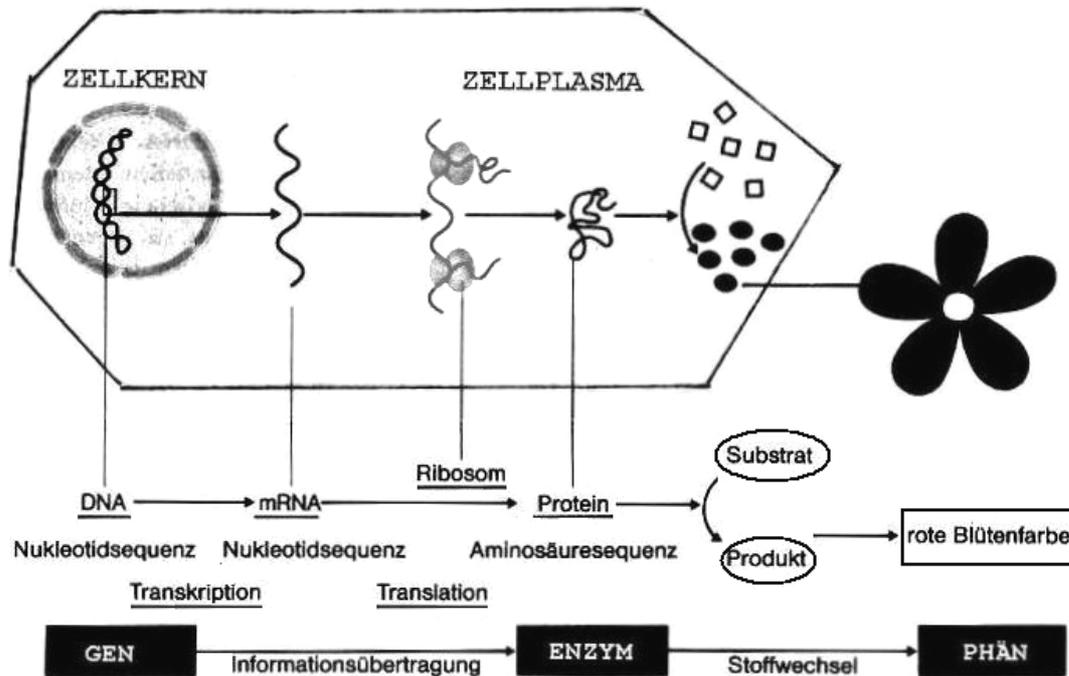
Die wichtigste Funktion der **DNS-Moleküle** ist ihre steuernde Mitwirkung bei der Bildung von **Eiweißen** (Proteinen) durch gezielte Verknüpfung von Aminosäuren. Die DNS-Doppelstränge befinden sich in 46 Kernschleifen (Chromosomen) der Zellkerne. Beim Vorgang der Transkription werden sie ab einer Startposition bis zu einer Endposition mithilfe 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 mithilfe 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).

Abb. 4: Die Biosynthese von Proteinen (Genexpression)



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

Abb. 5: Gene und Phäne



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 **Proteine** ihrerseits werden als **Baustoffe** 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 auf die Stoffwechselfvorgänge in der Zelle, wodurch bestimmte Merkmalsstrukturen aufgebaut werden. 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.

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 deren Funktionalität.

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 und Medizin und zur Herstellung gentechnisch veränderter Pflanzen und Tiere.

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 verdrillten DNS-Fäden auch ringförmig angeordnete DNS (*Plasmide*). Diese eignen sich gut zur Einschleusung von fremden, vorher aus anderen Zellen (pflanzlichen oder 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 vorliegenden 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 Genterapie 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**

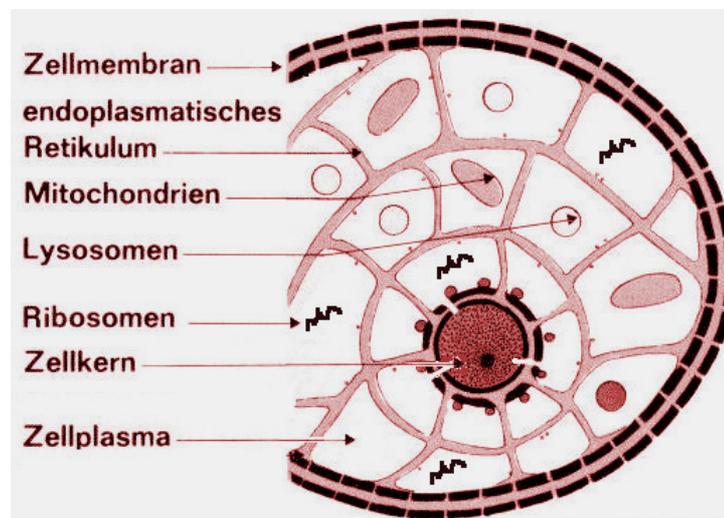
Pflanzen werden gentechnisch verändert um widerstandsfähig gegenüber Unkrautvernichtungsmitteln zu sein (Herbizid-Resistenz), Gifte gegen Schädlinge zu erzeugen (Schädlings-Resistenz) oder wünschenswerte Inhaltsstoffe zu produzieren.

(03) Die Zellen

Die Bausteine des Organismus sind die *Zellen*. Diese haben im Laufe der Entwicklung hochspezialisierte 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 Einrichtungen (Ribosomen, Mitochondrien, usw.) und dem Zellkern mit seinen Chromosomen, die aus Desoxyribonukleinsäure-Molekülen (*DNS*) bestehen.

Die Abbildung zeigt schematisch das Innere der Zelle mit Kern, Plasma und Organellen.

Abb. 6: Die Zellen



Eine **Zelle** ist die kleinste lebende Einheit aller Organismen. Man unterscheidet *Einzeller* und *Mehrzeller*. Besteht das Lebewesen aus vielen Zellen (*Vielzeller*) können Zellen zu funktionellen Einheiten verbunden sein und dadurch Gewebe bilden. Der menschliche Körper besteht aus mehreren hundert verschiedenen Zell- und Gewebetypen. Evolutionsbiologisch betrachtet und im Vergleich zu Einzellern haben die Zellen von Vielzellern größtenteils ihre Fähigkeit, für sich allein leben zu können, verloren und haben sich für eine Arbeitsteilung in Geweben spezialisiert. Jede Zelle stellt ein strukturell abgrenzbares, eigenständiges und selbsterhaltendes System dar. Sie ist in der Lage, Nährstoffe aufzunehmen und die darin gebundene Energie durch Stoffwechsel für sich nutzbar zu machen. Neue Zellen entstehen durch den Prozess der **Zellteilung**. Die Zelle enthält sämtliche Informationen für all diese Funktionen bzw. Aktivitäten.

Zellen haben grundlegende Fähigkeiten, die als Merkmale des Lebens bezeichnet werden, wobei nicht jede Zelle alle diese Eigenschaften haben muss.

- *Vermehrung durch Zellteilung*
- *Stoff- und Energiewechsel*
- *Reaktion auf Reize*
- *Möglichkeit der Bewegung*
- *Merkmal der Strukturiertheit*
- *Wachstum und Entwicklung*
- *Absterben und Tod*

Im Laufe der Evolution haben sich zwei verschiedene Gruppen von Lebewesen gebildet, die sich durch die Struktur ihrer Zellen stark unterscheiden: zum einen die **Prokaryoten**, die aus einfach gebauten Zellen ohne Zellkern bestehen, und zum anderen die **Eukaryoten**, die aus Zellen bestehen, die wesentlich komplizierter strukturiert sind und einen Zellkern besitzen. Die meisten Mehrzeller sind Eukaryoten (Pflanzen, Tiere). Viele Einzeller sind Prokaryoten (Bakterien). Bei den Mehrzellern bilden Zellen sogenannte Zweckverbände. Meistens teilen sie sich Funktionen und sind oft einzeln nicht mehr lebensfähig. Durch die Spezialisierung in Vielzellern sind die oben beschriebenen Fähigkeiten eingeschränkt.

Die Größe von Zellen variiert stark. Normalerweise haben sie einen Durchmesser zwischen 1 und 30 Mikrometer, die Eizelle eines Straußes wird aber sogar über 7 Zentimeter groß. Beim Menschen ist ebenfalls die Eizelle mit 110-140 Mikrometern die größte Zelle, und die einzige, die mit bloßem Auge erkennbar ist. 1 Mikrometer (μm) ist der tausendste Teil von 1 Millimeter.

Struktur der Zelle

Jede Zelle, ob prokaryotisch oder eukaryotisch, besitzt eine Zellmembran, welche die Zelle von der Umgebung abgrenzt. Durch die Zellmembran wird kontrolliert, was in die Zelle aufgenommen und was hinaus transportiert wird. Auf jeder Seite befinden sich Ionen (elektrostatisch geladene Atome oder Moleküle) unterschiedlicher Konzentration, welche durch die Zellmembran getrennt gehalten werden. Dadurch wird ein Konzentrationsunterschied aufrechterhalten, welcher ein elektrisches Potential nach sich zieht. Das durch die Zellmembran umschlossene Medium ist das Zellplasma (Zytoplasma). Alle teilungsfähigen Zellen besitzen DNS, in der die Erbinformationen gespeichert sind, sowie Proteine, die als Enzyme Reaktionen in der Zelle katalysieren oder Strukturen in der Zelle bilden und RNS, die vor allem zum Aufbau der Proteine notwendig ist. Im Folgenden sind die wichtigsten Zellkomponenten aufgelistet und kurz beschrieben.

Zellmembran - die schützende Hülle

Jede Zelle ist von einer Zellmembran oder auch Plasmamembran umschlossen. Diese Membran trennt die Zelle von der Umgebung ab und schützt sie auch. Sie besteht hauptsächlich aus einer doppelten Lipidschicht und verschiedenen Proteinen, die unter anderem den Austausch von Ionen oder Molekülen zwischen der Zelle und ihrer Umgebung möglich machen. Ihre Dicke beträgt etwa 4 bis 5 ηm . 1 Nanometer (ηm) ist der millionste Teil von 1 Millimeter.

Zellskelett - das Gerüst der Zelle

Das Zellskelett ist eine wichtige, komplexe und trotz des eventuell irreführenden Namens eine höchst dynamische Struktur in der Zelle.

Das Zellskelett besteht aus verschiedenen Arten von Proteinen, den Mikrofilamenten (Aktinfilamenten), den Mikrotubuli und den Intermediärfilamenten. Die Existenz der drei Zellskelettelemente als Grundausstattung jeder Zelle wurde erst in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts unter Einsatz der Elektronenmikroskopie und neuen Fixier- und Detektionsverfahren erkannt. In seiner Gesamtheit ist das Zellskelett verantwortlich für die Elastizität und die mechanische Stabilität der Zelle und ihrer äußeren Form, für aktive Bewegungen der Zelle als Ganzes, sowie für Bewegungen und Transporte innerhalb der Zelle. Es spielt zudem wichtige Rollen in der Zellteilung und der Rezeption von äußeren Reizen und deren Weitervermittlung in die Zelle hinein.

Das genetische Material

In der Zelle existieren zwei Arten von genetischem Material: die Desoxyribonukleinsäuren (DNS) und die Ribonukleinsäuren (RNS). Für die Speicherung der Informationen über lange Zeit wird von den Organismen DNS genutzt. Die RNS wird häufig zum Transport der Information (z.B. messenger RNS) und für enzymähnliche Reaktionen (z.B. ribosomale RNS) verwendet.

Bei Prokaryoten liegt die DNS in einfacher, in sich geschlossener („circulärer“) Form vor. Diese Struktur nennt man Bakterienchromosom. In eukaryotischen Zellen ist die DNS an verschiedenen Orten verteilt: im Zellkern und in den Mitochondrien und Plastiden (Zellorganellen mit doppelter Membran). Die DNS im Zellkern ist linear in sogenannten Chromosomen organisiert. Die Zahl der Chromosomen variiert von Art zu Art. Die menschliche Zelle besitzt 46 Chromosomen.

Ribosomen - die Proteinfabriken

Die Ribosomen sind aus RNS und Proteinen bestehende Komplexe in Pro- und Eukaryoten. Sie sind für die Synthese von Proteinen aus Aminosäuren verantwortlich. Die mRNA dient als Information für Art und Reihenfolge der Aminosäuren in den Proteinen. Die Proteinbiosynthese ist sehr wichtig für alle Zellen, weshalb die Ribosomen in vielfacher Zahl in den Zellen vorliegen, zum Teil hunderte bis tausende von Ribosomen pro Zelle. Ihr Durchmesser beträgt 18 bis 20 nm.

Zentriolen

Zentriolen sind zylinderförmige Strukturen im Ausmaß von etwa 170 x 500 Nanometern. Sie sind an der Bildung des MTOC (Mikrotubuli organizing centers) beteiligt, das während der Zellkernteilung den Spindelapparat zur Trennung der Chromosomen bildet, aber auch während der Zwischenphasen zur Organisation und physikalischen Stabilisierung der Zelle beiträgt. Zentriolen kommen in den meisten tierischen Zellen und den Zellen niederer Pflanzen vor, nicht jedoch bei den höheren Pflanzen.

Die Organellen

Bei mehrzelligen Organismen sind die Zellen meistens zu Geweben zusammengefasst, die auf bestimmte Funktionen spezialisiert sind. Oft bilden solche Gewebe einen Komplex, den man Organ nennt. Beim Menschen ist zum Beispiel die Lunge für den Gasaustausch von Kohlendioxid und Sauerstoff verantwortlich. Ähnliche funktionsbezogene Strukturen gibt es in kleinstem Maßstab auch innerhalb der Zelle. Solche Organellen sind in jeder eukaryotischen Zelle zu finden. Der Aufbau von pflanzlichen und tierischen Zellen unterscheidet sich teilweise durch Anzahl und Funktion mancher Organellen. Im Folgenden werden wichtige Organellen angeführt.

Zellkern - die Steuerzentrale der Zelle

Der Zellkern bildet die Steuerzentrale der eukaryotischen Zelle. Er enthält die chromosomale DNS und somit die Mehrzahl der Gene. Bei Säugerzellen hat er einen Durchmesser um 6 nm. Durch die Kernhülle, eine doppelte Membran mit Zwischenraum wird der Kern vom Zellplasma abgegrenzt. Sie wird von Kernporen durchbrochen, wo ein Austausch von Molekülen zwischen dem Inneren des Kernes und dem Zellplasma möglich ist. Die äußere Membran der Kernhülle steht mit dem endoplasmatischen Retikulum in Verbindung.

Im Zellkern findet die Synthese der RNS (Transkription) statt. Jene RNS-Arten, welche für die Proteinsynthese (Translation) benötigt werden, werden aus dem Zellkern durch die Kernporen ins Zellplasma transportiert. Lichtmikroskopisch ist im Kern eine globuläre Struktur mit einem Durchmesser von etwa 2 bis 5 μm zu erkennen, die man Kernkörperchen oder Nukleolus nennt. Die DNS in diesem Bereich des Kerns enthält die Baupläne für die ribosomale RNS, also für die katalytische RNS der Ribosomen.

Mitochondrien - die Kraftwerke

Die Mitochondrien gehören zu den selbstvermehrenden Organellen und sind nur in Eukaryoten-Zellen enthalten, und zwar in unterschiedlicher Anzahl. Sie enthalten ein eigenes Genom, das viele, aber nicht alle der für die Mitochondrien wichtigen Gene enthält. Die anderen Gene befinden sich in den Chromosomen im Zellkern. Deshalb sind die Mitochondrien halb autonom. Mitochondrien werden als „Energiekraftwerke“ der Zelle bezeichnet. In ihnen findet die Oxidation organischer Stoffe mit molekularem Sauerstoff statt, wobei Energie freigesetzt und in Form von chemischer Energie (als ATP) gespeichert wird. Sie haben einen Durchmesser von etwa 0,5 bis 1,5 μm und sind etwa 0,8 bis 4 μm lang.

Plastiden

Plastiden existieren nur in Eukaryoten, die Photosynthese betreiben, also Pflanzen und Algen. Wie die Mitochondrien besitzen die Plastiden ihr eigenes Genom und sind wie die Mitochondrien selbstvermehrend, also auch halb autonom. Es gibt verschiedene Plastiden, die alle von den sogenannten „Proplastiden“ abstammen. Sie sind in der Lage, sich in eine andere Plastidenform umzuwandeln. Der Chloroplast ist der am häufigsten erwähnte. Er dient der Nutzung von Licht zum Aufbau organischer Stoffe (Photosynthese) und enthält alle für die Photosynthese erforderlichen Zellbestandteile, vor allem Membransysteme mit Chlorophyll, Hilfsfarbstoffen, Elektronen- und Wasserstoffüberträgern und ATP-Synthese-Enzym, sowie Enzyme für die CO_2 -Assimilation. Ein anderer Plastid ist zum Beispiel der Amyloplast, der in der Lage ist, Stärke als ein Photosynthese-Endprodukt, zu speichern.

Endoplasmatisches Retikulum und Golgi-Apparat

Diese beiden Systeme bestehen aus von Membranen begrenzten Hohlräumen und sind in den meisten Eukaryoten zu finden. Sie sind funktionell eng miteinander verknüpft. Das Endoplasmatische Retikulum (ER) ist das schnelle Transportsystem für chemische Stoffe. Auch wird in der Zellkernteilung die neue Kernmembran vom ER abgeschnürt. Außerdem ist es für die Translation, Proteinfaltung, posttranslationale Modifikationen von Proteinen und Proteintransport von großer Bedeutung. Diese Proteine werden anschließend vom Golgi-Apparat „verteilt“.

Im Golgi-Apparat werden die Proteine modifiziert, sortiert und an den Bestimmungsort transportiert. Defekte Proteine werden dabei aussortiert und abgebaut.

Lysosomen und Peroxisomen - die Verdauungsorganellen der Zelle

Lysosomen sind winzige, von einer Membran umschlossene Zellorganellen in Eukaryoten. Sie enthalten hydrolytische Enzyme und Phosphatasen. Ihre Hauptfunktion besteht darin, mittels der in ihnen enthaltenen Enzyme die aufgenommenen Fremdstoffe zu verdauen. Unter **Hydrolyse** versteht man die Spaltung eines Stoffes XY durch Wasser H_2O unter Mitwirkung spezifischer Katalysatoren (Enzyme): $\text{XY} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{X-H} + \text{Y-OH}$.

Bei Pflanzen nehmen Zellsaftvakuolen die Aufgaben der Lysosomen wahr. Peroxisomen sind evolutionär sehr alte Zellorganellen in eukaryotischen Zellen. Sie fungieren als Entgiftungsapparate. In den Peroxisomen befinden sich ca. 60 Monooxygenasen und Oxidasen genannte Enzyme, die den oxidativen Abbau von Fettsäuren, Alkohol und anderen schädlichen Verbindungen katalysieren.

Vakuole - Speicher- und Entgiftungsorgan

Vakuolen sind große, von einer Membran umschlossenen Reaktionsräume vorwiegend in Pflanzen, die bis zu 90 % des Zellvolumens einnehmen können, aber zum Beispiel auch im Pantoffeltierchen (Paramecium) vorkommen können. Sie erfüllen die vielfältigsten Aufgaben, unter anderem Aufrechterhaltung des Zelldrucks (Turgor), Lager für toxische Stoffe, Farbgebung der Zelle und Verdauung von Makromolekülen. Als kontraktile Vakuolen dienen sie der Wasserausscheidung.

(04) Der Stoffwechsel der Zellen

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, Salze bzw. Ionen, Kohlehydrate, 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 Kohlehydrate.

In diesen Molekülen kommen hauptsächlich nur sechs chemische Elemente vor: Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N), Kohlenstoff (C), Phosphor (P) und Schwefel (S).

Abb. 7: Glukose und Glykogen

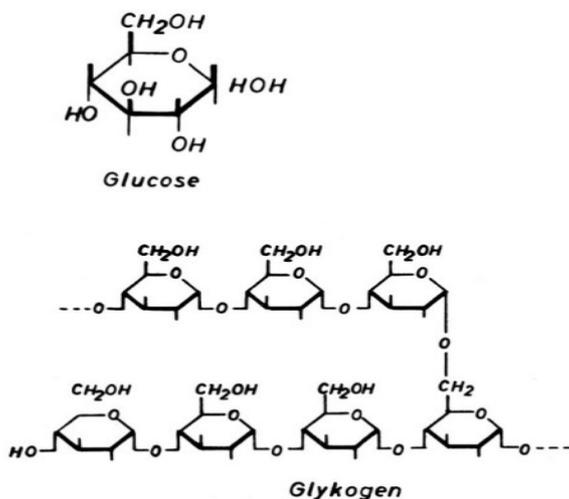
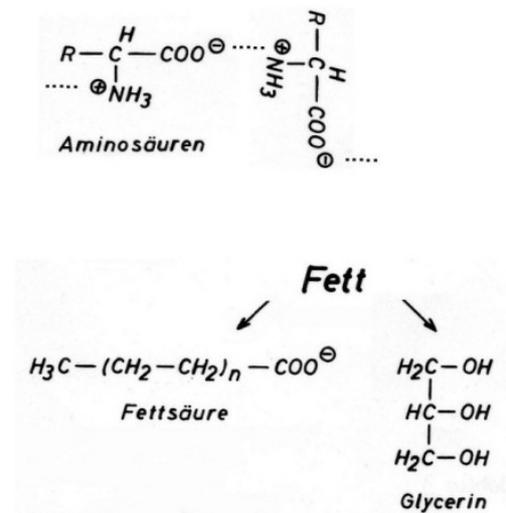


Abb. 8: Aminosäuren und Fettsäuren



Die Glykogenmoleküle sind Verkettungen von tausenden Glukose-Einheiten.

Die Proteinmoleküle sind Verkettungen von Aminosäuren.

Die Fettmoleküle sind Verbindungen von einer Fettsäure mit Glycerin.

Chemische Anmerkungen

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:



Dabei wird einerseits Magnesium oxidiert und andererseits Sauerstoff reduziert. Der chemische Stoffwechsel in den einzelnen Zellen besteht aus komplexen Redoxvorgängen (d.h. Reduktionen und Oxidationen), wo spezifische Enzyme für den Elektronentransport verantwortlich sind.

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

Eine weitere wichtige chemische Reaktion 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 kann durch eine chemische Gleichung beschrieben werden:



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 eine starke Atmung (Hyperventilation) wird das Blut alkalisch, durch eine 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 in Form von NH_4^+ -Ionen.

Der Stoffwechsel

Jeder Stoffwechsel braucht Stoffe. Die Nährstoffe werden durch den Mund aufgenommen. Dort beginnt bereits die Verdauung, die dann im Magen und Darm fortgesetzt wird. Dabei werden **Kohlenhydrate** in Zucker (Glukose), **Eiweiße** in Aminosäuren, **Fette** in Fettsäuren aufgespalten. Diese Grundstoffe werden dann in den Körperzellen weiter verwertet.

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 freiwerdende Energie, welche dann zur Synthese von Adenosin**tr**iphosphat (ATP) aus Adenosin**d**iphosphat (ADP) und Phosphorsäure (H_3PO_4) verwendet wird. Die ATP-Moleküle sind dann die Energiespeicher und Energielieferanten für chemische Reaktionen.

Anmerkung: Baustoffwechsel und Betriebsstoffwechsel sind oft nicht unterscheidbar. Trotzdem soll diese Unterscheidung im Folgenden beibehalten werden.

Abb. 9: Stoffwechsel in der Zelle

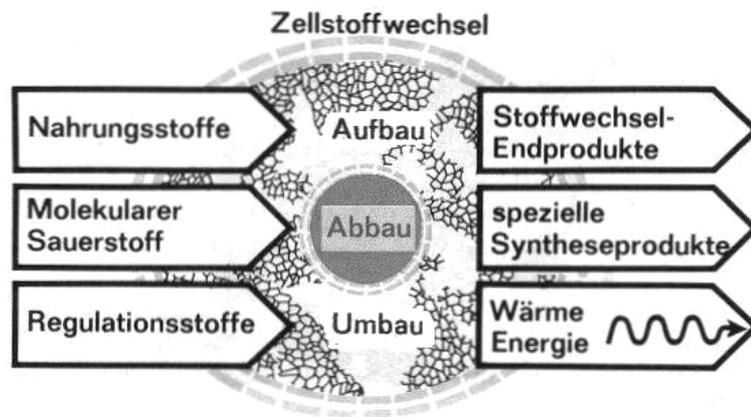


Abb. 10: Biologische Oxidation

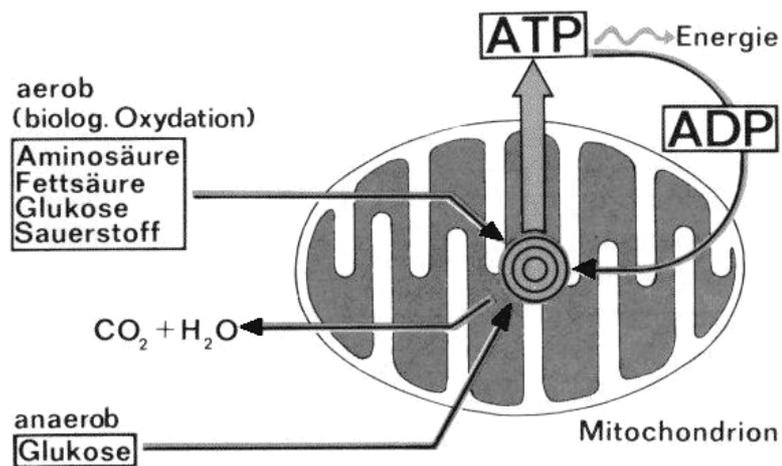
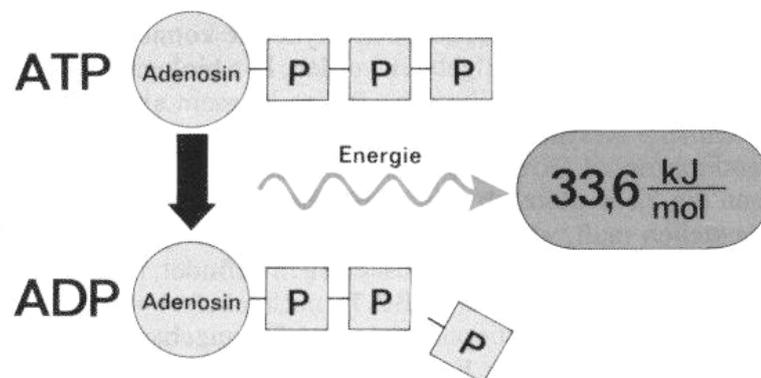


Abb. 11: Chemische Energiegewinnung



Die *biologische Oxidation* besteht aus einer mehrstufigen Kette von vielen Einzelreaktionen, wo verschiedene Enzyme mitwirken. *Glykolyse* (Zuckerabbau zur einfacheren Brenztraubensäure), Oxidationen der Fettsäuren und Aminosäurenabbau münden in den so genannten Zitronensäurezyklus (*Citratzyklus*), wo eine stufenweise Umformung und Zerlegung von kohlenstoffhaltigen Säuren unter Abspaltung von Kohlendioxid CO_2 erfolgt.

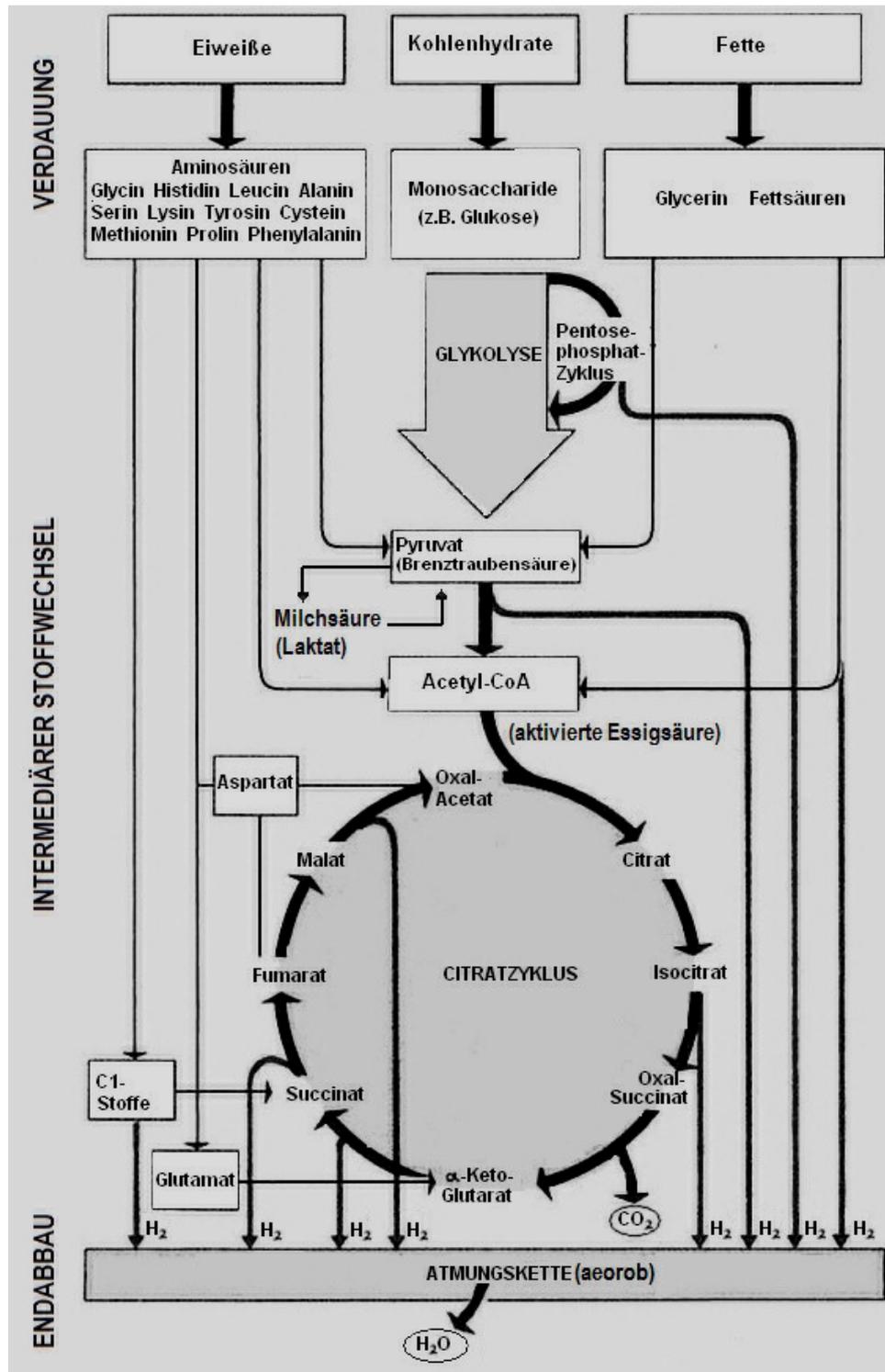


Abb. 12: Intermediärer Stoffwechsel

In der so genannten *Atmungskette* kommt es schließlich zum Endabbau mit Hilfe von Sauerstoff unter Abspaltung von Wasser H₂O. Ein zentrales Zwischenprodukt ist die aktivierte Essigsäure (Acetyl-Coenzym-A), welche einerseits als Ausgangspunkt für verschiedene Molekülsynthesen dient (Fettsäuren, Transmitterstoffe, Steroidhormone, Gallensäuren, usw.). Andererseits wird sie mit Hilfe von Sauerstoff unter Abgabe von Energie in die Endprodukte Kohlendioxid und Wasser zerlegt, welche dann ausgeschieden werden. Die Eiweißzerlegung (Abbau der Aminosäuren) führt zu dem Endprodukt *Harnstoff* und der Nukleinsäureabbau liefert noch zusätzlich *Harnsäure*. Aufnahme, Zerlegung, Ausscheidung von Substanzen kennzeichnen den *Betriebsstoffwechsel*.

Das *ATP-Molekül* als Zwischenspeicher biochemisch freigesetzter Energie kommt in vielfältiger Weise zum Einsatz. Durch eine hydrolytische Spaltung (d.h. mittels Wassermolekülen) von Adenosin*triphosphat* (ATP) in Adenosin*diphosphat* (ADP) und Phosphorsäure wird die abgespeicherte Energie wieder abgegeben und für unterschiedliche Aufgaben verwendet: für den aktiven Stofftransport durch die Zellmembran (Ionenpumpe), für die Synthese von Eiweißmolekülen aus Aminosäuren, für die Bildung verschiedener Aufbaustoffe und vieles mehr. Alle diese biochemischen Reaktionen laufen unter der 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: *NADH* (Coenzym 1, NicotinAdeninDinucleotid) und *Q10* (Coenzym 10, Ubichinon). Sie wirken auch als starke Antioxidantien (d.h. als Radikalfänger).

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*.

(05) Verdauung und Stoffwechsel

Man unterscheidet die **Grundnahrungstoffe** (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 die Näherungsformel „*Grundumsatz = 1 kcal * Körpergewicht (kg) * Stunden*“. Bei 90 kg beträgt der tägliche Grundumsatz 2160 kcal, bei 60 kg jedoch nur 1440 kcal. Die größten Anteile am Energieverbrauch haben Leber, Muskulatur und Gehirn. Um den Gesamtumsatz zu ermitteln, muss zum Grundumsatz 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-, Malzzucker), 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 das Kochsalz (NaCl). Ungefähr 60% des Körpers bestehen aus Wasser. Dieses dient vor allem als Lösungsmittel und als Transportmittel. Eine Flüssigkeitszufuhr von mindestens zwei Liter pro Tag ist empfehlenswert.

- **Spurenelemente**

Seltene Elemente wie Eisen, Kobalt, Selen und andere dienen häufig 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. So haben sie eine wichtige biologische Funktion.

- **Aromastoffe und Gewürze**

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

Die Leber (hepar) – das Labor des Körpers

Mit 1,6 Kilogramm Körpergewicht ist die zweilappige 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 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 medizinischen Labor liefert Erkenntnisse über Erkrankungen der Leber.

Die Leber hat verschiedene Funktionen: Sie produziert Gallenflüssigkeit mit Gallensäuren für die **Fettverdauung**. Im **Kohlenhydratstoffwechsel** ist die Leber Abbau-, Aufbau- und Speicherorgan. Der Blutglukosespiegel wird in der Leber durch verschiedene Hormone sehr genau reguliert, so dass bei Kohlenhydratüberschuss Glykogen aufgebaut und so ein Speicher angelegt wird, aus dem bei akutem Glukosemangel wieder Glukose ins Blut abgegeben wird. Im **Proteinstoffwechsel** werden die Aminosäuren in der Leber umgesetzt. Zu einem 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.

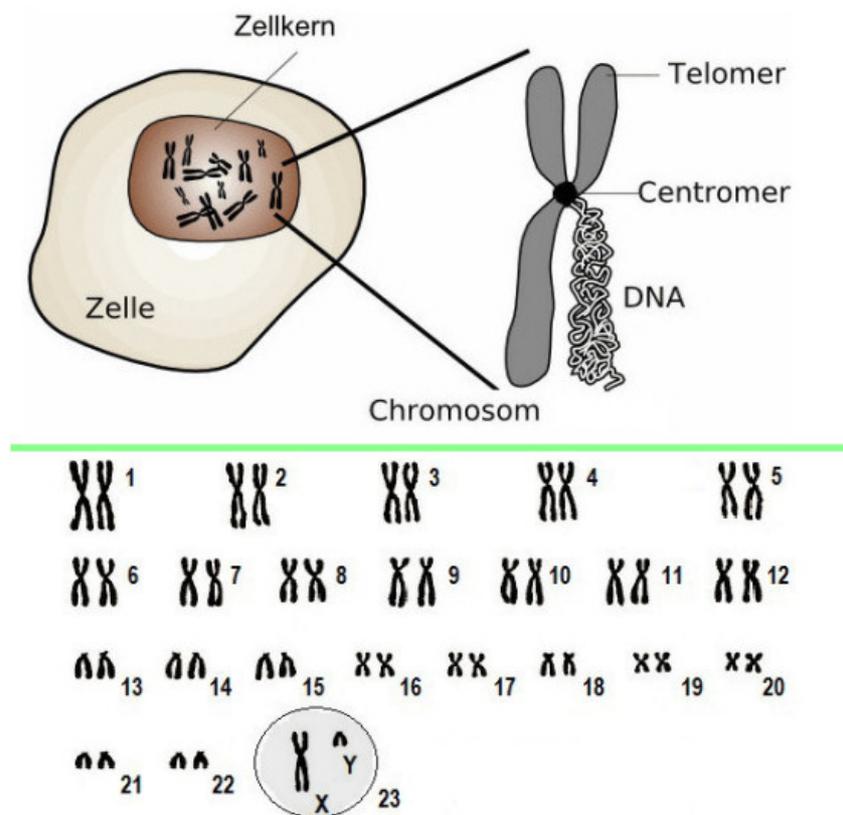
(06) Teilung und Spezialisierung der Zellen

Die DNS wird mit bestimmten Proteinen (Histonen) zu einem Makromolekül-Komplex verpackt. Dieser heißt **Chromosom** („Farbkörper“ - wegen einer ganz 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 beiden Chromosomenkombinationen XX oder XY auftreten. Die XX-Kombination bestimmt einen weiblichen Organismus, XY einen männlichen. Diese Chromosomen wirken daher geschlechtsbestimmend. Sie werden als **Heterosome** bezeichnet.

Dem **Geschlechts-Chromosomenpaar** stehen genau 22 **Autosomen-Chromosomenpaare** gegenüber, die beiden Geschlechtern gemeinsam sind.

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 den einfachen Chromosomensatz, der nur aus 23 Chromosomen besteht, „haploid“. Alle **Keimzellen** in den Keimdrüsen sind haploid. Die Eizellen weisen dabei ein X-Chromosom auf, die Samenzellen hingegen entweder ein X- oder Y-Chromosom. Nur wenn bei der Befruchtung eine Samenzelle mit dem Y-Chromosom mit einer Eizelle verschmilzt, entsteht ein männlicher Organismus (XY). Andernfalls entsteht ein weiblicher Organismus (XX).

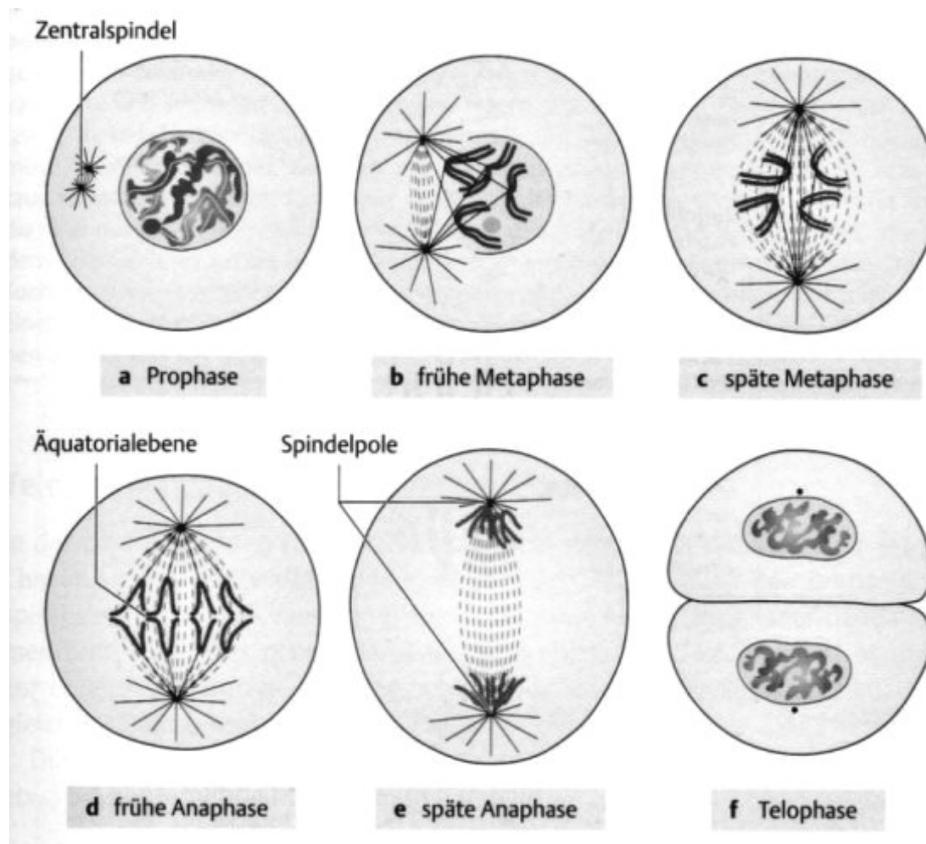
Abb. 14: Die Chromosomen



Eine wesentliche Leistung der Zellen besteht in ihrer Fähigkeit sich in zwei Tochterzellen zu teilen. Der zentrale Mechanismus ist dabei die identische Reduplikation (Replikation) der DNS, wodurch die Erbinformation weitergegeben wird.

Durch die Zellteilung wird Wachstum und Regeneration (Ersatz von Zellen) möglich. Zellverbände, die aus überwiegend gleichartig strukturierten Zellen mit bestimmten Funktionen bestehen, werden als **Gewebe** bezeichnet. Man unterscheidet Epithelgewebe (Oberflächenschutz), Binde- und Stützgewebe, Muskelgewebe und Nervengewebe.

Abb. 15: Die Zellteilung



Bei der Zellteilung (**Mitose**) bildet sich im Zellplasma ein spindelförmiges Gebilde, das sich zu den Polen der Zelle ausdehnt. Die Chromosomen im Zellkern wandern zum Äquator der Zelle.

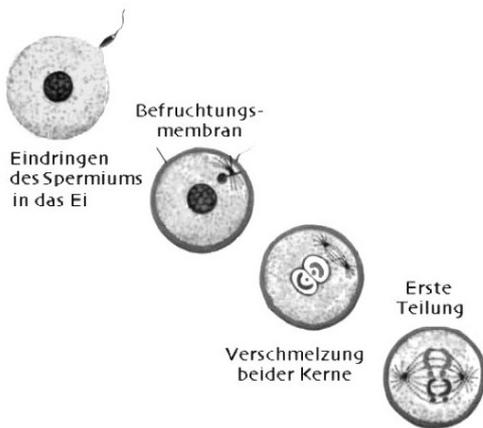
Dann erfolgt die Reduplikation der DNS und die Tochterchromosomen wandern, gesteuert von der Spindel, zu den Polen der Zelle.

Dort bildet sich je eine Kernmembran um die Chromosomen. Zuletzt wird die Zelle im Äquator durchgeschnürt, wodurch zwei identische Tochterzellen entstehen.

Hinweis: In der Entwicklung des Menschen bilden sich aus den diploiden Urkeimzellen die haploiden Keimzellen. Das erfolgt in einer reduktiven Zellteilung (**Meiose**). Bei dieser wird - im Gegensatz zur Mitose - der Chromosomensatz halbiert, so dass die Keimzellen nur mehr 23 Chromosomen aufweisen.

Bei der **Befruchtung** verschmelzen Eizelle (ovum) und Samenzelle (spermium) und damit auch ihre genetischen Informationen.

Abb. 16: Die Befruchtung



(1) Eindringen einer Samenzelle in eine Eizelle, die nach ihrem Eisprung vom Eierstock im Eileiter abwärts zur Gebärmutter wandert.

(2) Ausbildung einer Befruchtungsmembran, die das Eindringen weiterer Samenzellen verhindert.

(3) Verschmelzung der beiden Zellkerne und damit Weitergabe der väterlichen und der mütterlichen Erbanlagen.

(4) Erste und dann nachfolgende Zellteilungen und schrittweise Entwicklung der Keimblase (Blastozyste).

Durch fortwährende Zellteilungen bildet sich nach der erfolgreichen Befruchtung 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 genau 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 wiederum auf andere Zellen einwirken können. Durch diese Prozesse entwickeln sich aus den drei Keimblättern die **Primitivorgane**. Am Ende der Entwicklung steht das individuelle Lebewesen mit seinen Organismen.

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, welche als echter Regelkreismechanismus angesehen werden kann.

Bei der **Substratinduktion** erzeugen eigene Regulationsgene 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. Dadurch können dann bestimmte Enzyme (RNS-Polymerasen) angreifen und die Transkription starten und kontrollieren. Das führt im Zellplasma zur Biosynthese des entsprechenden Enzyms. 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 gesamte **Biosynthese** wird eingestellt.

Neben dieser Genregulation wirken auch die Aktivitäten der Zellen als Ganzes steuernd auf die Spezialisierung der Zellen. Eine Zelle kann sich bewegen, sich teilen, sich an andere anheften (Adhäsion), loslassen und auch sterben.

Das **Altern** ist ein unausweichlicher Prozess, dem jedes Lebewesen unterworfen ist. Zwei große Theorien versuchen diesen Vorgang zu erklären: die Fehler- und die Programmtheorie. Für die Vertreter der **Fehlertheorie** ist das Altern das unvermeidbare Resultat des Verschleißes von Zellen und ihrer Erbsubstanz auf Grund schädigender Einflüsse, denen sie während ihres Lebens ausgesetzt sind. Der kritische Punkt ist dann erreicht, wenn die zelleigenen Reparaturmechanismen nicht mehr ausreichen, um die Fehler zu beheben.

Die Befürworter der **Programmtheorie** sind überzeugt, dass Altern und Tod ein ureigener Teil des Lebens sind: Von Anfang an in jeder Zelle installiert, läuft ein genetisches Alterungsprogramm nach einem arttypischen Muster ab. Unstrittig jedenfalls ist, dass die Zellen altern, ob nun auf Grund sich häufender Fehler oder eines vorprogrammierten, genetischen Mechanismus. Eine wichtige biologische Uhr, die 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 auch 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. in Karfiol und Broccoli), die zerstörerische Wirkung der freien Radikale.

Allgemein erweist sich die Stoffwechselgeschwindigkeit als indirekt proportional zur Lebensdauer. Langsame und schlanke Tiere leben länger, bei Ratten bis zu einem Drittel der normalen Lebensspanne, was durch die Versuche von Weindruch deutlich belegt ist.

Eine wichtige Rolle spielen die beiden Enden der Chromosomen (**Telomere**). Diese enthalten eine kurze, sich identisch wiederholende Basen-Sequenz (TTAGGG), welche 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 so 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 Telomerverkürzung 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 eigentlich sind und sich hemmungslos weiter teilen - eine Unsterblichkeit, welche für den Organismus tödlich endet. Die Telomerase kommt in normalen, erwachsenen Zellen nicht vor.

(07) Der 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 Nahrung gelangt der Zucker in den tierischen Organismus. Durch **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). 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.

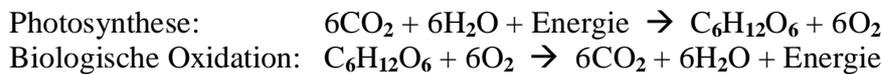
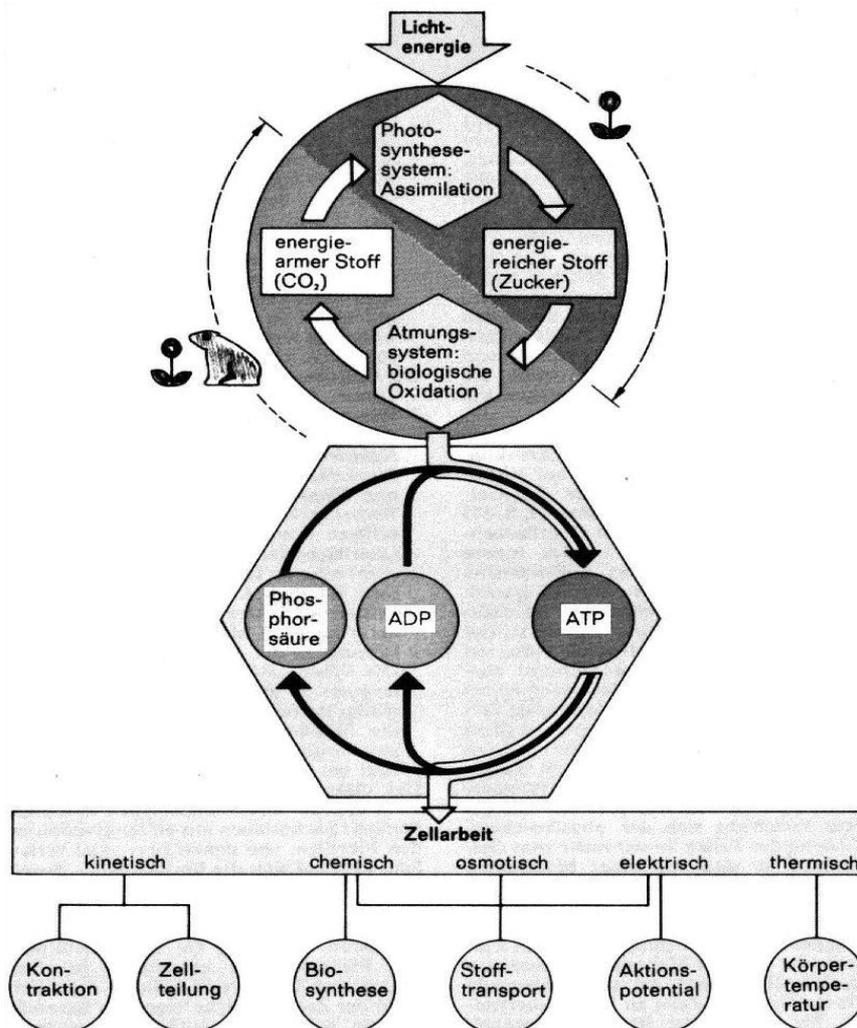
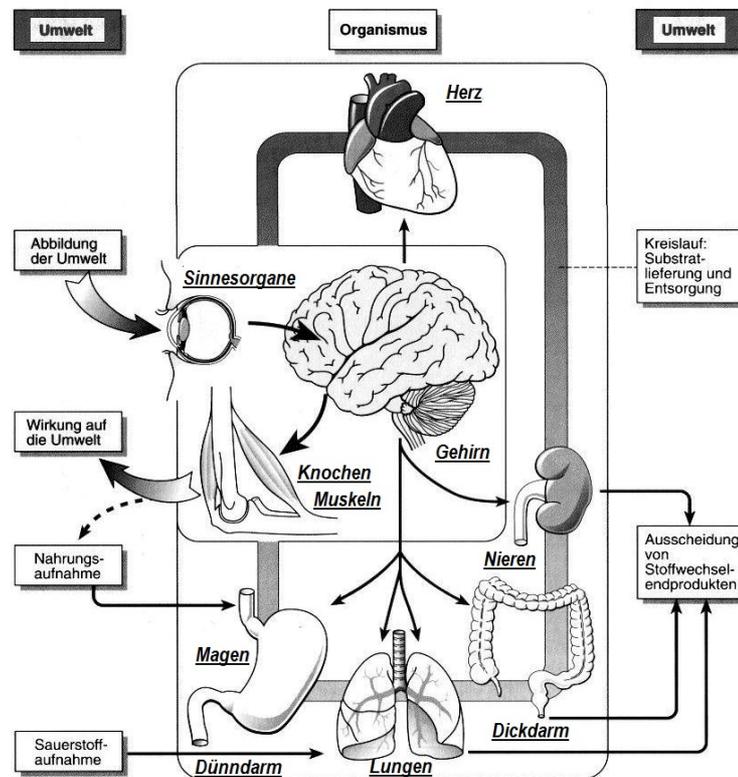


Abb. 17: Der Energiekreislauf



(08) Das System "Mensch"

Abb. 18: Die menschlichen Organsysteme



• Das Verdauungssystem

Dieses System dient der Aufnahme von Nahrungsstoffen. Die Nahrung wird durch den Mund aufgenommen und über die Speiseröhre in den Magen und den Darm weitergeleitet. Mithilfe der Verdauungsenzyme aus der Bauspeicheldrüse wird die Nahrung in ihre chemischen Bestandteile zerlegt. Diese werden in eigenen Depots gespeichert und bei Bedarf in den Körperzellen weiterverarbeitet (beispielsweise in der Leber oder in den Muskeln). Die unbrauchbaren Endprodukte werden als fester Stuhl über Dickdarm und After aus dem Körper entfernt.

• Das Ausscheidungssystem

Ein spezifisches Ausscheidungssystem besteht aus den Nieren, den Harnleitern, der Harnblase und der Harnröhre. In den Nieren werden aus dem Blut lebenswichtige Stoffe gefiltert und ein großer Anteil an Wasser resorbiert. Der Rest an unbrauchbaren oder giftigen Abfallstoffen wird als flüssiger Harn (Urin) ausgeschieden.

• Das Atmungssystem

Es besteht aus den Atemwegen und der Lunge. Über Nase/Mund und Luftröhre wird der Sauerstoff aus der Luft in die Lunge geleitet. Dort wird erstens der Sauerstoff in den Blutkreislauf befördert. Zweitens wird das Kohlendioxid aus dem Blutkreislauf ausgeatmet.

- **Der Blutkreislauf**

Er dient grundsätzlich dem Stofftransport (Nahrungsbestandteile, Hormone, Sauerstoff, Kohlendioxid, Abwehrzellen, usw.). Das Herz wirkt dabei als Pumpe, welche das flüssige Blut mit den gelösten Stoffen zum Fließen bringt und über das Gefäßsystem zu den Körperzellen befördert.

- **Der passive Bewegungsapparat**

Er dient der Stützung und Bewegung des Körpers. Er besteht aus Knochen und Verbindungen zwischen den Knochen (Gelenken). Zusätzlich gibt es noch für den Zusammenhalt Bänder und Sehnen, an denen die Muskeln ansetzen.

- **Der aktive Bewegungsapparat**

Er besteht aus den Muskeln, welche mithilfe von Sehnen an den Knochen befestigt sind und diese um die Gelenke bewegen. Die Kontraktion der Muskeln wird durch das Nervensystem gesteuert. Man unterscheidet eine Stütz- und Haltemotorik und eine willkürliche Zielmotorik.

- **Das Nervensystem**

Das **somatische Nervensystem** dient der Verbindung zwischen Organismus und Umwelt. Es besteht aus der sensorischen, der zentralen und der motorischen Informationsverarbeitung. So steuert es die Aufnahme (Sinnesrezeptoren bzw. Sensoren), die Verarbeitung (Gehirn) und die Beantwortung (Muskeln) von Reizen. Im Gehirn entstehen Emotionalität und Bewusstsein.

Das **vegetative Nervensystem** reguliert unbewusst die Organtätigkeiten (Verdauung, Atmung, Herzfähigkeit, usw.). Dazu registriert es Signale aus den Organen, verarbeitet und beantwortet sie. Es besteht aus zwei gegensätzlich wirkenden Anteilen. Der Sympathikus bewirkt Spannung, der Parasympathikus bewirkt Entspannung.

- **Das Hormonsystem**

Hormone sind spezifische Moleküle, die als Signale wirken. Sie werden in inneren (endokrinen) Drüsen produziert und über das Blut zu Empfängerzellen transportiert. Das Hormonsystem ist hierarchisch in über- und untergeordnete Drüsen gegliedert. Die übertragenen Hormone bewirken in den Empfängerzellen bestimmte chemische Reaktionen, beispielsweise die Ausschüttung von Wirkstoffen. Diese können in Form eines Regelkreises auf die Drüsenzellen zurückwirken und dort die Hormonproduktion verstärken oder vermindern (positives oder negatives Feedback).

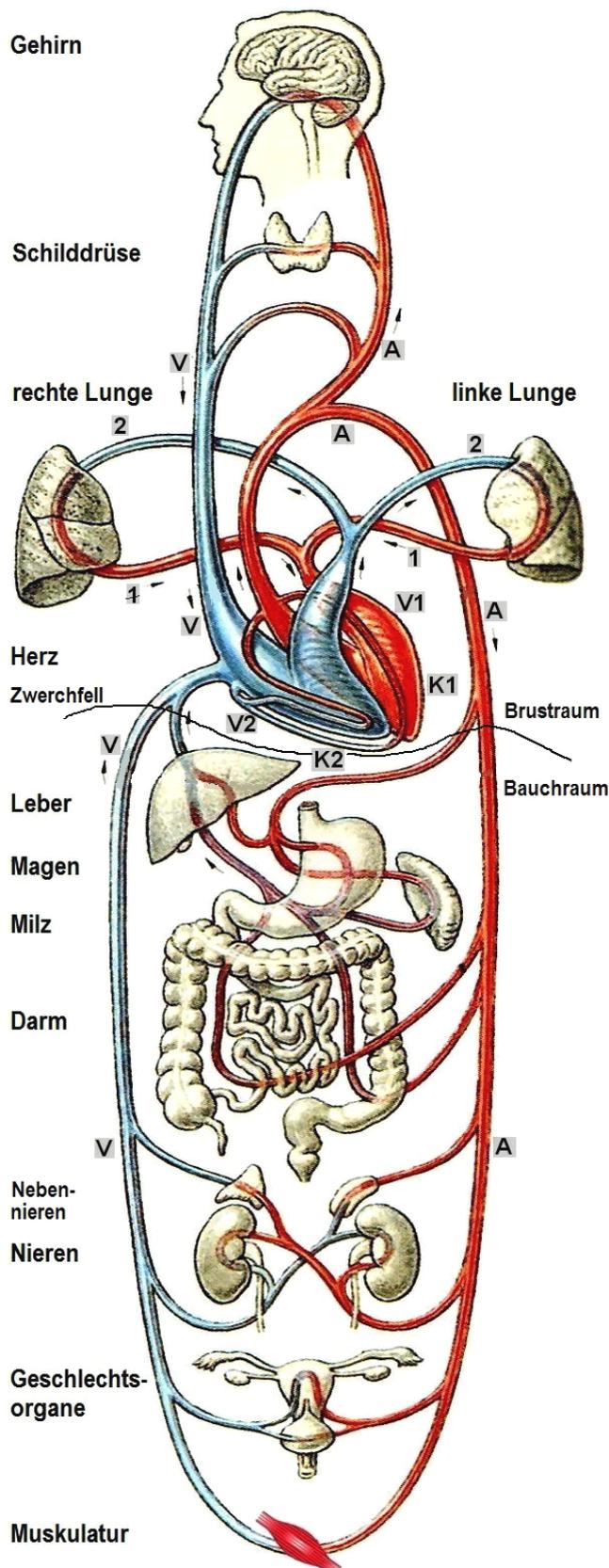
- **Das Immunsystem**

Das Immunsystem dient mit seinen spezialisierten Zellen der Abwehr von Krankheitserregern. Die Immunzellen stammen hauptsächlich aus dem lymphatischen System mit seinen Organen (Milz, Mandeln, Lymphknoten, usw.). Über das Blut werden sie an die Krankheitsorte gebracht, können dort körperfremde Eindringlinge (z.B. Bakterien) erkennen und wirksam bekämpfen. Das Immunsystem steht mit Nerven- und Hormonsystem über Signalstoffe in ständiger Verbindung.

- **Das Fortpflanzungssystem**

Dieses System besteht aus Organen, welche der Fortpflanzung (Befruchtung) und der Versorgung des Kindes durch den mütterlichen Organismus dienen. Dazu gehören beim Mann der Penis, die Samenleiter und die Hoden, wo die Spermien gebildet werden. Bei der Frau sind es die Scheide, die Gebärmutter, die Eileiter und die Eierstöcke, wo die Eizellen produziert werden.

Abb. 19: Beispiel - Blutkreislauf



Kurze 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 (*1*) 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. Die Arterien sind Blutgefäße, die vom Herzen weg führen. Die 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 sodann mithilfe des Sauerstoffs in den Körperzellen verbrannt (**biologische Oxidation**) und liefert dabei Energie, die beispielsweise für die Kontraktion der Muskelfasern benötigt wird.

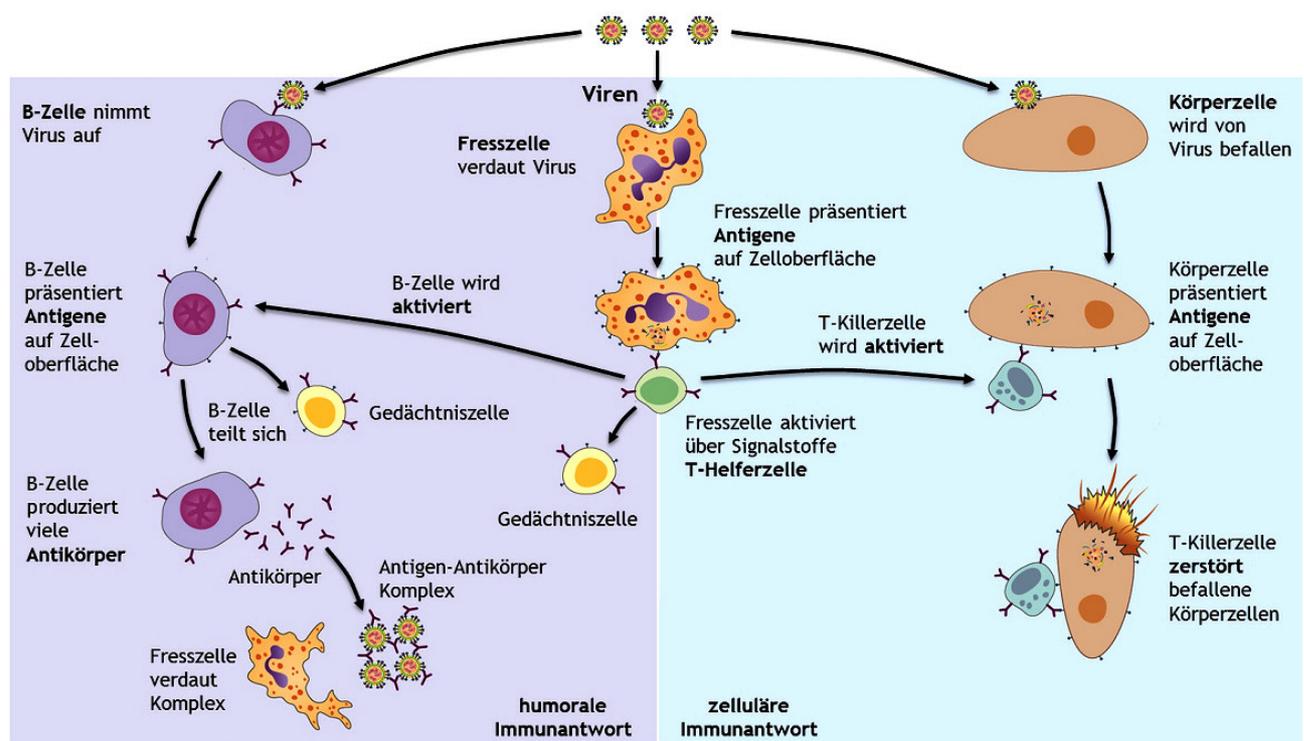
Umgekehrt geben die Körperzellen die Stoffwechsel-Endprodukte Kohlendioxid CO_2 und Wasser H_2O an das Blut ab. Das so angereicherte Blut gelangt über die Hohlvene (*V*) zum rechten Vorhof (*V2*) und in die rechte Herzkammer (*K2*).

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 hingegen sind sie mit (*2*) und (*1*) bezeichnet.

Abb. 20: Beispiel - Immunsystem

Kurze Übersicht über das Immunsystem



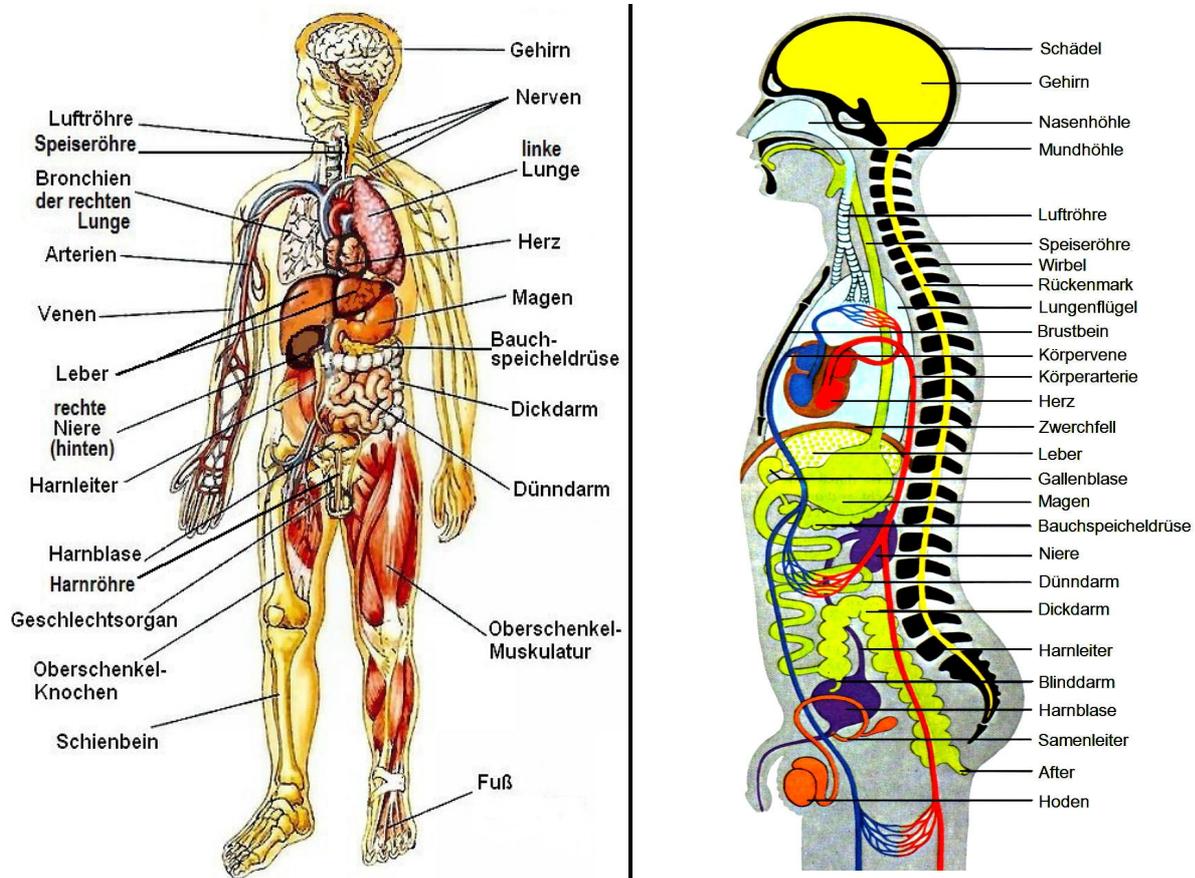
Das Immunsystem dient der Abwehr von Fremdkörpern (**Antigenen**), die in den Körper eindringen (Viren, Bakterien, Pilze, Parasiten). Es kann aber auch eigene, beschädigte Körperzellen zerstören. Es gibt eine angeborene, unspezifische (**AUI**) und eine erlernte, spezifische Immunabwehr (**ESI**). Das Immunsystem besteht aus unterschiedlichen Immunzellen, die von den weißen Blutkörperchen (**Leukozyten**) abstammen: Granulozyten, Makrophagen (Fresszellen), natürliche Killerzellen (NK), T-Lymphozyten, T-Helferzellen, T-Regulationszellen und B-Lymphozyten. Weitere Mitspieler sind die **Zytokine**, welche Proteine sind, die im Immunsystem als Signalstoffe wirken.

Das **AUI** ist ein stammesgeschichtlich festgelegtes, vererbtes Abwehrsystem, das aus verschiedenen physiologischen Barrieren (z.B. Magensäure), zellvermittelter Phagozytose, Entzündungsreaktionen und dem so genannten **Komplementsystem** besteht. Letzteres ist ein System von Plasmaproteinen, welches im Zuge einer Immunantwort auf den Oberflächen von Krankheitserregern aktiviert wird, um die Fresszellen anzulocken und dadurch die Zerstörung der Krankheitserreger zu ermöglichen. Daneben werden auch Entzündungsreaktionen ausgelöst.

Das **ESI** entwickelte sich aus dem AUI. Es zeichnet sich durch eine Anpassungsfähigkeit gegenüber neuen oder veränderten Krankheitserregern aus. Bei einer Erstinfektion erkennen die Makrophagen typische Merkmale der Krankheitserreger (**Antigene**), die sie aufnehmen und dann an ihrer Oberfläche den T-Lymphozyten präsentieren. Diese leiten daraufhin die **zelluläre Immunabwehr** ein, welche mit einer Zerstörung der befallenen Körperzelle durch Killerzellen beendet wird. Zusätzlich aktivieren die T-Lymphozyten die B-Lymphozyten und starten die **humorale Immunabwehr**, die in den Körperflüssigkeiten stattfindet. Bei dieser Abwehr erzeugen die B-Lymphozyten so genannte **Antikörper**, die sich mit dem Antigen zu einem Komplex verbinden, welcher dann von den Fresszellen zerstört wird. Die B-Lymphozyten bilden auch Plasmazellen, welche bei einer neuerlichen Infektion sofort und schnell die passenden Antikörper erzeugen können (**Immungedächtnis**).

(09) Bilder wichtiger Organe

Abb. 21: Anatomie des Menschen



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.

Abb. 22: Das Verdauungssystem

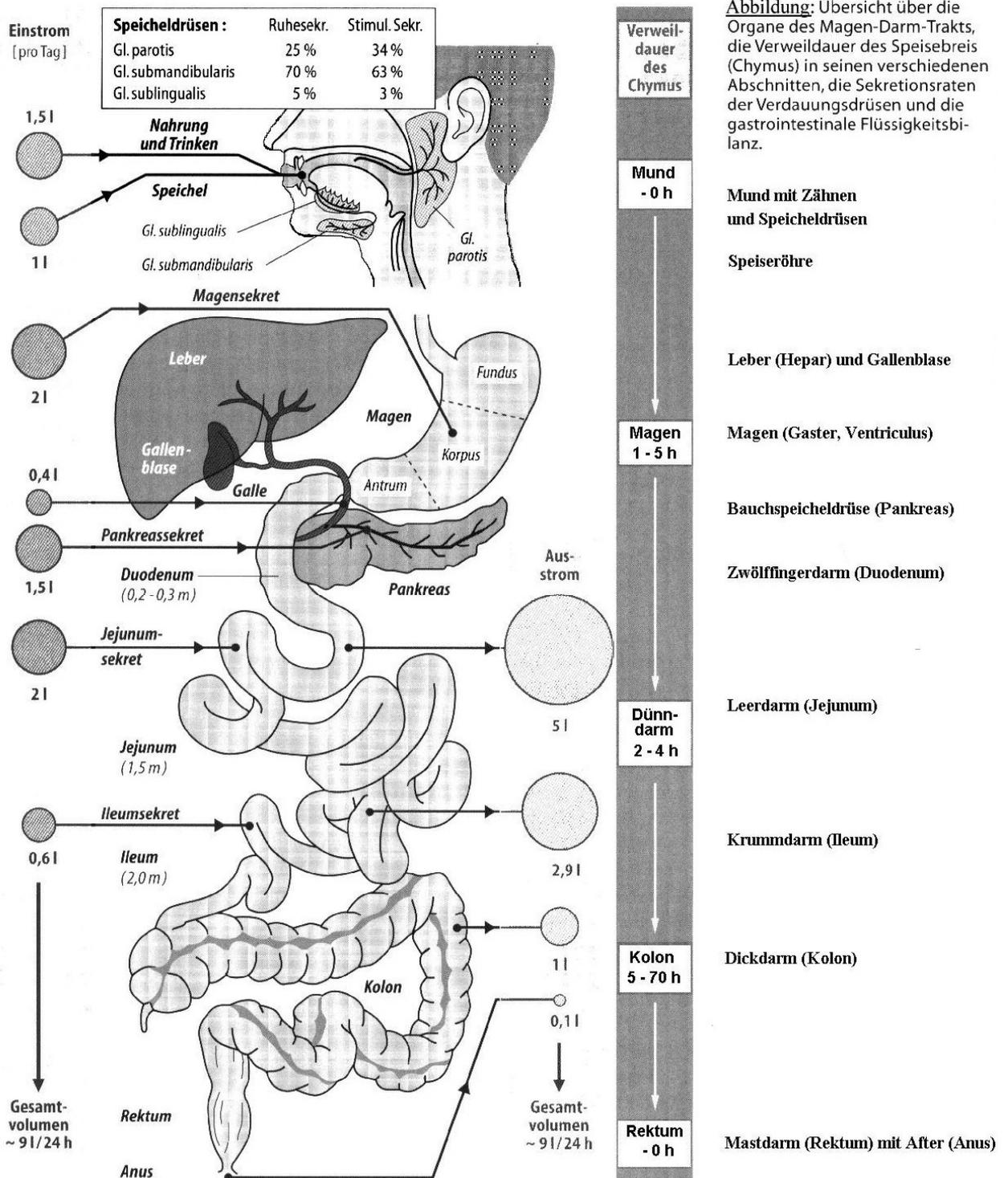
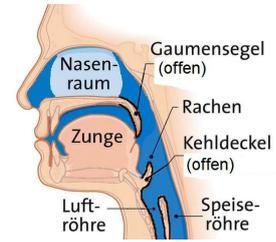
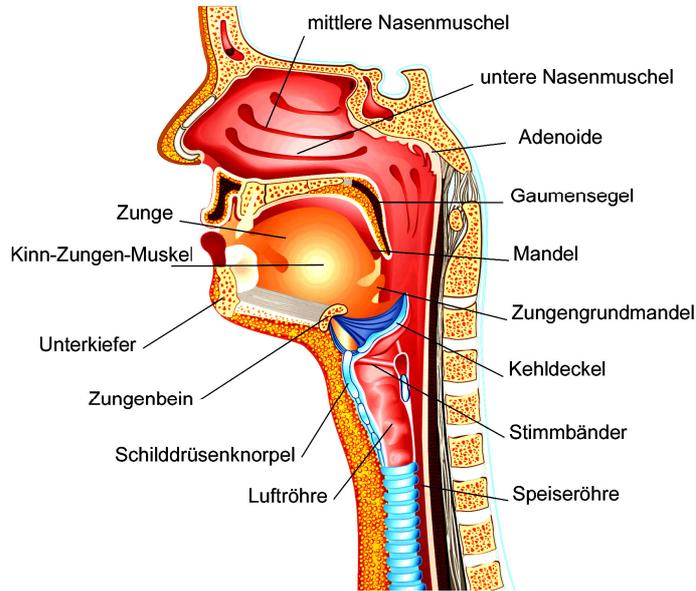
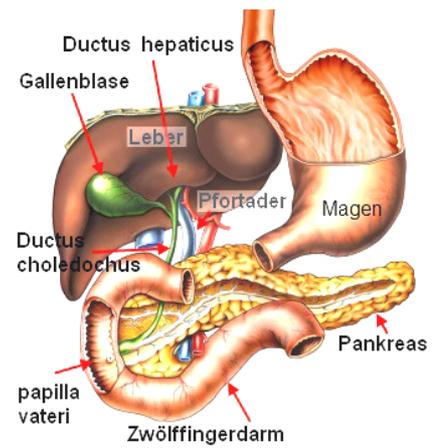
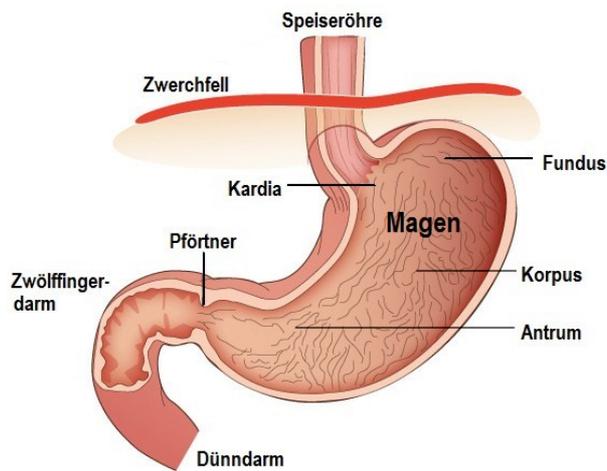


Abbildung: Übersicht über die Organe des Magen-Darm-Trakts, die Verweildauer des Speisebreis (Chymus) in seinen verschiedenen Abschnitten, die Sekretionsraten der Verdauungsdrüsen und die gastrointestinale Flüssigkeitsbilanz.

Abb. 23: Die Organe der Verdauung



Stellung des Kehldeckels beim Atmen und Schlucken



Leber und Bauchspeicheldrüse (hepar und pankreas)

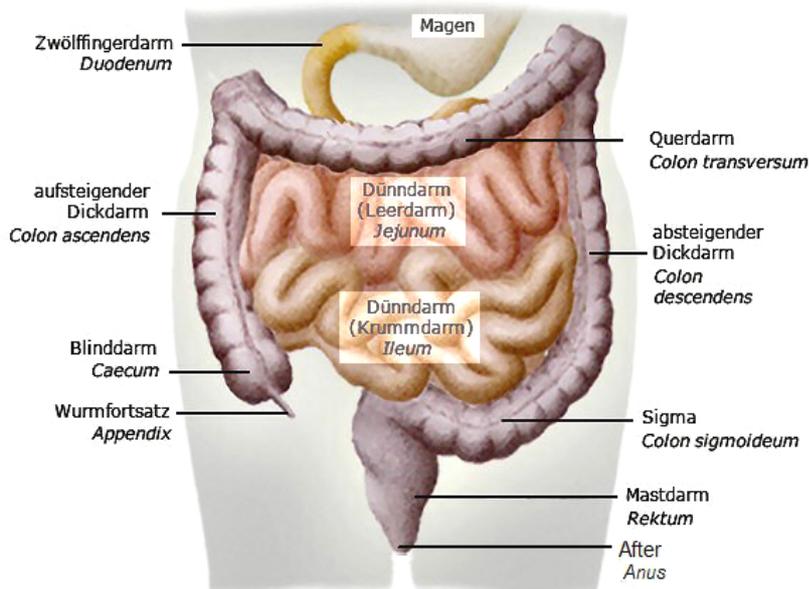


Abb. 24: Leber (hepar) und Bauchspeicheldrüse (pankreas)

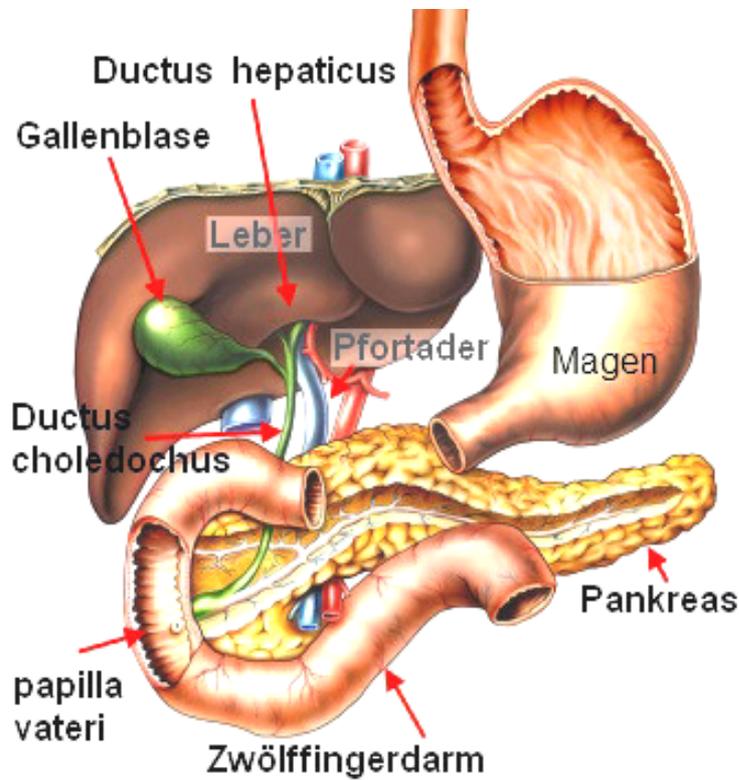


Abb. 25: Biochemie der Leber

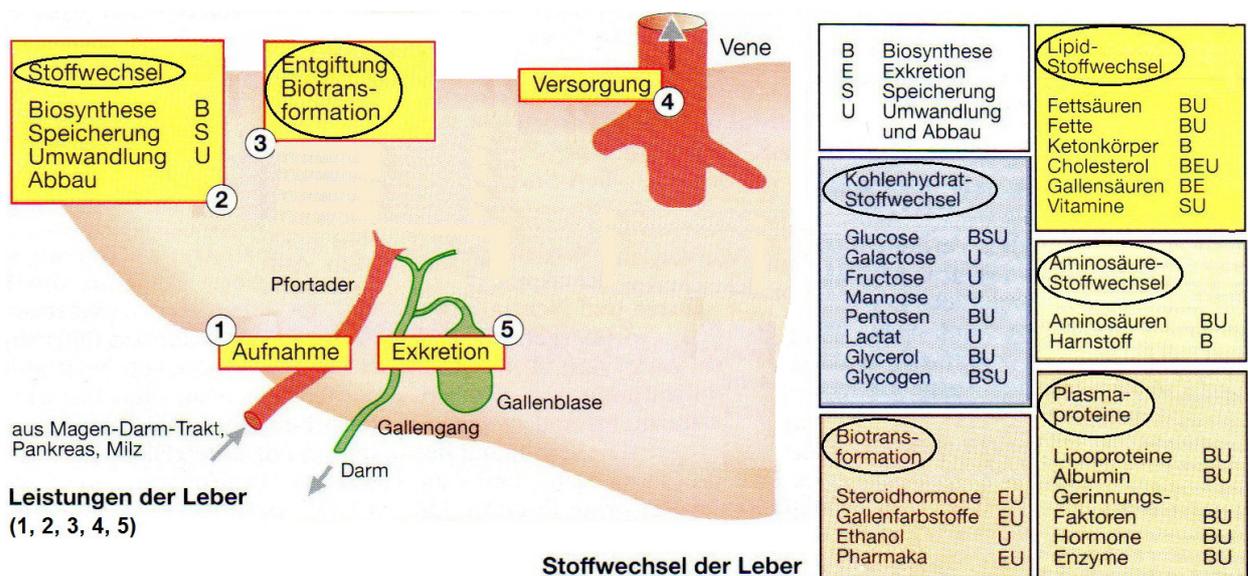


Abb. 26: Die Harnwege

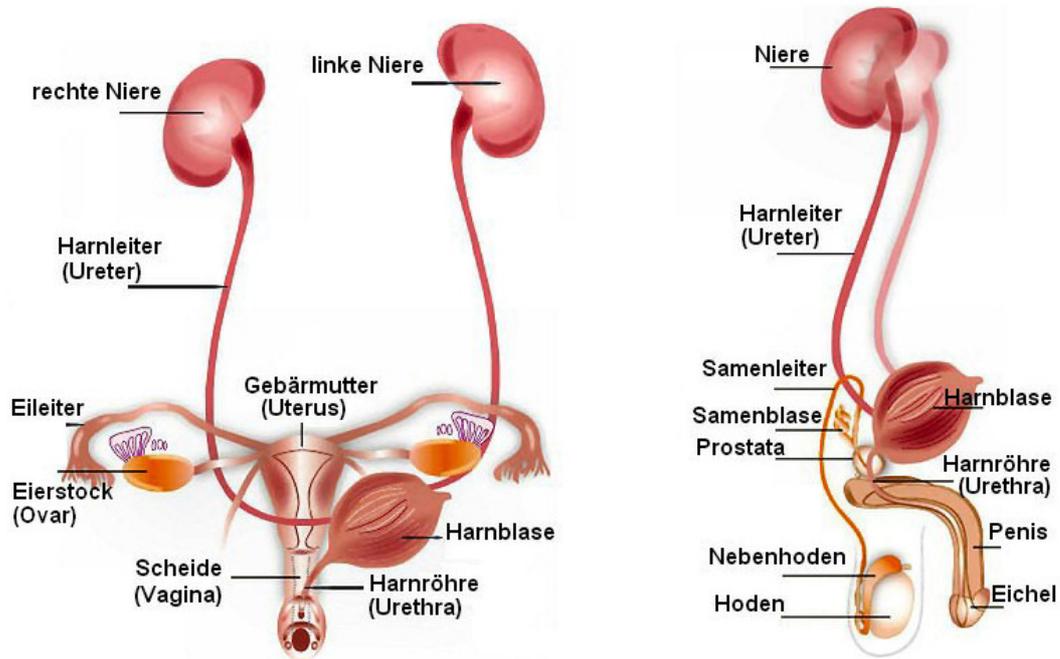


Abb. 27: Die Niere (ren)

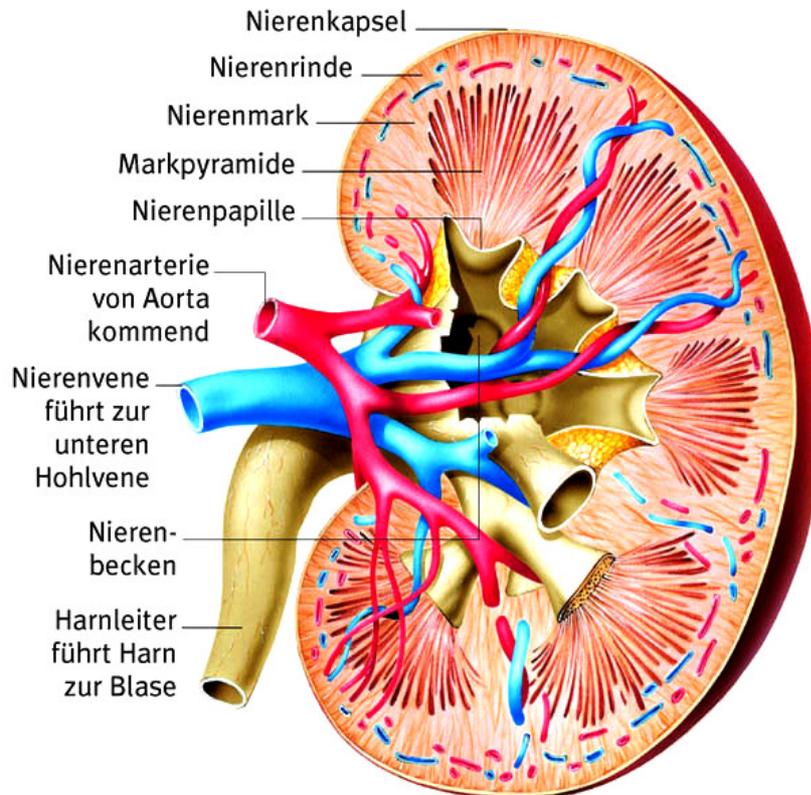


Abb. 28: Das Kreislaufsystem

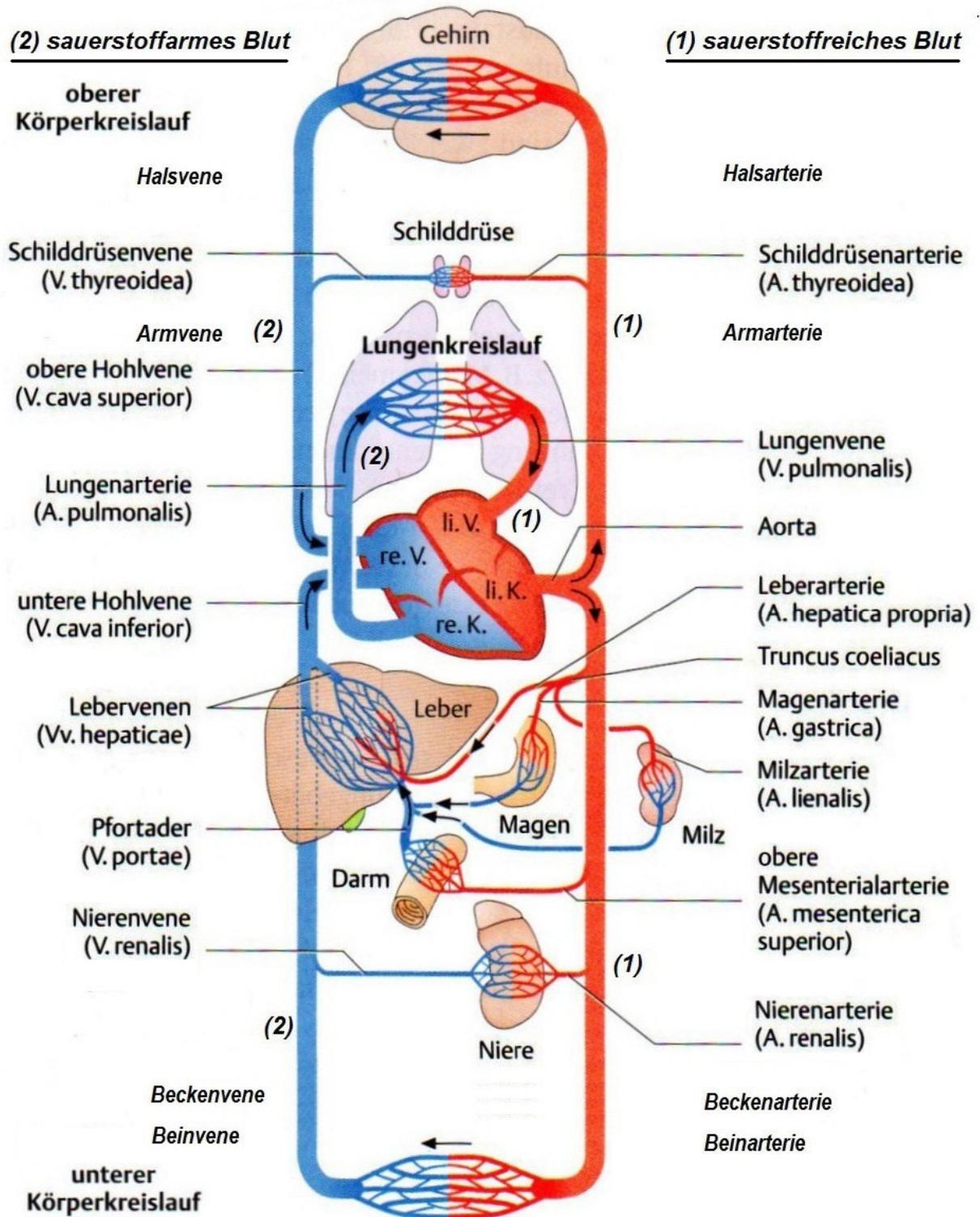


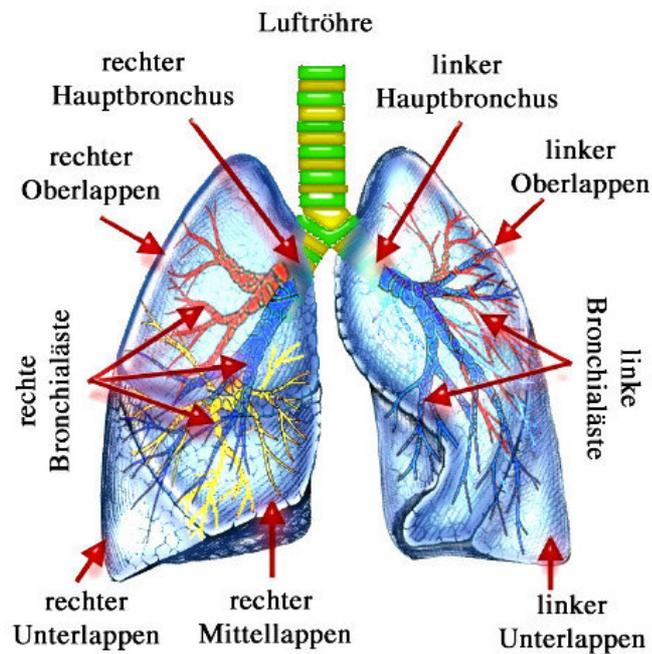
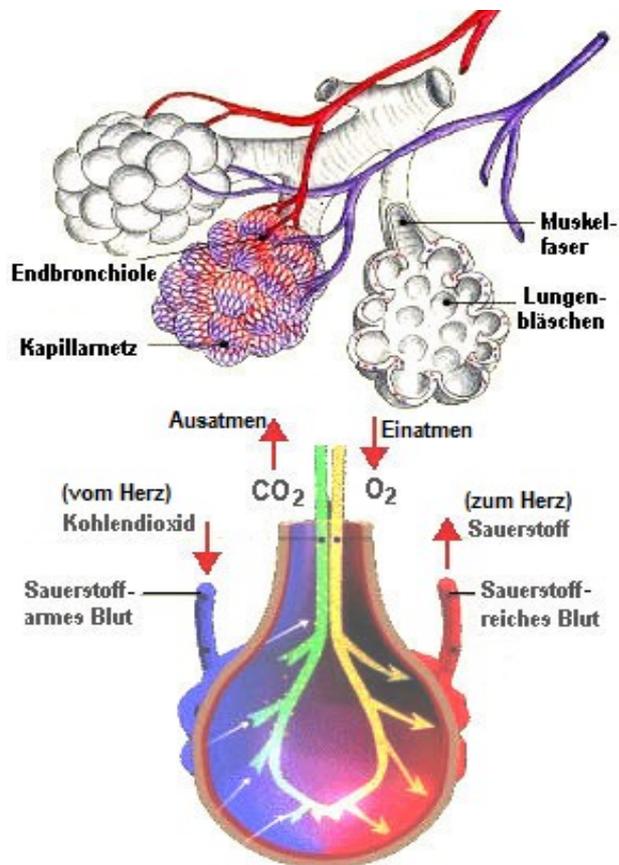
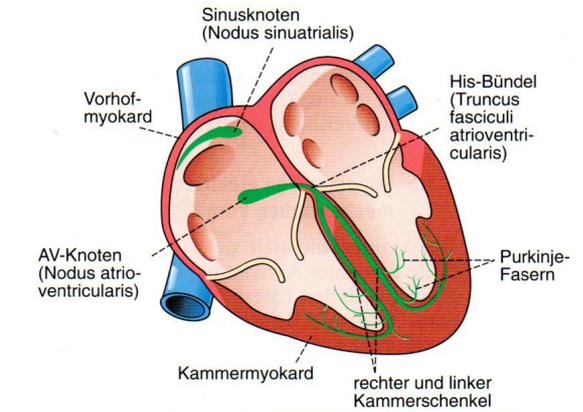
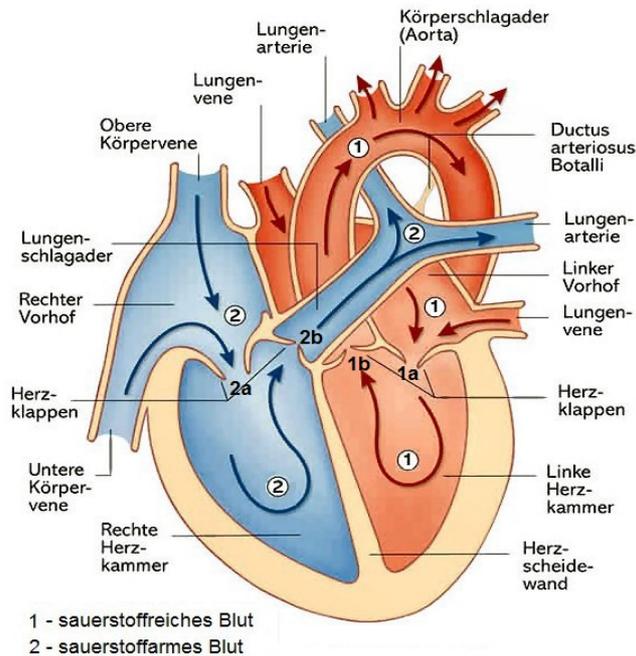
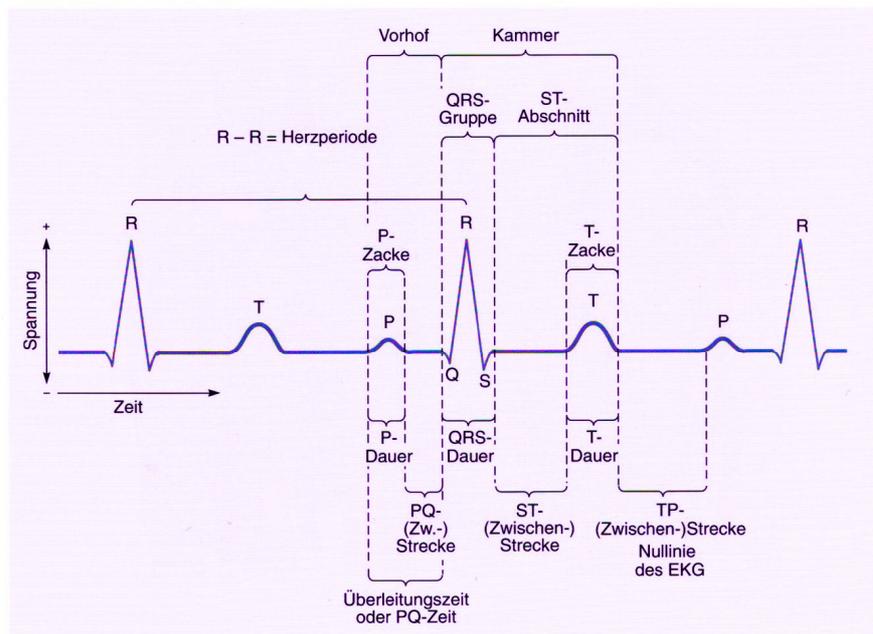
Abb. 29: Die Lunge (pulmo) mit den Bronchien*Abb. 30: Der Gasaustausch in den Lungenbläschen (aveolen)*

Abb. 31: Das Herz (cor, cardia)



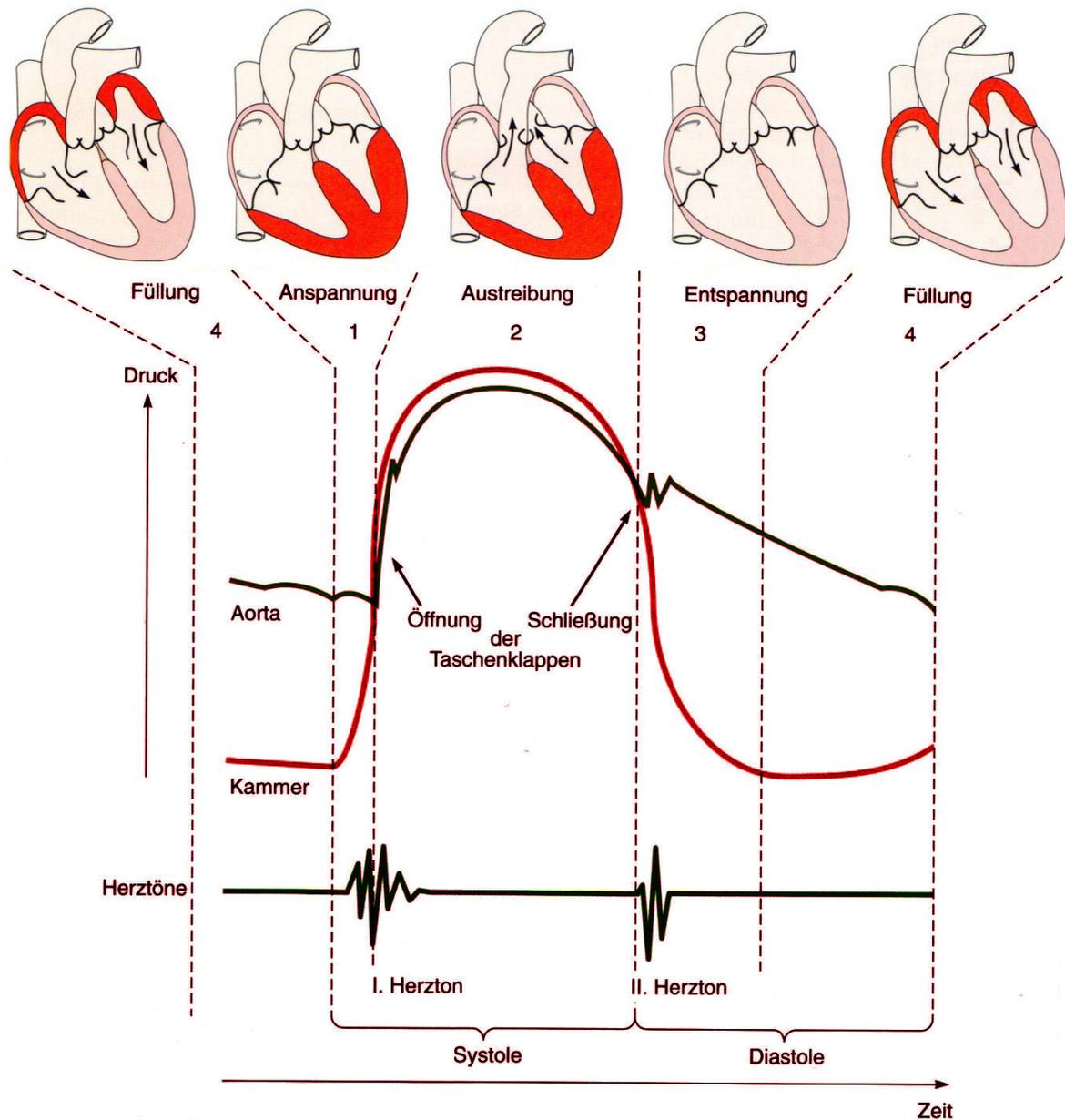
- (1a) Mitralklappe (Segelklappe)
- (1b) Aortenklappe (Taschenklappe)
- (2a) Trikuspidalklappe (Segelklappe)
- (2b) Pulmonalklappe (Taschenklappe)

Abb. 32: Das Elektrokardiogramm (EKG)



Elektrokardiogramm (EKG) des Menschen mit Bezeichnung der Potentialschwankungen und der charakteristischen Zeitabschnitte.

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. Damit kommt es zu rhythmischen Kontraktionen der Kammermuskulatur, wodurch das Blut weiter gepumpt wird.

Abb. 33: Die Phasen der Herztätigkeit

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

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 in der Diastole 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.

Abb. 34: Das menschliche Gehirn (cerebrum)

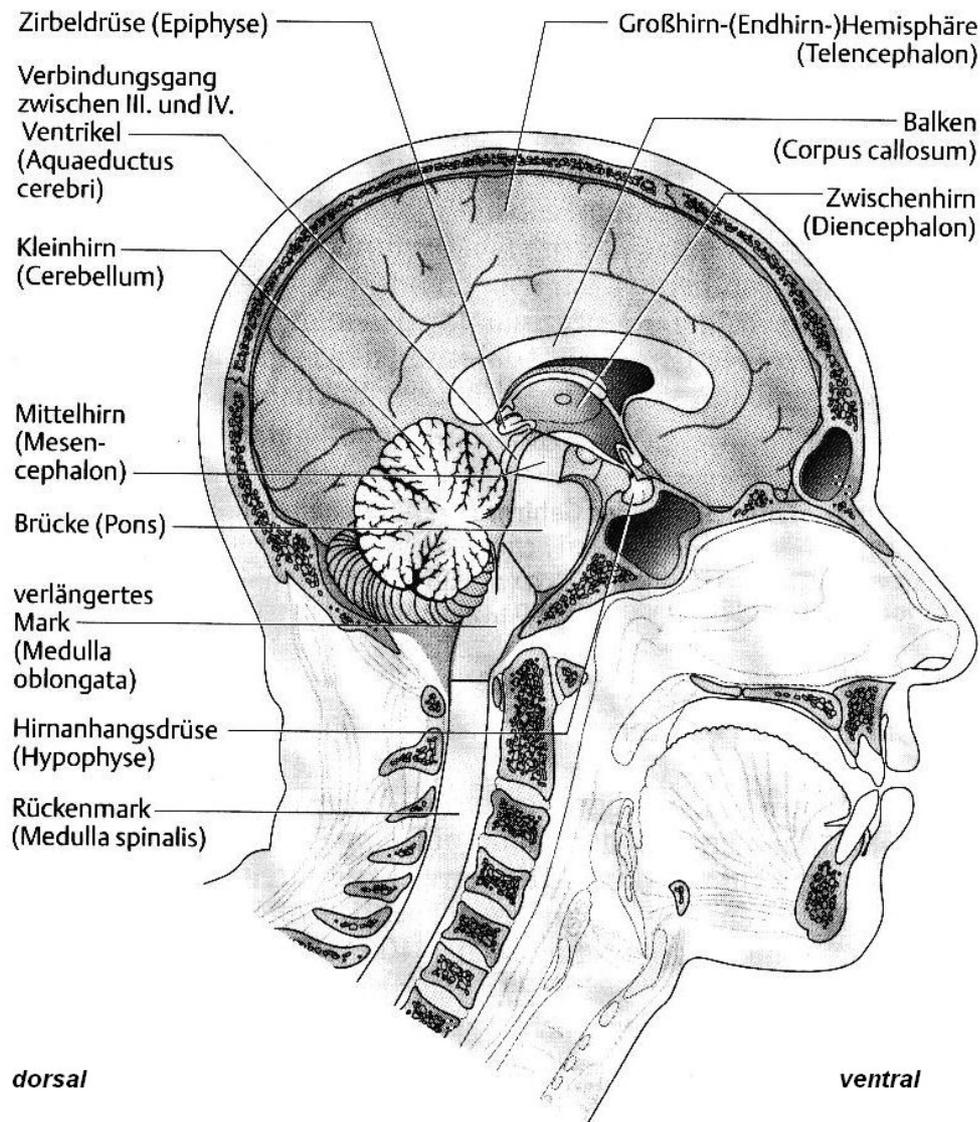


Abb. 35: Die Großhirnrinde (kortex)

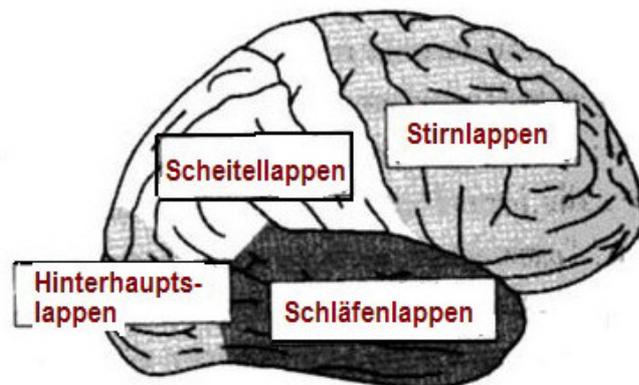


Abb. 36: Kortikale Funktionszentren

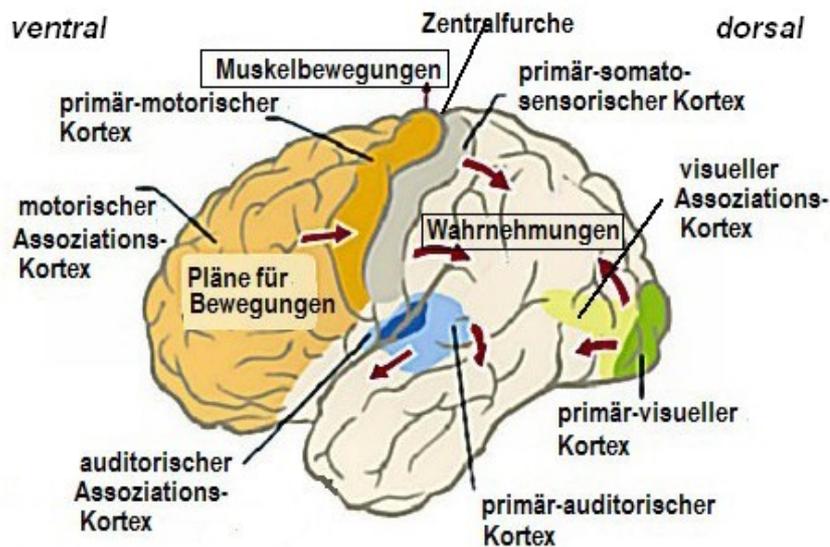
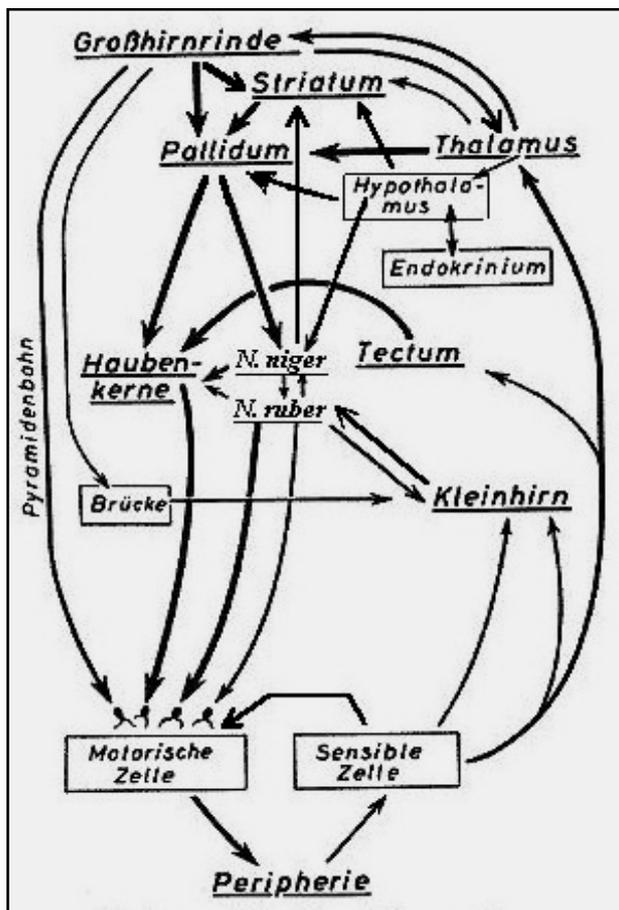


Abb. 37: Auf- und absteigende Bahnen



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

(10) Kleine Biochemie der Organe

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 folgende fünf Ionen:

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

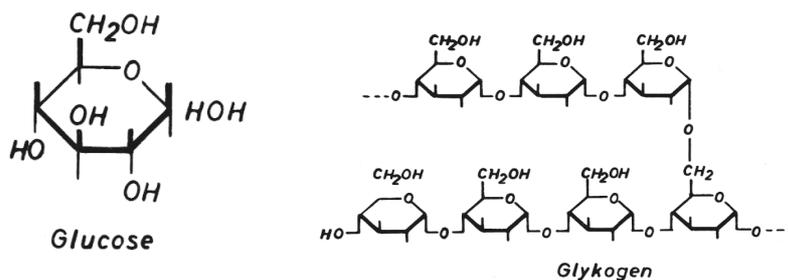
Im Folgenden werden beispielhaft von einigen wichtigen Molekülen die chemischen Bruttoformeln oder ihre Strukturformeln angezeigt:

Wasser H_2O , Kohlendioxid CO_2 , Stickoxid NO ,

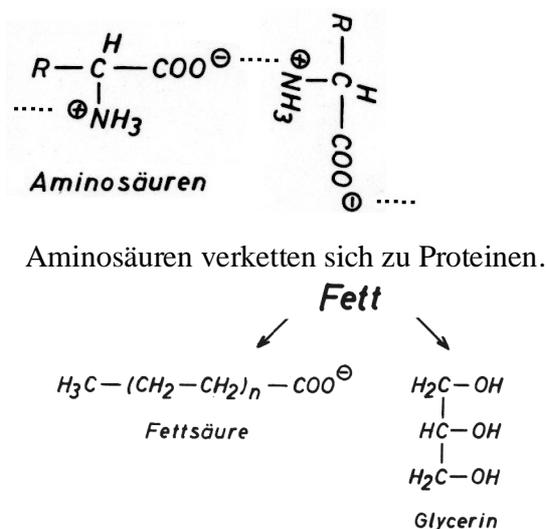
Kohlensäure H_2CO_3 , Schwefelsäure H_2SO_4 , Phosphorsäure H_3PO_4 ,

Zucker (Glukose) $C_6H_{12}O_6$, Harnstoff CH_4N_2O , Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$.

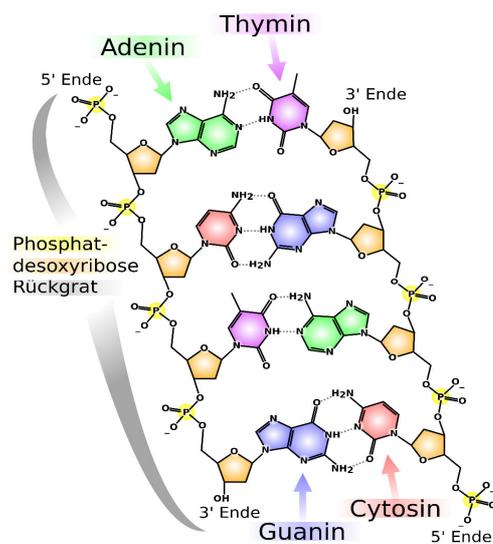
Abb. 38: Die organischen Stoffe bestehen aus ringförmigen oder kettenförmigen Molekülen



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



Fettsäuren und Glycerin verbinden sich zu Fett.



Ausschnitt aus einem DNS-Molekül.

Im Folgenden sollen die biochemischen Grundlagen der Organtätigkeiten für wichtige Organe in einer kurzen Zusammenfassung dargestellt werden.

(10.1) Der Verdauungstrakt

Die Verdauung der Nahrung geschieht durch bestimmte Enzyme, den Hydrolasen, welche die hochmolekularen Nahrungsstoffe (Proteine, Stärke, Fette) in die niedermolekularen, größtenteils wasserlöslichen Bausteine (Aminosäuren, einfache Zucker, Glycerin, Fettsäuren) spalten; diese sind leicht resorbierbar, im Gegensatz zu den hochmolekularen Stoffen. Die Aufspaltung (Hydrolyse) beginnt in der Mundhöhle durch den Speichel, der *Amylase* enthält und vor allem Stärke hydrolysiert, und setzt sich in Magen und Darm fort, wo vor allem die *Proteasen* (eiweißspaltend) und die *Lipasen* (fettspaltend) einwirken. Außer den Enzymen ist in den Sekreten der Verdauungsdrüsen *Mucin* (ein Gemisch von Proteinen und Polysacchariden) enthalten; der Schleim sorgt für glatten Transport des Speisebreis.

Magen. Eine besondere Leistung der *Magenschleimhaut* ist die Sekretion von *Salzsäure* in den Magen, dessen Reaktion stark sauer (pH-Wert um 1,5) ist. Die stark saure Reaktion wirkt bakterizid und ist damit ein wichtiger Schutz vor Infektionen. Im Fundusteil des Magens wird außerdem das *Pepsinogen* produziert, das im sauren Magensaft in das eiweißspaltende *Pepsin* übergeht.

Bei der Säurebildung handelt es sich um einen „aktiven Transport“ von H^+ -Ion entgegen einem Konzentrationsgefälle; er erfordert osmotische Arbeit und ist an das Vorhandensein von **ATP** gebunden (d.h. der Vorgang kommt bei Sauerstoffmangel zum Erliegen). Die H^+ -Ionen entstammen dem Wasser, das bekanntlich spontan in H^+ und OH^- dissoziiert; sie werden gegen ein Konzentrationsgefälle von 1:1000000 transportiert (gemäß dem Unterschied von pH 7 zu pH 1). Die OH^- -Ionen, die den pH-Wert ins Alkalische verschieben und die osmotische Arbeit noch vergrößern würden, werden von Kohlensäure abgepuffert ($CO_2 + OH^- \leftrightarrow HCO_3^-$).

Hierbei ist das Enzym *Kohlensäureanhydratase* beteiligt, das für eine rasche Gleichgewichtseinstellung zwischen CO_2 und H_2O bzw. OH^- sorgt.

Das Pankreas (Bauchspeicheldrüse) ist wichtigste Produktionsstätte zahlreicher Verdauungsenzyme: Proteinasen und Peptidasen, Lipasen, Nucleasen, usw. Die Enzymproduktion ist beträchtlich; das Pankreas gehört zu den Geweben mit der höchsten Proteinsyntheserate. Das Pankreassekret, das reich an HCO_3^- und damit alkalisch ist und u.a. auch die Aufgabe hat, die Magensäure zu neutralisieren, gelangt in den Darm, und zwar verstärkt dann, wenn saurer Speisebrei den Pylorus passiert. Die Sekretion der Bauchspeicheldrüse wird durch Gewebshormone reguliert.

Die Galle schließlich, die in der Leber gebildet wird, enthält als Hauptbestandteile die Gallensäuren, die bei der Fettverdauung und Fettresorption mitwirken, Cholesterin sowie die Gallenfarbstoffe, die als Endprodukte des Hämoglobinstoffwechsels zu betrachten sind. Sie werden im Darm resorbiert und gelangen über das Blut in die Leber und dann in die Galle zurück (*enterohepatischer Kreislauf*). Ein Teil der Gallenfarbstoffe geht stets in den Dickdarm über; er ist für die normale braune Farbe des Stuhls verantwortlich.

Resorption. Die durch die Tätigkeit der Verdauungsenzyme gebildeten Spaltprodukte sind zunächst in den Verdauungssäften - deren Menge 8 Liter/Tag übersteigen kann - gelöst. Aus dieser Lösung werden im Dünndarm die niedermolekularen Stoffe und Wasser, im Dickdarm hauptsächlich Wasser resorbiert.

Die Resorption vollzieht sich teils nach den Gesetzen der Osmose und Diffusion („passiver Transport“), teils als aktiver Transport, dessen Mechanismus noch weitgehend unbekannt ist. Die resorbierten Stoffe gelangen über die Pfortader in die Leber.

(10.2) Die Leber

Nur ein kleiner Teil der resorbierten Hydrolyseprodukte der Nahrung wird in der Leber unmittelbar zur Gewinnung freier chemischer Energie verbrannt; der größte Teil wird zum Aufbau „körpereigener“ Stoffe (Glykogen, Proteine, in geringem Maße Fette, aber viele Phosphatide sowie Cholesterin) verwendet. Nach unseren heutigen Kenntnissen ist eine Trennung in Baustoffwechsel und Betriebsstoffwechsel eher künstlich, weil die gleichen Stoffe beiden Zwecken dienen. Die Baustoffe des Körpers werden laufend abgebaut, zur Energiegewinnung herangezogen und durch neugebildete Körpersubstanzen ersetzt.

Die Leber ist das Organ, in dem sich sehr viele dieser biochemischen Umbau- und Synthesvorgänge vollziehen. Wollte man die biochemischen Funktionen anführen, die in der Leber lokalisiert sind, so müsste ein sehr dickes Buch geschrieben werden. Hier sollen nur die wichtigsten Funktionen kurz zusammengestellt werden.

Im Kohlenhydratstoffwechsel nimmt die Leber eine wichtige Stellung ein; sie ist Synthese- und Speicherorgan. Wie bekannt, wird der Blutglukosespiegel 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 Halbwertszeit des Leber-Glykogens der Ratte beträgt nur einen Tag (beim Muskelglykogen sind es 3,6 Tage). Eine zweite wichtige Aufgabe der Leber ist die Synthese der Glukose (Glukoneogenese), vor allem aus den Abbauprodukten der Proteine, d.h. aus dem Kohlenstoffgerüst der glukoplastischen Aminosäuren. Neben diesen wird, soweit vorhanden, Milchsäure zur Resynthese von Glukose herangezogen; auch Galaktose wird in Glukose verwandelt, Fructose zumindest zum Teil.

Im Fettstoffwechsel besteht eine Wechselbeziehung zwischen Leber und Fettgewebe. Wird nach der Gesamtstoffwechsellage Fett mobilisiert, so werden freie Fettsäuren vom Fettgewebe abgegeben, von der Leber aufgenommen und der β -Oxydation unterworfen. Bei Überangebot an Fettsäuren kommt es dann zur Ketonkörperbildung, die sich nur in der Leber vollzieht. Umgekehrt kann - je nach der Stoffwechsellage - die Leber auch Fettsäuren aufbauen und als Phosphatide ins Blut abgeben. Im Fettgewebe werden daraus Neutralfette aufgebaut und gespeichert (das Fettgewebe ist selbst auch zur Fettsäuresynthese befähigt). Auch das Cholesterin wird in erster Linie in der Leber gebildet.

Proteinstoffwechsel. Die Aminosäuren, die durch die intestinale Verdauung freigesetzt werden, gelangen mit dem Pfortaderblut zur Leber und werden 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; das Kohlenstoffgerüst der Aminosäuren dient vielfach der Glukoneogenese.

Entgiftungsreaktionen. In der Leber vollziehen sich zahlreiche Umwandlungsreaktionen, die körpereigene und körperfremde Stoffe betreffen und die häufig eine „Entgiftung“ zur Folge haben und zu einer beschleunigten Ausscheidung führen.

Unter die Entgiftungsreaktionen rechnet man die *Hydroxylierungen*, vor allem die unspezifische Hydroxylierung von Pharmaka, die *Methylierungen* und *Acetylierungen* und schließlich die *Kopplung mit Glucuronsäure oder Schwefelsäure*. Die Glucuronide oder Sulfate werden dann über die Niere eliminiert. Auch die Inaktivierung der Hormone erfolgt zumeist in der Leber, bei den Steroidhormonen durch Reduktion der ungesättigten Ketongruppe.

(10.3) Das Blut

Das Blut besteht aus *zellulären Elementen* und dem *Blutplasma*. Es dient dem Stofftransport.

Das Blutplasma kann nur untersucht werden, wenn durch besondere Zusätze die Blutgerinnung verhindert wurde. Lässt man Blut (oder Plasma) gerinnen und zentrifugiert dann, so erhält man das *Blutserum*, das noch den größten Teil der Blutproteine enthält. Unter pathologischen Verhältnissen können Proteine - auch Enzymproteine - aus den Zellen erkrankter Organe in die Blutbahn gelangen; darauf gründet sich die Enzymdiagnostik im Serum.

Blut enthält auch zahlreiche niedermolekulare Stoffe. Der Gehalt an stickstoffhaltigen niedermolekularen Substanzen, der Nichtprotein-Stickstoff (*Reststickstoff*, hauptsächlich Harnstoff, daneben wenig Aminosäuren, Harnsäure, Kreatin und Kreatinin) ist ein Kennzeichen der Nierenfunktion, denn die Konzentration dieser Stoffe wird durch die Ausscheidungstätigkeit niedrig gehalten. Der Glukosegehalt wird durch Hormone reguliert und ist meist sehr konstant. Als Produkt der anaeroben Glykolyse erscheint Milchsäure im Blut; in Ruhe ist die Konzentration gering (kleiner als 20 mg/100 ml), sie kann aber bei starker Muskelarbeit bis auf 140 mg/100 ml steigen.

Die Erythrozyten nehmen unter den zellulären Elementen den ersten Platz ein; sie sind besonders zahlreich (ca. 5 Millionen pro Kubikmillimeter). Daneben findet man noch weiße Blutkörperchen (Leukozyten) und Blutplättchen. Die Erythrozyten enthalten das Hämoglobin, den roten Blutfarbstoff, dessen wichtigste Funktion der Sauerstofftransport ist.

Die Lunge. Die Beladung der Erythrozyten mit Sauerstoff erfolgt bekanntlich in der Lunge. Aus der Atemluft wird fast ausschließlich der Sauerstoff absorbiert, der reversibel an Hämoglobin gebunden wird. An Orten niedriger Sauerstoffspannung, in peripheren Geweben und in Organen mit starkem oxydativem Stoffwechsel wird der Sauerstoff (O_2) wieder abgegeben und über die Atmungskette zu H_2O reduziert. Das Kohlendioxyd (CO_2) entstammt den Decarboxylierungsreaktionen, die jedoch zumeist am gleichen Ort, d.h. in derselben Zelle, ablaufen; das CO_2 wird auf dem Blutweg in die Lunge transportiert und ausgeatmet, soweit es nicht erneut in den Stoffwechsel eingeht.

(10.4) Niere und Harn

Die Niere ist nicht nur Ausscheidungs-, sondern auch Stoffwechselorgan. In ihr sind besonders Aminoxydasen und Aminosäureoxydasen in höherer Konzentration enthalten, also Enzyme, die freies Ammoniak bilden. Daher ist die Konzentration des Harns an NH_4^+ -Ionen auch recht groß. Daneben sind, wie in allen Zellen, die Enzyme des oxydativen Stoffwechsels (Citratzyklus, Atmungskette) vorhanden; die Niere verbraucht verhältnismäßig viel Sauerstoff und produziert viel ATP (Adenosintriphosphat), das für ihre Ausscheidungsfunktion benötigt wird.

Die Nierenfunktion umfasst drei Vorgänge, welche in histologisch verschiedenen Abschnitten lokalisiert sind.

- (1) **Die Ultrafiltration** des Plasmas; es entsteht ein Primärharn, der frei von Proteinen und Zellen ist, aber mit gleicher Konzentration der niedermolekularen Stoffe wie das Plasma.
- (2) **Die Rückresorption** von Wasser und gelösten Stoffen in die Blutbahn - ein Vorgang, der „aktiven Transport“ erfordert und damit Energie verbraucht.
- (3) **Die Sekretion** bestimmter Stoffe in den Harn, gleichfalls durch einen aktiven Transportmechanismus.

Ultrafiltration. Darunter versteht man die Filtration niedermolekularer Stoffe unter Zurückhaltung der hochmolekularen, vor allem der Proteine. Die Blutproteine werden in den **Nierenglomeruli** zurückgehalten und gelangen normalerweise nicht in den Primärharn; Eiweiß im Harn ist stets Zeichen einer Nierenschädigung (oder anderer Erkrankungen).

Rückresorption. Mengenmäßig steht hier das Wasser an erster Stelle. Es ist umstritten, ob es sich dabei um einen „aktiven Transport“ der Wassermoleküle handelt oder ob beim aktiven Transport gelöster Stoffe gleichzeitig Wasser transportiert wird.

Die Konzentrierung des Primärharns auf etwa $\frac{1}{100}$ seines Volumens erfordert osmotische Arbeit. Die Rechnung ergibt jedoch einen Betrag, der im Vergleich zur gesamten Energieproduktion der Niere verschwindend klein ist; die hohe Selektivität der Ausscheidung bedingt offenbar einen erheblichen zusätzlichen Energieaufwand.

Die meisten niedermolekularen Substanzen, die bei der Ultrafiltration in den Primärharn gelangen, werden zum erheblichen Teil rückresorbiert. Das gilt auch für typische Ausscheidungsprodukte, wie z. B. Harnstoff und Harnsäure, in besonders hohem Maße aber für freie Aminosäuren und die Glukose, die vollständig rückresorbiert wird, sofern der Blutzuckergehalt normal ist. Steigt er, dann wird Zucker im Harn ausgeschieden. Die Rückresorption ist ja ein „aktiver Transport“, und der enzymatische Apparat des aktiven Transports kann die angelieferten Mengen dann nicht mehr bewältigen. Für andere Stoffe gelten ähnliche Verhältnisse, allerdings ist die Rückresorptionskapazität (die man früher als „Nierenschwelle“ bezeichnete) recht verschieden.

Die Sekretionstätigkeit der Nierentubuli ist gleichfalls ein aktiver Transport von Substanzen aus dem Blutstrom in den Harn. Auf diese Weise werden die Ammonium-Ionen, die durch Stoffwechselprozesse im Nierengewebe entstehen, in den Harn abgegeben; die NH_4^+ -Konzentration im Blut ist sehr gering. Ferner werden H^+ -Ionen aktiv sezerniert; der Harn ist meist merklich saurer (pH 5 bis 6,5) als das Blutplasma (pH ca. 7,4). Auch körperfremde Substanzen, z.B. Penicillin und andere Pharmaka, werden durch aktiven Transport aus dem Blut entfernt.

Hormonale Regulation der Nierentätigkeit. Auf die Niere wirken drei Hormone: das Nebennierenrindenhormon **Aldosteron** (mineralocorticoide Wirkung), das **Parathormon** und das **Adiuretin** des Hypophysenhinterlappens .

Das Aldosteron verringert die Na^+ -Ausscheidung und fördert die K^+ -Ausscheidung. Auch das Parathormon wirkt auf den Mineralhaushalt, und zwar im Sinne vermehrter Phosphatausscheidung durch die Niere. Das wichtigste Hormon ist zweifellos das Adiuretin, das vor allem für die Rückresorption des Wassers verantwortlich ist.

Urin. Die Zusammensetzung und die Tagesmenge des Urins schwanken je nach der Flüssigkeitsaufnahme. Angaben über die tägliche Ausscheidung von Stoffen bezieht man deshalb stets auf den 24-Stunden-Harn.

An erster Stelle steht hier der Harnstoff, wie überhaupt die Ausscheidung stickstoffhaltiger Stoffe im Vordergrund steht (der Kohlenstoff der Nahrung wird größtenteils als CO₂ gasförmig ausgeschieden). Man kann aus der Menge an Harnstoff auf die umgesetzte Proteinmenge rückschließen (1 g Harnstoff entspricht 6,25 g Protein).

Weitere stickstoffhaltige Ausscheidungsprodukte sind die Harnsäure, das Kreatinin (durch Ringschluss aus Kreatin entstanden), das schon erwähnte Ammonium-Ion und noch verschiedene, in kleiner Menge vorkommende Bestandteile.

Die Bedeutung der Ausscheidung anorganischer Salze (vor allem Alkalisalze: Chlorid, Sulfat, Phosphat) wurde schon erwähnt. Manche Ionenkombinationen führen zur Abscheidung schwerlöslicher Salze im Harnsediment oder in den Harnwegen (Nieren- und Blasensteine).

Pathologische Harnbestandteile. Bei verschiedenen Krankheiten treten im Harn anomale Bestandteile auf, und die Harnanalyse hat deshalb von jeher erhebliche diagnostische Bedeutung gehabt. Diese ist heute noch größer geworden, seit man mit verfeinerten quantitativen Methoden auch Konzentrationsänderungen normaler Bestandteile und die in kleiner Menge vorliegenden Produkte des Hormonstoffwechsels erfasst.

Proteine deuten meist auf eine Nierenschädigung; vorwiegend wird Albumin ausgeschieden (kleinstes Molekulargewicht!). Die BENCE-JONES-Proteine, die bei bestimmten Tumoren (Plasmozytomen) auftreten, sind durch ihr merkwürdiges Löslichkeitsverhalten (Ausfällung bei 50° C, Wiederauflösung bei 80° C) aufgefallen. Es handelt sich hierbei um Untereinheiten der γ -Globuline, die vermehrt gebildet werden.

Zucker. Glukoseausscheidung kann entweder eine Folge hoher Kohlenhydrataufnahme sein (alimentäre Glukosurie) oder symptomatisch für Diabetes mellitus. In schweren Fällen werden häufig Ketonkörper (Aceton, Acetessigsäure und deren Reduktionsprodukt, die β -Hydroxybuttersäure) ausgeschieden. Galaktosurie und Pentosurie gehen, soweit nicht alimentär bedingt, auf Erbanomalien zurück.

Farbstoffe. Gallenfarbstoffe treten bei Hepatitis auf, sie entstammen dem Hämoglobinstoffwechsel. Uro- und Koproporphyrin können bei Vergiftungen oder bei genetisch bedingten Störungen in der Biosynthese der Hämipigmente in den Harn übertreten.

(10.5) Weitere Ausscheidungsprodukte

Quantitativ das wichtigste Ausscheidungsprodukt ist das *Kohlendioxyd*, das bekanntlich über die Lunge eliminiert wird. An der Gleichgewichtseinstellung zwischen gelöstem und gasförmigem Kohlendioxyd ist die *Kohlensäureanhydratase* beteiligt, ein zinkhaltiges Enzym. Von Bedeutung ist ferner, dass das Hämoglobin durch die Addition von Sauerstoff eine stärkere Säure wird, also H⁺-Ion abgibt und damit die Freisetzung von CO₂ aus HCO₃⁻ begünstigt:

$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (Diese Reaktion ist zentral für den Säure-Basen-Haushalt).

Der Stuhl besteht zum größten Teil aus Schleimstoffen des Magen-Darm-Trakts, unverdauten Nahrungsresten und Resten der Darmbakterien. Sein Geruch geht auf *Indol* und *Skatol* zurück, die Farbe auf die Gallenfarbstoffe.

Der Schweiß ist eine weitere Ausscheidungsform nicht nur von Wasser, sondern auch von Salzen. Er enthält etwa 0,4% NaCl, aber nur geringe Mengen organischer Stoffe.

(11) 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 Funktionen: (1) Es ist ständig aktiv (**Wachsamkeit**), (2) es kann defekte Strukturen aufspüren (**Fehlererkennung**), (3) es kann die fehlerhaften Strukturen entfernen und auch 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 DNS-Moleküle (Desoxyribonukleinsäuren) in den Kernen der Zellen vorgegeben. Zur Weitergabe der genetischen Information redupliziert sich die DNS, so dass zwei identische Tochtermoleküle entstehen. Wird dieser komplizierte chemische Vorgang durch bestimmte Ereignisse gestört, dann werden die Tochtermoleküle falsch zusammengesetzt. Die geschädigte DNS kann verheerende Folgen für den Organismus haben. Um genau das zu vermeiden, stehen verschiedene Enzyme (hochspezialisierte Eiweißmoleküle) zur Reparatur der DNS zur Verfügung. Diese Reparaturenzyme erkennen fehlerhafte Abschnitte der DNS, 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 mit Hilfe 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 hinein gesaugt 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.

Ganz entscheidend für die Heilung ist das Gleichgewicht zwischen wachstumsfördernden und wachstumshemmenden Faktoren. Ein ungehemmtes Zellwachstum könnte zur Entartung in ein Krebsgewebe führen. Neben der beschriebenen Wundheilung ist 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 beeindruckende Mechanismen der Selbstheilung. Durch bestimmte Entspannungstechniken können stressbedingte Erkrankungen gelindert werden. Durch eine Umstellung der Ernährung können oft Verdauungsprobleme behoben werden. Durch eine Änderung des Lebensstils (mehr Bewegung) können Kreislaufbeschwerden (Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen) abgeschwächt werden.

Heilung auf der Ebene der Psyche

Als Beispiel sei „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 abgewandelte Form der Selbstheilung betrachtet werden kann. Sie durchläuft 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 eine Schmerzvermeidung versucht, und zwar durch ein Ausweichen und einen in der Phantasie erzeugten Realitätsersatz. Dann folgt sehr 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.

(12) 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 oben beschriebenen, Energie liefernden biochemischen Prozessen liegen. Eine 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 von Nerven- und Hormonsystem. Das Immunsystem und die Ernährung sind für den Energiehaushalt des Körpers ebenfalls sehr wichtig.

Mit Lebensenergie werden auch die **Selbsteilungsmechanismen** des Organismus bezeichnet. In der Menschheitsgeschichte taucht dieser Begriff der Lebensenergie oftmals in verschiedenen Formen auf: Qi (China), Prana (Indien), Num (Afrika), Vis vitalis (Europa), Libido (Sigmund Freud), Orgon (Wilhelm Reich).

In der so genannten **alternativen, komplementären Medizin** werden ein esoterischer Energiebegriff und esoterische Theorien verwendet, die vom Standpunkt einer **evidenzbasierten, naturwissenschaftlichen** Medizin nicht nachweisbar sind.

Nachweisbar hingegen ist das Zusammenspiel von Psyche und Organismus. Neben der physiologischen Situation ist auch die **psychologische Situation** des Menschen zu berücksichtigen. Chronischer Stress, Misserfolgslebnisse und Depressionen erzeugen Vorstellungen und Gefühle der Niedergeschlagenheit, Erschöpftheit und Energielosigkeit. Das wiederum führt zu einem Mangel an Tatkraft und Handlungsentschlossenheit.

Umgekehrt erzeugen Erfolgserlebnisse und Lebenszufriedenheit eine Mischung von Emotionen von Glück, Tatenlust und Energie.

Die modernen Neurowissenschaften haben den Zusammenhang zwischen bestimmten emotionalen Erlebnisweisen einerseits und körperlichen Zuständen andererseits erforscht. Beispielsweise wurde eindeutig bewiesen, dass Gefühle der Hilflosigkeit und Traurigkeit die **Immunabwehr** schwächen und zu erhöhter Krankheitsanfälligkeit führen.

So ist es offensichtlich, dass die menschliche Psyche den Energiehaushalt des Körpers über das Nervensystem, das Hormonsystem und das Immunsystem in verschiedener Weise beeinflusst. Ein eigener Forschungsbereich (**Psycho-Neuro-Immunologie**) beschäftigt sich mit den Wechselbeziehungen des emotionalen Systems und des Immunsystems.

(13) Die menschliche Psyche

(13.1) Ein Modell der Psyche

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

Psychische Funktionen sind die Wahrnehmungen, das Gedächtnis (Lernen), das Denken und das 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 dann in eine spezifische Folge von elektrischen Spannungsschwankungen verschlüsselt. Diese wird entlang von Nervenfasern über das Rückenmark oder den Hirnstamm zu den Effektoren (Muskeln und Drüsen) weitergeleitet, wo der Reiz durch entsprechende motorische Reaktionen beantwortet wird.

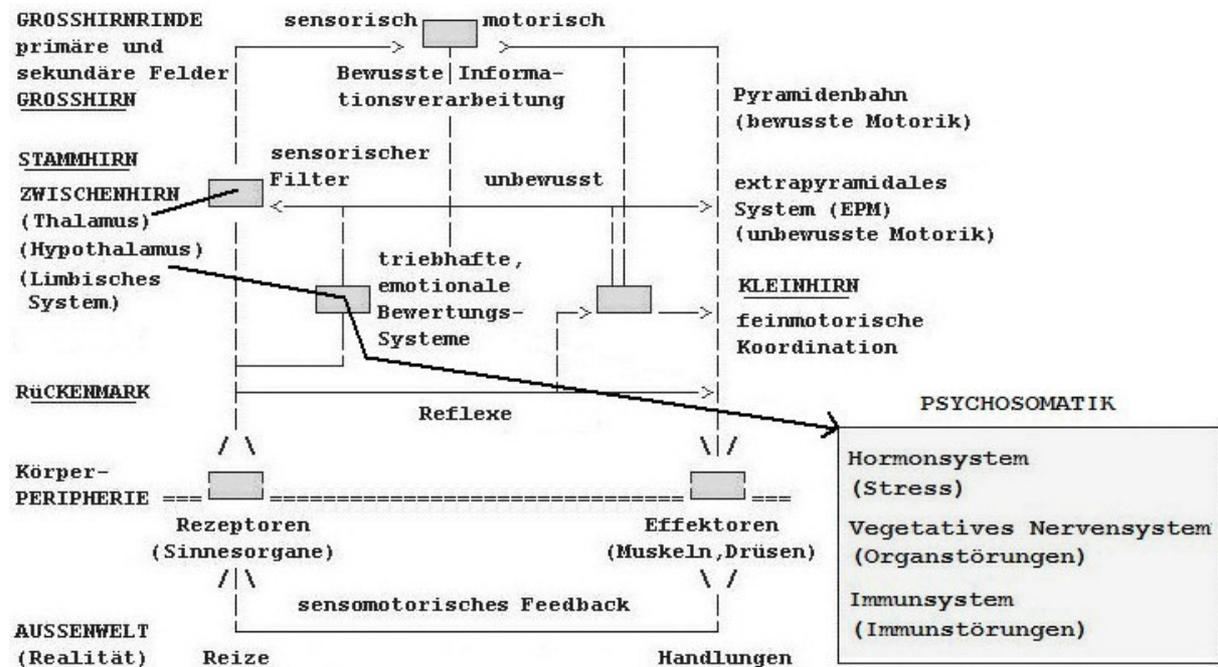
Etwas komplexer gestaltet sich der Ablauf einer *Instinktreaktion*. Hier fließt der Informationsstrom über höher gelegene Hirnstamm-Zentren im zentralen Nervensystem. Als Beispiel sei das Hinaus-treten aus einem dunklen Raum in das helle Sonnenlicht genannt. Zunächst erfolgen reflektorische Reaktionen (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* zugrunde, die in wechselseitig gekoppelten Gruppen von Nervenzellen (*neuronalen 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.

(13.2) Der Weg zum Bewusstsein

Abb. 39: Schematisches Diagramm wichtiger Zentren und ihrer Verbindungen



Nur passende (adäquate) Reize lösen in den Sinnesorganen (Sensoren, Rezeptoren) elektrochemische Erregungen aus (*erster Filter*). Diese sensorischen Signale gelangen über aufsteigende Nervenbahnen in den *Thalamus* im Zwischenhirn. Zugleich fließen die sensorischen Signale zum *Hypothalamus* und zum *limbischen System* (Amygdala, Hippocampus, Insula, ...) und erregen dort jene Nervenzentren, in denen Triebe und Gefühle entstehen. Es kommt zu einer *emotionalen Bewertung* der sensorischen Inputs. Diese Zentren senden ihrerseits Signale zum Thalamus, wodurch es zu einer neuerlichen Selektion kommt (*zweiter Filter*). Die nunmehr emotional bewerteten und gefilterten sensorischen Inputs fließen vom Thalamus aufwärts in die entsprechenden Wahrnehmungszentren in der *Großhirnrinde* (Cortex). Gleichzeitig werden Erinnerungsspuren aktiviert. Erst hier in der Rinde des Großhirns entsteht eine *bewusste Wahrnehmung*. Der Thalamus kann als das Vorzimmer zum Bewusstsein angesehen werden, die Großhirnrinde ist dann das Wohnzimmer des Bewusstseins.

Das limbische System und der Hypothalamus wirken auf das vegetative Nervensystem und das Hormonsystem und das Immunsystem. So können *Stress* und *psychosomatische Erkrankungen* entstehen.

Weil jeder sensorische Input durch die psychischen Kräfte bewertet wird, kommt es immer zu einer *Sensibilisierung* der Wahrnehmung, d.h. zu einer Filterung der Information. So wird beispielsweise beim sehnsüchtigen Warten auf das Eintreffen eines geliebten Menschen der emotionale WahrnehmungsfILTER wirksam. Zum Zeitpunkt des Erscheinens der erwarteten Person werden andere Reize (z.B. irgendein Vorfall in der näheren Umgebung) kaum wahrgenommen, d.h. die Wahrnehmung engt sich auf ein Zielobjekt ein. Verschiedene Individuen haben oft sehr unterschiedliche bewusste Bilder von ein- und demselben Bereich der Außenwelt. Was subjektiv für wirklich gehalten wird, hängt somit von den individuellen Gefühlen, Trieben und Interessen ab. Die resultierenden Divergenzen der subjektiven Weltbilder führen nicht selten zu Konflikten.

Bewusste Erlebnisse im Cortex sind nur dann möglich, wenn unspezifische Erregungen den Cortex aktivieren. Diese beginnen in netzartigen Nervengeflechten im verlängerten Rückenmark (*formatio reticularis*) und ziehen über Mittelhirn und Thalamus zum Cortex (ARAS, aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem). Das ARAS wird durch sensorische Inputs eingeschaltet und bewirkt eine *unspezifische Wachheit* des Gehirns. Erst durch diese Aktivierung kann die Großhirnrinde spezifische Sinnesqualitäten (Qualia) bewusst erleben. Eine durch einoperierte Sonden erfolgte Ausschaltung des ARAS führt bei wachen Versuchstieren zur sofortigen Bewusstlosigkeit. Eine künstliche Elektrostimulation des ARAS führt bei schlafenden Versuchstieren zum Aufwachen.

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 Begriffe bildenden 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.

Wirft man drei Holzstäbe (z.B. von einem Mikadospiegel) 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 (Interaktionen) 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.

(13.3) Chemie der Psyche

Grundlagen. Die elektrische Signalübertragung zwischen Nervenzellen (kurzzeitige Spannungstöße) funktioniert nur, wenn passende **Transmitter** (chemische Botenstoffe) an den Synapsen (Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen) vorhanden sind. Diese wirken auf entsprechende Rezeptormoleküle, welche dann Ionenkanäle in der Zellmembran öffnen, so dass es zu einer Ionenverschiebung und damit zu einer Signalweiterleitung kommt. Chemische Agonisten haben die gleiche Funktion wie die Transmitter. Antagonisten blockieren die Rezeptoren und damit auch die Transmitterwirkung (darauf beruht die Wirkungsweise von vielen Medikamenten).

Im stammesgeschichtlich alten Stammhirn (besonders im Zwischenhirn) und im so genannten limbischen System unterhalb des Großhirns liegen jene Nervenzentren, die für die Entstehung von Trieb- und Gefühlserlebnissen verantwortlich sind. Nur wenn diese Neuronen elektrochemische Erregungen produzieren (feuern), was vom Vorhandensein passender Transmitter abhängt, werden Signale zur Rinde des Großhirns (Cortex) gesendet und die entsprechenden Gefühle bewusst erlebt.

Angst. Dieses Gefühl entsteht im Mandelkern (Amygdala) an der Basis des Großhirns. **Therapie:** Chemische Agonisten des schnell wirkenden und die synaptische Erregung hemmenden Neurotransmitters GABA (Gamma-Amino-Buttersäure) bewirken eine Beruhigung (Tranquilizer, Sedativa).

Depression. Diese krankhafte Gefühlsverstimmung beruht auf einem deutlich zu geringen Gehalt an Serotonin und Noradrenalin in den Synapsen bestimmter Hirnregionen. **Therapie:** Durch die Hemmung des Enzyms Monoaminoxidase (MAO), welches die beiden Transmitter abbaut, wird der Serotoningehalt wieder erhöht und die Stimmungslage deutlich verbessert. Den gleichen Effekt wie mit MAO-Hemmern erreicht man mit Serotonin-Wiederaufnahme-Hemmern (SSRI).

Lust. Im Zwischenhirn ist eine Nervenregion lokalisiert, die für die Entstehung von Lust- und Glücksgefühlen verantwortlich ist. Dabei spielen der Transmitter Dopamin und die Endorphine (körpereigene Morphine) eine wichtige Rolle. Zu wenig Dopamin führt zum Anhedonismus (Unfähigkeit zum Lusterleben).

Schizophrenie. Bei dieser Persönlichkeits-Störung wird in gewissen Nervenregionen eine deutlich verstärkte Dopamin-Aktivität festgestellt. **Therapie:** Chemische Antagonisten von Dopamin, welche die Dopaminrezeptoren blockieren, führen zu einer Schwächung der Dopaminwirkung und zu einer zeitweiligen Besserung des psychischen Zustandes. **Nachteil:** Die Reduktion des Dopamins durch solche Medikamente (Neuroleptika) bewirkt einerseits eine Anhedonie und andererseits Parkinson-ähnliche Erscheinungen.

Parkinson. Diese motorische Schüttellähmung entsteht durch die nachweisbare Degeneration von dopaminhaltigen Nervenzellen (Substantia nigra an der Basis des Großhirns), welche Kontrollimpulse auf das motorische System aussenden und so die Motorik modulieren. **Therapie:** L-Dopa (chemische Vorstufe des Dopamin) überwindet die Blut-Hirn-Schranke und mildert die Symptome.

Alzheimer. Diese Degenerationskrankheit (besonders der Verlust der Merkfähigkeit) wird mit der Entstehung von Ablagerungen in bestimmten Gehirnregionen erklärt. Das Gen S182 auf dem Chromosom 21 kodiert das Protein β -Amyloid, welches für die Zerstörung von Zellen verantwortlich ist. Es kommt zur Ablagerung abgestorbener Nervenzellen und zur vermehrten Einlagerung von Stoffwechsel-Zwischenprodukten. Zusätzlich ist die chemische Bildung des Transmitters Acetylcholin und dadurch auch die Signalübertragung an den Synapsen gestört, so dass das Speichern und Abrufen von Informationen erschwert wird (speziell in der Region des Hippocampus). **Therapie:** Durch Hemmung des Enzyms Acetylcholin-Esterase, das den Transmitter abbaut, steigt der Acetylcholingehalt an den Synapsen und somit ist auch eine bessere Signalübertragung möglich. Dadurch kann die Symptomatik zumindest zeitweilig gebessert werden, jedoch treten dabei unerwünschte Nebenwirkungen auf.

Suchtmittel. Die Suchtmittel (z.B. Beruhigungs-, Anregungs- und Halluzinations-Mittel) bewirken Veränderungen in den Nervenzellen, so dass sich deren Biochemie an diese Mittel gewöhnt (**Neuroadaptation**). Um gleichstarke Wirkung zu erzielen, muss fortlaufend die Dosis erhöht werden (**Toleranz**). Bei Absetzen der Droge kommt es zu Entzugserscheinungen und oft zur Rückfälligkeit. Beispiel: **Morphine** erzeugen Glücksgefühle im Lustzentrum (hedonistische Wirkung) und hemmen die Erregungsübertragung in den schmerzleitenden afferenten Nerven (analgetische Wirkung).

(14) Intelligenz und Persönlichkeit

(14.1) Faktoren der kognitiven Intelligenz

Die *kognitive Intelligenz* ist der Leistungsgrad der psychischen Funktionen (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*.

(14.2) 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).

(14.3) 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 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

(15) Die sechs psychoneuralen 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.

- * *Die Stressverarbeitung (STRE)*
- * *Das Beruhigungssystem (BERU)*
- * *Das Belohnungssystem (BELO)*
- * *Die Impulskontrolle (IMPU)*
- * *Das Bindungssystem (BIND)*
- * *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 psychoneuralen Grundsysteme und deren Beziehungen zu den Persönlichkeitsmerkmalen erläutert.

[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 von Glukocorticoid-Hormonen (*Cortisol*) in den Blutkreislauf. Diese Hormone bewirken eine vermehrte Bereitstellung von Zucker (Glukose) und somit eine erhöhte Energiezufuhr für die Muskelzellen. Der Zucker wird in den Muskelzellen als Brennstoff verwendet, der die Energie für die Muskelkontraktion liefert. So kann Flucht- oder Kampfverhalten gestartet werden („flight or fight“).

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.

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 Normkonzentration 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.

[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.).

[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*.

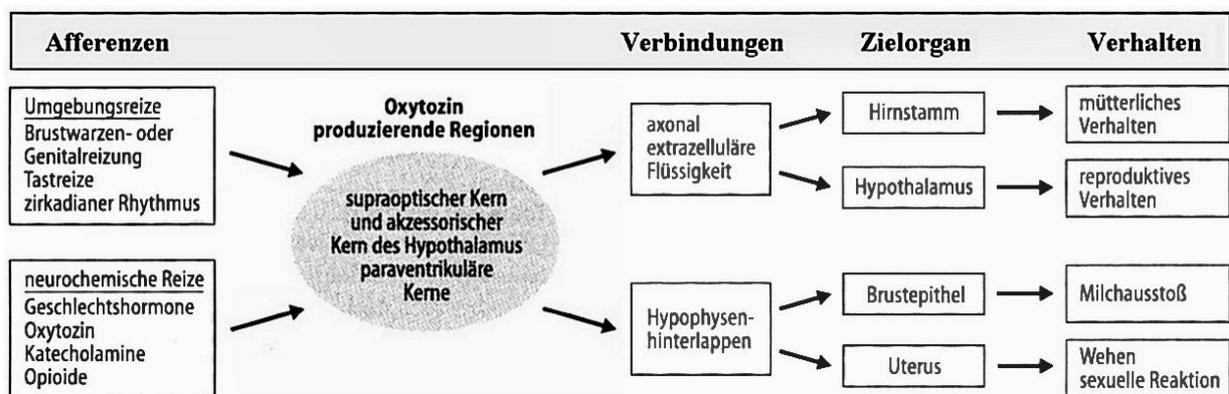
Bei der *Parkinsonschen Schüttellähmung* sind in der Substantia nigra die Dopamin produzierenden Zellen abgestorben, so dass dann in den Basalganglien ein deutlich verringerter Dopaminspiegel nachweisbar ist. Zur Therapie wird L-Dopa eingenommen, eine chemische Vorstufe von Dopamin, welche die Blut-Hirn-Schranke 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 *anti-soziale Persönlichkeitsstörung* werden als eine Unterfunktion des endogenen Opiatsystems und des Serotoninsystems interpretiert.

[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.

Abb. 40: 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.

[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 hirnganisch 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.

[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.

(15) Lebensglück und Lebensfreude

Die Absage an das Besitzen- und Haben-Wollen

"Geld macht nicht glücklich". Das ist eine alte Binsenweisheit, welche auch durch die moderne Meinungsforschung bestätigt wird. Obwohl das Durchschnittseinkommen in den Jahren von 1955 bis 1995 in den USA um mehr als 100% gestiegen ist, bezeichneten sich 1995 nur 29% der Menschen statt ehemals 35% als sehr zufrieden und glücklich. Ebenso wenig wie Geld erhöhen auch Bildung, sozialer Status, Geschlecht oder das Lebensalter unsere Zufriedenheit und unser Glück. Lottomillionäre sind ein Jahr nach dem großen Geldgewinn um nichts glücklicher als zuvor.

Während der östliche Mensch in Asien raffinierte Glückstechniken wie die Meditation entwickelte, ist der westliche Mensch in Europa und Nordamerika zumeist auf die schlichte Befriedigung seiner Triebe und seiner Interessen angewiesen: ein kurzer Orgasmus, ein gutes Essen, eine sportliche Skiabfahrt. Kälte, Hunger und Krankheit hat der westliche Mensch größtenteils erfolgreich besiegt. Jetzt aber sitzt er gelangweilt im Lauwarmen und sehnt sich nach mehr Glück.

Die fließende Welle des Glücks und die Kraft der Einsamkeit

Das eigentliche Glücksgefühl wird als ein wellenartiger Schwebезustand beschrieben (die unsagbare Leichtigkeit des Seins). Dieser "*flow of happiness*" wird dann erreicht, wenn sich der Mensch einem Erlebnis voll und ganz hingibt - nur des Zustandes wegen und nicht wegen Belohnung, Erfolg, Gewinn oder Prestige.

Die konzentrierte und vollständige Hingabe an eine Sache, gleichgültig ob an ein Schachspiel, eine künstlerische oder sportliche Betätigung, an eine andere Person oder an seine berufliche Arbeit, lässt den Menschen seine Besorgtheit und Bekümmertheit vergessen. In diesen Minuten ist er ganz einfach glücklich. Das ist Freude am Leben.

Eine weitere wichtige Quelle unseres Lebensglücks ist der zeitweilige Rückzug aus der hektischen Geschäftigkeit in die Einsamkeit, egal ob mitten im Alltag oder allein auf einem hohen Berg. Die bewusst und freiwillig aufgesuchte Einsamkeit gibt dem Menschen die Möglichkeit Stress abzubauen, zu regenerieren, Energie zu tanken und Besinnung zu üben ("*power of loneliness*"). Nur wer die Kraft der Einsamkeit kennt, der wird offen für die fließende Welle des Glücks.

Die Chemie in der Gefühlsfabrik des menschlichen Gehirns

Die Kontrollstelle des Gehirns, die alle unsere Wahrnehmungen und Vorstellungen mit angenehmen oder unangenehmen Gefühlen verknüpft, ist das limbische System an der Basis des Großhirns. Die Aktivität der dort befindlichen Nervenzellen hängt weitgehend von der Produktion spezifischer Neurotransmitter (Stoffe zur Signalübertragung) ab. Ein wichtiger Transmitter in den Lustzentren des Gehirns, vor allem im Zwischenhirn und an der Basis des Großhirns, ist das Dopamin.

Weitere wichtige Substanzen sind die Endorphine; das sind körpereigene Stoffe mit morphiumpfeilähnlicher Wirkung. Sie sind einerseits in der Lage glückhafte Rauschzustände im Gehirn auszulösen, andererseits reduzieren sie die Schmerzempfindlichkeit durch zentralnervöse Schmerzhemmung im Rückenmark und im Zwischenhirn. Kleine Mengen dieser endogenen Opiate stärken auch die Abwehrkräfte des Körpers. Glück macht also gesund.

Der Schritt zum Unglück ist nur ein kleiner: Die neuronalen Lust- und Belohnungssysteme sind auch der Ziel- und Angriffspunkt für Suchtmittel wie Opium oder Heroin. Hier wird der Drogenkonsum in Lust umgesetzt und eine oftmals tödliche chemische Abhängigkeit erzeugt. Hohe und dauernde Opiatgaben unterdrücken sogar die natürliche Aktivität des Immunsystems und schwächen so die Abwehrkräfte.

Vorteil oder Nachteil hängen - wie so oft im Leben - von der Mengendosierung ab !

ENDE