

Physiologie

Verfasserin:

Katja Schwanekamp (Diplom-Biologin)

Überarbeitet von:

Vanessa Paetke (Diplom-Sportwissenschaftlerin)

Wolfgang Brand (exam. Sportlehrer und Biologe)

Stefan Remmert (Diplom-Sportwissenschaftler)



Einleitung	6
1. Energiestoffwechsel	7
1.1 Ernährung	10
1.1.1 Nährstoffe	10
1.1.2 Vitamine	16
1.1.3 Wasser	16
1.2 Energiegewinnung	18
1.2.1 Energiereiche Phosphate	18
1.2.2 Energieliefernde Prozesse	20
1.2.3 Energiebedarf	26
2. Atmung	32
2.1 Atemwege	34
2.2 Atemmechanik	40
2.3 Lungen- und Atemvolumina	42
2.4 Gasaustausch und Gastransport	45
3. Blut	49
3.1 Aufgaben und Menge	50
3.2 Blutplasma	52
3.3 Blutzellen	53
3.4 Blutgerinnung	57
4. Herz-Kreislauf-System	60
4.1 Kreislaufsystem	62
4.2 Herz (Cor)	64
4.2.1 Anatomie des Herzens	64
4.2.2 Herztätigkeit	68
4.2.3 Physiologie der Kontraktion	71

4.3	Aufbau der Blutgefäße	73
4.3.1	Arterien	73
4.3.2	Kapillaren	75
4.3.3	Venen	75
5.	Immunsystem	79
5.1	Abwehrreaktionen	80
5.2	Lymphsystem	87
6.	Nervensystem	89
6.1	Nervenzelle	92
6.1.1	Anatomische Merkmale	92
6.1.2	Erregungsprozesse	97
6.2	Zentralnervensystem	107
6.2.1	Rückenmark (Medulla spinalis)	109
6.2.2	Gehirn	114
6.3	Peripheres Nervensystem	118
6.4	Vegetatives Nervensystem	120
7.	Endokrinsystem (Hormonsystem)	124
7.1	Klassifizierung der Hormone	126
7.1.1	Molekularer Aufbau	126
7.1.2	Bildungsort	127
7.1.3	Funktion der Hormone	129
7.2	Wirkungsmechanismen von Hormonen	131

Lösungen zu den Lernkontrollfragen	133
Abbildungsverzeichnis	143
Literaturverzeichnis	146
Stichwortverzeichnis	150

Hinweis:

Um die Lesbarkeit des Textes zu erhalten, wurde auf das Nebeneinander weiblicher und männlicher Personen- und Berufsbezeichnungen verzichtet. Dafür bitten wir alle Leserinnen um Verständnis.

„**QV**“ im Text steht für Querverweis.

Liebe IST-Studentin, lieber IST-Student,

wir hoffen, Sie haben bisher gut mit den vom IST-Studieninstitut zur Verfügung gestellten Materialien arbeiten können. Nun halten Sie das Studienheft Physiologie in den Händen und wie auch zum Studienheft Anatomie gibt es einige Dinge, die wir Ihnen vorab mit auf den Weg geben möchten, bevor Sie sich in die Inhalte einarbeiten.

Das Fachgebiet der Physiologie umfasst die wichtigsten Stoffwechselvorgänge im menschlichen Körper und deren Regulation. Sportliche Aktivität ist immer auch eine Herausforderung an den Stoffwechsel des Sporttreibenden und somit sind umfassende Kenntnisse für Sie als Trainerin bzw. Trainer unabdingbar und gehören, ebenso wie Kenntnisse aus den Bereichen Anatomie oder Trainingslehre, zum „Handwerkszeug“.

Schon bei einer ersten Durchsicht des Studienheftes werden Sie erkennen, dass die verschiedenen Themen fachlich anspruchsvoll und ausführlich dargelegt sind. Wir sind der Auffassung, dass Ihnen die Studienhefte nicht allein zur Prüfungsvorbereitung dienen sollen, sondern auch als Nachschlagewerke verwendet werden können. Aus diesem Grund sind viele Aspekte so ausführlich und anspruchsvoll behandelt.

Versuchen Sie stets, für sich einen Bezug zur Trainingspraxis herzustellen, da das Lernen so deutlich einfacher ist und Sie viele Aspekte so Tag für Tag anwenden können.

Hinweis



Ihre Studienberater im IST sind für Sie jederzeit telefonisch erreichbar und beantworten gerne Ihre sportwissenschaftlichen und trainingspezifischen Fragen zu den Studienheften, Einsendearbeiten oder Prüfungsanforderungen.

Für ein erfolgreiches Studium ist es nicht notwendig, sämtliche Inhalte auswendig zu lernen. Sie sollten aber alle Kapitel aufmerksam lesen, um ein Verständnis darüber zu bekommen, wie die verschiedenen Vorgänge in unserem Körper funktionieren und zusammenhängen. Zur Prüfungsvorbereitung sollten Sie folgende Kapitel besonders intensiv bearbeiten:

- Energiestoffwechsel
- Atmung
- Herz-Kreislauf-System

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg in Ihrem Studium und viel Freude an der Arbeit mit diesem Studienheft!

Ihr IST-Team

1. Energiestoffwechsel

1.1 Ernährung

1.1.1 Nährstoffe

1.1.2 Vitamine

1.1.3 Wasser

1.2 Energiegewinnung

1.2.1 Energiereiche Phosphate

1.2.2 Energieliefernde Prozesse

1.2.3 Energiebedarf

Kapitel 1

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ die wichtigsten Prozesse des Energiestoffwechsels im menschlichen Körper zu erläutern;
- ▶ die wichtigsten Fachbegriffe und Kenngrößen des Energiestoffwechsels zu erklären.

Einführung Organismen nehmen ständig Stoffe auf, wandeln sie in andere um und geben die Abfallprodukte wieder an die Umwelt ab. Die Summe dieser Prozesse des ununterbrochen ablaufenden Stoffaustausches nennt man **Stoffwechsel** oder **Metabolismus**. Anabolismus ist dabei die Gesamtheit der aufbauenden chemischen Vorgänge, Katabolismus ist die Summe der abbauenden Prozesse.

Im Folgenden geben wir Ihnen einen Überblick über die komplizierten im menschlichen Körper ablaufenden Stoffwechselvorgänge. Detailliertere und weiterführende Informationen entnehmen Sie bitte der im Anhang dokumentierten Literatur.

Energiegewinnung

Nahrungsmittelbestandteile

Pflanzen verwenden als Energiequelle das Sonnenlicht und werden daher auch autotrophe Organismen genannt da sie mithilfe des Sonnenlichts, sowie der Aufnahme von CO_2 und Wasser, energiereiche Verbindungen (v. a. Glukose) herstellen können, die sie wiederum als eigene Energiequelle nutzen. Alle Tiere, und mit ihnen natürlich auch der Mensch, sind **heterotrophe** Organismen. Sie bedienen sich zum Aufbau ihrer Körpersubstanz und zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen direkt oder indirekt der von den Pflanzen produzierten energiereichen und hochmolekularen Verbindungen. Das bedeutet, dass die Nahrung des Menschen sich neben Wasser und Mineralien nur aus organischen Substanzen zusammensetzt. Zu den Bestandteilen der Nahrungsmittel gehören:

- Eiweiße
- Fette
- Kohlenhydrate
- Vitamine (A, B6, B12, C, D usw.)
- Mineralstoffe (Calcium, Phosphor, Chlor, Kalium, Magnesium, Natrium)
- Spurenelemente (= Substanzen, die nur in kleinsten Mengen, also in Spuren benötigt werden: Zink, Kupfer, Jod, Silizium, Eisen, Fluor, Mangan, Kobalt)
- Wasser

Lebensmittel (100 g)	Wasser (g)	Eiweißstoffe (g)	Kohlenhydrate (g)	Fette (g)	Mineralstoffe und Vitamine (g)
Äpfel	84,0	0,3	15,0	0,6	0,1
Bananen	75,7	1,1	22,2	0,2	0,8
Weintrauben	81,4	0,6	17,3	0,3	0,4
Erdbeeren	89,9	0,7	8,4	0,5	0,5
Blumenkohl	91,0	2,7	5,2	0,2	0,9
Karotten	88,6	1,1	9,1	0,2	1,0
Kopfsalat	95,1	1,3	2,5	0,2	0,9
Champignons	90,8	2,8	3,7	0,2	2,5
Haselnüsse	6,0	12,7	18,0	60,9	2,4
Butter	17,4	0,6	0,7	81,0	0,3
Margarine	19,7	0,5	0,4	78,4	1,0
Schweineschmalz	1,0	0,0	0,0	99,0	0,0
Kartoffeln	79,8	2,1	17,7	0,1	0,3
Roggenbrot	38,5	6,4	52,7	1,0	1,4
Brötchen	34,0	6,8	58,0	0,5	0,7
Haferflocken	10,3	13,8	67,6	6,6	1,7
Spaghetti	10,4	12,5	75,2	1,2	0,7
Vollmilch	88,1	3,2	4,6	3,7	0,4
Schlagsahne	64,1	2,2	2,9	30,4	0,4
Yoghurt	86,1	4,8	4,5	3,8	0,8
Emmentaler	34,9	27,4	3,4	30,5	3,8
Brathuhn	72,7	20,6	0,0	5,6	1,1
Rinderfilet	75,1	19,2	0,0	4,4	1,3
Schweinekotelett	53,9	15,2	0,0	30,6	0,3
Forelle	77,6	19,2	0,0	2,1	1,1
Garnelen	78,2	18,7	0,0	2,2	0,9
Hühnerei	74,0	12,8	0,7	11,5	1,0
Honig	17,2	0,3	82,3	0,0	0,2
Milkschokolade	0,9	7,7	56,9	32,3	2,2
Marzipan	8,8	8,0	64,0	18,0	1,2
Kaffee	98,5	0,3	0,8	0,1	0,3
Tee	99,0	0,1	0,4	0,0	0,5

Abbildung 1: Zusammensetzung einiger Speisen
(HOFF/JAENICKE/MIRAM 1995)

Dabei benötigt der Körper die Nahrungsbestandteile zur Energiegewinnung für Muskelarbeit, chemische Prozesse wie die Informationsverarbeitung und -weiterleitung und zur Regulation der Körpertemperatur. Diesen Stoffwechsel nennt man Energiestoffwechsel oder Betriebsstoffwechsel. Um den Energiestoffwechsel aufrecht zu erhalten benötigt der Körper eine ausreichende Zufuhr an energiereichen Verbindungen, was v. a. durch Kohlenhydrate und Fette gewährleistet werden kann.

1.1 Ernährung

Das Thema Ernährung ist ein wichtiger Bestandteil einer Trainerausbildung. Im Folgenden werden deshalb einige wesentliche Punkte angesprochen, um den Zusammenhang zum Energiestoffwechsel anschaulich darzustellen.

Neben dem Energiestoffwechsel ist auch der sogenannte Baustoffwechsel von Bedeutung. Ständig werden u. a. Enzyme, Hormone, Abwehrstoffe oder auch neue Zellen produziert. Wichtigste Aufbaustoffe sind die Eiweiße, aber auch Kohlenhydrate, Fette, Wasser, Mineralstoffe und Vitamine werden benötigt, um alle für den Organismus notwendigen Verbindungen aufbauen zu können.

1.1.1 Nährstoffe

Einige Autoren differenzieren die Nahrungsmittelbestandteile in unterschiedlicher Weise. So grenzen SPECKMANN/WITTKOWSKI (2004) als **Nährstoffe** ausschließlich diejenigen Substanzen ab, die vom Organismus zur Energiegewinnung und zum Aufbau von Körpersubstanz genutzt werden. Sie unterteilen die Nährstoffe in die drei chemisch definierten Gruppen **Kohlenhydrate**, **Fette** und **Eiweiße**.

QV Pflanzliche Nahrungsmittel, wie z. B. Getreide, Obst und Gemüse, enthalten überwiegend Kohlenhydrate. Tierische Nahrungsmittel wie Milch, Eier, Fisch und Fleisch weisen in erster Linie einen hohen Eiweißanteil auf (siehe Abbildung 1 „Zusammensetzung einiger Speisen“).

In den natürlichen Nahrungsmitteln sind alle Stoffe enthalten, die der Mensch benötigt, sodass bei gemischter Kost keine Mangelerscheinungen auftreten. Im mitteleuropäischen Raum werden etwa 50 bis 60 % der aufgenommenen Energiemenge durch Kohlenhydrate, 15 % durch Eiweiße und der Rest über Fette gedeckt.

Der Bedarf an Nährstoffen ist abhängig von den Anforderungen, denen der Organismus ausgesetzt ist. So benötigen Personen, die körperlich hart arbeiten, deutlich mehr Fette und Kohlenhydrate zur Deckung des Energiebedarfs als Personen mit überwiegend sitzender Tätigkeit. Eine ähnliche Veränderung tritt bei einer geringen Zahl an Mahlzeiten pro Tag auf. Eine Ernährung ausschließlich mit Eiweißen, Kohlenhydraten oder Fetten führt zwangsläufig zu einer Schädigung des Organismus.

Der Körper gewinnt die benötigte Energie durch den Abbau der Nährstoffe zu Wasser, Kohlendioxid und den stickstoffhaltigen Endprodukten wie Harnstoff, Harnsäure und Kreatinin.

Die beim Abbau der Nährstoffe frei werdende Energiemenge entspricht den physiologischen Brennwerten der Nährstoffe, die für Nährstoffgruppen angegeben werden (siehe Kapitelabschnitt 1.2.3 „Energiebedarf“).

QV

a) Kohlenhydrate

Kohlenhydrate sind die ökonomischsten Energiespender von allen Nährstoffen. Sie werden vom Körper fast ausschließlich zur Energiegewinnung verwendet. Bei einer Zufuhr im Übermaß werden geringe Mengen in Form von Glycogen (s. u.) in der Leber gespeichert, der weitaus größte Teil wird jedoch in Körperfett umgewandelt und in Fettdepots gespeichert.

Die Kohlenhydrate bestehen aus den chemischen Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Je nach Aufbau lassen sie sich unterteilen in:

1. Monosaccharide
2. Disaccharide
3. Polysaccharide

■ Monosaccharide

Sie werden auch Einfachzucker genannt. Die wichtigsten Monosaccharide sind:

- ▶ Glucose (= Dextrose = Traubenzucker)
- ▶ Fructose (= Fruchtzucker)
- ▶ Galactose (= „aus der Milch“ von griech. galaktos)

■ Disaccharide

Sie sind aus zwei Monosacchariden zusammengesetzt und werden daher auch als Zweifachzucker bezeichnet.

Zu den Disacchariden zählen:

- ▶ Saccharose (Rohr- oder Rübenzucker) = Glucose + Fructose
- ▶ Maltose (Malzzucker) = Glucose + Glucose
- ▶ Lactose (Milchzucker) = Glucose + Galactose

■ Polysaccharide

Polysaccharide oder Mehrfachzucker heißen Verbindungen aus einer großen Zahl von Monosacchariden. Zu ihnen gehören:

- ▶ Glycogen (tierische Stärke) = Glucose + Glucose + Glucose (bis zu 50.000 mal)
- ▶ Amylum (pflanzliche Stärke) = Glucose + Glucose + Glucose (bis zu 50.000 mal)
- ▶ Cellulose (in pflanzlichen Zellwänden) = Aufbau aus Glucose, vom Menschen aber wegen fehlender Enzyme nicht zu verdauen

Ist die Ernährung ansonsten ausreichend, so kann der Mensch über längere Zeit auch ohne Kohlenhydrate existieren. Die Empfehlung für eine ausgewogene Ernährung liegt jedoch bei 5 bis 6 g Kohlenhydraten pro kg Körpergewicht und Tag.

Zugeführt werden sie dem Körper hauptsächlich in Form von Amylum, der pflanzlichen Stärke. Sie kommt vorwiegend in Getreide und der Kartoffel vor und bildet daher den Hauptbestandteil von Mehl und Brot. Glycogen ist in der Leber und den Muskeln enthalten. Nicht alle zur chemischen Gruppe der Kohlenhydrate gehörenden Substanzen sind jedoch gleichzeitig Nährstoffe. Cellulose beispielsweise, ein Inhaltsstoff der pflanzlichen Zellwände, kann vom Menschen nicht verdaut werden, sondern fördert als Ballaststoff die Bewegung des Darmes und verhindert so eine Verstopfung.

Merke



Ein gestörter Kohlenhydratstoffwechsel ist die primäre Ursache der Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus), die auf einem Mangel des Hormons Insulin beruht. Beim unbehandelten Diabetiker steht einem Glucoseüberschuss im Blut ein Glucosemangel im Gewebe, z. B. Muskelzelle, gegenüber. Seit jeher gilt körperliche Aktivität neben Diät und Medikament als eine der „drei Säulen der Diabetesbehandlung“. Der Vorteil der körperlichen Aktivität besteht einerseits in der akuten Senkung des erhöhten Blutzuckers und andererseits in der langfristigen Verbesserung der diabetischen Stoffwechselsituation.

b) Fette (Lipide)

Wie die Kohlenhydrate, so bestehen auch die Lipide ausschließlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, jedoch in anderer Anordnung. Sie fungieren als Reservestoffe, Energielieferanten und Aufbaustoffe.

Die wichtigsten Nahrungsfette sind die Öle und die sogenannten **Neutralfette (= Triglyceride)**, bei denen es sich chemisch um Verbindungen des dreiwertigen Alkohols Glycerin mit drei Fettsäuren handelt. Häufig verwendete Nahrungsmittel wie Butter oder Schmalz sind Gemische, die aus zwei oder mehr verschiedenen Glyceriden bestehen. Je nach Aufbau der enthaltenen Fettsäuren werden gesättigte und ungesättigte Fettsäuren unterschieden, wobei sich die „Sättigung“ auf das Vorkommen bestimmter chemischer Bindungen, sogenannter Doppelbindungen, bezieht. Die gesättigten Fettsäuren haben keine dieser Doppelbindungen und die ungesättigten mindestens eine.

Grundsätzlich kann der menschliche Organismus Fette aus Kohlenhydraten selbst aufbauen. Dennoch müssen sie dem Körper auch mit der Nahrung von außen zugeführt werden, da fettlösliche Vitamine sonst nicht vom Körper aufgenommen (resorbiert) werden können. Außerdem kann die mehrfach ungesättigte Linolsäure vom Organismus nicht selbst hergestellt werden. Sie wird aus diesem Grund auch als essenzielle (unentbehrliche) Fettsäure bezeichnet und muss somit über die Nahrung aufgenommen werden (sie kommt z. B. in pflanzlichen Keimölen vor).

Die von Ernährungswissenschaftlern empfohlene tägliche Fettzufuhr bei Erwachsenen liegt bei etwa 1 g Fett pro 1 kg Normalgewicht. Übermäßiger Fettverzehr verursacht Herzkranzgefäßerkrankungen bis hin zum Herzinfarkt sowie Arteriosklerose.

Fette sind ein entscheidender Faktor im Bereich der Energiebereitstellung. Sie werden besonders bei lang andauernden Belastungen oder Hungerperioden als Energiequelle herangezogen.

Merke



Die Fehlernährung stellt einen bedeutenden Risikofaktor bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen dar. Der Hauptfehler unserer Ernährung lässt sich mit dem folgenden Satz zusammenfassen: „Wir essen zu viel, zu fett, zu faserarm und zu kochsalzreich.“

Zu viel und zu fettes Essen führt häufig zu Übergewicht, es begünstigt damit die Entstehung von Bluthochdruck, Zuckerkrankheit und Fettstoffwechselstörungen.

Bezieht sich das Übergewicht auf eine Zunahme des Fettanteils, stellt die körperliche Aktivität in Verbindung mit einer Diät die Therapie der Wahl dar.

c) Eiweiße (Proteine)

Eiweiße sind großmolekulare Verbindungen, die den Hauptanteil organischer Moleküle in der Zelle ausmachen. Sie enthalten neben Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff auch noch Stickstoff und geringe Mengen Schwefel.

Sie dienen in erster Linie dem Aufbau, Erhalt und der Reparatur von Körpergewebe. Außerdem werden sie zur Herstellung von Hormonen, Enzymen, Immunstoffen, Blut und zur Aufrechterhaltung zahlreicher anderer Stoffwechselfunktionen benötigt. Eiweiß, das nicht für den Baustoffwechsel benötigt wird, kann auch als Energielieferant dienen.

Kleinste Bausteine der Proteine sind die Aminosäuren. Die Verbindung von zwei Aminosäuren wird als Dipeptid, die von zahlreichen Aminosäuren als Polypeptid bezeichnet.

Körpereigene Proteine und freie Aminosäuren sind im Blut enthalten und werden zur Proteinsynthese in den Zellen herangezogen. Fehlende Aminosäuren kann der Körper größtenteils durch Umformung anderer Aminosäuren herstellen. Von den 20 regelmäßig in den Proteinen vorkommenden Aminosäuren können acht nicht vom Körper synthetisiert werden und müssen somit durch die Nahrung in ausreichender Menge aufgenommen werden. Man bezeichnet sie deshalb als essenzielle (unentbehrliche) Aminosäuren. Sie sind praktisch alle im tierischen Eiweiß enthalten. Im pflanzlichen Eiweiß sind die Aminosäuren nicht allesamt oder nur in geringer Konzentration enthalten.

Als optimale Eiweißmenge wird für den Erwachsenen 1 g Eiweiß pro kg Körpergewicht und Tag empfohlen. Bei Schwangeren, in der Stillzeit sowie bei Schulkindern ist der Eiweißbedarf mit 1,2 bis 2 g pro kg Körpergewicht und Tag etwas höher. Das schnelle Wachstum von Kleinkindern erfordert sogar eine Eiweißzufuhr von 2 bis 2,4 g pro kg Körpergewicht und Tag, und Spitzensportler benötigen 2,1 bis 2,3 g pro kg Körpergewicht und Tag.

Eiweiße kommen in tierischen Nahrungsmitteln wie z. B. in Milch, Eiern, Fisch, Fleisch und Käse vor, aber auch in Nahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft wie beispielsweise in Nüssen, Sojabohnen, Erbsen, Bohnen, Haferflocken und Weizenmehl.

Damit alle Aminosäuren des aufgenommenen Eiweißes verwertet werden können, muss es jede essenzielle Aminosäure in ganz bestimmter Menge enthalten. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **biologischer Wertigkeit** der unterschiedlichen Eiweißsorten.

„Die biologische Wertigkeit von Eiweiß besagt, wie viel Gramm Körperprotein aus 100 g Fremdeiweiß aufgebaut werden kann.“ (BAUER 1983).

Ei	100	Grünalgen	81
Kartoffeln	100	Reis	81
Rindfleisch	92	Roggenmehl	76
Milch	88	Mais	72
Schweizer Käse	84	Weizenmehl	56
Soja	84	Gelatine	0

Abbildung 2: Biologische Wertigkeit verschiedener Eiweißträger (LINDER/HÜBLER 1989)

Aus dem Gehalt, der Verteilung und der Verfügbarkeit der enthaltenen Aminosäuren ergibt sich der biologische Wert. Je ähnlicher ein Eiweiß dem menschlichen Körpereiweiß ist, desto hochwertiger ist es für die Ernährung.

Für ein vollwertiges Nahrungseiweiß gilt: Aus 100 g Nahrungseiweiß werden 100 g körpereigenes Eiweiß gebildet. Tierisches Eiweiß ist im allgemeinen vollwertiger als pflanzliches. Daher sollte mindestens ein Drittel des Gesamteiweißbedarfes durch tierisches Eiweiß gedeckt werden.

Merke

Eine ausreichende Eiweißzufuhr ist für den sportlich aktiven Menschen von großer Bedeutung. Neben dem Aufbau von Muskulatur fördert eine eiweißreiche Ernährung ganz allgemein muskuläre Leistungen, die Fähigkeit zu Konzentration und Koordination sowie die allgemeine Leistungsbereitschaft und Aktivität. Eine eiweißarme Ernährung verursacht Schwierigkeiten bei der Erbringung von konzentrierten und intensiven Leistungen in allen Sportarten.



1.1.2 Vitamine

Als Vitamine wird eine Reihe von organischen Substanzen bezeichnet, die der menschliche Organismus gar nicht oder nur in unzureichender Menge herstellen kann, die er aber für das Wachstum und zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen benötigt. Sie werden entweder mit der Nahrung in fertiger Form oder als Vorstufe, d. h. als Provitamin, aufgenommen oder von Darmbakterien produziert und vom Körper resorbiert.

Vitamine sind Bestandteile von Enzymen (werden aus diesem Grund auch Coenzym genannt) und Hormonen und ermöglichen so den Ablauf von Stoffwechselvorgängen. Außerdem spielen sie eine große Rolle bei Wachstum, Erhaltung und Fortpflanzung des Menschen sowie der Funktionalität des Immunsystems.

Man unterteilt sie entsprechend ihres Löslichkeitsverhaltens in **fett- und wasserlösliche** Vitamine. Werden wasserlösliche Vitamine in zu hoher Konzentration aufgenommen, so können sie problemlos mit dem Harn ausgeschieden werden. Andererseits werden sie vom Körper daher auch kaum gespeichert, sie müssen also ständig in ausreichender Form mit der Nahrung aufgenommen werden. Bei fettlöslichen Vitaminen ist dies nicht der Fall. Eine Überdosierung ruft daher schwere gesundheitliche Schäden hervor. Andererseits verursacht die unzureichende Zufuhr eines Vitamins charakteristische Mangelkrankungen.

Merke

Einige Vitamine (B1, B6, Pantothensäure, C und E) funktionieren als Antioxidantien, d. h., dass sie die Oxidation bestimmter Substanzen und Stoffwechselprodukte verhindern, also den Organismus schützen. Diese Vitamine hemmen die erhöhte Bildung von freien Radikalen, die sonst die gesunden Zellen schädigen, die Alterung des Organismus beschleunigen, Heilungsvorgänge verhindern und möglicherweise die Entstehung von Krebszellen provozieren.

Für den Sportler ist es wichtig, dass Antioxidantien Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Heilungsvorgänge nach Verletzungen verbessern.

1.1.3 Wasser

Der menschliche Körper enthält 60 bis 65 % Wasser, der des Säuglings sogar bis zu 75 %. Bereits der Verlust von 15 % des Wasserbestands führt zum Tod durch Verdursten.

Der tägliche Wasserbedarf des Menschen liegt bei 2,5 bis 3 Litern pro Tag. Wasser wird in erster Linie in Form von Getränken (ca. 1.500 ml) und mit der Nahrung (700 ml) aufgenommen. Ein geringfügiger Teil von ungefähr 250 ml entsteht durch die Oxidation der Nahrungsmittel in den Zellen (siehe folgende Abbildung).

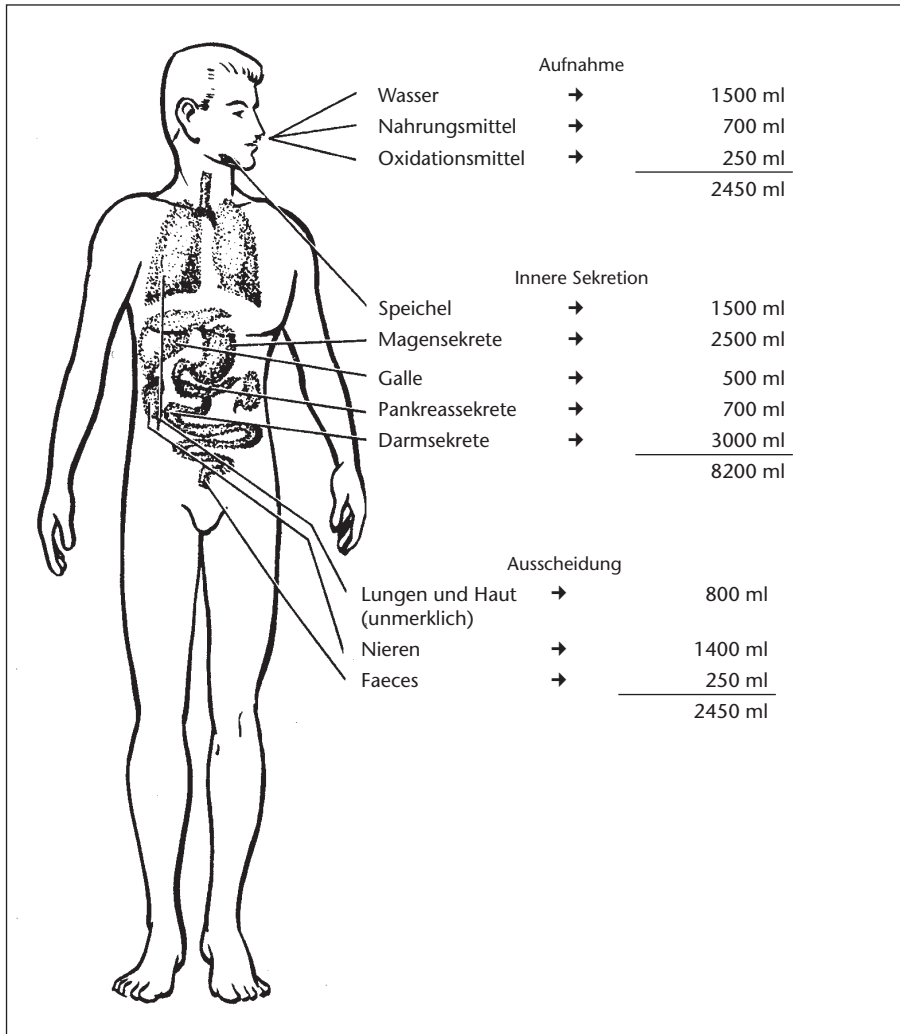


Abbildung 3: Gleichgewicht zwischen Wasseraufnahme und Wasserausscheidung (CULCLASURE 1992)

Bei Hitze, körperlichen Anstrengungen und Fieber steigt der Bedarf an Wasser noch an.

Das Wasser fungiert als Lösungsmittel für die Verdauungsprodukte, als Transportmittel für wasserlösliche Substanzen und als Medium zur Ausscheidung von Abfallprodukten über die Nieren in Form von Harn. Daneben wird es zur Regulation der Körpertemperatur in Form von Schweiß über die Haut ausgeschieden.

1.2 Energiegewinnung

1.2.1 Energiereiche Phosphate

Damit es zu einer Kontraktion oder Muskularbeit im menschlichen Körper kommt, bedarf es letztlich der Kraftübertragung von der Skelettmuskulatur auf Knochen und Gelenke. Die Entwicklung dieser Kraft geschieht durch Kontraktion der Muskulatur, d. h. durch ein Ineinandergleiten der kontraktilen Proteine Aktin und Myosin. Ähnlich wie ein Auto, das Kraftstoff zur Fortbewegung verbraucht, benötigt auch die Muskulatur einen Energielieferanten, um Bewegung zu erzeugen. Die folgende Abbildung zeigt den Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung.

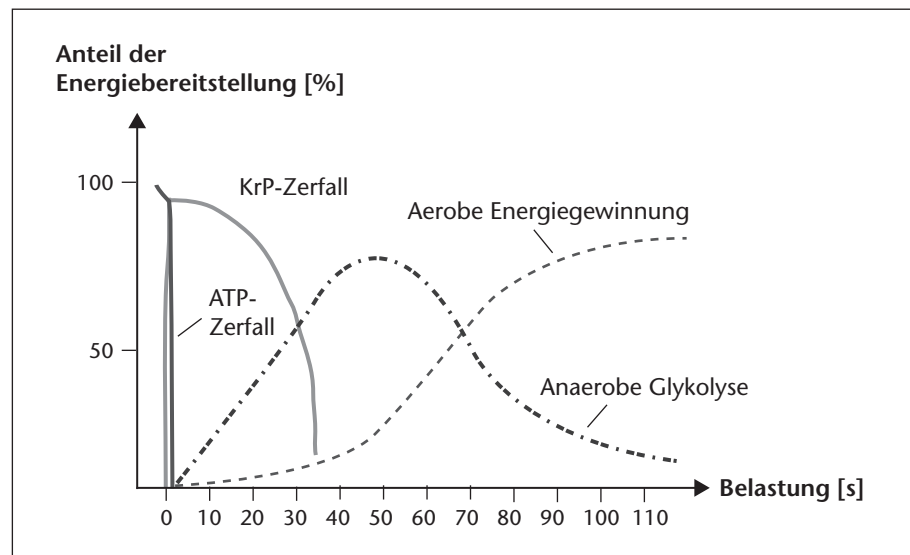


Abbildung 4: Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung
(in Anlehnung an WEINECK 2004, S. 48)

Der menschliche Körper verfügt über eine primäre Energiequelle, die für nahezu alle Stoffwechselprozesse Energie liefert, das **Adenosintri-phosphat (ATP)**. Eine Kontraktion der Muskulatur tritt nur dann ein, wenn ATP zerfällt. Bei der Abspaltung eines Phosphatanteils entsteht **Adenosindiphosphat (ADP)**, ein Phosphatrest und Energie.



Die Umwandlung von ATP zu ADP + P (Phosphat) verursacht in der Muskulatur eine Lösung der Querbrücken zwischen Aktin und Myosin. Der Vorrat des in der Muskelzelle gespeicherten ATPs ist jedoch begrenzt. Er reicht für ca. 2–3 Muskelkontraktionen bzw. für die Dauer von ca. 0–3 Sekunden. Da die Muskelzelle ohne genügend ATP nicht funktionsfähig ist, müssen die ATP-Speicher in der Zelle möglichst schnell wieder aufgefüllt werden.

Einerseits kann aus ADP + P (Phosphat) wiederum ATP aufgebaut werden (Rephosphorylierung). Andererseits steht dem Organismus ein weiteres energiereiches Phosphat zur Verfügung, das **Kreatinphosphat (KrP)**. Es ist sofort verfügbar und ermöglicht so eine besonders schnelle Auffüllung der ATP-Speicher.



Die Reaktion erreicht ihr Maximum bereits nach 2–3 Sekunden Arbeit. Aber auch diese Energiespeicher sind begrenzt. Bei Höchstleistung reicht der Kreatinphosphatvorrat für ca. 9 Sekunden (STEGEMANN). Man bezeichnet die Phase als die alaktazide (= ohne Laktatbildung) Phase der anaeroben (= ohne Sauerstoffverbrauch) Energiegewinnung.

Merke

Die Skelettmuskulatur verfügt über zwei „schnelle“ Energiespeicher:

- Der kleinere Energiespeicher (ATP) beliefert direkt die energiebedürftigen Reaktionen
- Der größere Energiespeicher (KrP) füllt den ATP-Speicher wieder auf

Es lässt sich sagen, dass die primäre Energiequelle ATP nacheinander durch das KrP, die (anaerobe) Glykolyse und die aerobe Energiegewinnung bereitgestellt wird. Die Energiebereitstellung erfolgt dabei nicht streng hintereinander, sondern sich überlappend (siehe Abbildung 4 „Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung“).

QV

1.2.2 Energieliefernde Prozesse

Neben den oben genannten primären Energielieferanten stehen dem Organismus weitere Verbindungen (Substrate) zur Verfügung, durch deren Abbau ATP resynthesiert und letztlich Energie freigesetzt werden kann. Dies erfolgt nicht so schnell, da längere Wege notwendig sind. Es ist aber besonders für sportliche Bewegungen wichtig, die länger als ca. 9 Sekunden (s. o.) dauern.

Kohlenhydrate Wie wir bereits wissen, werden Kohlenhydrate als **Glycogen** in Muskel- und Leberzellen gespeichert. Ein anderer Anteil ist als **Glucose** (Traubenzucker) im Blut gelöst (ca. 80–100 mg/100 ml). Kohlenhydrate spielen im Energiestoffwechsel eine zentrale Rolle, denn

- sie sind die einzigen Substrate, die zur **anaeroben** Produktion von ATP geeignet sind (d. h. ohne Beteiligung von Sauerstoff);
- ihr Anteil am Energieumsatz steigt mit der Belastungsintensität: sie liefern bei leichter bis mäßiger aerober Belastung der Muskelzelle weniger als 50 %, bei starker Belastung über 90 % des Energiebedarfs (**aerob** = in Anwesenheit von Sauerstoff);
- ein ständiger Kohlenhydratabbau ist notwendig, um den Abbau von Fetten zu ermöglichen (siehe VILLIGER/EGGER/LERCH 1991).

Das Hormon **Insulin** reguliert den Blutzuckerspiegel und sorgt für die Einlagerung von Glykogen in Leber-, Muskel- und Fettzellen.

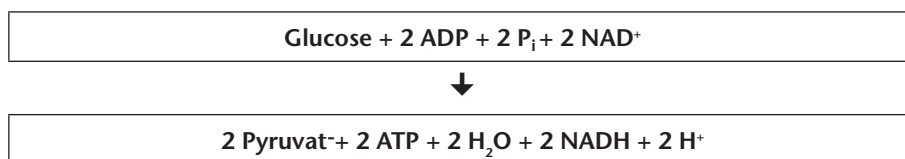
Fette Fast alle Zellen enthalten Fetteinlagerungen, der größte Teil befindet sich jedoch im Unterhautfettgewebe. **Fett** ist der größte und effektivste Energiespeicher des Körpers. Selbst ein „idealgewichtiger“ Mensch von 70 kg Körpergewicht hat eine Fettmasse von ca. 10 kg. Der Energiebedarf der Skelettmuskulatur wird in Ruhe und bei leichter Belastung (aerobe Stoffwechselsituation, s. u.) schwerpunktmäßig über den Fettsäureabbau gedeckt (Kohlenhydratspareffekt).

Aerobes Training bei geringer bis mittlerer Intensität fördert die Fähigkeit der Muskelzelle zum Fettabbau. Bis zu einer Herzfrequenz von ca. 65–70 % von Hf_{max} steigert sich dieser Abbau relativ proportional. Bei höheren Belastungsintensitäten sinkt der prozentuale Anteil des Fettabbaus und mehr und mehr Kohlenhydrate werden benötigt.

Eiweiße **Eiweiße** (Proteine) spielen im Energiestoffwechsel des Körpers eine untergeordnete Rolle. Sie können jedoch bei länger andauernden Ausdauerbelastungen (Marathon/Ultra-Marathon/Triathlon mit kataboler Stoffwechselsituation) herangezogen werden, wenn die anderen o. g. Substrate nicht mehr in ausreichender Menge vorliegen bzw. nachgeführt werden. Als Zeichen des Eiweißabbaus nach solchen Extrembelastungen können erhöhte Harnstoffspiegel im Blut nachgewiesen werden (siehe VILLIGER/EGGER/LERCH 1991).

a) Glykolyse

Kohlenhydrate liegen als Glucose in jeder Muskelzelle bzw. in ihrer Speicherform als Glycogen im Muskel und in der Leber vor. Den Abbau von Glucose bzw. Muskelglycogen bis hin zum Stoffwechselprodukt Pyruvat (Salz der Brenztraubensäure) bezeichnet man als **Glykolyse**. Die Glykolyse läuft in der **Muskelzelle**, genauer im Sarkoplasma, ab. Bei der Glykolyse finden verschiedene chemische Vorgänge statt. Für diese Vorgänge wird einerseits Energie in Form von ATP benötigt, aber andererseits wird auch wieder ATP gebildet. Der bei diesem Vorgang entstehende Wasserstoff wird an das **Coenzym NAD** (Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid) gebunden und später in der **Atmungskette** weiter oxidiert. Die hierdurch frei werdende Energie wird zum Aufbau von ATP und KrP genutzt. Es ergibt sich:



Die Muskelzelle hat nun wiederum zwei Möglichkeiten, das Pyruvat weiter abzubauen. So kann sie **ohne** die Verwendung von **Sauerstoff** Milchsäure (**Laktat**) bilden. Dieser Weg wird auch als **laktazide Energiegewinnung** bezeichnet. Sie überwiegt ca. 5 Sekunden nach Belastungsbeginn, also bereits während der anaerob alaktaziden Phase, und erreicht ihre maximale Intensität nach 15–20 Sekunden (VILLINGER/EGGER/LERCH 1991).

Wird dagegen das Pyruvat in die Mitochondrien (siehe Abbildung 5 „Glykolyse in der Muskelzelle“) eingeschleust und unter Verwendung von Sauerstoff (O_2) bis hin zu den Stoffwechselendprodukten Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) abgebaut, spricht man von **aerober Energiegewinnung**.

QV

Bei dem Weg der anaeroben laktaziden Energiegewinnung steht dem Nachteil der unökonomischen Energieausbeute (**2 mol ATP pro mol Glucose**) der Vorteil einer relativ schnellen Energiebereitstellung gegenüber. Ein weiterer Nachteil liegt in der Anreicherung des aus diesem Prozess stammenden Laktats. Trotz verschiedener Kompensationsmechanismen kommt es bei voller Aktivität der anaeroben Glykolyse zu einem starken Anstieg des Laktatspiegels. Hierdurch fällt der intrazelluläre **pH-Wert** (Säuregrad) von ca. 6,7 (Normalwert unter Ruhebedingungen: ungefähr 7,0) rasch auf ca. 6,5 ab, wodurch wichtige Enzymaktivitäten eingeschränkt werden. Bei einem pH-Wert von 6,3 kommt die anaerobe Glykolyse in der Zelle vollständig zum Erliegen und macht eine weitere Fortführung der Bewegung unmöglich (Stichwort: Übersäuerung). Sehr niedrige pH-Werte werden bei hochintensiven Belastungen, wie z. B. 400-m-Läufen, erreicht (DE MARÉES 2003).

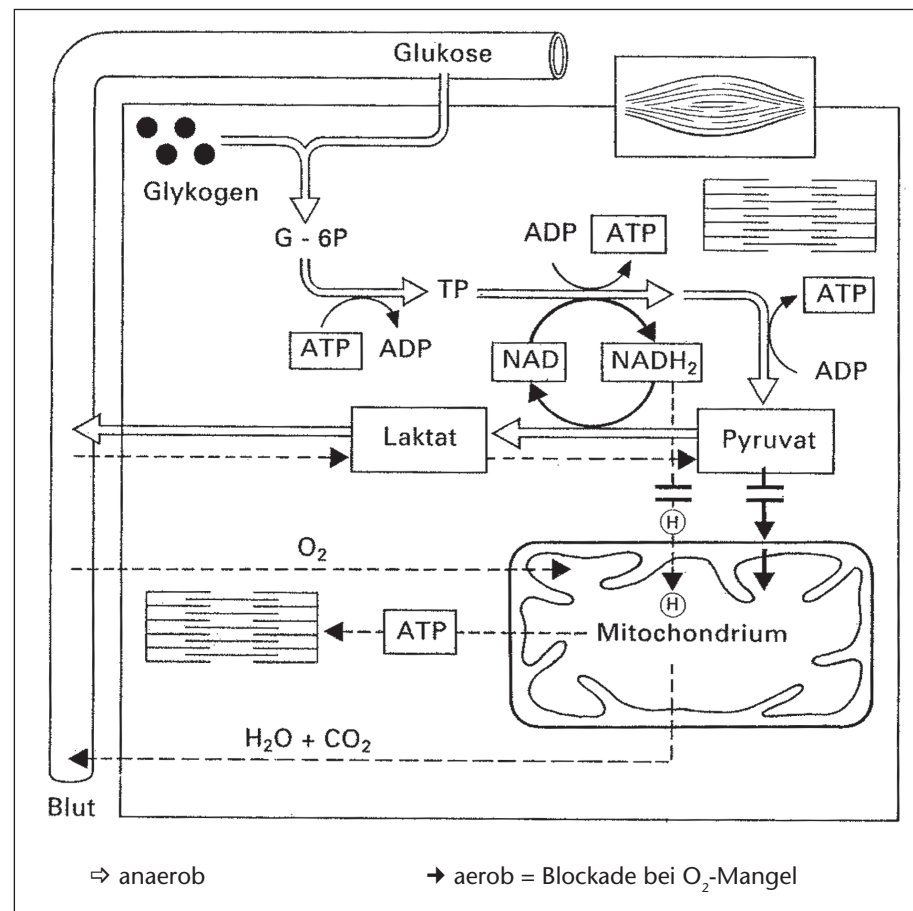


Abbildung 5: Glykolyse in der Muskelzelle
(VILLIGER/EGGER/LERCH 1991)

Der Anteil der Glykolyse an der gesamten Energiebereitstellung hat nach ca. 45 Sek. sein Maximum erreicht und wird mit zunehmender Belastungsdauer niedriger. Nach ca. einer Minute nimmt der Anteil der aeroben Energiebereitstellung ständig zu und überwiegt nach etwa drei Minuten (VILLIGER/EGGER/LERCH 1991).

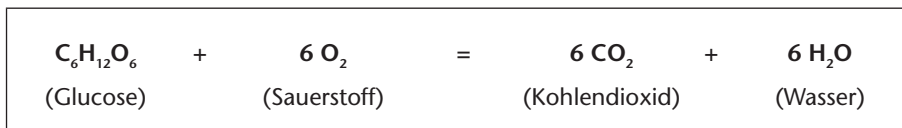
b) Zitronensäurezyklus und Atmungskette

Die aerobe Energiegewinnung erfolgt in den **Mitochondrien**, den „Kraftwerken“ der Zelle. Man unterscheidet zwei Prozesse, den **Zitronensäurezyklus** (nach seinem Entdecker Hans Adolf KREBS, Entdeckung 1937, auch „Krebszyklus“ genannt) und die **Atmungskette**.

Eine Schlüsselfunktion nimmt die aktivierte Essigsäure Acetyl-Coenzym A (Acetyl-CoA) ein. Sie kann sowohl aus Pyruvat, also einem Abbauprodukt der Glykolyse, als auch aus Fettsäuren und (selten) Proteinen hergestellt werden. Beim Durchlaufen des Zitronensäurezyklus werden die Acetyl-Gruppen des Acetyl-CoA in verschiedenen Schritten abgebaut, wobei CO_2 und H entstehen. Die Wasserstoffatome werden auf NAD^+ übertragen.

In der anschließenden Atmungskette wird das hohe Energiepotenzial des Wasserstoffs genutzt. Nach einer Reihe chemischer Prozesse, die u. a. zur Rephosphorylierung des ADP zu ATP führen, wird der Wasserstoff letztlich auf Sauerstoff übertragen. Es entsteht somit **Wasser**.

Die Energiebilanz des gesamten aeroben Abbauprozesses sieht wie folgt aus:



Bei vollständigem Abbau von 1 mol Glucose zu Kohlendioxid und Wasser (aerobe Oxidation) entstehen **30 mol ATP**. Beim Abbau von Fetten ergeben sich aus 1 mol Triglyceride (Neutralfett) **122 mol ATP** (DE MARÉES 2003).

Neben dem hohen Energiegewinn wird der Nachteil dieses relativ langsam ablaufenden Stoffwechselprozesses durch weitere Vorteile kompensiert:

- Die Substrate (Kohlenhydrate und insbesondere Fette) stehen in nahezu uneingeschränkter Menge zur Verfügung.
- Die Stoffwechselendprodukte können problemlos entsorgt werden. Das Kohlendioxid wird abgeatmet, ebenso das Wasser (Wasserdampf), das zusätzlich über die Haut ausgeschwitzt werden kann oder dem Körper für andere Stoffwechselvorgänge zur Verfügung steht.

c) Fettstoffwechsel – Lipolyse

Der Fettstoffwechsel sichert den Energiebedarf in Ruhe und bei geringer Belastungsintensität. In den menschlichen Fettzellen, den Adipozyten, ist gespeichertes **Neutralfett** (Triglyceride) enthalten. Der Fettstoffwechsel, die Lipolyse, beginnt in den Fettzellen, wo das Enzym **Lipase** ein Fettmolekül in je drei Moleküle Fettsäuren und ein Molekül Glycerin spaltet. Das Glycerin wird in die Glykolyse eingeschleust und über Pyruvat weiterverarbeitet. Zunächst werden durch Hydrolyse (Spaltung einer chemischen Verbindung durch Reaktion mit Wasser) freie Fettsäuren aus den Triglyceriden in den Fettzellen abgespaltet, sie werden dann in den Blutstrom abgegeben und an Eiweiße gebunden zur Muskulatur transportiert. In der sogenannten **Beta-Oxidation** werden die Fettsäuren anschließend in Bruchstücke zerlegt, die in ihrem Aufbau der Essigsäure entsprechen. Die bei dieser Aufspaltung frei werdende Energie wird dazu verwendet, die Essigsäure durch Verbindung mit dem Coenzym A zu aktivieren, d. h. chemisch besonders reaktionsfreudig zu machen (zu Acetyl-CoA). Dieser Prozess erfordert bereits Sauerstoff, der aber nicht zur CO₂-Bildung und Energiebereitstellung beiträgt. Letzteres erfolgt erst, wenn Acetyl-CoA im Zitronensäurezyklus verarbeitet wird. Dafür ist **Oxalacetat** erforderlich, das allerdings ausschließlich aus dem Glucoseabbau stammt. Daher können ohne basalen Glucoseabbau auch keine Fette oxidativ abgebaut werden (vgl. TOMASITS/HABER 2003, S. 11). Dies hat zum Merkspruch geführt:

Merke

Die Fette verbrennen im Feuer der Kohlenhydrate!



Das klinische Beispiel ist die Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus), bei der zwar genügend Fettsäuren, aber keine Glucose verfügbar ist. Das kann zu einer energetisch lebensbedrohlichen Stoffwechselsituation führen.

Die folgende Abbildung zeigt Ihnen schematisch die Stoffwechselwege der energieliefernden Nahrungsstoffe:

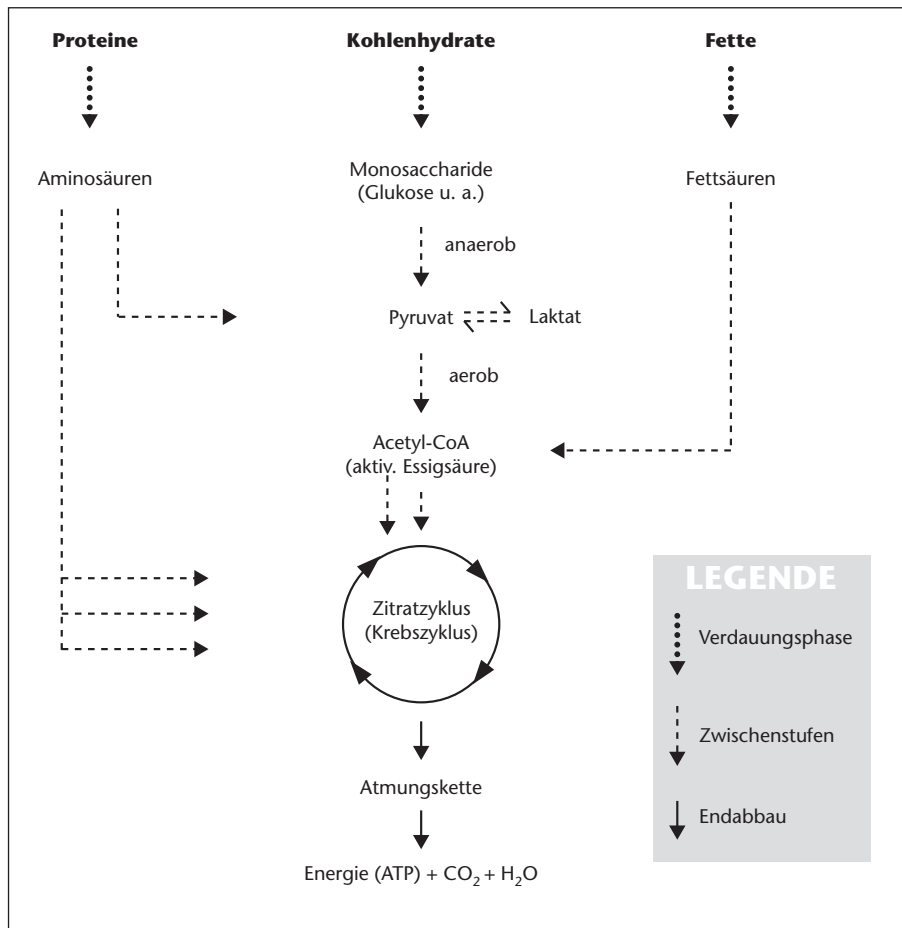


Abbildung 6: Stoffwechselwege der energieliefernden Nahrungsstoffe (in Anlehnung an WEINECK 2003, S. 50)

Aus der Abbildung geht hervor, dass alle Nahrungsstoffe bei der oxidativen Verbrennung letztendlich in den Zitronensäurezyklus (Krebszyklus) eingehen. Die Enzyme des Krebszyklus sowie der Atmungskette befinden sich in den „Kraftwerken“ der Muskelzelle, den Mitochondrien. Die aerobe und die anaerobe Energiegewinnung bis zum Pyruvat durchlaufen den gleichen Abbauweg.

Zusammenfassung Dem Organismus stehen grundsätzlich zwei Energiebereitstellungssysteme zur Verfügung. Die erste Möglichkeit der Energiegewinnung besteht in dem Abbau energiereicher Phosphatverbindungen (ATP, KrP) sowie durch Stoffwechselprozesse in der Glykolyse. Da diese Vorgänge ohne Beteiligung von Sauerstoff (O₂) ablaufen, wird dieser Weg auch **anaerobe** („ohne Sauerstoff“) Energiegewinnung genannt. Zum anderen kann der Organismus durch oxidativen Abbau von Substraten (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) Energie gewinnen. Da dieser Abbau im Rahmen des Zitronensäurezyklus und der Atmungskette unter Mitwirkung von Sauerstoff abläuft, bezeichnet man diesen Weg auch als **aerobe** („mit Sauerstoff“) Energiegewinnung.

Merke

Die energieliefernden Prozesse schalten sich nicht nach und nach ein, sondern laufen alle zu jederzeit parallel ab. In Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Muskulatur und der Belastungsintensität verändert sich allerdings der Anteil des jeweiligen Prozesses!



1.2.3 Energiebedarf

Die in den Nährstoffen gespeicherte Energie wird bei ihrem Abbau bzw. ihrer Verbrennung wieder freigesetzt. Die Maßeinheit der Energie ist heute das Joule (J). Dennoch findet man noch häufig die ältere Einheit Kalorie (cal), wobei 1 kcal etwa 4,19 kJ entspricht. Eine Kilokalorie ist die Energiemenge, die 1 Liter Wasser von 14,5° C auf 15,5° C erwärmt.

Der Energiegehalt der Nährstoffe ist unterschiedlich und wird als **Brennwert** angegeben.

Merke

Unter physiologischem Brennwert wird die Energiemenge in kJ verstanden, die bei der „Verbrennung“ von 1 g des betreffenden Nährstoffes im Organismus freigesetzt wird.



Er beträgt für:

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Kohlenhydrate: | 17,2 kJ = 4,1 kcal |
| 2. Eiweiße: | 17,2 kJ = 4,1 kcal |
| 3. Fette: | 38,9 kJ = 9,3 kcal |

Der tägliche Energiebedarf ist abhängig von Lebensalter, Geschlecht und Art der körperlichen Betätigung. Der Energiebedarf lässt sich schematisch wie in der folgenden Abbildung darstellen.

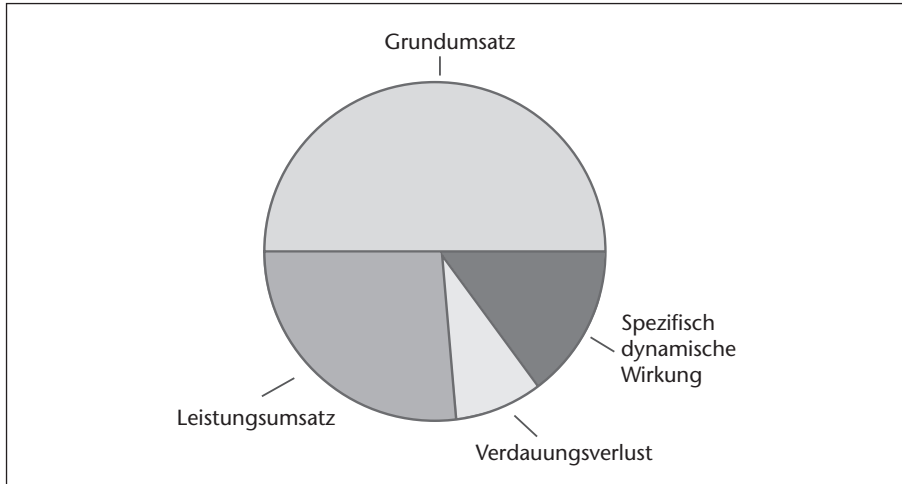


Abbildung 7: Zusammensetzung des Energiebedarfs bei normaler körperlicher Belastung
(in Anlehnung an WEINECK 2004, S. 624)

Tätigkeit	Körpergewicht	
	60 kg	75 kg
bei sitzender Tätigkeit	8.400 kJ (2.000 kcal)	10.500 kJ (2.500 kcal)
bei mittlerer bis schwerer körperlicher Arbeit	12.600 kJ (3.000 kcal)	14.700 kJ (3.500 kcal)
bei Schwerstarbeit	16.800 kJ (4.000 kcal)	18.900 kJ (4.500 kcal)

Abbildung 8: Abhängigkeit des Energiebedarfs vom Grad der körperlichen Betätigung
(SCHÜTZ 1982)

Dabei wird die Energiemenge, die ein Organismus im Zustand völliger Ruhe für die Summe aller Stoffwechselleistungen benötigt, als **Grund-** oder **Ruheumsatz** bezeichnet.

Ruheumsatz bzw. Grundumsatz (GU)

Als Ruhe- bzw. Grundumsatz wird der Energieumsatz des seit 12 Stunden nüchternen, völlig entspannten Menschen bei Indifferenztemperatur (bekleidet 20° C, unbekleidet 30° C) bezeichnet. Er setzt sich zusammen aus dem für die Lebensvorgänge der Zellen erforderlichen Erhaltungsumsatz (Grundstoffwechsel) und aus der Energieproduktion für Tätigkeitsbereitschaft (Energieumsatz aller vegetativ gesteuerten Vorgänge). Der GU ist abhängig von Alter, Geschlecht, Statur und weist individuelle Tagesschwankungen auf. Eine Erhöhung tritt bei Menstruation und Schwangerschaft ein, vor allem aber bei gesteigerter Schilddrüsenhormonabsonderung (Hyperthyreose), Fieber, Übererregbarkeit usw.; eine Senkung erfolgt vor allem bei verminderter Hormonabsonderung der Schilddrüse (Hypothyreose) und Hungerzuständen. Bei Säuglingen ist der GU am höchsten und nimmt dann mit zunehmendem Alter ab. Die Bestimmung erfolgt im Labor entweder anhand der abgegebenen Wärmemenge oder anhand des Sauerstoffverbrauchs bzw. des respiratorischen Quotienten (Verhältnis der CO₂-Ausscheidung zur O₂-Aufnahme). Eine grobe Beurteilung ist ferner mittels sogenannter Grundumsatzformeln möglich (DE MARÉES 2003).

Berechnung des GU

Für die Berechnung des GU gibt es eine einfache und eine genaue Formel, wobei beide Formeln für Männer und Frauen unterschiedlich sind. Dies liegt daran, dass Männer statistisch ausgewertet etwas größer gewachsen sind, über mehr Muskelmasse verfügen und weniger Körperfett haben.

Einfache Formel:

GU der Frau in kcal/day	GU des Mannes in kcal/day
$[\text{Körpergewicht in kg}] \cdot 24 \cdot 0,9$	$[\text{Körpergewicht in kg}] \cdot 24 \cdot 1,0$

Die Angabe 24 bezieht sich auf die Stunden des Tages, und durch den Multiplikator 0,9 bei Frauen wird der Wert um 10 % gemindert. Frauen haben grundsätzlich einen 6–10 % geringeren Grundumsatz als Männer.

Praxisbeispiel



Nach der einfachen Formel liegt der Grundumsatz einer 25-jährigen Frau mit einem Körpergewicht von 62 kg bei:

$$62 \text{ kg} \cdot 24 \cdot 0,9 = 1.339,20 \text{ kcal pro Tag}$$

Genaue Formel:

Altersklasse	GU der Frau in kcal/d	GU des Mannes in kcal/d
10–18 Jahre	$(\text{kg} \cdot 0,056 + 2,898) \cdot 239$	$(\text{kg} \cdot 0,074 + 2,754) \cdot 239$
19–30 Jahre	$(\text{kg} \cdot 0,062 + 2,036) \cdot 239$	$(\text{kg} \cdot 0,063 + 2,896) \cdot 239$
31–60 Jahre	$(\text{kg} \cdot 0,034 + 3,538) \cdot 239$	$(\text{kg} \cdot 0,048 + 3,653) \cdot 239$
über 60 Jahre	$(\text{kg} \cdot 0,038 + 2,755) \cdot 239$	$(\text{kg} \cdot 0,049 + 2,459) \cdot 239$

Praxisbeispiel

Nach der genauen Formel liegt der Grundumsatz einer 25-jährigen Frau mit einem Körpergewicht von 62 kg bei:

$$(62 \cdot 0,062 + 2,036) \cdot 239 = 1.405,32 \text{ kcal pro Tag}$$

Leistungsumsatz

Als Leistungsumsatz bezeichnet man alle Bewegungen bzw. Beanspruchungen des Körpers, die über den Grundumsatz hinausgehen. Diese Beanspruchungen führen zu einem erhöhten Energieverbrauch. Entscheidend für die Höhe des Leistungsumsatzes ist die Masse der eingesetzten Muskulatur sowie die Intensität und Dauer der Muskelarbeit.

Beim Sport erreicht der Energieumsatz meist höhere Werte als bei „normaler“ Arbeit.

Beispiele für den Energieumsatz im Sport

Sportliche Tätigkeit	[kJ/min]	[kcal/min]
Laufen 9 km/h	41,8	10,0
Laufen 12 km/h	47,7	11,4
Laufen 15 km/h	54,8	13,1
Laufen 17 km/h	60,0	14,3
Skilanglauf 4 km/h	34,7	8,3
Skilanglauf 8 km/h	55,6	13,3
Skilanglauf 12 km/h	75,3	18,0
Skilanglauf 15,3 km/h	80,2	19,1
Radfahren 43 km/h	66,0	15,7
Schwimmen		
- Brust 20 m/min	18,8	4,5
- Brust 50 m/min	47,2	11,3
- Kraul 50 m/min	58,5	14,0
Badminton	52,9	12,6
Tischtennis	22,2	5,3
Tennis (Einzel)	41,8	10,0
Tennis (Doppel)	31,4	7,5
Volleyball	30,5	7,3
Fußball	54,8	13,1
Basketball	67,8	16,2
Handball	81,06	19,3
Eishockey	93,7	22,4

Abbildung 9: Energieumsätze bei verschiedenen sportlichen Disziplinen
(WEINECK 2004, S. 626)

Lernkontrollfragen zu Kapitel 1 ?

Aufgabe 1.1

Welche Vitamine speichert der menschliche Körper nur in geringen Mengen?

Aufgabe 1.2

Welche Nahrungsbestandteile dienen dem Organismus als Energiequelle und wie sind sie chemisch aufgebaut?

Aufgabe 1.3

Erläutern Sie den Merksatz „Die Fette verbrennen im Feuer der Kohlenhydrate“.

Aufgabe 1.4

Was sind die Vor- und Nachteile der anaeroben bzw. der aeroben Energiegewinnung?

Aufgabe 1.5

Welche Funktion hat Kreatinphosphat (KrP) im Energiestoffwechsel?

Kapitel 2

2. Atmung

2.1 Atemwege

2.2 Atemmechanik

2.3 Lungen- und Atemvolumina

2.4 Gasaustausch und Gastransport

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ einen Überblick über die im menschlichen Körper ablaufenden Prozesse des Gasaustausches und Gastransportes zu geben;
- ▶ die Anatomie, d. h. den Aufbau der beteiligten Organe und Gewebeformen, zu erläutern;
- ▶ die wichtigsten Fachbegriffe und Kenngrößen zu erklären.

Atmung bedeutet Gasaustausch zwischen dem Organismus und der Umwelt. Die Atmungsorgane dienen demnach der Aufnahme von Sauerstoff für die im Körper stattfindenden Verbrennungsprozesse und der Abgabe des entstandenen Kohlendioxids. Dieser Gastransport ist immens wichtig für die Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen. Wird beim Menschen die Sauerstoffzufuhr zum Gehirn plötzlich blockiert, so verliert er bereits nach zehn Sekunden das Bewusstsein, wohingegen er ohne Nahrung Wochen und ohne Wasser immerhin ein bis zwei Tage überleben kann.

Pro Minute benötigt der menschliche Körper im Durchschnitt etwa 300 ml Sauerstoff und er muss fast ebenso viel Kohlendioxid abgeben. Der Bedarf an Sauerstoff steigt bei schwerer körperlicher Anstrengung bis auf das 20-fache des Ausgangswertes an, d. h., pro Minute müssen vom Organismus etwa 6.000 ml Sauerstoff aufgenommen werden.

2.1 Atemwege

Der Atmungsapparat wird unterteilt in:

- **Obere Atemwege:** Nase, Nasenhöhle und Rachen
- **Untere Atemwege:** Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien, alveoläre Gasaustauschfläche (Lunge mit Lungenbläschen)

Der Kehlkopf befindet sich genau an der Nahtstelle zwischen oberen und unteren Atemwegen und wird je nach Autor zu den oberen bzw. unteren Atemwegen gerechnet.

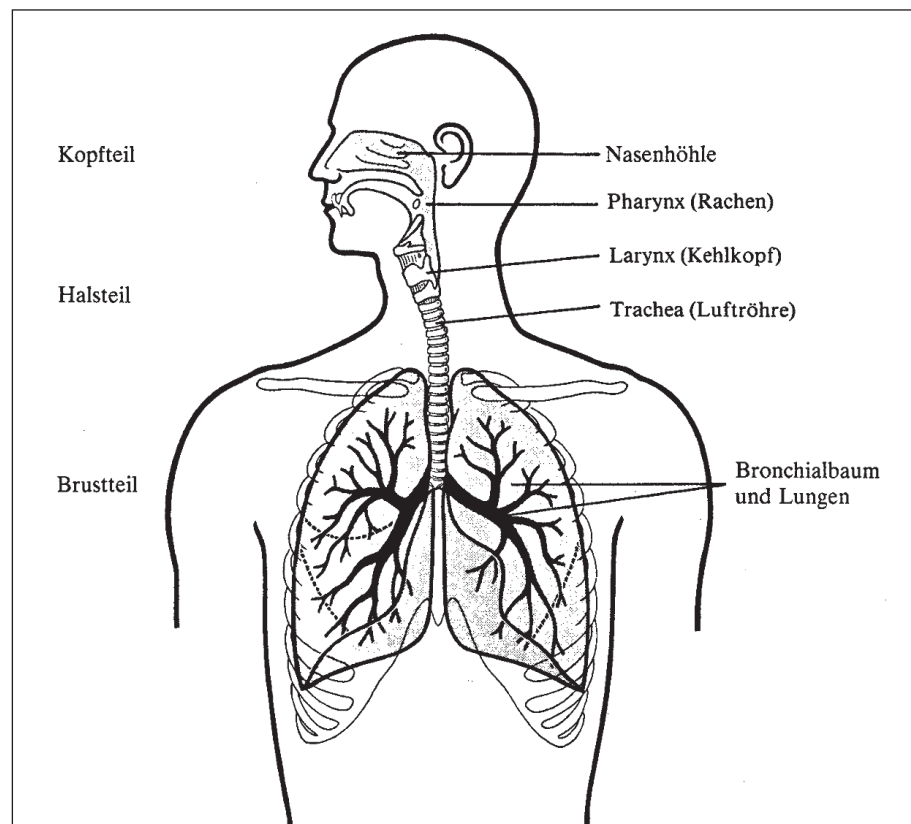


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Atmungsorgane
(in Anlehnung an WEINECK 2004, S. 197)

Die oberen Atemwege

Über die **Nase** gelangen die Atemgase in den menschlichen Körper. Die Nasenlöcher bilden die Eintrittspforte für die Atemluft. Die vorne aus Knorpel und hinten aus Knochen bestehende Nasenscheidewand teilt die Nasenhöhle in eine linke und eine rechte Hälfte.

Nase und Nasenhöhle

Am Naseneingang sind häufig lange, starre Haare anzutreffen, die größere Fremdkörper aus der eingeatmeten Luft filtern.

Der gesamte Raum der Nasenhöhle ist von einer **Schleimhaut** ausgekleidet. Sie überzieht alle inneren Hohlräume des Atmungsapparates. Ihr charakteristisches Merkmal ist ein mehrschichtiges Flimmerepithel. In dem Bindegewebe unter den Flimmerhärchen liegen schleimabsondernde Drüsen, die den Nasenschleim absondern. Die Flimmerhärchen transportieren mit einer rhythmischen, rachenwärts gerichteten Wellenbewegung den gebildeten Schleim und auf den Schleimhäuten liegende Staubpartikel oder Bakterien mit einer Geschwindigkeit von einem Zentimeter pro Stunde in den Mund. Auf diese Art und Weise erfolgt eine ständige Erneuerung der Schleimhaut und gleichzeitig eine Reinigung und Befeuchtung der eingeatmeten Luft. Eine übermäßige Produktion von Nasenschleim wird als Schnupfen bezeichnet.

Die Nasenschleimhaut durchzieht ein dickes Geflecht von feinsten Blutgefäßen. Da die Temperatur des Blutes im Allgemeinen über derjenigen der Atemluft liegt, wird die eingeatmete Luft vorgewärmt. Je kälter die eingeatmete Luft, umso stärker wird die Schleimhaut durchblutet. Bei allergischen Reaktionen schwillt die Nasenschleimhaut schnell an, indem die Blutgefäße verstärkt durchblutet werden.

Durch die Nase gelangt die Atemluft in den Rachen, auch **Schlund** oder **Pharynx** genannt. Er ist das Verbindungsstück zwischen Nasenhöhle und Kehlkopf sowie zwischen Mund und Speiseröhre. Hier kreuzen sich Luft- und Speiseweg.

Rachen

Die unteren Atemwege

Der Kehlkopf (Larynx) ist ein röhrenförmiges, kompliziert aufgebautes Knorpelgerüst am Eingang zur Luftröhre. Es handelt sich um ein nach oben und unten offenes schlauchförmiges Organ, das von fünf zum Teil gelenkig miteinander verbundenen Knorpeln umgeben ist.

Kehlkopf

An ihm setzen verschiedene Muskeln und Bänder an. Der wie ein Fahrradsattel geformte Kehldeckel (Epiglottis) ist ein Knorpel, der den Kehlkopfeingang gegen den Rachen verschließen kann. Beim Schluckakt oder bei Erbrechen wird durch diesen reflektorischen Verschluss der Atemweg verhindert, dass Speisen und Flüssigkeiten in den Luftweg gelangen. Geschieht dies dennoch, so spricht man vom „Verschlucken“ (Aspiration).

Ansonsten ist der Kehlkopf eingang geöffnet und gibt so den Weg für die Atemluft frei. Außerdem ist der Kehlkopf das Organ der Stimmgebung (Phonation). Auf diese Aufgabe soll jedoch hier nicht weiter eingegangen werden.

Luftröhre An den Kehlkopf schließt sich die Luftröhre (**Trachea**) an. Sie verläuft vor der Speiseröhre in der Mittellinie des Halses und des Brustraumes bis etwa auf die Höhe des fünften Brustwirbels.

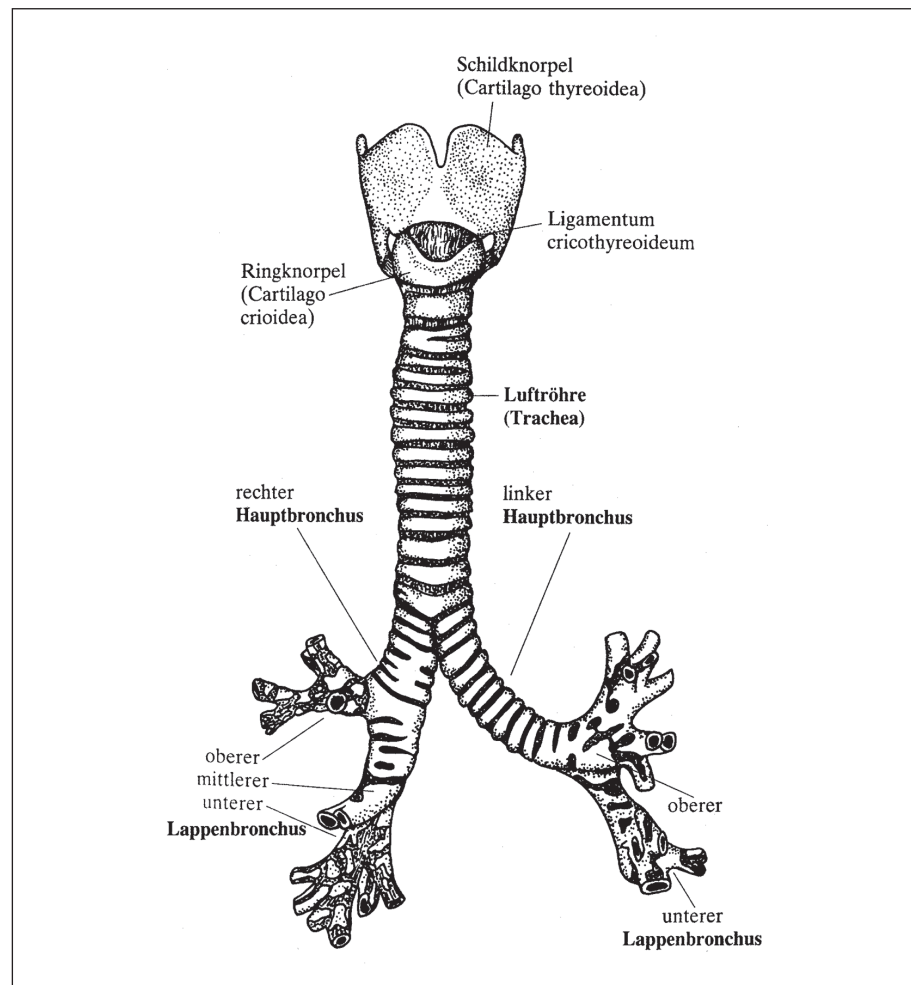


Abbildung 11: Luftröhre (Trachea)
(CULCLASURE 1992)

Beim erwachsenen Menschen ist die Luftröhre ein etwa 9 bis 14 cm langes Rohr mit einem Durchmesser von etwa 1,5 bis 2,7 cm. Die vordere Wand ist mit 16 bis 20 hufeisenförmigen, nach hinten offenen Knorpelspangen ausgekleidet. Durch sie erhält die Luftröhre ihre Stabilität und wird stets offen gehalten. Die Hinterwand besteht aus Bindegewebe und glatter Muskulatur. Mit ihrer Hilfe wird die Weite der Trachea aktiv auf bis zu 25 % verkleinert. Wie der gesamte Atmungsapparat ist auch sie mit einem Flimmerepithel und einem Drüsenepithel ausgekleidet.

Auf Höhe des vierten Brustwirbels teilt sich die Luftröhre in zwei Haupt-
 äste, die Hauptbronchien. Diese zweigen sich in den beiden Lungenflügeln
 in immer kleinere Äste auf und enden schließlich in den Lungenbläschen.
 Man spricht daher auch von einem Bronchialbaum.

Bronchien

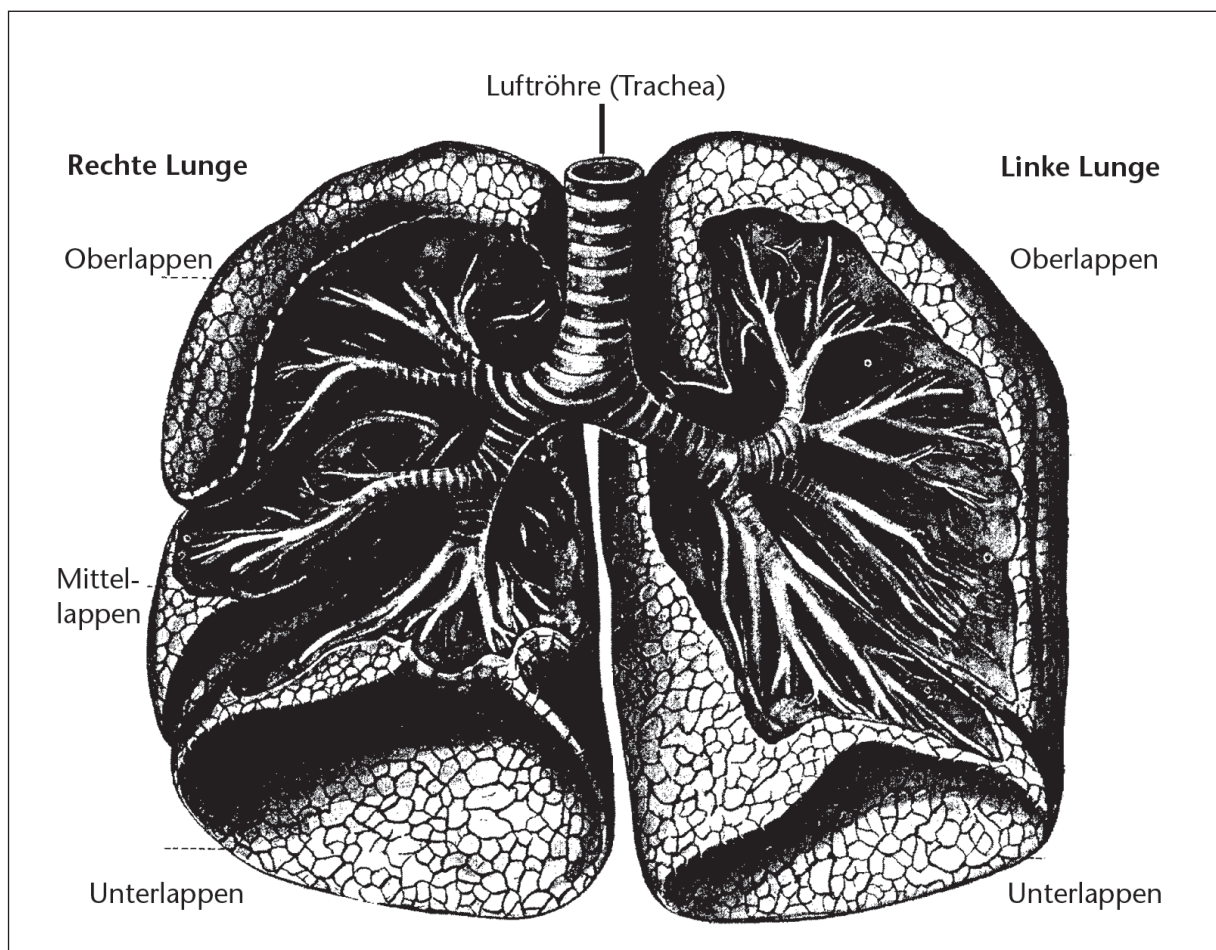


Abbildung 12: Form und Bau der Lunge und des freigelegten Bronchialsystems, von vorn gesehen (BÜCKER 1992)

Bis zu den Stammbronchien stimmen die Bronchien in ihrem Aufbau mit der Luftröhre überein, wohingegen die Bronchiolen, kleinste Verzweigungen mit einer Öffnung von ca. 1 mm, statt der Knorpel­einlagen mit Muskelfasern ausgekleidet sind. So ist ihr Durchmesser variabel und ermöglicht die Regulation von Ein- und Ausstrom der Atemluft. Die Endbronchien schließlich haben nur noch einen Durchmesser von 0,5 mm und gehen dann in das Lungengewebe über. Erst dort endet der Luftweg, und der eigentliche Gasaustausch findet statt.

Gereinigt wird die Lunge von Staubpartikeln und Bakterien durch das Flimmerepithel. Bei Rauchern ist dieser Selbstreinigungsmechanismus gestört, da sich das Flimmerepithel durch den Rauch zurückbildet. Die Folge sind chronische Entzündungen, auch als Raucherhusten bekannt.

Lunge Die **Lunge** ist von schwammiger Konsistenz und besteht aus zwei Lungenflügeln. Sie füllen die seitlichen Hälften des Brustraumes aus. Jeder Lungenflügel ist in Lungenlappen unterteilt; der rechte setzt sich aus drei Lappen, dem Ober-, Mittel- und Unterlappen, zusammen, wohingegen der linke lediglich aus Ober- und Unterlappen besteht. In der Körpermitte trennt das Mittelfell (Mediastinum) die Lungenflügel voneinander.

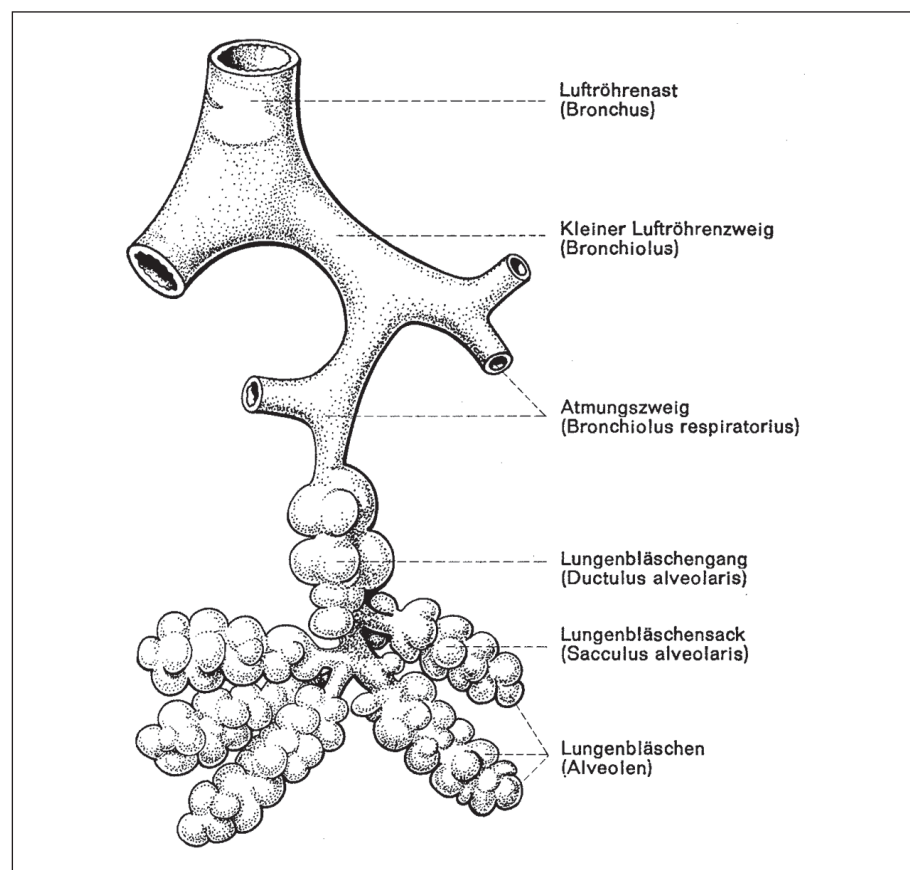


Abbildung 13: Aufteilung eines Luftröhrenastes (schematisch)
(BÜCKER 1992)

Die Hauptmasse des Lungengewebes bilden die **Alveolen** (Lungenbläschen). Bei ihnen handelt es sich um sackartige Ausbuchtungen an den Endverzweigungen der bereits beschriebenen Endbronchien.

Die Alveolen sind der Ort des Gasaustausches. Ihr dünnes, einschichtiges Epithel ist in ein Netz von feinen Kapillaren eingebettet. Über die Lungenarterie wird den Kapillaren der Lungenbläschen sauerstoffarmes, kohlendioxidreiches Blut zugeführt. Durch die dünne Alveolarwand reichert sich das Blut mit Sauerstoff aus der Atemluft an und gibt Kohlendioxid an den Alveolarraum ab.

Der Blutstrom in den dünnen Kapillaren ist verlangsamt, wodurch der Gasaustausch vollständig ablaufen kann. Das sauerstoffreiche Blut fließt dann in die Lungenvene, von dort zum Herzen, und es wird dann in den Körper gepumpt, wo der Sauerstoff an das Gewebe abgegeben werden kann.

Die Alveolen dienen der Oberflächenvergrößerung, denn diese bestimmt die Menge an Sauerstoff und Kohlendioxid, die pro Zeiteinheit ausgetauscht werden kann. Ihre Gesamtfläche beträgt bei einem erwachsenen Menschen ca. 70–120 qm; sie ist damit etwa 40–60 mal größer als die Körperoberfläche.

2.2 Atemmechanik

Bei dem als Atmung bezeichneten Gasaustausch werden innere und äußere Atmung unterschieden.

Die äußere Atmung ist der an den Alveolenwänden stattfindende Prozess, bei dem das Blut Kohlendioxid abgibt und gleichzeitig mit Sauerstoff angereichert wird. Dagegen läuft die innere Atmung im Körpergewebe ab. Dort geben die Körperzellen Kohlendioxid an das Blut ab und nehmen den für die Lebensfunktionen notwendigen Sauerstoff auf.

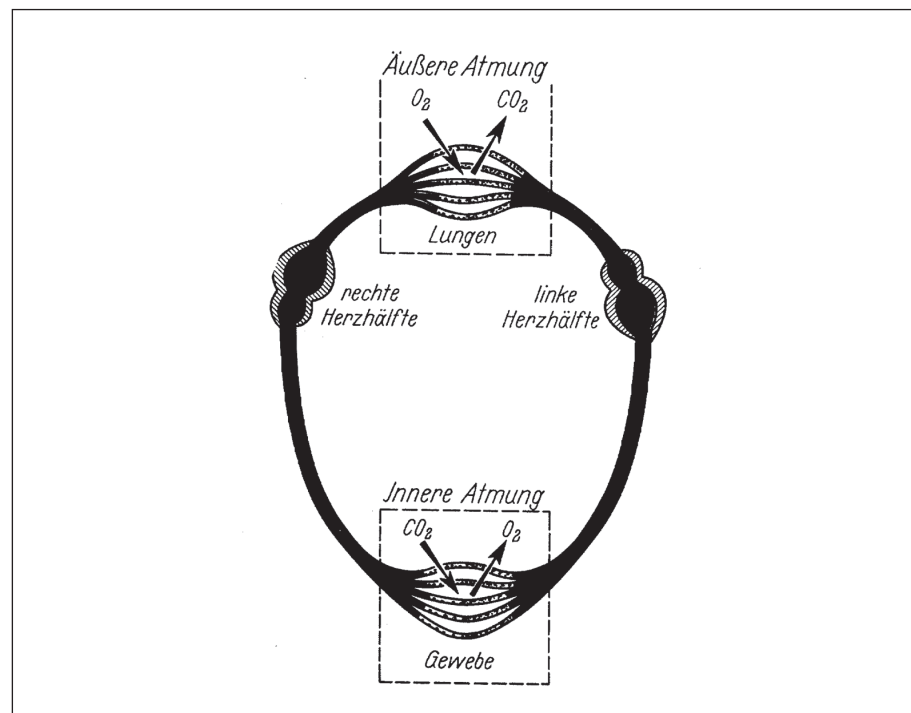


Abbildung 14: Grundschemata der Beziehungen zwischen Kreislauf, Blut und Atmung (SCHÜTZ/ROTHSCHUH 1982)

Die in den Lungenalveolen befindliche Atemluft wird fortlaufend durch Atembewegungen erneuert. Gasaustausch heißt Atmung bzw. Respiration und wird in zwei Phasen unterteilt:

- Bei der Einatmung (**Inspiration**) gelangt frische, sauerstoffreiche Luft in die Alveolen.
- Beim Ausatmen (**Expiration**) wird verbrauchte, mit Kohlendioxid angereicherte Luft von der Lunge über die Atemwege abgegeben.

Beide Prozesse werden vom Zentralnervensystem gesteuert. Durch abwechselndes Erweitern und Verengen des Brustkorbs wird die Atemluft eingesogen und wieder ausgestoßen.

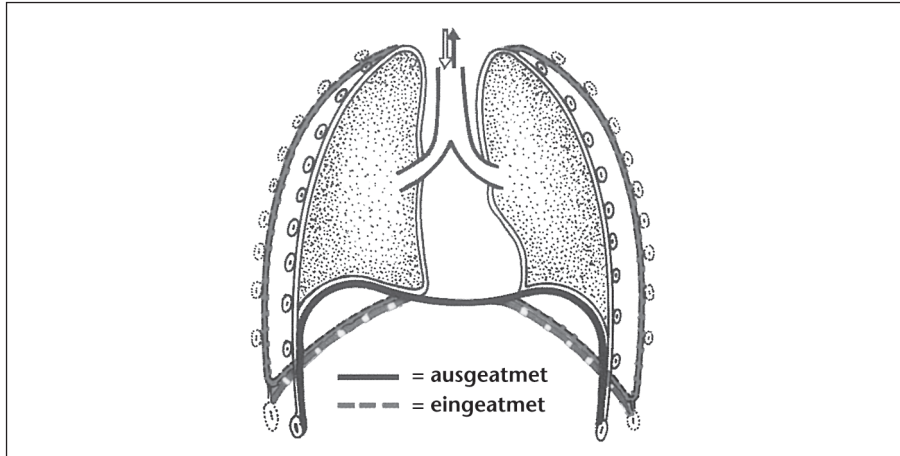


Abbildung 15: Frontalschnitt durch die Lunge
(DE MARÉES 2003, S. 221)

Einatmung (Inspiration)

Bei der Einatmung flacht sich das Zwerchfell durch Kontraktion ab und die Rippen werden zur Vergrößerung des Brustraumes angehoben (aktiver Vorgang). Die Lunge ist eng mit dem Brustkorb verbunden und muss dieser Erweiterung somit folgen. Sie dehnt sich aus, wodurch in der Lunge ein Unterdruck entsteht, der dazu führt, dass Atemluft in die Lunge gesogen wird. Die Alveolen besitzen bei der Inspiration einen Durchmesser von ungefähr 0,3 bis 0,5 mm.

Ausatmung (Expiration)

Sie wird eingeleitet durch Erschlaffung der Atemmuskulatur und des Zwerchfells (passiver Vorgang). Als Folge verengt sich der Brustkorb, das Volumen der Lunge verringert sich, und die verbrauchte Atemluft wird aus den Luftwegen in die Umgebung gepresst. Bei der Expiration verkleinert sich entsprechend der Durchmesser der Alveolen auf 0,1 bis 0,2 mm.

Während die atmosphärische, eingeatmete Luft neben 79 % Stickstoff einschließlich Edelgasen einen Sauerstoffgehalt von etwa 21 % hat und lediglich 0,03 % Kohlendioxid beinhaltet, verringert sich der Sauerstoffanteil der ausgeatmeten Luft auf 16 %, wohingegen der Kohlendioxidgehalt auf 4 % ansteigt.

2.3 Lungen- und Atemvolumina

Als Atemvolumen bzw. Atemzugvolumen bezeichnet man die Luftmenge (in Litern angegeben), die mit jedem Atemzug (durchschnittlich 14 pro Minute) ein- und ausgeatmet wird. Es ist abhängig von vielen Faktoren, wie z. B.:

- Geschlecht
- Alter
- Körpergröße
- Körperbau
- Trainingszustand

Ein erwachsener Mann von 70 kg Körpergewicht hat im Zustand körperlicher Ruhe ein **Atemzugvolumen** von etwa 500 ml. Durch vertiefte Inspiration kann dieses Volumen noch um 3.000 ml Luft erhöht werden. Diese Luftmenge, die zusätzlich nach der normalen Inspiration noch eingeatmet werden kann, wird **inspiratorisches Reservevolumen** genannt. Entsprechend wird bei maximaler Expiration das etwa 1.200 ml betragende **expiratorische Reservevolumen** ausgeatmet. Inspiratorisches Reservevolumen, Atemzugvolumen und expiratorisches Reservevolumen werden zur **Vitalkapazität** zusammengefasst. Sie ist demnach die Luftmenge, die nach angestrengtem Einatmen maximal ausgeatmet werden kann.

Selbst nach angestrenzter Ausatmung bleibt noch Luft in der Lunge zurück, die sogenannte Residualluft. Ihr Volumen liegt bei etwa 1.300 ml und entspricht dem **Residualvolumen**. Die Summe von Vitalkapazität und Residualvolumen ergibt die **Totalkapazität**. Sie entspricht dem Volumen, das sich nach maximaler Inspiration in der Lunge befindet.

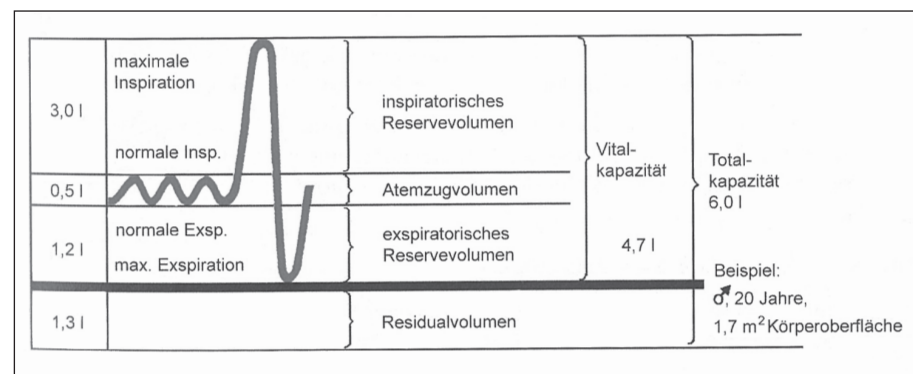


Abbildung 16: Lungenvolumina
(DE MARÉES 2003, S. 223)

Neben diesen verschiedenen Atemvolumina ist die **Atemfrequenz** eine weitere wichtige Kenngröße. Die mittlere Atemfrequenz eines erwachsenen Menschen in Ruheposition beträgt 14 Atemzüge pro Minute. Dabei können Schwankungen zwischen 10 und 18 Atemzügen pro Minute auftreten. Kinder atmen schneller. Ihre Atemfrequenz liegt bei 20 bis 30 Zügen pro Minute, bei Kleinkindern zwischen 30 und 40 Zügen pro Minute. Neugeborene atmen sogar 40 bis 50 Mal pro Minute.

Atemfrequenz

Durch Multiplikation von **Atemzugvolumen** und **Atemfrequenz** erhält man das **Atemminutenvolumen**. Bei einem in der Ruhelage befindlichen Erwachsenen liegt es bei etwa $14 \cdot 0,5 \text{ l} = 7 \text{ l}$ pro Minute.

Atemminutenvolumen

Der erhöhte Sauerstoffbedarf bei körperlicher Anstrengung wird durch Zunahme des Atemminutenvolumens gedeckt, d. h. durch eine Erhöhung der Atemfrequenz und/oder des Atemzugvolumens. Nur wenn sowohl die Atemfrequenz erhöht wie auch die Atmung vertieft wird, kann bei extremer körperlicher Belastung der Sauerstoffbedarf gedeckt werden. Eine rationelle **Atemtechnik** ist aus diesem Grund besonders im Sport immens wichtig.

Die Kraft der Ausatemmuskeln kann mit der Pressdruckprobe direkt ermittelt werden. Die Versuchsperson muss tief einatmen, im Anschluss daran Nase und Mund verschließen und dann die im Brustkorb befindliche Luft mithilfe der Ausatemmuskeln unter Druck setzen, ohne sie entweichen zu lassen. Über ein mit der Mundhöhle verbundenes Manometer wird der durch die Pressung erzeugte Druck ermittelt. Er liegt je nach Ausbildung der Muskulatur zwischen 4 bis 40 kPa.

Beim (Kraft-)Training mit hohen Belastungen wird häufig die Luft angehalten und gepresst. Dieses kurzzeitige Pressen lässt sich oft nicht vermeiden, da hierdurch die für die Bewältigung des Gewichts notwendige Brustkorb- und Wirbelsäulenfixierung erreicht wird. Außerdem erlaubt diese **Pressatmung** bei maximalen Krafteinsätzen eine etwa zehnprozentig höhere Kraftentwicklung.

Für gesunde Sportler des Jugend- und jüngeren Erwachsenenalters stellt die Pressatmung im Allgemeinen kein sonderliches Risiko dar. Die Pressatmung sollte jedoch mit zunehmendem Alter und im Fitness- und Gesundheitstraining vermieden werden, da der Blutstrom durch die Venen auf diese Weise gedrosselt wird, was einen Kollaps, d. h. Bewusstseinsstörungen zur Folge haben kann. Ausreichendes Atmen sorgt also dafür, dass Herz und Kreislauf nicht geschädigt werden. Sollte dennoch der Wunsch nach einem intensiven Krafttraining bestehen, dann sollte vorher unbedingt eine sportmedizinische Belastungsuntersuchung durchgeführt werden (vgl. WEINECK 2007).

Exkurs: „Pressatmung“

Die Pressatmung ist eine starke Ausatemungsbewegung bei bewusst verhaltener Ausatmung durch Verschließen der Atemwege im Kehlkopf. Durch Druckerhöhung im Brustraum fließt während des Pressvorgangs dem Herzen kein Blut zu (äußerlich sichtbar durch stauungsbedingtes Anschwellen der Kopfvenen und Rötung des Gesichts). Es herrscht eine verschlechterte Atmungs- und Kreislagsituation, auf dieser Basis sind Schädigungsmöglichkeiten gegeben. Eine Pressung ist bei kräftigem Armeinsatz bei sportlichen Bewegungsausführungen unumgänglich, da nur auf diesem Weg eine Fixierung des Schultergürtels und Brustkorbs möglich ist.

Bei der Pressatmung wird das Zwerchfell in Einatemstellung fixiert, um ein Widerlager zu schaffen. Durch das Absenken des Zwerchfells steigt der Druck im Bauchraum und somit der Druck auf die Bauchwand und den Beckenboden. Beim Heben maximaler Lasten kann die Pressatmung zum inneren Schutz der Lendenwirbelsäule eingesetzt werden. Der ausgeübte Druck kann allerdings auch spontan zu Hernien (Leistenbrüche) und auf Dauer zu Senkungsbeschwerden der Genitalien führen. Durch den erhöhten Druck im Bauchraum steigt der venöse und lymphatische Rückfluss zum Herzen, was wiederum durch den verringerten Druck im Thoraxraum unterstützt wird.

Aufgrund des erhöhten Rückflusses zum Herzen steigt die Kontraktionskraft des Herzens (Frank-Starling-Mechanismus) und das Schlagvolumen wird erhöht. Dadurch steigt der Blutdruck an.

Trotzdem können die Organe, besonders das Gehirn, nicht ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden. Das kann zu plötzlichen Bewusstseinsstörungen und – bei vorgeschädigtem Herz-Gefäß-System – zu akuten Schädigungen führen. Deshalb sind Kranke deutlich submaximal zu belasten und bezüglich ihres Atemverhaltens anzuleiten und zu kontrollieren.

Gefährlich ist die Pressatmung vor allem für Patienten mit dekompensierten Herzinsuffizienzen, hier kann der erhöhte venöse Rückfluss nicht mehr verarbeitet werden. Bei Patienten mit einem (unerkannten) Hirnaneurysma kann der Blutdruckanstieg zum Platzen des Gefäßes und somit zum Schlaganfall führen.

Ende des Exkurses

2.4 Gasaustausch und Gastransport

Austausch und Transport von Sauerstoff

An der Oberfläche der Lungenbläschen findet der Gasaustausch statt. Dabei wandert der Sauerstoff, den physikalischen Gesetzen folgend, stets vom Ort des höheren zum Ort des niedrigeren Sauerstoffdrucks (pO_2).

In den Alveolen ist der Sauerstoffdruck höher als in dem zur Lunge fließenden, sprich venösen Blut. Diese Druckdifferenz ist quasi die Triebkraft für die Wanderung der Sauerstoffmoleküle durch die dünne Alveolarwand in das Blut. Eine solche Molekülbewegung entlang eines Konzentrationsgefälles bezeichnet man als **Diffusion**. Damit dieser Prozess vollständig ablaufen kann, ist die Fließzeit des Blutes in den alveolären Kapillaren entsprechend lang.

Die Löslichkeit des Sauerstoffs im Blutplasma ist jedoch sehr gering und reicht daher nicht aus, um den gesamten Organismus zu versorgen. Aus diesem Grund verfügt das Blut der Wirbeltiere über ein Transportmolekül für den Sauerstoff, das sogenannte **Hämoglobin**. Dabei handelt es sich um den roten Blutfarbstoff der Erythrozyten.

Der im Blutplasma gelöste Sauerstoff diffundiert in die Erythrozyten und wird dort an die Hämoglobinmoleküle gebunden. Dabei kann jedes Hämoglobinmolekül bis zu vier Sauerstoffmoleküle binden und transportieren. Nachdem sich das erste Sauerstoffmolekül an das Hämoglobin angelagert hat, verändert sich dessen gesamte räumliche Struktur, sodass der Zutritt für die folgenden Sauerstoffmoleküle erleichtert wird.

Auf diese Weise erfolgt bei hoher Sauerstoffkonzentration bzw. hohem Sauerstoffdruck eine annähernd 100-prozentige Sättigung des Hämoglobins in der Lunge. 100 ml Blut mit einem Hämoglobinanteil von 16 g enthalten dann ungefähr 20 g Sauerstoff, 5 l Blut also 1 l Sauerstoff.

Austausch und Transport von Kohlendioxid

Neben dem Sauerstoff transportiert das Blut auch das bei den energiegewinnenden Vorgängen entstehende Endprodukt Kohlendioxid. Zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen muss eine Anreicherung der Gewebe mit Kohlendioxid vermieden werden, d. h., es muss aus dem Körper ausgeschieden werden. Daher wird es vom Blut zu den Alveolen transportiert und dort mit der Ausatemungsluft an die Umgebung abgegeben.

Durch die in den Körperzellen ablaufenden Stoffwechselprozesse entsteht ständig Kohlendioxid. Der Kohlendioxiddruck ist somit im Gewebe höher als in dem vorbeifließenden Blut, weshalb Kohlendioxid entlang des Druckgefälles aus dem Gewebe in das Plasma diffundiert.

Nur ein geringer Teil dieses Gases kann jedoch im Blutplasma selbst gelöst werden. Der größte Teil diffundiert in die Erythrozyten und wird dort auf zwei verschiedene Arten gebunden:

1. Das Kohlendioxid (ca. 25 %) lagert sich an das Hämoglobin an, wodurch das sogenannte Carbaminohämoglobin entsteht. Diese Bindung erfolgt jedoch an anderer Stelle als diejenige des Sauerstoffs.
2. Der überwiegende Teil des Kohlendioxids (ca. 60 %) verbindet sich mit Wasser zu Kohlensäure. Dieser Prozess wird durch das Enzym Carboanhydrase beschleunigt. Anschließend zerfällt die Kohlensäure in Bicarbonat- und Wasserstoffionen, die in das Blutplasma wandern.

Auf diese Weise werden etwa 55 ml Kohlendioxid pro 100 ml Blut transportiert.

Sinkt der Kohlendioxidgehalt und damit auch der Kohlendioxiddruck in der Umgebung des Blutes wieder ab, wie dies z. B. in der Lunge der Fall ist, so läuft der oben beschriebene Prozess in umgekehrter Reihenfolge ab, d. h., Kohlendioxid wird freigesetzt und anschließend ausgeatmet.

Beide Prozesse, die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe in der Lunge wie auch die im Gewebe ablaufende Kohlendioxidaufnahme und Sauerstoffabgabe, beeinflussen einander. So begünstigt die Aufnahme von Sauerstoff in den Alveolen die Kohlendioxidabgabe aus dem Körpergewebe ins Blut, und umgekehrt fördert die Kohlendioxidaufnahme die Abgabe von Sauerstoff.

Zum Abschluss noch eine Frage im Zusammenhang mit der Atmung: „Sind Sie Raucher?“ **Rauchen**

Wenn ja, dann beeinträchtigen Sie durch das Rauchen Ihre Atmung!

- Die Atemarbeit wächst. Nach dem Rauchen einer Zigarette wirken ca. 1 nm große Rauchpartikel auf Rezeptoren in den Schleimhäuten der unteren Atemwege. Diese Rezeptoren lösen eine Verengung der Bronchien mit vermehrter Schleimproduktion aus, wodurch der Strömungswiderstand steigt.
- Mit dem Zigarettenrauchen atmen Sie Kohlenmonoxid ein und dieses verdrängt Sauerstoff vom Hämoglobin. Bei zehn Zigaretten täglich werden 5 % des Hämoglobins durch Kohlenmonoxid besetzt. Dadurch verringert sich die Sauerstofftransportkapazität des Blutes und die körperliche Leistungsfähigkeit im Ausdauerbereich sinkt.

Lernkontrollfragen zu Kapitel 2 ?

Aufgabe 2.1

Welche Aufgaben hat die Nase im Zusammenhang mit der Atmung?

Aufgabe 2.2

Wie nennt man den Gasaustausch zwischen Umgebungsluft und Blut und wo findet er statt?

Aufgabe 2.3

Wie viele Atemzüge macht ein erwachsener gesunder Mensch pro Minute und wie errechnet sich das Atemminutenvolumen?

Aufgabe 2.4

Wie erfolgt der Transport der Atemgase im Blut?

3. Blut

3.1 Aufgaben und Menge

3.2 Blutplasma

3.3 Blutzellen

3.4 Blutgerinnung

Kapitel 3

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ die wichtigste Flüssigkeit des menschlichen Organismus zu erklären;
- ▶ Blutfunktionen und Aufgaben zu erläutern;
- ▶ mit den wichtigsten Fachbegriffen und Kenngrößen sicher umgehen zu können.

3.1 Aufgaben und Menge

Blut besteht aus dem flüssigen Blutplasma und den festen Bestandteilen, den Blutzellen.

Aus funktioneller Sicht kann Blut als ein flüssiges Organ bezeichnet werden. Für den Zellstoffwechsel ist zirkulierendes Blut ein wichtiges Transportmittel, das alle Stoffe im Körper dorthin führen kann, wo sie benötigt werden. Es ist die Voraussetzung für alle Prozesse des Lebens und erfüllt im Einzelnen die folgenden **Aufgaben**:

- Es transportiert Sauerstoff von den Lungen zu den Körperzellen und Kohlendioxid in umgekehrter Richtung. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Atmungsfunktion des Blutes.
- Es bringt Abfallprodukte des Zellstoffwechsels zu den verschiedenen Ausscheidungsorganen.
- Nährstoffe wie Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße und Wasser, Salze, Vitamine und Spurenelemente sowie Signalstoffe (Hormone) werden durch das Blut zu den Zellen befördert, die diese Stoffe für die Aufrechterhaltung ihrer Lebensfunktionen benötigen.
- Es spielt eine Rolle bei der Regulierung der Körpertemperatur des Organismus (Wärmetransportfunktion).
- Körperfremde Stoffe werden durch bestimmte Zellen im Blut unschädlich gemacht, wodurch der Körper vor eindringenden Krankheitserregern geschützt wird (Immunabwehr).
- Es hält durch verschiedene Reaktionen und Puffersysteme ein konstantes, schwach basisches (alkalisches) Milieu aufrecht und verhindert so ein Übersäuern der Zelle durch die bei einzelnen Stoffwechselreaktionen entstehenden Säuren (Pufferfunktion des Blutes).
- Es übernimmt die Reparatur des Gefäßsystems (Blutgerinnung).

Die Gesamtblutmenge eines erwachsenen Menschen beträgt etwa 6 bis 8 % seines Körpergewichts bzw. ca. 70 ml pro kg Körpergewicht. Bei einem Gewicht von 75 kg entspricht das etwa 5 Litern. Dieses normale **Blutvolumen** (Normovolämie) kann aus unterschiedlichen Gründen erhöht (Hypervolämie) oder verringert (Hypovolämie) sein. Bei Säuglingen und Kindern bis zu ca. 10 Jahren ist das Blutvolumen z. B. ebenso erhöht (8,7 bis 7,5 % des Körpergewichts) wie bei Schwangeren (ca. 10 % des Körpergewichts). Einen Blutverlust von 500 bis 800 ml Blut kann ein gesunder Erwachsener ohne stärkere Auswirkungen verkraften (z. B. Blutspende), wohingegen ein plötzlicher Verlust von etwa 50 % der Gesamtblutmenge ohne ärztliches Eingreifen tödlich ist.

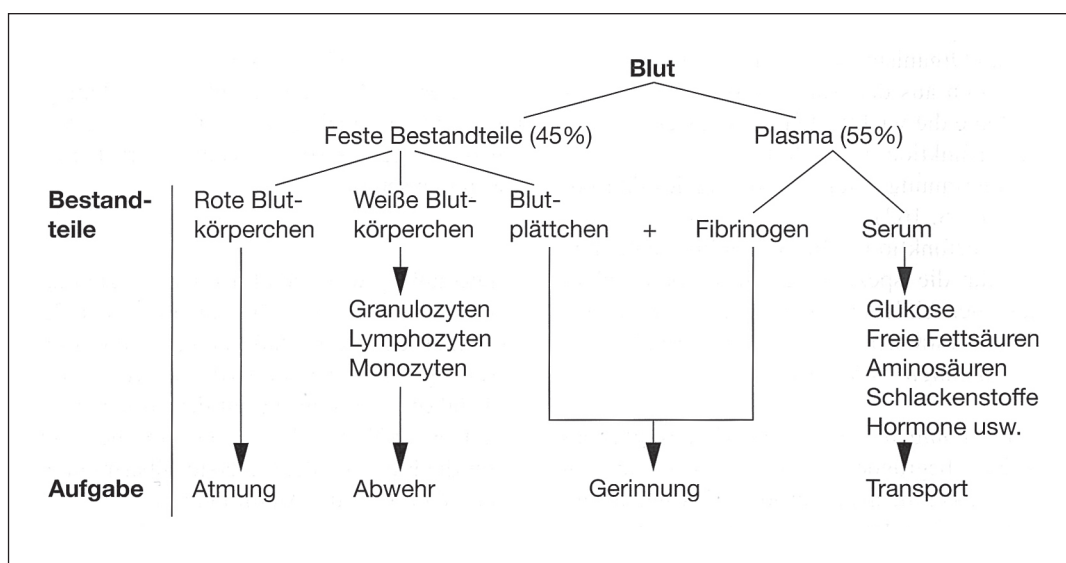


Abbildung 17: Bestandteile des Blutes und ihre funktionelle Bedeutung (WEINECK 2004, S. 159)

3.2 Blutplasma

Das Plasma ist eine gelbliche, klare Flüssigkeit und macht ca. 55 % der gesamten Blutmenge aus. Es besteht zu über 90 % aus Wasser und zu 7–8 % aus Proteinen (Eiweißen), den sogenannten Plasmaproteinen. Die restlichen 2–3 % bilden Kohlenhydrate, Fette, Hormone, Vitamine, Farbstoffe, Enzyme und Mineralien.

Die **Plasmaproteine** werden in die beiden Untergruppen **Albumine** und **Globuline** unterschieden.

Die **Albumine** machen etwa 60 % des Gesamteiweißes des Blutplasmas aus. Sie werden in der Leber gebildet und sind für die Konstanthaltung des Blutvolumens verantwortlich, d. h. für den Rückstrom des Wassers aus den Zwischenzellräumen (Interzellularräumen) in die Blutgefäße. Dieser Zusammenhang wird auch osmotische Wirkung genannt. Durch ein Absinken der Albuminkonzentration, z. B. infolge einer Verletzung, verringert sich somit die Fähigkeit des Blutes, Wasser zu halten, wodurch der Blutdruck abfällt. Es kann sogar zu einem Schock kommen. Außerdem besitzen Albumine die Fähigkeit, viele Substanzen, wie z. B. Hormone, reversibel zu binden und dorthin zu transportieren, wo sie benötigt werden. Man spricht daher auch von der Vehikelfunktion, die bei den Globulinen ebenfalls auftritt.

Die **Globuline** werden in Alpha-1-, Alpha-2-, Beta- und Gamma-Globuline unterteilt. Letztere sind vorwiegend Antikörper und bei der Immunabwehr von großer Bedeutung (Immunglobuline). Alpha- und Beta-Globuline dagegen üben in erster Linie Transportfunktionen aus.

Wie bereits angedeutet, steht das Plasma über die Kapillarwände mit der Flüssigkeit in den Zwischenräumen der Zellen, den Interzellularräumen, in ständigem Stoffaustausch. Pro Minute werden etwa 70 % der Plasmaflüssigkeit gegen Interzellularflüssigkeit ausgetauscht. Dieser Austausch ist unbedingt notwendig, um die Funktionalität der Körperzellen aufrechtzuerhalten. Er gewährleistet, dass die Zellen von einem konstanten Milieu umgeben werden, obwohl sie durch ständige Stoffaufnahme und -abgabe selbst die Zusammensetzung der extrazellulären Gewebsflüssigkeit verändern.

Trennt man die Gerinnungsfaktoren (Fibrinogen), bei denen es sich um Eiweißkörper handelt, vom Plasma ab, so erhält man das sogenannte **Serum**. Blutplasma ohne Fibrinogen wird Blutserum genannt.

3.3 Blutzellen

Der Volumenanteil der Blutzellen, die auch Blutkörperchen genannt werden, am Gesamtblutvolumen wird als Hämatokrit bezeichnet und beträgt beim Mann normalerweise etwa 0,45 (45 %), bei der Frau etwa 0,42 (42 %). Der Hämatokritwert wird ermittelt, indem ungerinnbar gemachtes Blut zentrifugiert wird. Da die roten Blutkörperchen, wie wir noch sehen werden, den weitaus größten Teil der Blutzellen ausmachen, bestimmt ihre Menge in erster Linie den Hämatokritwert. Unter unterschiedlichen physiologischen Bedingungen kann es zu großen Veränderungen des Hämatokritwertes kommen. Ein Höhengaufenthalt führt beispielsweise zu einer deutlichen Mehrbildung von roten Blutkörperchen. Neugeborene haben einen erhöhten, Kleinkinder einen niedrigeren Hämatokritwert.

Bei den Blutzellen oder Blutkörperchen unterscheidet man:

- rote Blutkörperchen (Erythrozyten)
- weiße Blutkörperchen (Leukozyten)
- Blutplättchen (Thrombozyten)

Die roten Blutkörperchen (Erythrozyten)

Etwa 95 % der Blutzellen sind rote Blutkörperchen, die in der Fachsprache als Erythrozyten bezeichnet werden und dem Blut seine charakteristische Farbe verleihen. Ihre Zahl beträgt bei der Frau ca. 4,8 Millionen/ μl und beim Mann ca. 5,3 Millionen/ μl . Die sehr große Gesamtoberfläche aller Erythrozyten eines Menschen von etwa 4.000-4.500 m^2 entspricht der Größe eines halben Fußballfeldes.

Reife Erythrozyten sind flache, scheibenförmige Zellen mit einem Durchmesser von 7,5 μm (Mikrometer). Auf beiden Seiten sind sie napfförmig eingedellt (bikonkav) und daher am Rand viel dicker (2 μm) als in der Mitte (1 μm). Von der Seite gesehen besitzen sie die Form einer Hantel.

Da sie leicht verformbar sind, deformieren sie sich in kleinen Lungen- und Gewebekapillaren, nehmen jedoch aufgrund ihrer großen Elastizität immer wieder die ursprüngliche Form an. Sie besitzen keinen Zellkern und keine Organellen, werden jedoch von einer Zellmembran umgeben.

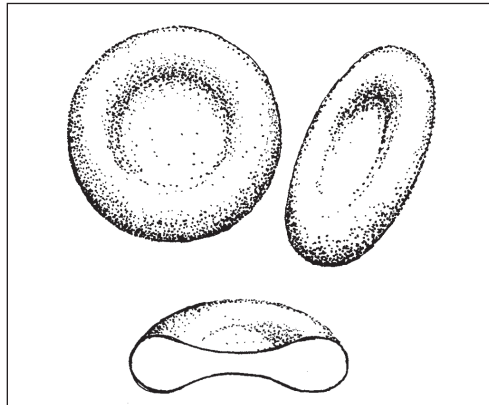


Abbildung 18: Reife rote Blutkörperchen
(CULCLASURE 1992)

Die Lebensdauer der Erythrozyten beträgt ca. vier Monate, die Bildungsrate ca. 160 Millionen pro Minute. Das entspricht der Neubildung von ca. 1.200 ml Blut pro Monat. Der wirksamste Reiz für die Erythrozytenneubildung ist Sauerstoffmangel im Gewebe, der die Freisetzung des Hormons Erythropoietin aus dem Nierengewebe steigert, wodurch das Knochenmark zur Neubildung von roten Blutzellen angeregt wird.

Der Abbau der Erythrozyten erfolgt in einem speziellen Zellsystem (retikuloendotheliales System) in der Leber und der Milz. Das freigesetzte Hämoglobin, ein Inhaltsstoff der Erythrozyten (s. u.), wird von dem enthaltenen Eisen getrennt und von der Leber als Gallenfarbstoff Bilirubin ausgeschieden, wobei der größte Teil des Eisens zur Synthese von neuem Hämoglobin dient.

Wichtigster Bestandteil der Erythrozyten ist das **Hämoglobin**, ein eisenhaltiger, roter Blutfarbstoff, von dem ein einzelnes rotes Blutkörperchen ungefähr 200 bis 300 Millionen Moleküle enthält. Mit seiner Hilfe erfüllen die Erythrozyten ihre eigentliche Aufgabe: Sie transportieren die Atemgase Sauerstoff und Kohlendioxid. Bei Männern liegt der Hämoglobingehalt um 16 g/100 ml und bei Frauen mit ca. 14 g/100 ml etwas niedriger.

Ist die Konzentration des Hämoglobins und damit auch der roten Blutkörperchen vermindert, so spricht man von Anämie (= Blutarmut). Polyglobulie dagegen liegt bei einer Konzentrationserhöhung der Erythrozyten bzw. des Hämoglobins vor. Im Gebirge sinkt beispielsweise die Sauerstoffkonzentration der Luft. Als Folge steigt die Erythrozytenkonzentration bei längerem Höhengaufenthalt an (Höhenpolyglobulie). Durch den vermehrten Blutzellenanteil wird das Blut dicker und strömt langsamer durch die Gefäße, wodurch sich die Erythrozyten geldrollenartig zusammenlagern (Aggregation). Wird dem Körper in dieser Situation nicht genügend Flüssigkeit zugeführt, kommt es zu einer Thrombose (Verschluss eines Blutgefäßes durch ein Blutgerinnsel [= Thrombus]).

Die weißen Blutkörperchen (Leukozyten)

Die weißen Blutkörperchen (Leukozyten) werden so genannt, weil sie im ungefärbten Blutaussstrich farblos erscheinen. Es handelt sich um eine inhomogene Gruppe einfach gebauter, kernhaltiger Zellen. Ihre Form ist variabel, da sie sich wie Amöben (einzellige Lebewesen) durch Ausstrecken und Einziehen von Fortsätzen des Zellleibs fortbewegen können. Das hat ihnen auch zu dem Namen Wanderzellen verholfen. 1 mm³ Blut enthält etwa 5.000 bis 10.000 Leukozyten.

Nach Zellgröße, Kernform und Art der Granulierung des Zellplasmas unterscheidet man:

- Granulozyten (50–70 %)
- Lymphozyten (20–40 %)
- Monozyten (4–8 %)

1) Granulozyten

Sie machen den Großteil der weißen Blutkörperchen des erwachsenen Menschen aus. Granulozyten sind fast doppelt so groß wie Erythrozyten und entstehen im roten Knochenmark ständig neu, indem sie durch mehrfache Teilung aus Stammzellen hervorgehen und nach einer Reifung von vier bis zehn Tagen fertig entwickelt in die Blutbahn eintreten. Ihre Lebensdauer beträgt ungefähr zwei bis acht Tage. In ihr Zellplasma sind zahlreiche Körnchen, sogenannte Granula, eingelagert, die in unterschiedlicher Weise mit einem sauren (Eosin) oder basischen (Hämatoxylin) Farbstoff angefärbt werden können. Entsprechend dieser Färbbarkeit unterscheidet man:

■ Neutrophile Granulozyten:

Ihre Granula färben sich mit keinem der genannten Farbstoffe intensiv, sondern sie verhalten sich weitgehend neutral. Sie stellen ca. 40 bis 60 % der Leukozyten und besitzen die Fähigkeit zur Phagozytose, durch die sie Bakterien und andere Giftstoffe vernichten. Unter Phagozytose versteht man die Aufnahme fester Partikel in das Zellinnere von Phagozyten (Makrophagen, Granulozyten, Monozyten) mit intrazellulärem Abbau.

■ Eosinophile Granulozyten:

Sie stellen ca. 1 bis 3 % der Leukozyten und enthalten größere, mit Eosin rot anfärbbare Granula. Bei Abwehrreaktionen gegen artfremdes, also nicht körpereigenes Eiweiß spielen sie eine Rolle. Sie sind ebenfalls zur Phagozytose befähigt.

■ Basophile Granulozyten:

Mit dem Farbstoff Hämatoxylin werden die granulären Einschlüsse dieser Blutzellen blauschwarz angefärbt. Sie machen etwa 0,5 bis 1 % der Leukozyten aus und synthetisieren das gefäßerweiternde Histamin sowie Heparin, das die Gerinnungsbereitschaft des Blutes senkt.

2) Lymphozyten

Etwa 20 bis 40 % der weißen Blutkörperchen sind Lymphozyten. Sie werden auch Rundzellen genannt und haben zum überwiegenden Teil die Größe von Erythrozyten. Ihre Gestalt ist kugelförmig. Diese sogenannten kleinen Lymphozyten haben einen im Vergleich zum Zelleib großen Kern. Daneben existieren geringe Mengen an größeren Lymphozyten mit einem Durchmesser von 11 bis 16 μm , deren Plasmasaum deutlich breiter ist.

Die Lebensdauer der Lymphozyten variiert stark und kann zwischen acht Tagen und mehreren 100 Tagen liegen. Ihre Aufgabe ist die spezifische Immunabwehr bei bakteriellen und viralen Infektionen, wozu sie Antikörper synthetisieren. Sie werden in den Lymphknoten, der Milz und dem Knochenmark gebildet.

3) Monozyten

Monozyten haben am weißen Blutbild einen Anteil von 4 bis 8 % und sind mit 12 bis 20 μm die größten weißen Blutzellen. Ihr Kern ist hufeisenförmig und liegt häufig etwas exzentrisch. Bildungsstätte sind ebenfalls die Stammzellen des Knochenmarks. Sie können Zelltrümmer und geschädigte Blutzellen durch Phagozytose aufnehmen.

Die Blutplättchen (Thrombozyten)

Mit einem Durchmesser von 2 bis 4 μm und einer Dicke von 0,5 bis 2 μm sind die Blutplättchen kleine, flache Scheiben von unregelmäßiger Form, die aus dem Cytoplasma der Knochenmarksriesenzellen durch Abschnürung hervorgehen. Sie sind kernlos und bei der Blutgerinnung von maßgeblicher Bedeutung. Im Blut eines gesunden Erwachsenen findet man 200.000 bis 400.000 Thrombozyten pro μl Blut. Ihre Lebensdauer beträgt acht bis 14 Tage.

Das Blut-, Plasma- und Zellvolumen bei Untrainierten und Ausdauertrainierten ist unterschiedlich. Die erhöhte körperliche Leistungsfähigkeit des Ausdauertrainierten führt zu vergrößerten Blut- und Zellvolumina. Das Plasmavolumen erhöht sich, weil der ausdauerorientierte Sportler einen größeren Anteil Eiweiß im Blut besitzt. Dadurch erhöht sich die Fähigkeit, Wasser zu binden. Damit besitzt der Organismus eine Wasserreserve, auf die der Ausdauersportler bei erhöhter Schweißbildung zurückgreifen kann.

Außerdem verfügt der Ausdauersportler über ein größeres Gesamtvolumen an Erythrozyten und Hämoglobin. Das Resultat dieser Zunahme liegt in einer Verbesserung der Transportkapazität des Blutes für Sauerstoff begründet.

3.4 Blutgerinnung

Die Blutgerinnung oder **Hämostase** ist ein lebenswichtiger Vorgang, der den Körper bei Beschädigung des Gefäßsystems vor dem Verbluten schützt. Ist dieser komplizierte Prozess gestört, wie z. B. bei der Bluterkrankheit, so führen bereits kleinste Wunden zu lebensbedrohenden, unstillbaren Blutungen.

Im Körper läuft die Blutgerinnung in verschiedenen Phasen ab. Dabei wird sie von bestimmten Plasmaproteinen, den sogenannten Gerinnungsfaktoren, gesteuert. Die Verletzung einer Gefäßwand löst eine Art Kettenreaktion aus, bei der gleichzeitig oder nacheinander alle Gerinnungsfaktoren aktiviert werden. Die Gerinnungsfaktoren sorgen gemeinsam mit den Blutgefäßen und den Thrombozyten für einen schnellen Wundverschluss.

Die Blutgerinnung (Hämostase) wird in zwei nacheinander ablaufende Reaktionen unterteilt:

- Blutstillung (primäre Hämostase)
- Blutgerinnung (sekundäre Hämostase)

Die Blutstillung (primäre Hämostase)

Die Blutstillung führt über eine Folge komplexer, untereinander abhängiger Reaktionen zum Verschluss verletzter Gefäße. Bei Verletzungseintritt erfolgt zunächst eine Gefäßverengung (Vasokonstriktion) vor und hinter der Verletzungsstelle, die zu einem lokalen Blutdruckabfall führt.

Parallel kommt es im Bereich der Wundränder zur Bildung eines Thrombozyten-Pfropfes, der anfänglich noch zurückgebildet werden kann, also reversibel ist. Bei kleineren Gefäßen bringt dieser die Blutung zum Stehen.

Der in diesem Reaktionsablauf gebildete Wundpfropf ist also ausschließlich aus Thrombozyten zusammengesetzt und wird auch als weißer Thrombus bezeichnet. Durch ihn wird eine Wunde jedoch nur vorläufig und nicht dauerhaft verschlossen. Da ihm die nötige Festigkeit fehlt, würde er bei einem Anstieg des Blutdrucks und Nachlassen der Gefäßkontraktion aus der Wunde herausgespült werden.

Die Blutungszeit, d. h. die Zeit bis zum Eintritt der Blutstillung, dauert Sekunden bis wenige Minuten.

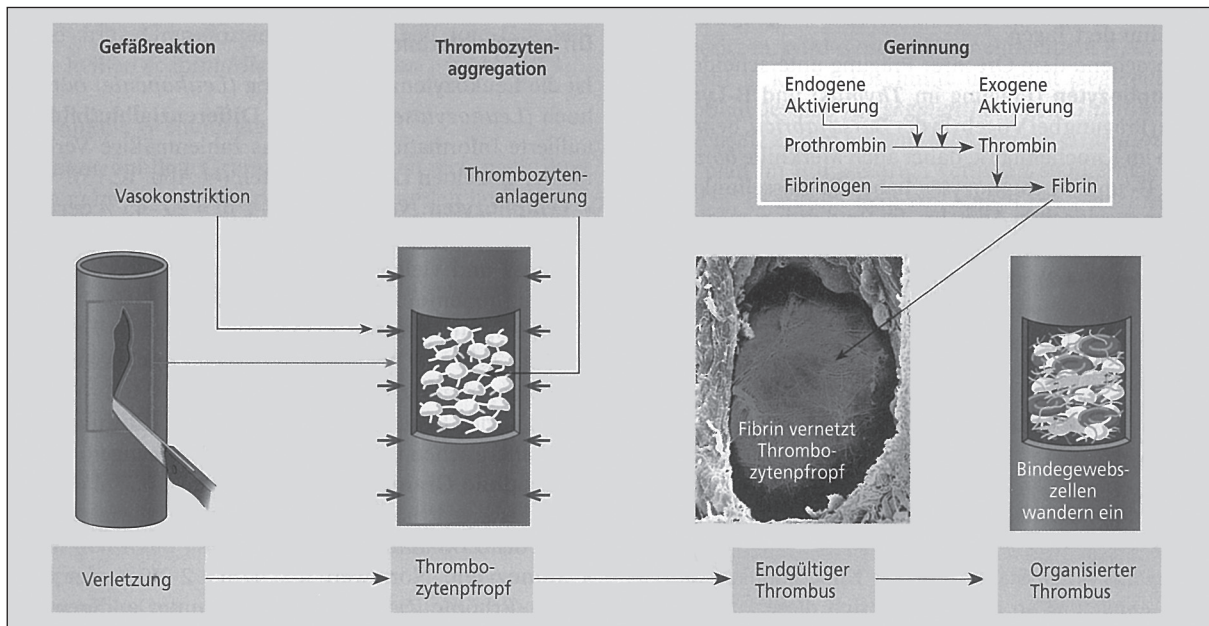


Abbildung 19: Übersicht über die Vorgänge bei der Blutstillung und -gerinnung (MENCHE 2007)

Die Blutgerinnung (sekundäre Hämostase)

Erst durch die sekundäre Hämostase, die eigentliche Blutgerinnung, wird nach ca. fünf bis sieben Minuten ein endgültiger Verschluss der Wunde erreicht. Sie findet zum einen im Gefäßsystem selbst und zum anderen im umliegenden, die Gefäße auskleidenden Gewebe, dem Endothel, statt. Es handelt sich um eine Kette enzymatischer Reaktionen, in deren Verlauf inaktive Vorstufen der Gerinnungsfaktoren in aktive Formen überführt werden.

Lernkontrollfragen zu Kapitel 3 ?

Aufgabe 3.1

Welche Bestandteile des Blutes bilden Antikörper?

Aufgabe 3.2

Beschreiben Sie kurz mit eigenen Worten den Ablauf der Blutstillung und -gerinnung.

Aufgabe 3.3

Wie unterscheiden sich Blutplasma und Blutserum?

4 Kapitel

4. Herz-Kreislauf-System

4.1 Kreislaufrsystem

4.2 Herz (Cor)

4.2.1 Anatomie des Herzens

4.2.2 Herztätigkeit

4.2.3 Physiologie der Kontraktion

4.3 Aufbau der Blutgefäße

4.3.1 Arterien

4.3.2 Kapillaren

4.3.3 Venen

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ die einzelnen Abschnitte des Kreislaufs kennenzulernen;
- ▶ eine Übersicht über Aufbau, Arbeitsweise sowie die wichtigsten Kenngrößen des Herzens zu erhalten;
- ▶ die Nomenklatur und die Struktur der Gefäße zu kennen.

Das Leben des Menschen und das Funktionieren seiner Organe ist vom permanenten Kreislauf des Blutes in dem Gefäßnetz abhängig, das sich durch den ganzen Körper zieht. Der Blutkreislauf ist ein in sich geschlossenes System aus hintereinander und parallel geschalteten Röhren, den Blutgefäßen. Das Herz dient als „Pumpe“ des Blutes. Da das Blut im Gefäßsystem alle Organe passiert, stellt es zusätzlich einen wichtigen Indikator für Krankheiten dar. Die Trainingssteuerung greift zunehmend auf Blutparameter zurück (Laktat), anhand derer man Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit ziehen kann. Und schließlich zeigen sich auch falsche Essgewohnheiten und erhöhter Genussmittelverbrauch (z. B. Rauchen) in entsprechenden Blutwerten bzw. Veränderungen der Gewebe.

Einleitung

4.1 Kreislaufsystem

Gefäßarten Man unterscheidet **drei Arten von Gefäßen:**

1. Arterien (Schlagadern):

Sie leiten das Blut vom Herzen weg und dienen als Verteilersystem

2. Kapillaren:

Bei ihnen handelt es sich um dünne, haarfeine Gefäße, auch Haargefäße genannt, die den Stoff- und Gasaustausch zwischen Blut und Gewebe ermöglichen.

3. Venen:

Sie sammeln das Blut, nachdem es das Kapillarsystem durchflossen hat, und führen es dem Herzen wieder zu.

Die Bezeichnungen für die großen Gefäße geben also lediglich an, ob das Blut dem Herzen zugeleitet oder von ihm weggeführt wird. Sie sagen nichts über seinen Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt aus. Dennoch wird sauerstoffreiches Blut **arteriell** und kohlendioxidreiches Blut **venös** genannt.

Lungenkreislauf Das Herz treibt als Motor oder Pumpe rhythmisch den Blutstrom an und ist in das Gefäßnetz eingebunden. Eine Scheidewand, das **Septum**, teilt es in eine linke und eine rechte Herzhälfte. Von Letzterer wird das Blut über die Lungenarterie in die Lunge gepumpt. Sie verzweigt sich immer weiter bis hin zu den kleinsten Arterien, den Arteriolen, die sich schließlich in die feinen Kapillaren aufspalten, die die Alveolen umschließen. Hier erfolgt die **äußere Atmung**: Kohlendioxid wird abgegeben und Sauerstoff aufgenommen. Danach vereinigen sich die Kapillaren zu immer größeren Gefäßen und führen das mit Sauerstoff angereicherte Blut dann in den Lungenvenen zur linken Herzhälfte. Man bezeichnet diesen Teil des Kreislaufs als **Lungenkreislauf** oder kleinen Kreislauf.

Körperkreislauf Der **Körperkreislauf**, oder großer Kreislauf, dagegen beginnt in der linken Herzhälfte. Hier fließt das im Lungenkreislauf mit Sauerstoff angereicherte Blut in die etwa fingerdicke Körperarterie oder **Aorta**. Von dort strömt es über die parallel geschalteten Gefäße durch alle Organe des menschlichen Körpers. Dabei spalten sich die großen Gefäße immer weiter bis in die feinen **Kapillaren** auf. Sie sind der Ort des Stoffaustausches zwischen Blut und Zellen. Hier erfolgt die Abgabe von Sauerstoff und energiereichen Nährstoffen an das Gewebe. Gleichzeitig werden die Abfallprodukte des Stoffwechsels aufgenommen und mithilfe des Blutes abtransportiert.

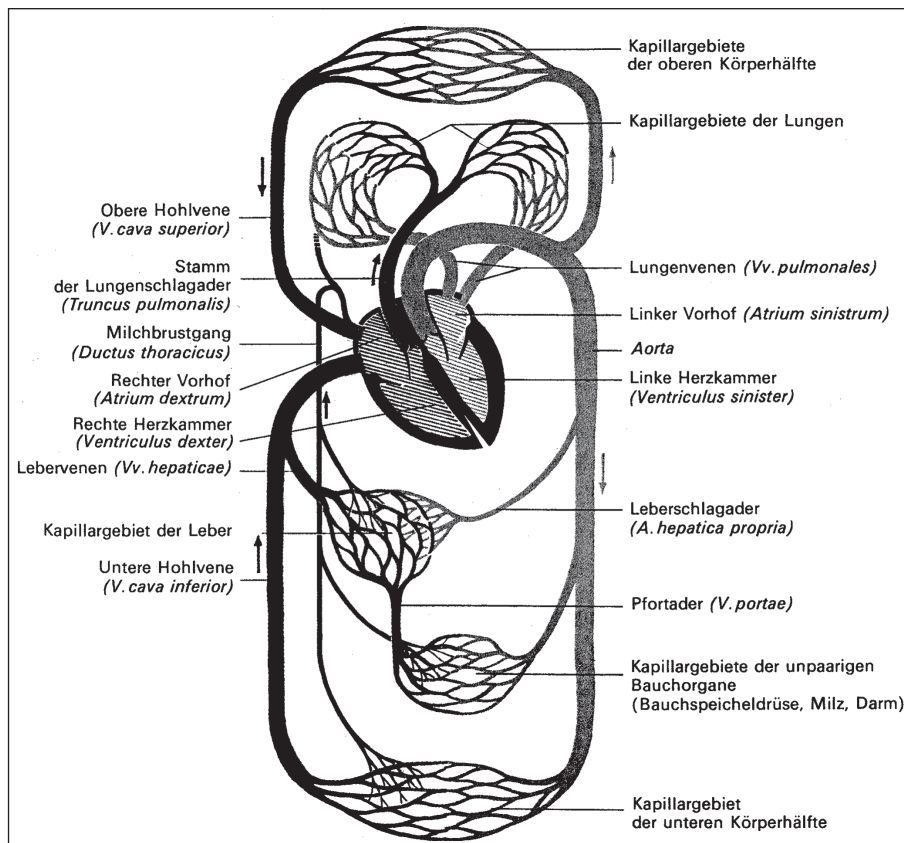


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Blutkreislaufes
(V. BRANDIS 1985)

Das durch das Kapillarsystem des Darmes strömende Blut nimmt dort die einzelnen Bausteine der verdauten Nahrung auf und wird anschließend über die **Pfortader** einem zweiten Kapillarsystem in der Leber zugeführt. Giftstoffe, die beispielsweise über die Nahrung oder Atmung in das Blut gelangt sind, werden hier abgebaut bzw. entgiftet. Anschließend werden sie in der Niere aus dem Blut gefiltert und mit dem Harn ausgeschieden. Man spricht vom **Pfortaderkreislauf**.

Pfortaderkreislauf

Nach Durchströmen der Kapillaren fließt das Blut in die kleinsten Venen, die **Venolen** genannt werden. Sie vereinigen sich zu immer größeren Venen. Schließlich führen sie das Blut über die obere und untere Hohlvene (Vena cava superior, Vena cava inferior) der rechten Herzhälfte zu. Damit ist der Kreislauf geschlossen.

4.2 Herz (Cor)

4.2.1 Anatomie des Herzens

Aufbau Das Herz ist ein kräftiger ovaler Hohlmuskel mit einem durchschnittlichen Volumen von etwa 780 ml, der im Brustraum vor der Luft- und der Speiseröhre und hinter dem Brustbein liegt. Es besitzt in etwa die Form eines abgestumpften Kegels, dessen Spitze die Rippen des linken Brustkorbes trifft und dem Zwerchfell aufliegt. Ungefähr ein Drittel des Herzens befindet sich rechts und die restlichen zwei Drittel befinden sich links der Mitte des Brustkorbs. Seine Größe entspricht ungefähr der 1- bis 1,5-fachen geballten Faust des Trägers. Sein Gewicht beträgt ohne Blutinhalt mit etwa 5 g pro Kilogramm Körpergewicht ca. 250 bis 350 g.

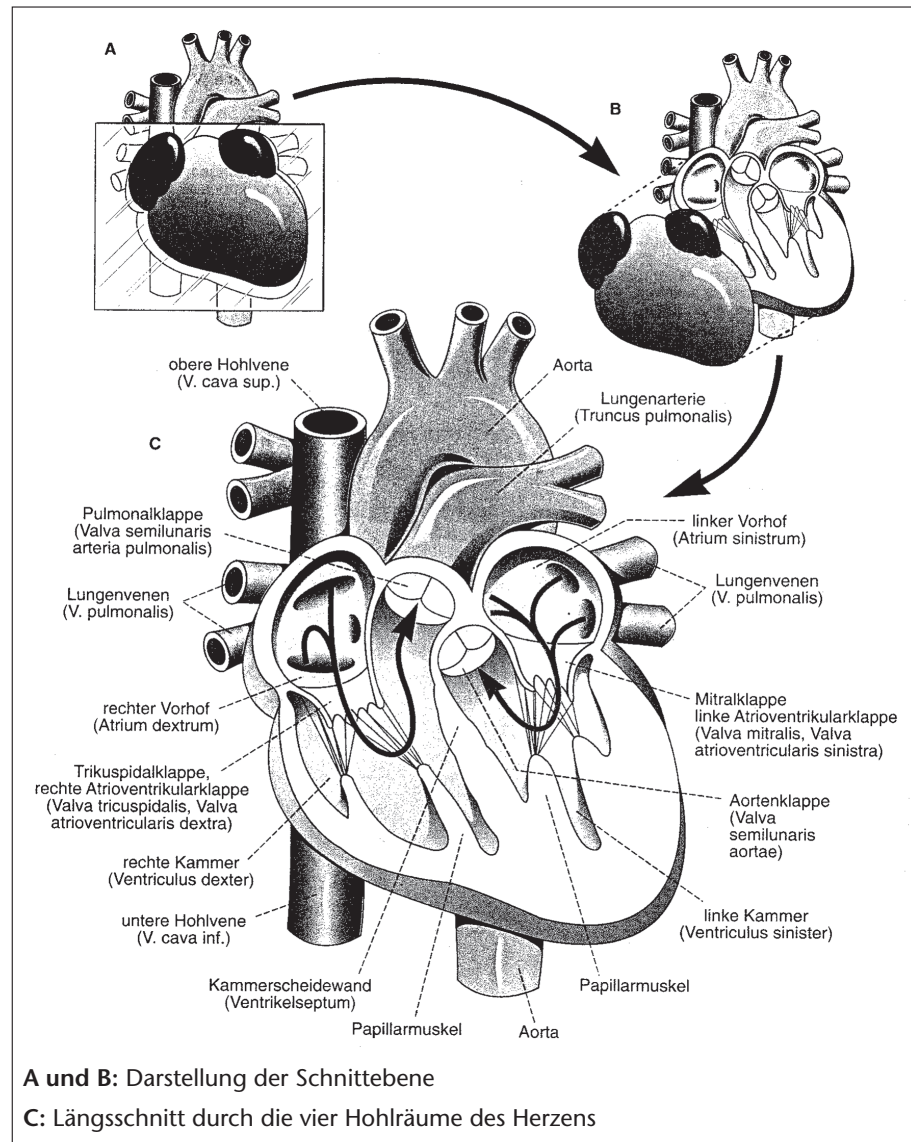


Abbildung 21: Längsschnitt des Herzens
 (SPECKMANN/WITTKOWSKI 2004)

Wie schon eingangs erwähnt, wird der Innenraum des Herzens durch das **Septum** in zwei vollständig voneinander getrennte Herzhälften geteilt. Es besteht also genau genommen aus zwei eigenständigen, aber miteinander verwachsenen Pumpen. Beide Herzhälften sind in einen kleineren **Vorhof (Atrium)** und eine größere **Kammer (Ventrikel)** untergliedert. Das Herz besteht also aus vier Hohlräumen.

Vorhof und Kammer jeder Herzhälfte sind miteinander über eine Öffnung verbunden, die von den speziellen Herzklappen, den sogenannten **Segelklappen** verschlossen werden kann. Sie besitzen Ventilfunktion und bestimmen die Richtung des Blutflusses im Herzen, indem sie den Durchstrom des Blutes vom Vorhof in die Kammer steuern und gleichzeitig seinen Rückstrom verhindern. Ihr Öffnen und Schließen erfolgt aufgrund des unterschiedlichen Druckes, der beiderseits einer Klappe herrscht.

Segelklappen

Die Segelklappen bestehen aus zähen, gefäßlosen Bindegewebsplatten, die von der innersten Herzwandschicht (s. u.) überzogen werden und die Form eines Segels aufweisen. Die freien Enden sind über eine große Zahl von feinen Sehnenfäden an kleinen Muskeln von zapfenähnlicher Form an der gegenüberliegenden Kammerwand befestigt. Diese sogenannten **Papillarmuskeln** verhindern während der Kontraktion ein Zurückschlagen der Segel in die Vorhöfe. In der linken Herzkammer liegt eine zweizipflige Segelklappe, die **Bikuspidalklappe**, in der rechten Herzkammer die dreizipflige **Trikuspidalklappe**.

Die an der Herzbasis liegenden Vorhöfe nehmen zunächst das dem Herzen zugeführte Blut auf. Der linke Vorhof erhält von den Lungenvenen das arterielle Blut, der rechte von den Körpervenen das venöse. Von dort strömt es in die jeweilige Kammer, die es kraftvoll in die Arterien pumpt. Aus jeder Kammer entspringt ein großes Blutgefäß: aus dem rechten Ventrikel die Lungenarterie und aus dem linken die Aorta. Beide können direkt am Herzen durch eine zweite Art von Herzklappen, die **Taschenklappen** (siehe Abbildung 21 „Längsschnitt des Herzens“) verschlossen werden. Am Übergang der rechten Kammer in die Lungenarterie befindet sich die **Pulmonalklappe**, zwischen der linken Kammer und der Körperarterie liegt die **Aortenklappe**. Ihre Aufgabe und Funktion entspricht den Segelklappen. Sie sichern die Strömungsrichtung des Blutes und verhindern, dass das Blut aus den Gefäßen in die Ventrikel zurückfließt.

Taschenklappen

QV

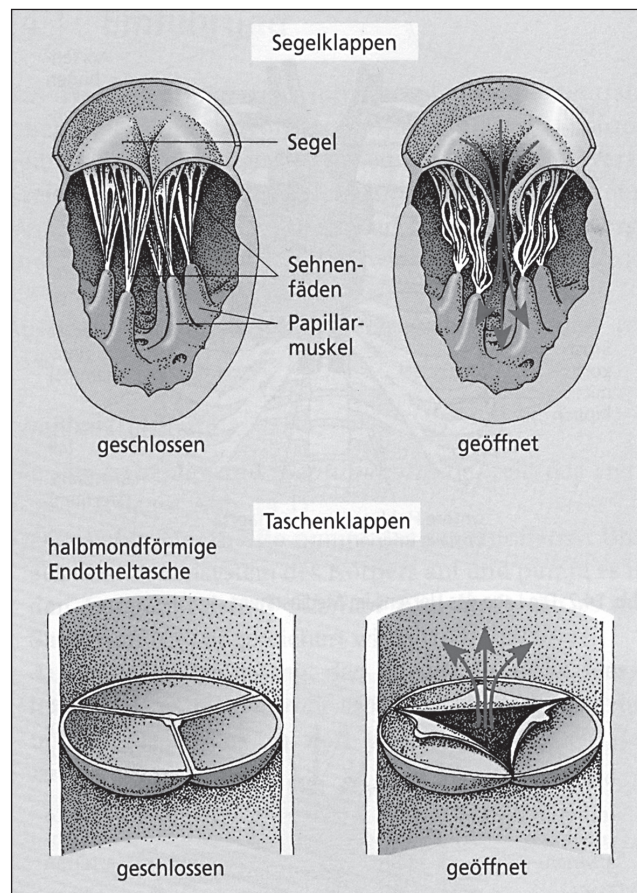


Abbildung 22: Segelklappen und Taschenklappen im Vergleich
(MENCHE 2007, S. 228)

Ein bindegewebiger Sack, der sogenannte Herzbeutel, in der Fachsprache **Pericard** genannt, umgibt das Herz vollständig und ist mit seiner Umgebung, insbesondere unten mit dem Zwerchfell und oben mit den großen Gefäßen, verwachsen. An den großen Gefäßen geht das Pericard in das sogenannte **Epicard** über. Es ist fest mit dem eigentlichen Herzmuskel, dem **Myocard**, verwachsen und stellt die äußerste Herzwandschicht dar.

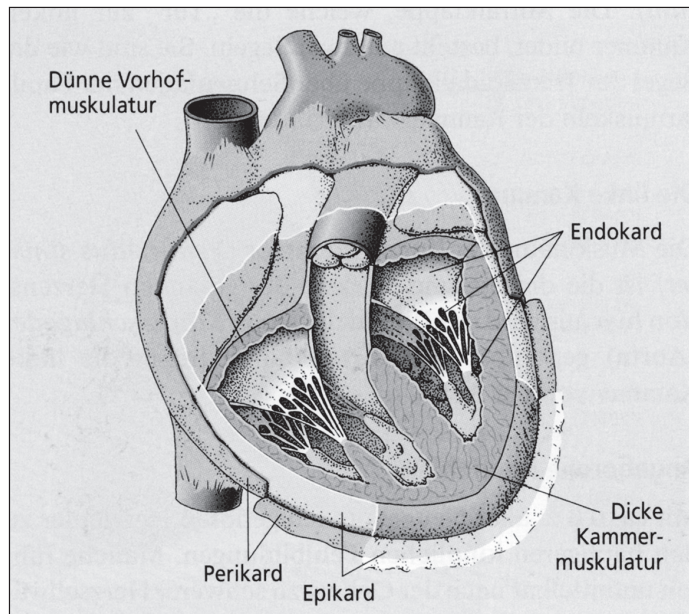


Abbildung 23: Längsschnitt durch das Herz
(MENCHE 2007, S. 230)

Zwischen Perikard und Epicard befindet sich eine Flüssigkeit, die als Gleitfilm bei der Kontraktion und Erschlaffung des Herzmuskels eine gute Verschiebbarkeit des Herzens gewährleistet und so das Entstehen von Reibung am umgebenden Gewebe verhindert.

Das oben bereits erwähnte **Myocard** ist die dickste Schicht der Herzwand und besteht aus etwa 0,1 mm langen Muskelzellen mit einem einzigen Zellkern und lichtmikroskopisch sichtbarer Querstreifung, d. h., die Anordnung der Myofibrillen entspricht derjenigen eines Skelettmuskels. Sie sind jedoch nicht parallel zueinander in Faserbündel zusammengefasst, sondern bilden ein netzartiges Fasersystem.

Die Dicke der Muskelschicht hängt von der zu erbringenden Leistung ab. Sie ist bei den als Blutspeicher fungierenden Vorhöfen mit 0,5 mm gering, während sie bei den pumpenden Kammern stärker ist. Dabei ist die linke Kammer mit 8–11 mm etwa doppelt so dick wie die rechte (2–4 mm), da das von ihr ausgeworfene Blut im Körperkreislauf einen viel längeren Weg zurücklegt als das im kleinen Kreislauf befindliche und daher auch stärkere Reibungskräfte überwinden muss.

Innen ist das Myocard von einem sehr dünnen Bindegewebe aus feinen Fasern überzogen, dem **Endocard**. Es überzieht außerdem die unterschiedlichen Herzklappen.

Damit besteht das Herz also aus den folgenden drei Schichten:

- **Endocard** = Herzinnenhaut
- **Myocard** = Muskelwand
- **Epicard** = Herzaußenwand und gleichzeitig inneres Blatt des Pericard

Außen verlaufen in der sogenannten **Herzkranzfurche**, die die Ventilebene des Herzens markiert, die beiden **Herzkranzgefäße**, die rechte und linke Koronararterie sowie die zugehörigen Venen. Von ihnen wird die Muskulatur des Herzens mit Nährstoffen versorgt. Bei Verengung dieser Gefäße, z. B. durch Arteriosklerose, sind diese nicht mehr in der Lage, sich zu erweitern und bei erhöhter Leistung entsprechend mehr Blut zur Verfügung zu stellen. Decken sich Sauerstoffbedarf und -angebot des Herzens nicht mehr, kann es zum Absterben von Herzmuskelgewebe kommen. Ein Herzinfarkt droht.

4.2.2 Herztätigkeit

Blutdruck Die Zirkulation des Blutes im Kreislauf wird vom Herzen als Antriebsmotor aufrechterhalten. Dabei arbeitet das Herz als Druck-Saug-Pumpe, indem zunächst die Vorhof- und dann die Kammermuskulatur rhythmisch wechselnd kontrahiert und erschlafft. Man bezeichnet die Kontraktionsphase als **Systole** und die Erschlaffungsphase als **Diastole**. Durch die Kontraktion wird Druck auf das Blut ausgeübt, der als **Blutdruck** bezeichnet wird.

Diese beiden Phasen lassen sich aufgrund des Druck- und Volumenverhaltens in den Herzkammern in jeweils zwei Abschnitte unterteilen:

Kontraktionsphase = Systole	Anspannungszeit Austreibungszeit
Erschlaffungsphase = Diastole	Entspannungszeit Füllungszeit

Rechte und linke Herzhälfte arbeiten stets gleichzeitig, d. h., Systole und Diastole beginnen und enden gemeinsam. Herzkammer und Atrium einer Herzhälfte dagegen ziehen sich abwechselnd zusammen. Unter Ruhebedingungen dauert die Diastole etwa doppelt so lange wie die Systole. Bei körperlicher Belastung (Herzfrequenzzunahme) verschiebt sich das Verhältnis von Diastolen- zu Systolendauer. Die Diastolendauer nimmt deutlich stärker ab.

In der Systole kontrahieren verschiedene Bereiche der Kammermuskulatur nacheinander. Dadurch steigt der Druck in den mit Blut gefüllten Herzkammern über denjenigen in den Vorhöfen und Arterien. Die Segelklappen schließen sich, während sich die Taschenklappen öffnen. Der Verschluss der Segelklappen wird von einem dumpfen Ton, dem ersten Herzton (Muskelton) begleitet. Er kann vom Arzt mit dem Stethoskop abgehört werden. Das Blut wird aus den Herzkammern in die Lungen- und Körperarterie gepresst. Dabei herrscht ein hoher Druck in den Arterien, der **systolischer Blutdruck** genannt wird und beim gesunden 20-jährigen Erwachsenen in der Oberarmarterie ca. 120 mm HG beträgt. Die Arterien dehnen sich infolge des hohen Druckes stark aus und vergrößern ihr Volumen.

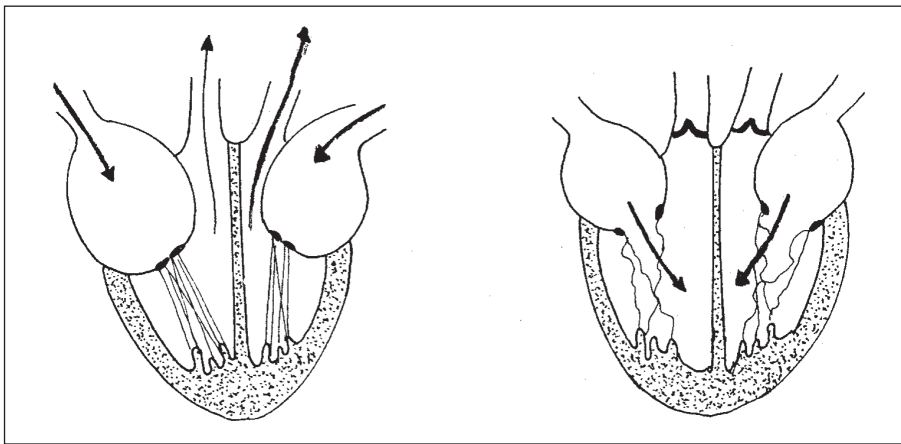


Abbildung 24: Darstellung von Systole (links) und Diastole (rechts)
(JECKLIN 2004)

Gleichzeitig befinden sich die Vorhöfe in der Diastole. Sie erschlaffen und saugen das Blut aus den Venen in die Vorhöfe hinein. Der in den Venen herrschende Restdruck dehnt außerdem die Vorhofmuskulatur und füllt somit die Vorhöfe ganz auf.

Im Verlauf der Kammerdiastole erschlafft dann die Herzkammermuskulatur, wodurch der Druck unter den der Vorhöfe und der Arterien sinkt. Als Folge schließen sich die Taschenklappen. Dadurch wird der zweite, hellere Herzton (Klappenton) verursacht. Gleichzeitig öffnen sich die Segelklappen. Das Blut strömt zu 85 % der Schwere und dem Druck folgend in die Herzkammern. Obwohl zu diesem Zeitpunkt kein Blut vom Herzen in den Kreislauf gepumpt wird, strömt es mit einem messbaren Blutdruck, dem **diastolischen Blutdruck** von ca. 80 mm Hg (bei einem 20-Jährigen in der Oberarmarterie gemessen), durch die Organe. Er wird durch die Kontraktion der gedehnten Aorta hervorgerufen, die das Blut weiterhin in die Arterien presst.

Gegen Ende der Kammerdiastole setzt die Vorhofsystole ein. Die Muskulatur der Vorhöfe kontrahiert und presst die restlichen 15 % des Blutes in die schon fast gefüllten Herzkammer.

Ein Herzzyklus dauert ungefähr eine Sekunde. Die Zeit von Beginn einer Systole bis zum Ende der Diastole heißt **Herzschlag**. Die Zahl der Herzschläge pro Minute wird **Herzfrequenz** genannt. Sie beträgt beim Erwachsenen in Ruhe etwa 60 bis 80 Schläge pro Minute. Beim Neugeborenen liegt sie mit 130 Schlägen pro Minute fast doppelt so hoch.

Die Menge des Blutes, die mit einem Herzschlag der linken Herzkammer in die Aorta gepresst wird, beträgt etwa 70 bis 100 ml – in Abhängigkeit von der jeweils gegebenen Herzgröße – und wird als **Schlagvolumen** bezeichnet. Aus Schlagvolumen und Herzfrequenz berechnet sich durch Multiplikation die von einer Herzkammer pro Minute geförderte Blutmenge, das sogenannte **Herzminutenvolumen**. Es beträgt etwa 4.900 ml/min. Insgesamt werfen also beide Herzkammern gemeinsam etwa 9.800 ml Blut pro Minute aus. Bei einer HF von 70/min pumpt das Herz ca. 100.000 Mal am Tag und befördert dabei 7.500 l Blut.

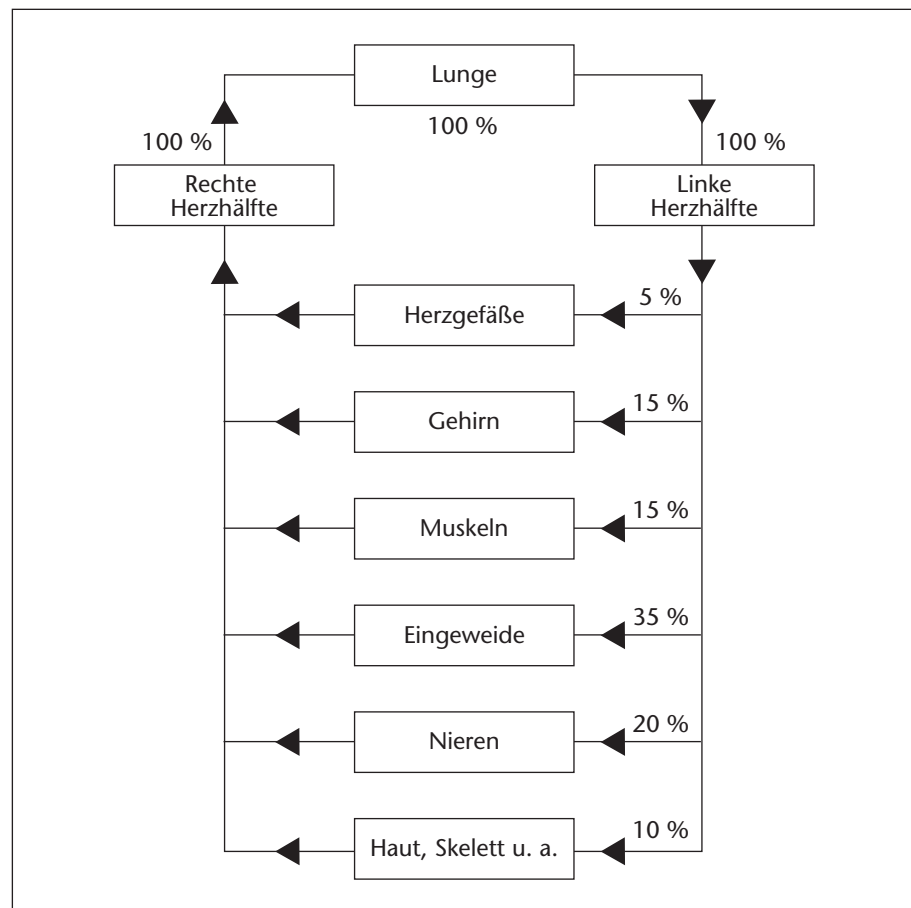


Abbildung 25: Verteilung des strömenden Blutvolumens (Herzminutenvolumen) auf die einzelnen Teilkreisläufe bei körperlicher Ruhe (MÖRICKE 1989)

Bei verstärkter körperlicher Belastung, während der Verdauung sowie zur Regulation der Körpertemperatur erhöht sich das Minutenvolumen und kann unter extremen Bedingungen bis auf 25 Liter/Minute ansteigen.

Ähnlich variabel verhält sich der Blutdruck. Er kann sich bei maximaler statischer Arbeit um 100 mm HG und mehr erhöhen. Eine gefährliche Situation für Herzranke bzw. Risikofaktoren-Träger. Eine genaue Kenntnis der Kreislauffunktion unter Belastung ist daher für den Trainer von großer Bedeutung. Die maximal erreichbaren Herzfrequenzen und Schlagvolumina können individuell sehr unterschiedlich sein.

Sportliches Training erhöht die Kraft des Herzmuskels. Die Herzmuskel-fasern nehmen an Länge und Dicke zu, d. h., das Herz wird größer und sein Gewicht steigt bis auf 500 g an. Man spricht vom **Sportlerherz**. Vor allem durch Ausdauertraining werden auch die Hohlräume größer und das Fassungsvermögen wächst. Damit schlägt das Herz eines trainierten Menschen langsamer, es fasst eine größere Blutmenge und kontrahiert mit erheblich mehr Kraft. Bei körperlicher Anstrengung ist eine Erhöhung des Schlagvolumens sehr viel leichter möglich und verursacht weit weniger Herzklopfen. Unendlich kann das Herz jedoch nicht vergrößert werden, da sonst einzelne Fasern der Herzmuskulatur nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden können (vgl. BRANDIS/SCHÖNBERGER 1995).

Sportlerherz

4.2.3 Physiologie der Kontraktion

Ebenso wie die Skelettmuskeln können auch die Fasern der Herzmuskulatur erregt werden. Erregung, Kontraktion und Erschlaffung laufen daher auch ganz ähnlich ab wie bei der Skelettmuskulatur und sollen hier nicht nochmals detailliert geschildert werden. Dabei arbeitet das Herz jedoch **autonom**, d. h., die die Kontraktion auslösenden Impulse kommen nicht vom Nervensystem, sondern entstehen im Herzen selbst. Lediglich Herzfrequenz und Kontraktionsstärke werden vom vegetativen Nervensystem gesteuert.

Reizleitungssystem

Hierzu besteht der Herzmuskel neben der kontraktionsfähigen Arbeitsmuskulatur auch aus speziellen, abgewandelten Herzmuskelzellen mit reizbildenden und reizleitenden Eigenschaften, ähnlich wie sie bei Nervenzellen auftreten. Sie bilden ein Muskelsystem aus Knoten und Fasern, das sogenannte **Reizbildungs- und Reizleitungssystem** des Herzens. Hierzu zählen:

a) Sinusknoten

Er ist das erregungsbildende Zentrum des Herzens und damit der Ausgangspunkt jedes Impulses, der schließlich zur Kontraktion führt. Man bezeichnet ihn auch als den **physiologischen Schrittmacher des Herzens**, da er den Rhythmus des Herzens bestimmt.

Der Sinusknoten ist ein kleines, etwa 1 cm langes und 3 mm breites Bündel spezieller Herzmuskelfasern und befindet sich in der Wand des rechten Vorhofes in der Nähe der Mündungsstelle der oberen Hohlvene. Ein eingepflanzter Schrittmacher kann seine Funktion übernehmen.

b) Atrioventrikularknoten (AV- oder Vorhof-Kammer-Knoten)

Vom Sinusknoten breitet sich die Erregung über die Muskulatur des Vorhofs von oben nach unten und zum linken Vorhof aus, bis sie schließlich den **AV-Knoten** erreicht. Dieser befindet sich in der Nähe der Vorhofscheidewand am Boden des rechten Vorhofs. Als selbstständiges Erregungszentrum besitzt er ebenfalls eine Eigenfrequenz, die allerdings einen sehr viel langsameren Rhythmus hat. Er überträgt die Erregungen mit einer Verzögerung (= Überleitungszeit) von 0,12 bis 0,2 Sekunden auf das Erregungsleitungssystem.

Fällt der Sinusknoten aus, so übernimmt der AV-Knoten die Schrittmacherfunktion und erhält mit geringerer Frequenz die Kontraktion der Herzkammern aufrecht. So kann das Herz zumindest für eine Weile die Grundversorgung des Organismus sichern.

c) Erregungsleitungssystem

Das Erregungsleitungssystem beginnt mit dem **His'schen Bündel**. Es verläuft durch das Herzskelett hindurch entlang der Vorhofkammergrenze und spaltet sich in der Kammerscheidewand in einen rechten und einen linken Kammerschenkel (**Tawara-Schenkel**) auf. Jeder einzelne der beiden Schenkel zieht zur entsprechenden Herzkammer und verzweigt sich an seinem Ende baumartig in die sogenannten **Purkinje-Fasern**. Sie bilden ein feines Netzwerk, in dem sich der Reiz von innen nach außen ausbreitet.

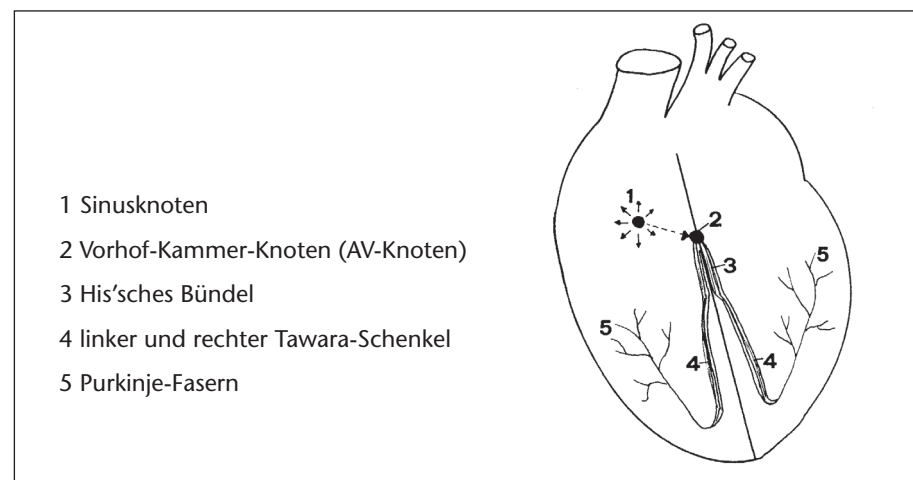


Abbildung 26: Reizleitungssystem
(JECKLIN 2004)

4.3 Aufbau der Blutgefäße

Zum Blutkreislauf gehören neben dem Herzen als Motor die Blutgefäße. Dabei haben Arterien, Venen und Kapillaren verschiedene Funktionen. Um sie erfüllen zu können, weisen sie einen unterschiedlichen Aufbau der Gefäßwand auf.

4.3.1 Arterien

Aufgabe der Arterien ist es einerseits, das Blut im Organismus auf die verschiedenen Kapillarsysteme zu verteilen (Verteilersystem). Andererseits sorgen die großen Arterien, besonders die Aorta dafür, dass während der Systole Energie in Form von elastischer Spannung in den Gefäßwänden gespeichert wird, die dann während der Diastole des Herzens wieder abgegeben werden kann. Dadurch wird der rhythmisch pulsierende Blutstrom in einen kontinuierlichen, gleichmäßigen Blutstrom umgewandelt. Dies wird als **Windkesselfunktion** bezeichnet.

Windkesselfunktion

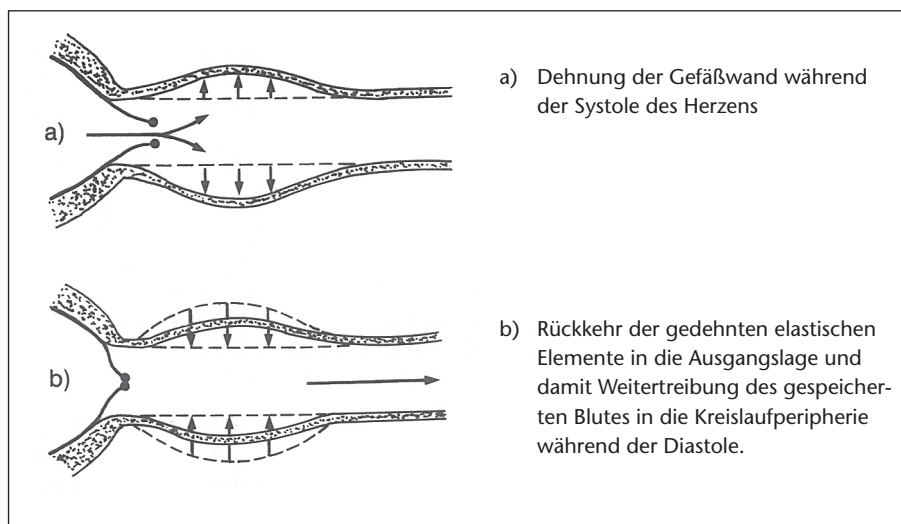


Abbildung 27: Schematische Darstellung der Windkesselfunktion der Aorta (WEINECK 2007, S. 150)

Die Arterien werden auch **Schlagadern** genannt, da das Blut durch den Herzschlag in diese Gefäße gepumpt wird und die so erzeugte Druckwelle als Puls auch in den kleinsten Arterien ertastet werden kann. In den Arterien herrscht ein hoher Druck, weshalb sie auch als **Hochdrucksystem** bezeichnet werden.

Ihre **Wand** besteht aus **drei Schichten**:

- Aufbau**
- **innerste Schicht (Tunica interna):** Sie wird gebildet aus einer einschichtigen Lage von Endothelzellen und darunter liegendem Bindegewebe. Die Tunica interna ermöglicht das ungehinderte Vorbeiströmen des Blutes, indem sie das Entstehen von Reibung verhindert. Ferner erfolgt durch sie der Stoff- und Gasaustausch zwischen Blut und Teilen der Gefäßwand.
 - **mittlere Schicht (Tunica media):** Glatte Muskelzellen und Bindegewebe mit elastischen Fasern bauen diese Schicht der Arterien auf. Sie fängt die Spannungen durch Pulswelle und Druck auf und kann die Gefäßweite variieren. Dadurch reguliert sie den Blutdruck.
 - **äußerste Schicht (Tunica externa):** Gefäße und das umgebende Gewebe werden von der aus Bindegewebe aufgebauten Tunica externa miteinander verbunden. In ihr befinden sich auch kleinste Gefäße, die die Muskelwandung ernähren.

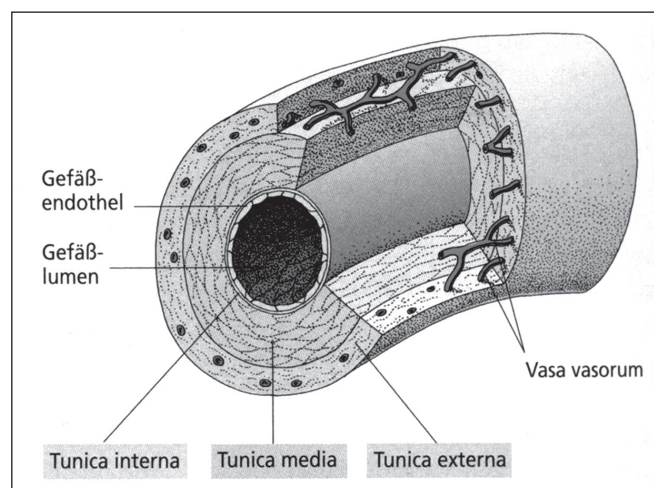


Abbildung 28: Schichtaufbau einer Arterie
(MENCHE 2007, S. 248)

Die **Tunica media** ist bei den Arterien besonders stark entwickelt. In der Aorta und den von ihr abgehenden großen Arterien ist ihr Anteil an elastischen Fasern besonders hoch. Je größer die Entfernung der Arterien vom Herzen, umso mehr werden die elastischen Lamellen durch glatte Muskulatur ersetzt. In den Arteriolen schließlich besteht die Media ausschließlich aus einer Lage schraubenförmiger Muskelfasern. Ihre Aufgabe besteht darin, die Blutzufuhr des Kapillarsystems zu dem jeweiligen Körperbereich zu regeln, indem sie sich mit der speziell angeordneten Muskelfaserschicht verengen oder erweitern.

4.3.2 Kapillaren

Im Kreislauf liegen die Kapillaren zwischen den Arteriolen und den Venolen und verbinden die Arterien mit den Venen. Ihr Durchmesser ist mit 0,004 bis 0,025 mm so gering, dass sie ohne Hilfsmittel kaum wahrgenommen werden können. Dies hat ihnen auch den Namen **Haargefäße** eingebracht. Der Gesamtquerschnitt der Kapillaren ist jedoch der größte des Gefäßsystems, sodass es hier zu einem erheblichen Druckabfall kommt, der wiederum die Austauschvorgänge zwischen Blut und Gewebe wesentlich erleichtert, da die Fließgeschwindigkeit des Blutes in den Kapillarregionen deutlich abnimmt.

Den dreischichtigen Aufbau der Arteriengefäßwand weisen die Kapillaren nicht auf. Ihre Wand ist hauchdünn und besteht lediglich aus einer einzigen Schicht von Endothelzellen, die auf einer feinen und elastischen Bindegewebehaut mit einer Art Kittsubstanz befestigt sind. Dieser Aufbau ermöglicht den Gasaustausch (innere und äußere Atmung) sowie den Austausch von Stoffwechselprodukten. Hierzu besitzen sie eine relativ geringe Länge von 0,75 bis 2 mm.

Aufbau

4.3.3 Venen

Die Gefäßwand der Venen ist ähnlich strukturiert wie diejenige der Arterien. Die beschriebenen drei Schichten sind jedoch nicht so deutlich sichtbar. Insgesamt sind die Venen dünnwandiger als die Arterien. Die Tunica media ist in der Regel nur schwach entwickelt. Die äußerste Schicht ist dagegen stark ausgeprägt. Nur so können besonders die herznahen Venen der Sogwirkung standhalten, die durch das arbeitende Herz verursacht wird, ohne in sich zusammenzufallen.

Aufbau

Die Venen werden gemeinsam mit der rechten Herzhälfte und den Gefäßen des kleinen Kreislaufs als **Niederdrucksystem** bezeichnet, da hier der Blutdruck mit 15 mm Hg relativ niedrig ist. Es beinhaltet etwa 80 % der Gesamtblutmenge und fungiert daher auch als Blutreservoir.

Verantwortlich für den Rückstrom des Blutes zum Herzen ist neben dem verbleibenden Blutdruck auch der durch die Systole des Herzens hervorgerufene Sog sowie die Skelettmuskulatur, die durch ihre Kontraktion Druck auf die Venen ausübt, wobei sie von den **Venenklappen** unterstützt wird.

Funktion

Die **Venenklappen** sind eine Besonderheit der Venen. Sie leiten den Blutstrom in Richtung Herz. Es handelt sich bei ihnen um zum Herzen geöffnete Taschen, die in erster Linie in herzfernen Körperbereichen, wie z. B. Armen und Beinen, vorkommen und ähnlich gebaut sind wie die Taschenklappen des Herzens. In größeren Venen beträgt der Abstand zwischen zwei Klappen ca. 20 cm, in kleineren nur wenige Zentimeter. In diesen Regionen sind Venen und Arterien von einer gemeinsamen Binde-

gewebehülle umgeben und so eng aneinander gekoppelt. Der Puls der Arterien drückt die Venen zusammen. Gleichzeitig verhindern die Venenklappen den Rückstrom des Blutes. Dadurch fließt das Blut in Richtung des Herzens. Bei defekten Venenklappen sollte deshalb während körperlicher Aktivität der vom Arzt verordnete Kompressionsstrumpf getragen werden.

Venösen Zirkulationsstörungen kann durch gezielten und dosierten Gesundheitssport vorgebeugt werden. Dabei werden Positionen bevorzugt, bei denen die untere Extremität über Herzhöhe gehalten wird. Es erfolgt eine Aktivierung der **Muskelpumpe (Venenpumpe)** durch Anspannen und Entspannen der Beinmuskulatur.

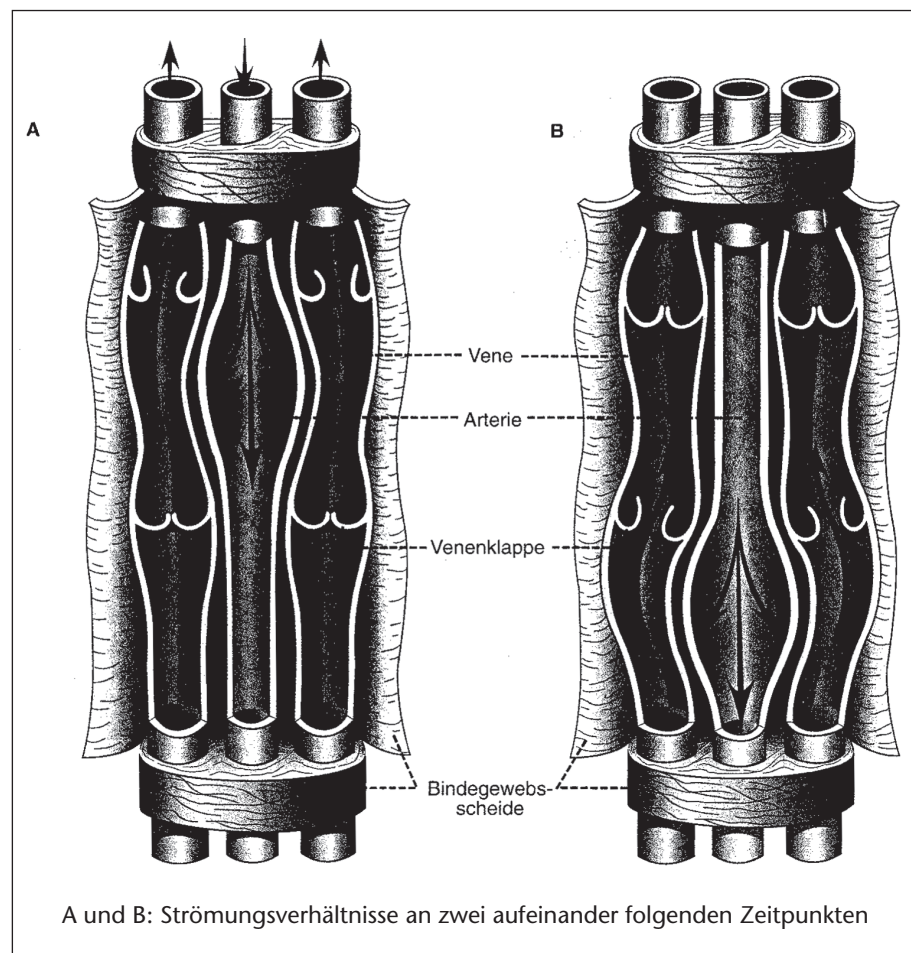


Abbildung 29: Unterstützung des Blutstroms der Venen zum Herzen hin durch die Pulswelle der benachbarten Arterie (SPECKMANN/WITTKOWSKI 2004)

Exkurs: „Venenpumpe“

Etwa fünfeinhalb Liter Blut fließen durch die Gefäße des Menschen. In der Lunge wird das Blut mit Sauerstoff angereichert. Von dort fließt es über das Herz zu den übrigen Organen. Die Venen sind das Entsorgungssystem des Blutkreislaufs. Das heißt, sie transportieren Abfallstoffe zur „Müllverbrennungsanlage“ unseres Körpers (Leber) und leiten das inzwischen sauerstoffarme Blut wieder zum Herzen zurück. Keine leichte Aufgabe, denn die Venen müssen gegen die Schwerkraft arbeiten. Könnten sie das nicht, würde sich das Blut in den Füßen stauen. Genau das passiert nämlich, wenn die Beine anschwellen und schmerzen. Damit die Venen ihre Arbeit gut verrichten können, sind sie besonders ausgerüstet: Die Venen sind meist in Muskulatur eingebettet. Der Wechsel zwischen An- und Entspannung dieser Muskeln wirkt dabei wie eine Pumpe auf die Venen. Daher spricht man auch von der **„Muskel-Venen-Pumpe“**.

Als Venenpumpe werden sämtliche Muskeln und Gelenke bezeichnet, die die Venen zusammenpressen und so das Blut nach oben pumpen. Mit folgenden Übungen kann die Venenpumpe aktiviert werden:

Aktivierung der Venenpumpe

- Ziehen Sie im Stand jeweils das linke und das rechte Knie nach oben.
- Heben Sie das rechte Bein etwas an. Beschreiben Sie mit Ihrer rechten Fußspitze große Kreise; ziehen Sie dann die Fußspitze kräftig an – anschließend strecken. Das Gleiche mit dem linken Fuß.
- Verlagern Sie Ihr Gewicht von beiden Fersen auf die Fußballen und zurück. Mehrmals wiederholen, bis Sie ein leichtes Ziehen in den Waden spüren.
- Drücken Sie mit Ihrer Fußsohle (am besten in Strümpfen oder barfuß) sanft auf einen Noppen- oder Tennisball. Bewegen Sie nun Ihren Fuß vor und zurück, ohne den Kontakt mit dem Ball zu verlieren. Verstärken Sie allmählich den Druck.
- Heben Sie im Sitzen abwechselnd rhythmisch die Fersen an und setzen Sie sie wieder auf den Boden ab.

Ende des Exkurses

Lernkontrollfragen zu Kapitel 4 ?

Aufgabe 4.1

Wie wird das Kreislaufsystem unterteilt und welche Arten von Gefäßen gibt es?

Aufgabe 4.2

In wie viele Hohlräume ist das Herz aufgeteilt? Wie heißen sie und welche Gefäße gehen von ihnen ab bzw. münden dort?

Aufgabe 4.3

Wie heißen die großen das Herz versorgenden Gefäße und wo verlaufen sie?

Aufgabe 4.4

Welche Arten von Herzklappen kennen Sie? Was ist ihre Aufgabe und wo liegen sie?

Aufgabe 4.5

In welcher Phase des Herzzyklus wird das Blut in die Arterien gepumpt? Was geschieht in den anderen Phasen?

Aufgabe 4.6

Von welchem autonomen Erregungszentrum wird der Rhythmus des Herzens bestimmt und aus welcher Art von Gewebe besteht es?

Aufgabe 4.7

Die Wand der Arterien und Venen wird aus mehreren Schichten aufgebaut. Wie heißen sie und welche sind bei den jeweiligen Gefäßen besonders ausgeprägt?

5. Immunsystem

5.1 Abwehrreaktionen

5.2 Lymphsystem

Kapitel 5

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ zu erläutern, wie die Abwehrreaktionen des Körpers gegen körperfremde Stoffe in Gang gesetzt werden;
- ▶ die Rolle des Lymphgefäßsystems im Menschen zu erläutern.

5.1 Abwehrreaktionen

Dringen körperfremde Stoffe, d. h. beispielsweise artfremde Eiweiße, Viren oder Bakterien, in den Organismus ein, so werden Abwehrreaktionen in Gang gesetzt, die den Körper vor Krankheitserregern schützen sollen. Diese Fähigkeit bezeichnet man als Immunität.

Dabei ist die unspezifische Abwehrreaktion angeboren und ermöglicht eine sofortige Bekämpfung aller artfremden Substanzen. Davon wird die auf bestimmte körperfremde Stoffe ausgerichtete spezifische Abwehrreaktion abgegrenzt. Sie ist erworben und wird erst mit einer zeitlichen Verzögerung wirksam. Des Weiteren werden humorale, d. h. im Plasma befindliche Eiweiße (Plasmafaktoren) und zelluläre Faktoren, also eine Abwehr durch Zellen, unterschieden.

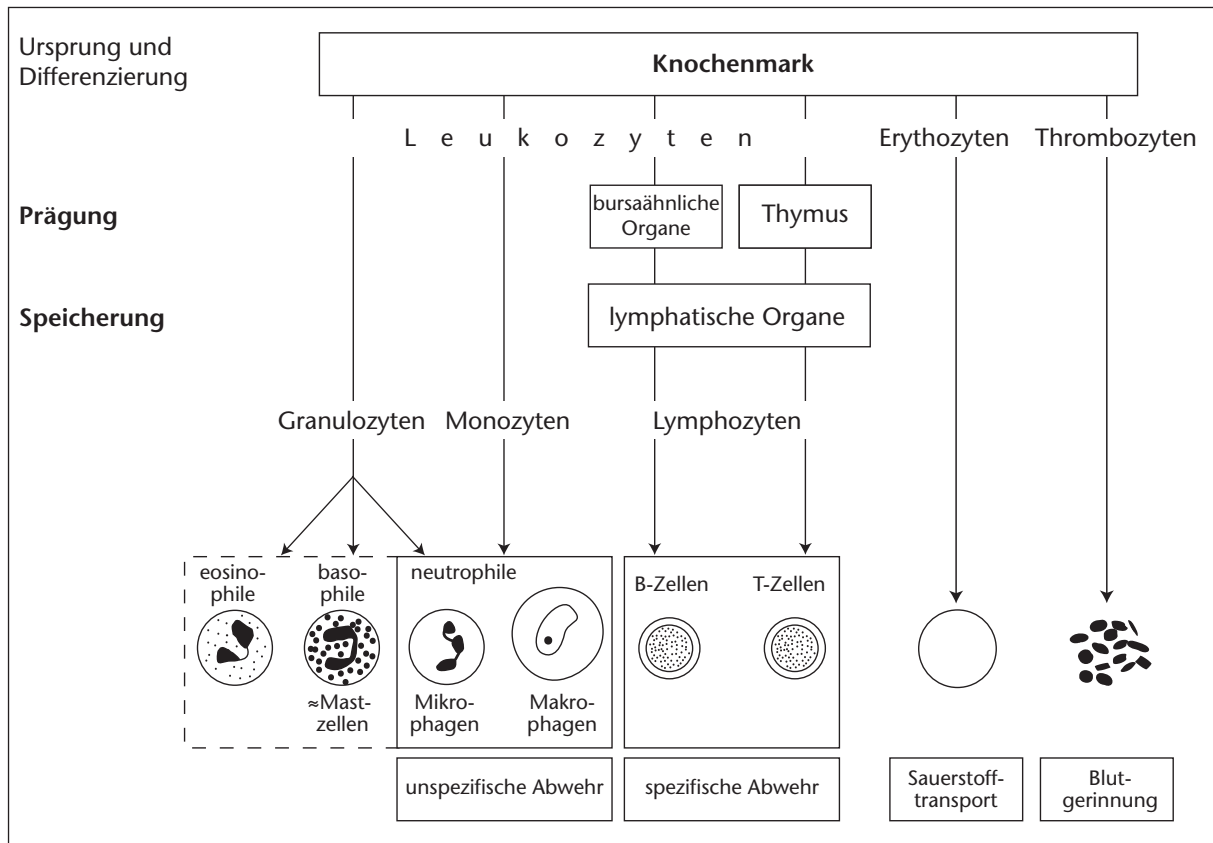


Abbildung 30: Ursprung sowie Prägung, Speicherung und Wirkung der Blutzellen zur Abwehr körperfremder Substanzen (SPECKMANN 1994)

Die unspezifische humorale Abwehrreaktion

Zur unspezifischen humoralen Abwehr von Krankheitserregern verfügt das Immunsystem über eine Reihe verschiedener Substanzen, von denen die folgenden drei die wichtigsten sind:

1. Das sogenannte **Komplementsystem**, welches aus unterschiedlichen Eiweißkörpern besteht, die sich gegenseitig beeinflussen. Zum einen erleichtern sie die Phagozytose der eingedrungenen Erreger und andererseits beschleunigen sie deren Absterben.
2. Das **Lysozym**, das die Wände bestimmter Bakterien zersetzt und sie so zerstört.
3. Das **Interferon**, eine Substanz, die bei Virusinfektionen die Vermehrung der Viren hemmt.

Die unspezifische zelluläre Immunreaktion

Die unspezifische zelluläre Immunreaktion erfolgt durch sogenannte Fresszellen, auch phagozytierende Zellen genannt, die in große (Makrophagen) und kleine (Mikrophagen) unterteilt werden. Bei den Mikrophagen handelt es sich um neutrophile Granulozyten. Sie stehen schnell in großer Zahl zur Verfügung, leben jedoch nur kurz. Die weitere Abwehr übernehmen dann die Makrophagen, die in zwei Gruppen unterteilt werden:

1. **Gewebsmakrophagen:** Zu ihnen gehören Retikulumzellen (= Bindegewebszellen vieler innerer Organe) und Histiozyten (mobile Bindegewebszellen).
2. **Blutmakrophagen** (= Monozyten): Wie Amöben (einzellige Lebewesen) haben sie die Fähigkeit zur Eigenbewegung und können sogar durch die Gefäßwände hindurchtreten. Man nennt sie daher auch Wanderzellen. Durch chemische Fremdstoffe angelockt, heften sie sich an die Krankheitserreger an, umschließen sie im Anschluss daran und nehmen sie auf. Die Erreger werden dann lysiert (aufgelöst), also vernichtet. Die Fresszellen selbst sterben ab und bilden Eiterkörperchen.

Die spezifische humorale Abwehrreaktion

Die spezifische humorale Immunabwehr des Menschen ist gekennzeichnet durch eine besondere Reaktion des Immunsystems, die Antigen-Antikörper-Reaktion. Daran sind spezielle Lymphozyten, die B-Lymphozyten, beteiligt. Sobald sie auf einen körperfremden Stoff, das sogenannte Antigen, treffen, beginnen sie, sich zu vermehren. Ihre Tochterzellen unterteilt man in Plasmazellen und Gedächtniszellen.

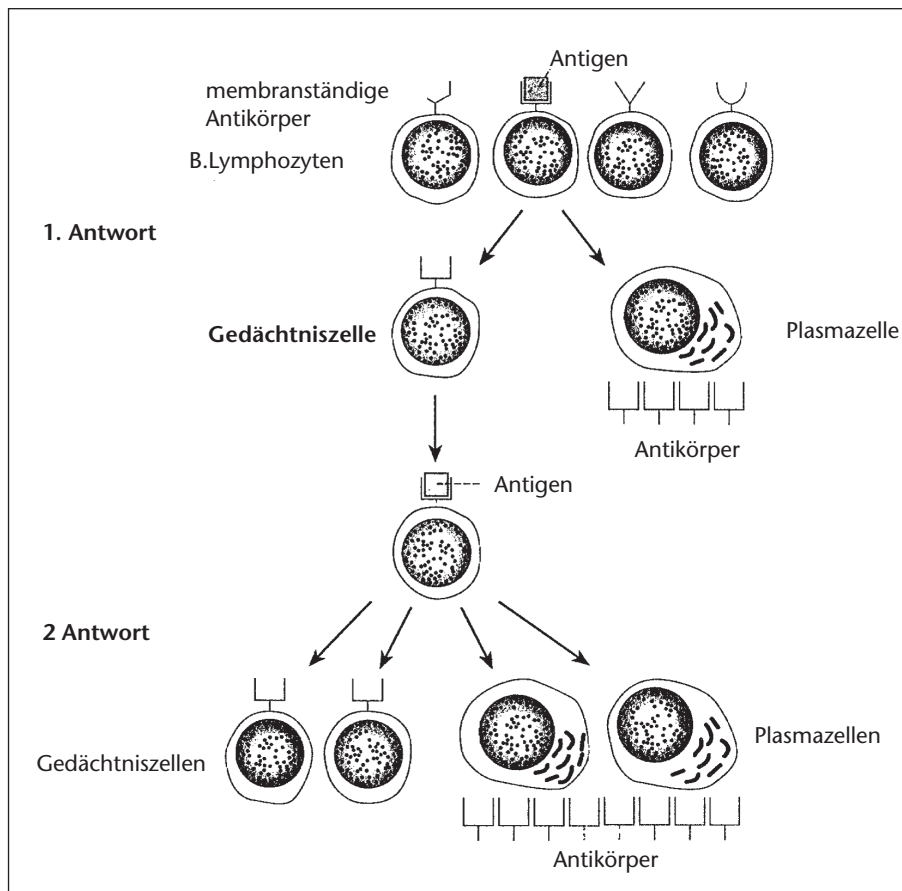


Abbildung 31: Spezifische Abwehr körperfremder Substanzen mithilfe der B-Lymphozyten (SPECKMANN 1994)

Die Plasmazellen synthetisieren die Antikörper und geben sie ins Blut ab. Bei ihnen handelt es sich um spezifische Abwehrstoffe, die im Allgemeinen zur Gruppe der Gamma-Globuline zählen und sich gegen spezielle Antigene, z. B. gegen einen ganz bestimmten Bakterienstamm, richten. Die y-förmigen Antikörper „erkennen“ bestimmte Strukturen, die Determinanten, auf der Oberfläche der Antigene. Die Determinante und der Antikörper passen wie Schlüssel und Schloss zusammen. Durch das Andocken der Antikörper an die körperfremde Substanz wird deren Auflösung in Gang gesetzt.

Bei jedem weiteren Kontakt mit diesem Antigen vermehren sich die „zuständigen“ Gedächtniszellen, in denen die aus der Erstantwort bekannte Antikörperstruktur gespeichert ist. Von ihnen geht dann sehr viel rascher als beim Erstkontakt die Abwehrreaktion aus. Es hat sich eine Immunität entwickelt (vgl. SILBERNAGEL 1983; SPECKMANN 1994).

Die spezifische zelluläre Abwehrreaktion

In erster Linie erfolgt die spezifische zelluläre Immunreaktion durch eine besondere Form von Lymphozyten, die **T-Lymphozyten**. Sie wird auch verzögerte Abwehrreaktion genannt.

Bei der unspezifischen zellulären Abwehr werden Erreger durch Makrophagen phagozytiert. Diese Fresszelle ist nicht in der Lage, alle phagozytierten Erreger zu vernichten und sendet sogenannte lymphozytenaktivierende Faktoren (Interleukin) aus. Diese Substanzen regen die T-Lymphozyten zu vermehrter Teilung an, wobei Gedächtniszellen und spezielle T-Lymphozyten entstehen. Letztere setzen sogenannte Lymphokine frei. Durch sie erfolgt eine Aktivierung der Makrophagen, die erst jetzt die intrazellulären Erreger vollständig abtöten können.

Diese Aktivierung der Makrophagen läuft auch bei der Hemmung und Abtötung von Tumorzellen und bei der Abstoßung von transplantierten (körperfremden) Organen ab.

Immunsystem und sportliches Training

Unsere Umwelt enthält eine Vielzahl infektiöser Mikroorganismen wie Viren, Bakterien, Pilze und Parasiten. Sie unterscheiden sich in ihrer Größe, Struktur, Lokalisation und Schädlichkeit. Der menschliche Körper hat ein hochdifferenziertes Abwehrsystem entwickelt, um sich gegenüber diesen Krankheitserregern zu schützen und pathologische Schädigungen zu verhindern und seinen Zustand der Immunität (lateinisch immunitas = gefeit sein) aufrechtzuerhalten.

Wie die folgende Abbildung zeigt, beeinflussen verschiedene Faktoren die körpereigene Immunabwehr.

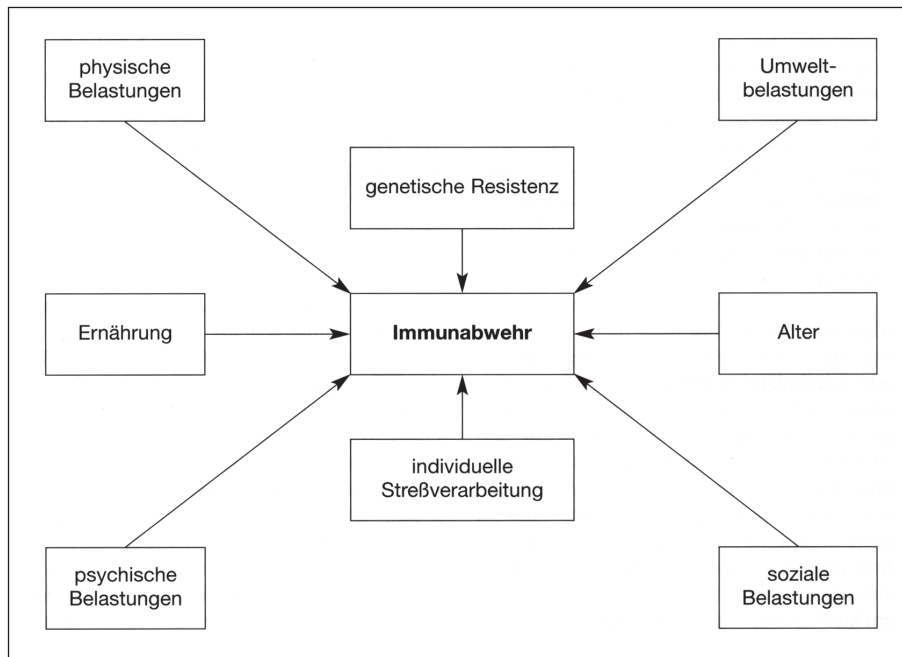


Abbildung 32: Verschiedene Faktoren, die die Immunabwehr beeinflussen (WEINECK 2004)

Einen bedeutsamen Faktor für die Beeinflussung des Immunsystems stellt die körperliche Aktivität bzw. die sportliche Belastung dar. Wie die folgenden Ausführungen verdeutlichen, kann es dabei in Abhängigkeit von der Art, dem Umfang und der Intensität der Belastung zu biopositiven bzw. bionegativen Anpassungen kommen. Je nach Zeitdauer und Intensität der Belastungen kommt es zu unterschiedlichen Änderungen in der hormonellen Regulation, die ihrerseits wiederum das Immunsystem beeinflussen. Im Wesentlichen lassen sich nach akuter körperlicher Belastung zwei separate Reaktionsphasen unterscheiden, eine Sofortreaktion und eine verzögerte Immunreaktion, auf die im Rahmen dieses Studienheftes nicht näher eingegangen wird.

Regelmäßig betriebener moderater Ausdauersport trainiert und optimiert die Abwehrmechanismen und damit auch das physische und psychische Wohlbefinden. Intensive Trainingsbelastungen und Wettkämpfe im Bereich bzw. oberhalb der anaeroben Schwelle hingegen schwächen das Immunsystem. Biopositive, also gesundheitsfördernde Belastungen sollten demnach deutlich unterhalb dieser Intensitäten liegen (am besten im Bereich der aeroben Schwelle).

Neben rein sportlichen Überbelastungen – zu umfangreiches, zu häufiges anaerobes Training – kann auch eine Reihe anderer Einflussfaktoren das Immunsystem bionegativ belasten, wie z. B. unzureichende körperliche Regeneration, Infektionen, Schlafmangel, Höhengaufenthalte, Interkontinentalreisen mit Zeitverschiebung, psychischer Disstress, Fehlernährung usw.

Die wesentliche Empfehlung und Maßnahme bei einem sich anbahnenden Infekt ist die deutliche Verminderung oder Unterbrechung der Trainingsbelastung und die drastische Verminderung infektionsbegünstigender Stressoren.

Merke



Besser trainierte bzw. jüngere Personen weisen einen günstigeren Immunstatus auf als weniger trainierte bzw. ältere Menschen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass hochintensive, vor allem laktazide Belastungen und überlastende Trainingsphasen zu einer verminderten Abwehrlage führen, ausreichende Regeneration hingegen zu einer Erholung des Immunsystems beiträgt. Demgegenüber führen extensive, umfangsbetonte (lang und langsam) Ausdauerbelastungen bis zu einer Dauer von einer Stunde zu einer Stimulation bzw. Stärkung des Immunsystems (vgl. WEINECK 2004).

5.2 Lymphsystem

Das den ganzen Körper durchziehende Lymphsystem ist als Ergänzung zum Blutgefäßsystem anzusehen. Zum lymphatischen System gehören neben den Lymphbahnen die Lymphknoten, die Mandeln (Tonsillen), die Milz und lymphatisches Gewebe auf Schleimhäuten. Sein vielfach verästeltes Gefäßnetz beginnt mit den Lymphkapillaren blind im Gewebe und vereinigt sich zu immer größeren Lymphbahnen. Diese wiederum laufen in den Lymphknoten zusammen. Dort werden sie über große „Sammelbahnen“ weitergeführt und münden schließlich in zwei großen Lymphbahnen zu beiden Seiten des Halses (im rechten und linken Venenwinkel hinter dem Sternoklavikulargelenk) in die Halsvene.

Sie nimmt überschüssige Flüssigkeit aus dem Zwischenzellraum (Interstitium) auf und führt diese dem Blut in gefilterter Form (von Abfallstoffen, toten Zellen und Bakterien) wieder zu. Die Lymphe ist eine farblose, plasmaähnliche Flüssigkeit, die kaum Eiweißstoffe und Blutzellen enthält. Sie entsteht durch den Austritt von Blutplasma (ca. 10 %) aus den Blutkapillaren und führt dem Gewebe die benötigten Nährstoffe zu. Weiterhin transportiert das Lymphsystem Nahrungsfette aus dem Darm.

Das Lymphsystem hat also eine **Transportfunktionen** und eine **Schutzfunktion**. Geschwollene **Lymphknoten** signalisieren eine Infektion im Körper. Die gleiche Schutzfunktion wie Lymphknoten haben die lymphatischen Organe, wie z. B. Milz und Mandeln.

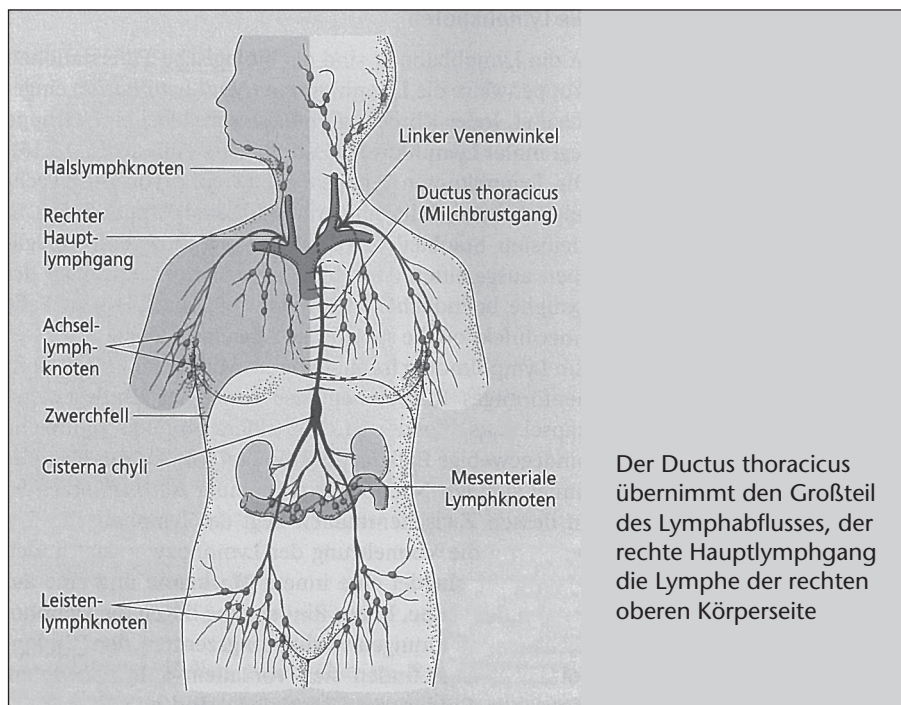


Abbildung 33: Wichtige Lymphbahnen und Lymphknotenstationen (MENCHE 2007, S. 219)

Lernkontrollfragen zu Kapitel 5 _____ **?**

Aufgabe 5.1

Erläutern Sie die spezifische Abwehrreaktion im Gegensatz zur unspezifischen.

Aufgabe 5.2

Was versteht man unter dem lymphatischen System und welche Funktion hat es im menschlichen Körper?

6. Nervensystem

6.1 Nervenzelle

6.1.1 Anatomische Merkmale

6.1.2 Erregungsprozesse

6.2 Zentralnervensystem

6.2.1 Rückenmark (Medulla spinalis)

6.2.2 Gehirn

6.3 Peripheres Nervensystem

6.4 Vegetatives Nervensystem

Kapitel 6

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ die Bauelemente des Nervensystems und ihre Grundfunktionen zu kennen;
- ▶ einen Überblick über die Gliederung des Nervensystems zu geben;
- ▶ die Aufgaben sowie die innere Struktur der einzelnen Abschnitte des Nervensystems zu verstehen.

Einführung Keine Gelenkbewegung ist möglich ohne den Einsatz von Nerven. Sie geben den entscheidenden Impuls, koordinieren und regulieren. Das Nervensystem ist die große Steuereinheit unseres Organismus. Über die Nerven sind die Muskeln mit dem Gehirn verbunden. Über die Nerven erreichen uns Eindrücke von außen, ob optisch, taktil, akustisch, geruchlich oder geschmacklich. Und über die Nerven können wir darauf reagieren.

Somit ist die Abhandlung des Nervensystems eine selbstverständliche Voraussetzung, wenn man sich mit Bewegungen oder Training befassen möchte.

Reizbarkeit Ein charakteristisches Merkmal des Lebendigen ist die **Reizbarkeit**, d. h. die Fähigkeit, Reize aus der Umwelt oder dem Körperinneren aufzunehmen, zu verarbeiten und darauf zu reagieren. Die Reizleitung und -verarbeitung ist Aufgabe des Nervensystems. Es koordiniert alle Körperfunktionen, stimmt sie aufeinander ab und ermöglicht so, dass aus den einzelnen Bauelementen des Körpers, wie z. B. Muskeln und Organen, eine funktionierende Einheit, der Organismus, entsteht. Über das Nervensystem werden die einzelnen Funktionsabläufe und Tätigkeiten der verschiedenen Körpersysteme gesteuert. Beim Anblick einer leckeren Speise wird dem Magen beispielsweise mitgeteilt: „Achtung, gleich gibt es Arbeit. Magensäure produzieren!“ Die Bewegungen der Muskulatur, egal ob sie bewusst oder aufgrund von Reflexen erfolgen, werden ebenfalls vom Nervensystem gesteuert. Es nimmt die Informationen der Sinnesorgane auf, wertet sie aus und registriert sie als Empfindungen.

Das menschliche Nervensystem hat zudem ganz besondere Eigenschaften. So bildet das Zentralnervensystem die Grundlage für die folgenden Leistungen:

- das menschliche Bewusstsein (z. B. die Abgrenzung der eigenen Person von anderen Personen)
- seelisches Empfinden (Freude, Ekel etc.)
- Sprache (als Mittel der Verständigung auf hohem Niveau)
- Ethische Wertvorstellungen
- Denken und Abstraktionsvermögen
- Motivation und Antrieb (ohne notwendigen Antrieb)
- Kreativität

Um seiner schwierigen Aufgabe gerecht zu werden, besteht das Nervensystem aus einem besonders differenzierten Gewebe, dem **Nervengewebe**.

Es setzt sich zusammen aus zwei verschiedenen Zelltypen:

Zelltypen

- den **reizbaren Nervenzellen**, auch Neurone, Ganglienzellen oder Neurozyten genannt. Sie bilden das Funktionselement des Nervengewebes.
- den **unerregbaren Gliazellen**, die auch als Neuroglia bezeichnet werden. Es handelt sich bei ihnen um Stützzellen, die außerdem die Nervenzellen vor Schadstoffen schützen, ernähren und gegeneinander isolieren.

Gemeinsam bauen diese zwei Arten von Zellen ein **neurales Netzwerk** auf, das den gesamten Organismus gleich einem weitverzweigten Baum durchzieht. Dabei können aus anatomischer und physiologischer Sicht folgende Abschnitte unterschieden werden:

Neurales Netzwerk

- **Zentralnervensystem (ZNS)**, bestehend aus Gehirn und Rückenmark;
- **peripheres Nervensystem**, zu dem alle Nerven zählen, die von den Sinnesorganen Meldungen zum Rückenmark und zum Gehirn leiten, sowie alle Nerven, die von dort Befehle an die Zielorgane übermitteln;
- **autonomes oder vegetatives Nervensystem**, auch Innenwelt-nervensystem genannt, da es der Regulation und Abstimmung der inneren Organe dient.

Vom funktionellen Gesichtspunkt unterscheidet man ferner:

- **efferente Neuronen**, die Informationen vom Rückenmark zu den Muskeln (motorische Neuronen) und Organen leiten;
- **afferente Neuronen**, die Impulse von der Peripherie und den Organen zum Zentralnervensystem senden.

6.1 Nervenzelle

6.1.1 Anatomische Merkmale

Insgesamt enthält das Nervensystem des Menschen circa 10 bis 100 Milliarden Neuronen, wobei eine große Zahl verschiedener Typen existiert, die sich in Form und Größe unterscheiden.

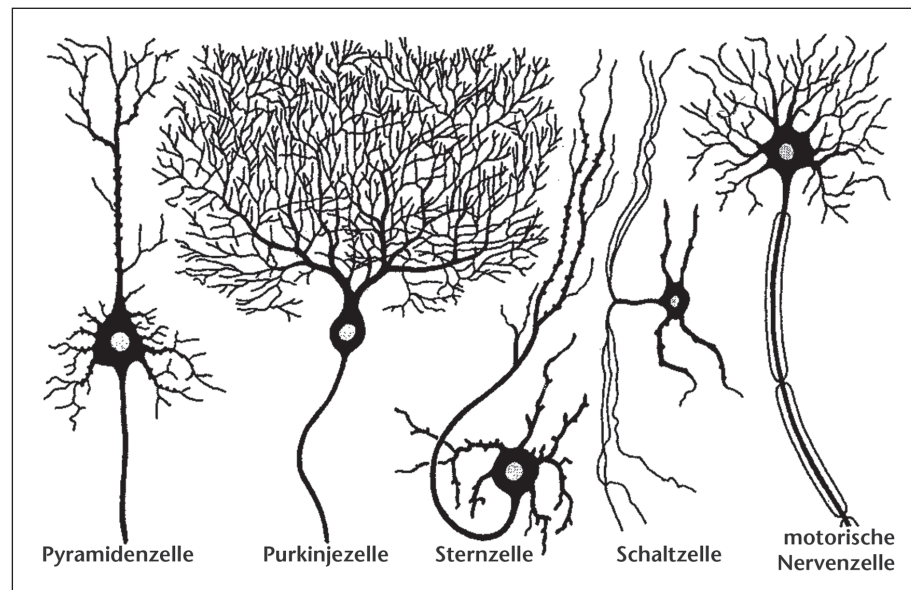


Abbildung 34: Verschiedene Typen von Nervenzellen
(BAUER 1983)

Sie alle weisen die typischen Elemente einer tierischen Zelle auf, besitzen daneben jedoch einige wichtige Besonderheiten, die ihnen die Ausübung ihrer speziellen Aufgaben ermöglichen und trotz der bestehenden Unterschiede allen Neuronen gemeinsam sind. So sind sie durch eine besonders intensive Stoffwechselaktivität gekennzeichnet. Sie verbrauchen etwa 20 % des Grundumsatzes. Die anatomischen Kennzeichen sollen nun anhand der nachfolgenden Abbildung erläutert werden.

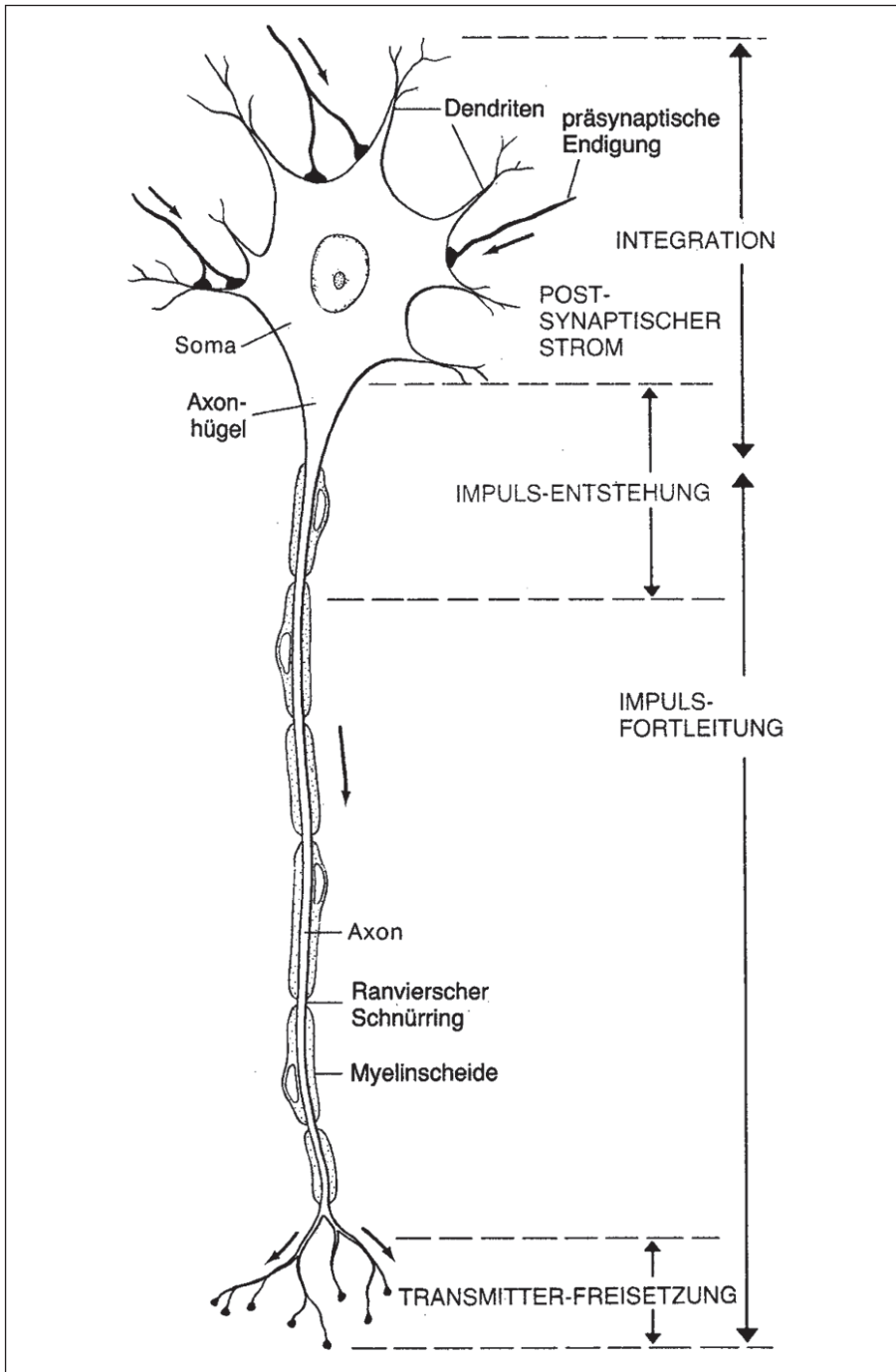


Abbildung 35: Motorisches Neuron eines Wirbeltieres mit Bezeichnung der verschiedenen Teilfunktionen. Axon und umgebende Myelinscheiden sind im Längsschnitt dargestellt (ECKERT 2002)

- Dendriten** Der größte Teil des Cytoplasmas sowie der Zellkern befinden sich im Zellleib, auch Zellkörper oder **Soma** genannt, der einen Durchmesser von etwa 30 µm besitzt. Von dort gehen zahlreiche kurze, unter Umständen wie die Äste eines Baumes verzweigte Ausläufer ab, die **Dendriten** (griech. dendron = Baum). Ihre Länge beträgt 100 bis 300 µm, sodass sie mehrere Zellen eines Gewebes überbrücken können. Sie dienen als Empfangsorgan der Nervenzelle, nehmen also Informationen von anderen Nerven- oder Sinneszellen auf und leiten sie zum Soma der Zelle.
- Axon** Daneben besitzen Neuronen einen einzigen langen Fortsatz, der **Axon** (griech. Axon = Stab) oder **Neurit** heißt und am Axonhügel entspringt. Seine Aufgabe besteht in der Weiterleitung der Information vom Zellkörper weg über zum Teil sehr weite Strecken bis zur Zielzelle. Ein Axon kann bis zu einem Meter lang sein. So zieht der N. ischiadicus von der Wirbelsäule bis in den Fuß hinein und versorgt die gesamte untere Extremität mit Ausnahme der vorderen Oberschenkelmuskulatur. Das Axon endet ebenfalls in zahlreichen Verzweigungen, wobei jeder Ast in einer kugelförmigen Verdickung, dem **Endknöpfchen**, auch synaptisches Endknöpfchen genannt, mündet. Über die Endknöpfchen nimmt die Nervenzelle Kontakt mit der Zelle auf, an die sie ihre Informationen überträgt. Dies kann eine weitere Nervenzelle sein, wobei die Endknöpfchen an Dendriten angelegt sind; es kann sich aber auch um Muskel- oder Drüsenzellen handeln. Auf diese Weise innerviert ein Axon eine Vielzahl von Muskelfasern. Man spricht aufgrund der Ausdehnung auch von einer **motorischen Einheit**.
- Synapse** Der Übergang zwischen zwei Neuronen wird als **Synapse** (griech. synhaptein = zusammenfügen) bezeichnet. Die beiden benachbarten Zellen berühren sich nicht direkt, d. h., es befindet sich zwischen den Zellmembranen ein extrazellulärer Raum, der als synaptischer Spalt bezeichnet wird und etwa 10 bis 40 nm breit ist. Besonders das Gehirn ist aus diesem Grund sehr empfindlich gegenüber Erschütterungen. Gegen den Kopf gerichtete Boxhiebe, Kopfbälle und ähnliche Erschütterungen können daher eine Auflösung der Synapsenverbindung herbeiführen und so bleibende Schäden nach sich ziehen.

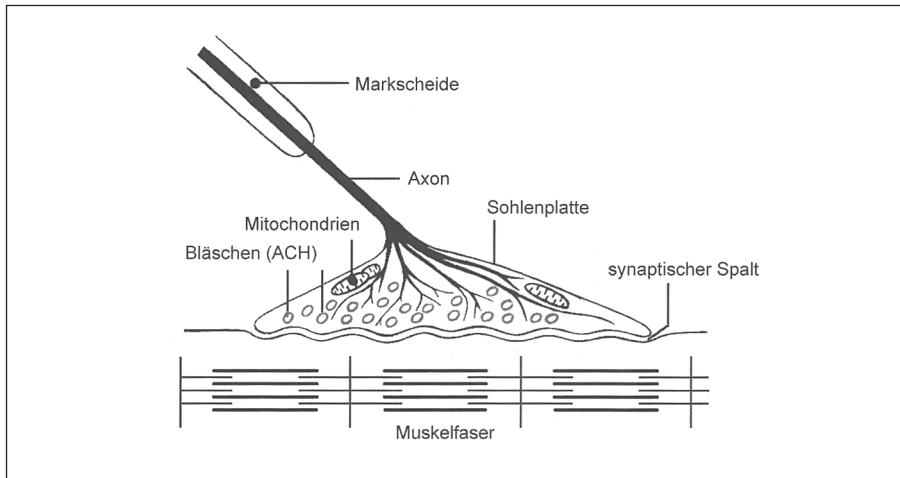


Abbildung 36: Struktur der motorischen Endplatte
(DE MARÉES 2003, S. 51)

Ein Neuron kann bis zu 10.000 Synapsen ausbilden, sodass die Dendriten der nachgeschalteten Nervenzellen von einem Teppich aus eng beieinander stehenden Synapsen besiedelt sind.

Bei manchen Neuronen, wie auch bei dem oben dargestellten motorischen Neuron, sind die Axone von einer isolierenden Markscheide umgeben. Sie werden daher auch als **markhaltige Axone** von den marklosen, keine derartige Hülle besitzenden Neuriten abgegrenzt. Diese Isolationsschicht wird von einem speziellen Typ von Gliazellen, den **Schwann'schen Zellen**, gebildet, die sich in konzentrischen Schichten um das Axon herumwinden. Sie hat daher einen lamellenartigen Aufbau und besteht aus Myelin, einer fett- und eiweißreichen Substanz, weshalb sie auch die Bezeichnung **Myelinscheide** trägt.

Die Geschwindigkeit, mit der das Axon Informationen weiterleitet, wird, wie wir noch sehen werden, durch sie erheblich gesteigert. Etwa alle 1 bis 3 mm ist die Markscheide durchbrochen – man spricht nach ihrem Entdecker von den Ranvier'schen Schnürringen.

Die Neuriten vereinigen sich zu Bündeln und durchziehen so den menschlichen Körper. Diese kabelähnlich aufgebauten Stränge werden **Nerven** genannt. Im Zentralnervensystem fehlt das Bindegewebe, man spricht hier aus diesem Grund vom Faserbündel oder **Tractus**.

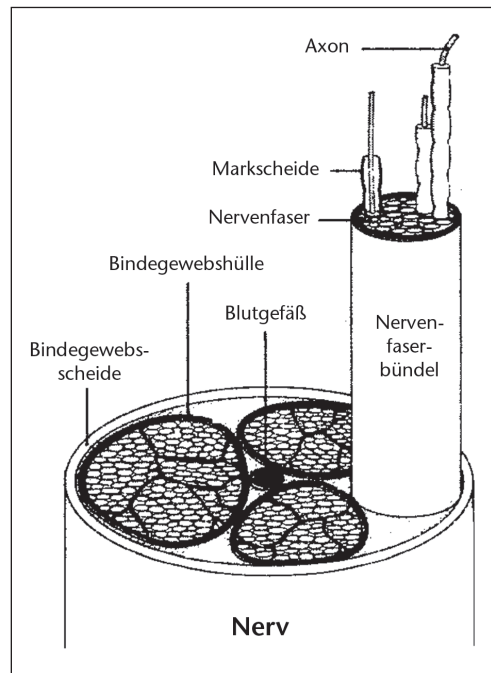


Abbildung 37: Bau eines Nervs
(HOFF/JAENICKE/
MIRAM 1995)

Die Reifung neuronaler Strukturen als Grundlage der motorischen Entwicklung findet hauptsächlich in dem Zeitraum etwa vom letzten Drittel der Schwangerschaft bis zum Ende des 1. Lebensjahres statt. Wichtige Reifungsvollzüge finden außerdem bis zum Ende des 4. Lebensjahres statt. Bereits im frühen Entwicklungsverlauf gewinnt die Förderung der motorischen Aktivität eine große Bedeutung. Regelmäßiges Üben mit dem Säugling oder Kleinkind bewirkt eine Förderung der Gesamtentwicklung des Kindes. Beispiele sind das Säuglingsschwimmen oder die Gymnastik mit Säuglingen, Eltern-und-Kind-Turnen etc.

6.1.2 Erregungsprozesse

Entstehung des Ruhepotenzials

Jede Zelle ist von einer **semipermeablen Membran** umgeben, d. h. von einer Membran, die für bestimmte Moleküle durchlässig ist, andere jedoch nicht passieren lässt. Nur so kann im Cytoplasma innerhalb der Zelle eine andere Zusammensetzung aufrechterhalten werden als im extrazellulären Medium. Dabei existieren für einige Teilchen spezielle Kanäle oder Poren, die aus einem Komplex von Proteinen bestehen und ihnen den Durchtritt durch die Membran ermöglichen. Diese Poren können durch bestimmte Veränderungen in ihrer Umgebung, deren detaillierte Erläuterung an dieser Stelle zu weit führen würde, geöffnet oder geschlossen werden.

So ist die die unerregte Nervenzelle umgebende Membran für Kaliumionen (einfach positiv geladene Kaliumteilchen) leicht passierbar, während Natriumionen (einfach positiv geladene Natriumteilchen) von ihr zurückgehalten werden. Außerdem enthält diese Membran eine sogenannte **Kalium-Natrium-Pumpe**. Dabei handelt es sich um einen Komplex aus verschiedenen Proteinen, der unter Verbrauch von Energie, also aktiv, je zwei Kaliumionen in die Zelle herein und im gleichen Zug drei Natriumionen aus ihr herauspumpt. Dadurch wird einerseits in Bezug auf diese beiden Ionen eine Konzentrationsdifferenz zwischen Zellinnerem und Zelläußeren aufgebaut. Andererseits werden gleichzeitig positive Ladungsträger aus der Zelle heraustransportiert. Dadurch wird zwischen dem Cytoplasma und dem extrazellulären Medium eine Spannung aufgebaut, da das Zellinnere gegenüber dem Extrazellularraum negativ aufgeladen wird.

Die Zusammensetzung des Cytoplasmas einer ruhenden, nicht erregten Nervenzelle unterscheidet sich somit in Bezug auf die Natrium- und Kaliumkonzentration sehr stark von der extrazellulären Flüssigkeit. Während im Zellinneren eine sehr hohe Konzentration an Kaliumionen vorliegt, ist im extrazellulären Medium der Gehalt an Natriumionen sehr hoch.

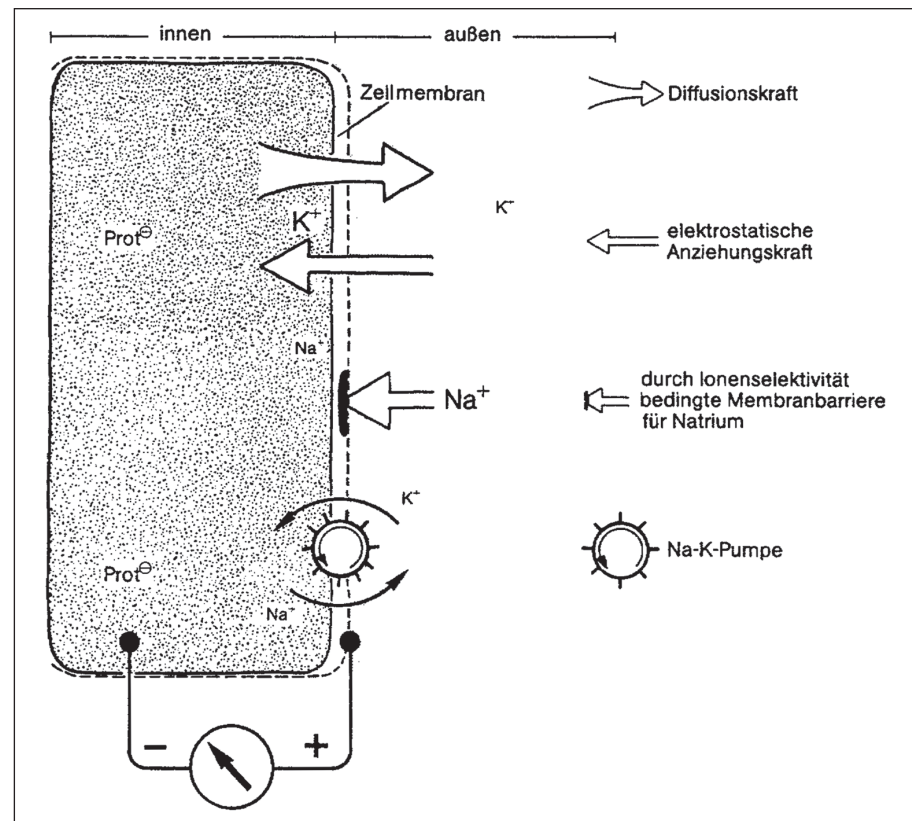


Abbildung 38: Mechanismen, die zur Entstehung des Ruhemembranpotenzials führen
(STEPHAN 1984)

Diffusion Gemäß den grundlegenden chemischen Gesetzen versuchen Moleküle, Atome oder auch Ionen aufgrund ihrer Wärmebewegung (regellose Zickzackbewegung, die allen Molekülen, Atomen und Ionen zu eigen ist und mit zunehmender Energieaufnahme, z. B. in Form von Wärme, zunimmt) **von Orten höherer zu Orten niedrigerer Konzentration** zu gelangen, sodass allmählich ein Konzentrationsausgleich erfolgt. Entsprechend sind die Natrium- und Kaliumionen bestrebt, so lange durch die Zellwand zu wandern (**Diffusion**), bis diese Konzentrationsdifferenz ausgeglichen ist. Die Natriumionen werden jedoch zum größten Teil von der Ionenpumpe wieder nach außen geschleust, da sie für diese Ionen nicht durchlässig ist. Dagegen wirken auf die Kaliumionen zwei entgegengesetzt gerichtete Kräfte:

- einerseits sind auch sie bestrebt, einen Konzentrationsausgleich herbeizuführen, indem sie durch die Zellmembran in den extrazellulären Raum wandern
- andererseits werden sie jedoch infolge der elektrostatischen Anziehungskraft negativ geladener Proteine zurückgehalten

Zwischen diesen beiden Kräften stellt sich schließlich ein Gleichgewicht ein. Es wandern so viele Kaliumionen nach außen, bis die elektrostatische Anziehungskraft so stark wird, dass sie einen weiteren Ausstrom verhindert. Auf diese Art und Weise wird das Cytoplasma gegenüber dem Interzellularraum noch stärker negativ aufgeladen, als dies bereits durch die Natrium-Kalium-Pumpe der Fall war (siehe STEPHAN 1984).

Sticht man mit einer Elektrode in das Axon einer Nervenfasern und legt eine zweite Elektrode von außen an, so misst man daher eine Spannungsdifferenz (Potenzialdifferenz) von -60 bis -90 mV. Sie wird als **Ruhepotenzial** bezeichnet, da sie nur im unerregten Zustand der Zelle in der beschriebenen Art und Größe besteht.

Verlauf des Aktionspotenzials

Mithilfe der bereits geschilderten Elektroden ist es möglich, das Membranpotenzial von außen gezielt zu verändern. In der Natur geschieht dies durch entsprechende Reize bzw. andere Nervenzellen. Generell bezeichnet man eine Verringerung des Membranpotenzials als **Depolarisation** und eine Erhöhung als **Hyperpolarisation**.

Die Depolarisation führt zur Veränderung der Membraneigenschaften: Proteinkanäle, die für Natriumionen durchlässig sind, werden geöffnet. Damit werden die positiven Natriumionen gemäß ihrem Konzentrationsgefälle nun nicht mehr, im Gegensatz zur unerregten Zelle, zurückgehalten. Vielmehr können sie nun in das Zellinnere einströmen. Da sich dadurch immer mehr positiv geladene Teilchen im intrazellulären Raum befinden, wird das Membranpotenzial auch immer positiver. Hierdurch werden noch mehr Natriumkanäle geöffnet, sodass der Einstrom von positiven Natriumionen in das Cytoplasma weiter zunimmt und damit das Membranpotenzial weiter ansteigt. Schließlich erreicht das über der Zellmembran liegende Potenzial den positiven Bereich bis hin zu etwa $+20$ bis $+40$ mV. Die Zelle wird umpolarisiert, man spricht vom sogenannten Overshoot. Vom Zeitpunkt der Erregung bis zum maximalen **Overshoot** vergeht etwa eine Millisekunde.

Depolarisation

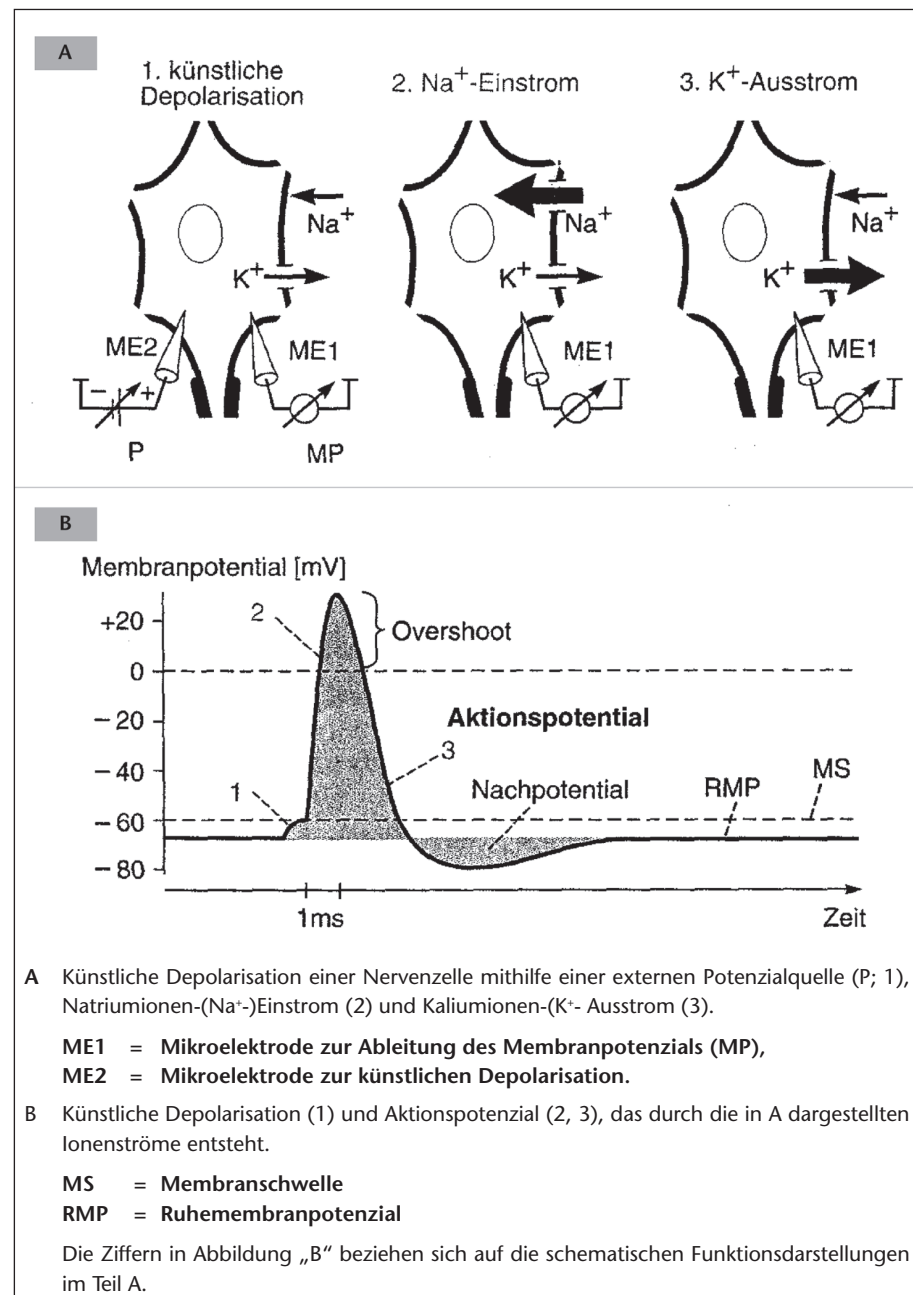


Abbildung 39: Entstehung des Aktionspotenzials
(SPECKMANN/WITTKOWSKI 1994)

Nach Ablauf dieses kurzen Zeitraums nimmt die Durchlässigkeit der Membran für Natriumionen wieder ab, die entsprechenden Kanäle werden geschlossen. Jetzt beginnt jedoch diejenige für Kaliumionen. Da die Kaliumionen nun aufgrund der großen Anzahl positiver Ladungen nicht mehr im Zellinneren gefangen sind, wie dies bei der unerregten Zelle der Fall war, strömen sie, bestrebt nach einem Konzentrationsausgleich, vermehrt nach außen. Das Membranpotenzial sinkt somit wieder ab, man spricht von **Repolarisation**. Es kann sogar kurzfristig unter das Ruhepotenzial fallen (Hyperpolarisation). Schließlich erreicht es jedoch wieder den Wert des Ruhepotenzials.

Eine in der hier beschriebenen Art und Weise ablaufende Veränderung der Spannung bezeichnet man als **Aktionspotenzial** oder **Nervenimpuls**. Die Kalium-Natrium-Pumpe stellt die Ausgangskonzentration der Ionenverteilung wieder her und schafft so die Grundlage für weitere Aktionspotenziale. Aber nicht jeder Reiz ist in der Lage, ein Aktionspotenzial auszulösen. Dies geschieht nur dann, wenn bei der Depolarisation eine Schwelle von etwa -50 bis -60 mV überschritten wird. Dann läuft es, ganz gleich wie stark die Depolarisation ist, jedoch immer mit dem gleichen Verlauf und der gleichen Spannungsänderung ab. Wird das **Schwellenpotenzial** nicht erreicht (unterschwelliger Reiz), so stellt die Zelle das Ruhepotenzial wieder her, ohne dass ein Aktionspotenzial abläuft. Man spricht deshalb in diesem Zusammenhang auch vom **Alles-oder-nichts-Gesetz** (entweder die maximale Antwort, das Aktionspotenzial, oder gar keine).

Aktionspotenzial

Während des Aktionspotenzials und noch kurze Zeit danach kann kein Reiz, ganz gleich wie stark er auch ist, ein zweites Aktionspotenzial auslösen. Die Zeitspanne nennt man **absolute Refraktärphase**. An sie schließt sich die **relative Refraktärphase** an. Sie ist gekennzeichnet durch eine gegenüber dem Schwellenpotenzial vor dem Aktionspotenzial erhöhte Schwelle und einen geringeren Overshoot, d. h. eine kleinere Amplitude. Im Verlauf der relativen Refraktärphase sinkt das Schwellenpotenzial auf den für die Zelle typischen Normalwert ab (siehe folgende Abbildung). Die Refraktärzeiten verhindern so das Verschmelzen von Impulsen.

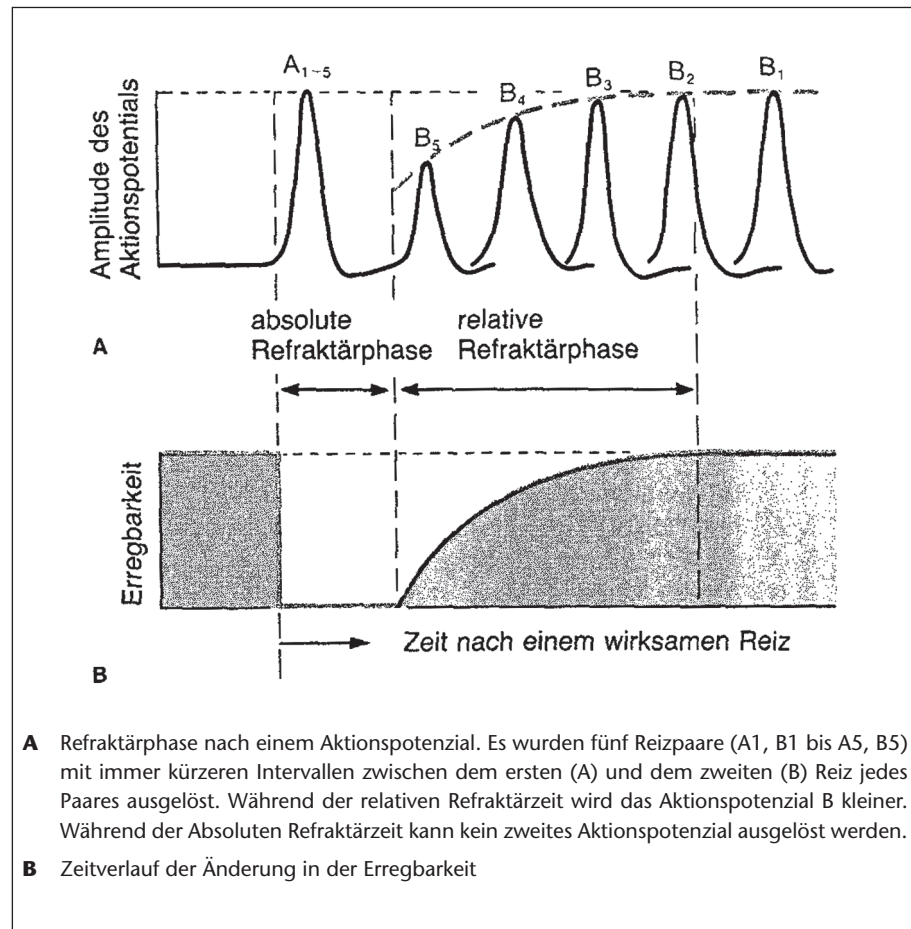


Abbildung 40: Refraktärphase nach einem Aktionspotenzial/Zeitverlauf der Änderung in der Erregbarkeit (ECKERT 2002)

Aktionspotenziale sind unabhängig von der Art des Reizes (Licht, Schmerz, Wärme etc.) immer gleich. Die von der einzelnen Nervenzelle zu übermittelnde Information wird also nicht durch die Höhe oder Dauer des Aktionspotenzials vermittelt. Vielmehr wird sie, ähnlich wie bei der Morseprache, in der Impulsfrequenz verschlüsselt, d. h. in der Zahl der Aktionspotenziale pro Sekunde. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **Codierung**.

Wie nun gelangt diese Information vom Ort der Codierung zum Ort der Verarbeitung?

Weiterleitung der Aktionspotenziale

Die Weiterleitung der Erregung am Axon entlang erfolgt bei markhaltigen und marklosen Axonen in unterschiedlicher Form:

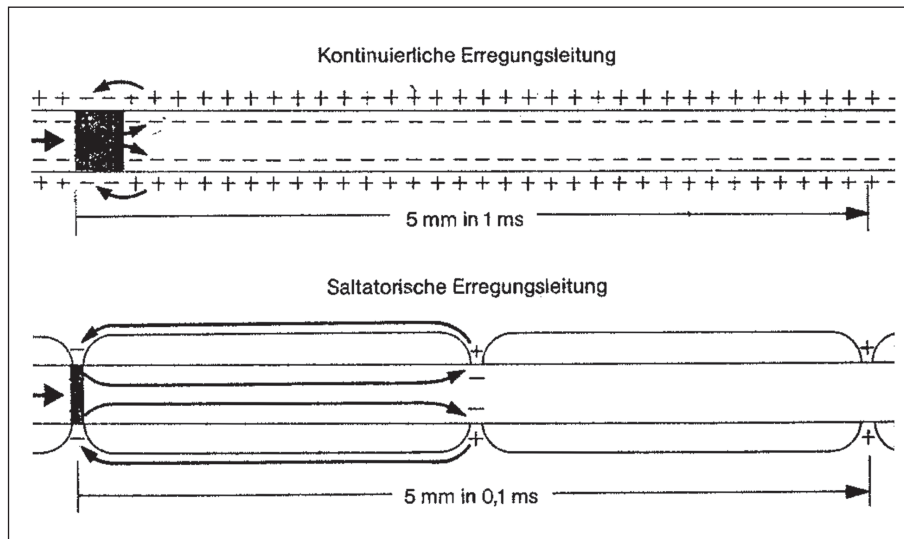


Abbildung 41: Kontinuierliche und saltatorische Erregungsleitung. Die Zahlenangaben beziehen sich auf Axone mit einem Durchmesser von $10\ \mu\text{m}$ (BAUER 1983)

Findet an einer Stelle des Axons ein Aktionspotential statt, so werden die benachbarten Membranporen durch Ionenwanderung, d. h. geringe Ströme, geöffnet und die Membran wird auch hier depolarisiert. Bei Überschreiten des Schwellenpotenzials wird dann ebenfalls ein Aktionspotential ausgelöst, das seinerseits die benachbarte Stelle erregt. Auf diese Art und Weise wandert die Erregung fortlaufend am Axon entlang (**kontinuierliche Erregungsleitung**), d. h., die gesamte Neuritenoberfläche wird vom Aktionspotential unter ständigem Zeitverlust durchlaufen. Dabei gewährleistet die Refraktärzeit, in der der Membranbereich nicht erregbar ist, dass das Aktionspotential nur in einer Richtung über das Axon laufen kann.

Kontinuierliche Erregungsleitung

Prinzipiell läuft die Fortleitung des Aktionspotenzial im markhaltigen Axon ebenso ab wie im **marklosen Axon**. Da jedoch an den von „Schwann“-Zellen umgebenen Bereichen aufgrund der Isolationswirkung der dichten Markscheiden-Hülle kein Aktionspotential erzeugt werden kann, wandern die Ionen statt bis zum nächsten Grenzbereich bis zum nächsten Schnürring und depolarisieren in der beschriebenen Weise die Membran bis zur Auslösung des Aktionspotenzials. Dadurch hüpfen in diesem Fall die Aktionspotenziale von einem Schnürring zum nächsten. Diese Form der Erregungsleitung wird als **saltatorische Erregungsleitung** bezeichnet. Sie ist etwa um den Faktor 10 schneller als die kontinuierliche Leitung und verbraucht weniger Energie, da die energieaufwendige Ionenpumpe nur im Bereich der Ranvier'schen Schnürringe arbeiten muss.

Saltatorische Erregungsleitung

Signalübertragung an Synapsen

Die Erregung läuft in der oben beschriebenen Art und Weise am Neuriten entlang bis zu seinem Ende, dem Endknöpfchen. Der synaptische Spalt kann von dem Aktionspotenzial nicht einfach übersprungen werden. Er wirkt wie eine Isolierungsschicht. Die Weitergabe der Information auf die nachfolgende Zelle erfolgt daher auf chemischem Wege mittels einer Überträgersubstanz, dem **Transmitter** (siehe Abbildung 43 „Nachrichtenübermittlung bei Nervenzellen“).

QV

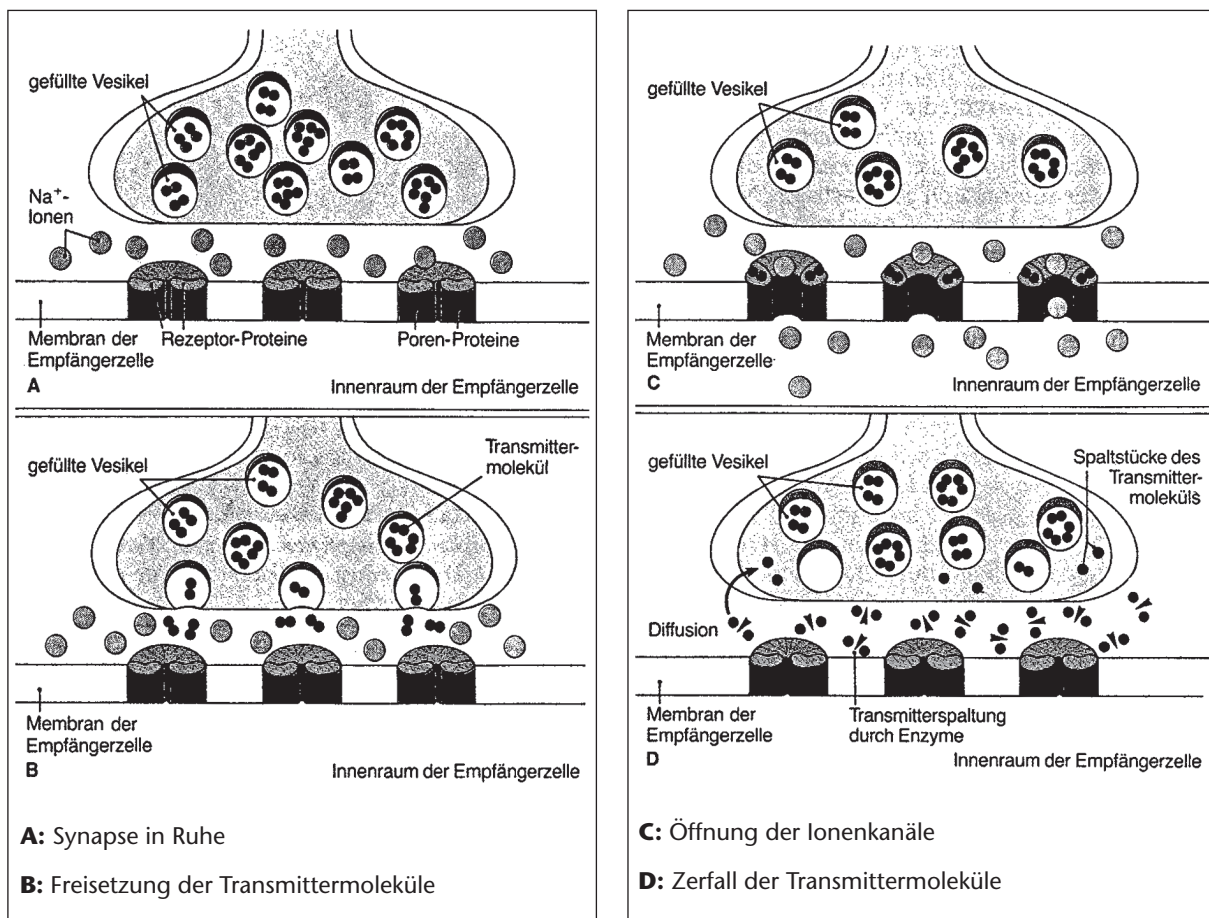


Abbildung 42: Funktion der Synapse (MIRAM/SCHARF 1997)

Der Botenstoff wird im Bereich der Synapse in Vesikeln (in der Zelle gelegene, mikroskopisch kleine, rundliche bis ovale Bläschen) gespeichert. Diese Vesikel lagern sich intrazellulär an die Membran an, die an den synaptischen Spalt angrenzt. Durch ein ankommendes Aktionspotenzial platzen die Vesikel auf und schütten dabei ihren Inhalt, d. h. den Transmitter, in den synaptischen Spalt aus.

Merke

Dabei gilt:

Je höher die Frequenz der Aktionspotenziale an einem Endknöpfchen, umso mehr Transmitter wird freigesetzt.

Dieser Botenstoff wandert blitzschnell zu einem **Rezeptor** (Eiweißmoleküle, die mit dem Transmitter reagieren; beide passen zusammen wie ein Schlüssel und das zugehörige Schloss) in der Membran der nachgeschalteten Zelle. Dabei kann es sich sowohl um die Membran einer weiteren Nervenzelle wie auch um Muskel- oder Drüsenzellen handeln. Das Andocken der Transmittermoleküle an den Rezeptor verändert die Membraneigenschaften, wobei, je nach Art des Transmitters, unterschiedliche Ionenkanäle geöffnet werden. Es kommt aus diesem Grund entweder

- zum Einstrom positiver Ionen (Natriumionen), sodass eine Depolarisation und, je nach Stärke der Depolarisation, auch ein Aktionspotenzial stattfindet – in diesem Fall spricht man auch von erregenden Synapsen und vom **erregenden postsynaptischen Potenzial (EPSP)** –
- oder
- zum Einstrom negativer Ionen (Chloridionen), sodass eine Hyperpolarisation stattfindet. Diese Synapsen heißen hemmende Synapsen, das Potenzial **inhibitorisches postsynaptisches Potenzial (IPSP)**.

Die Hyperpolarisation wirkt der Depolarisation entgegen und vermindert daher die Wahrscheinlichkeit zur Entstehung eines Aktionspotenzials.

Nach ihrer Reaktion mit dem Rezeptor werden die Transmittermoleküle sofort durch Enzyme abgebaut und somit inaktiviert. Die Membranporen werden wieder geschlossen.

Wie eingangs bereits erwähnt, steht jede Ganglienzelle mit über bis zu 10.000 Synapsen mit anderen Neuronen in Kontakt. Ob in einer derartigen Zelle ein Aktionspotenzial ausgelöst wird oder nicht, ist deshalb abhängig von dem Ergebnis der Verrechnung aller eintreffenden Hyperpolarisationen und Depolarisationen. Der aus dieser Rechnung resultierende Erregungszustand der betrachteten Nervenzelle wird dann wiederum an eine Vielzahl weiterer Zellen geleitet. Dabei ist jede Nervenzelle nur in der Lage, einen bestimmten Transmitter zu produzieren. Deshalb können alle Synapsen eines Neurons entweder ausschließlich erregend oder ausschließlich hemmend sein.

Da Synapsen Signale nur in eine Richtung weiterleiten können, besitzen sie die Funktion eines Ventils und ermöglichen eine geordnete Informationsübertragung.

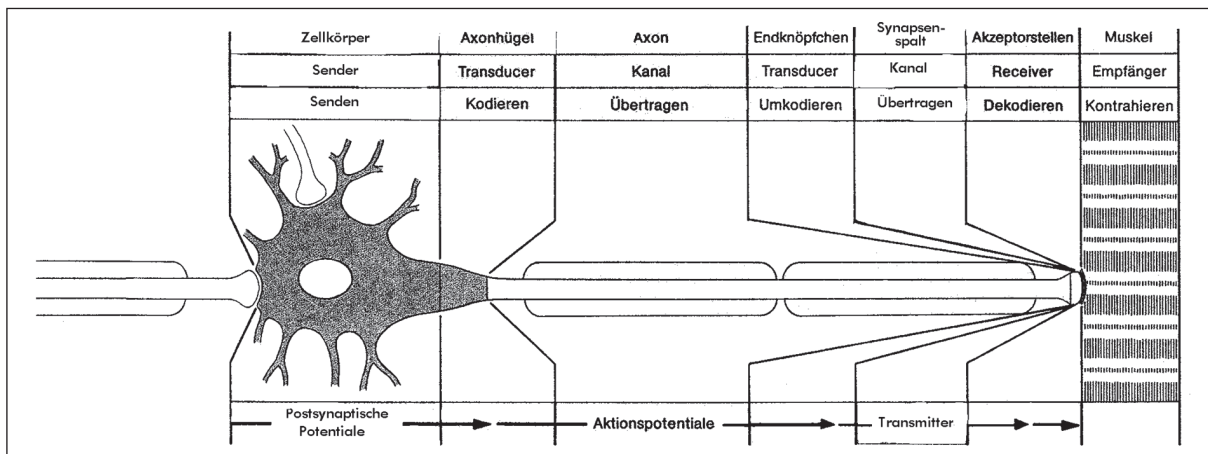


Abbildung 43: Nachrichtenübermittlung bei Nervenzellen
(BAUER 1983)

6.2 Zentralnervensystem

Zu Beginn dieses Kapitels wurde bereits erwähnt, dass das Zentralnervensystem in Gehirn und Rückenmark unterteilt wird. Diese beiden Abschnitte gehen jedoch ohne erkennbare Grenze ineinander über, bilden also eine Einheit.

Das gesamte Zentralnervensystem ist aus in unterschiedlicher Art und Weise angeordnetem, grau und weiß erscheinendem Gewebe aufgebaut. Die sogenannte **graue Substanz** wird von den Zellkörpern der Neuronen gebildet, die in großer Zahl grau erscheinen und daher als Schaltwerk bezeichnet werden. Die **weiße Substanz** dagegen besteht aus den markhaltigen Axonen, deren glänzende weiße Markscheide ihr die typische Farbe verleihen. Sie ist das Leitwerk des Zentralnervensystems.

Aufbau

Vor äußeren Einflüssen wie Stößen, Druck und Erschütterungen etc. schützen das Nervengewebe umhüllende Knochen sowie darunter liegende Bindegewebshüllen. Insgesamt werden Rückenmark und Gehirn von drei dieser membranösen Häute, die in der Fachsprache als **Meningen** bezeichnet werden, umhüllt:

Häute

- außen von der harten Hirn- bzw. Rückenmarkshaut (**Dura mater**)
- in der Mitte von der Spinnwebenhaut (**Arachnoidea**)
- innen, also direkt auf dem Nervengewebe, von der weichen Hirn- bzw. Rückenmarkshaut (**Pia mater**)

Die **Spinnwebenhaut** (Arachnoidea) hat ihren Namen erhalten, da sie ähnlich einem Spinnengewebe ein Netzwerk bildet. Zwischen ihr und der Pia mater liegt der sogenannte **Subarachnoidalraum**, der teilweise von feinen Strängen der Spinnwebenhaut durchsetzt ist. Er enthält **Liquor** (siehe unten) und heißt daher auch **Hirnwasserraum**. Im Rückenmarksbereich befindet sich außerdem zwischen der Dura mater und der Spinnwebenhaut der **Subduralraum**.

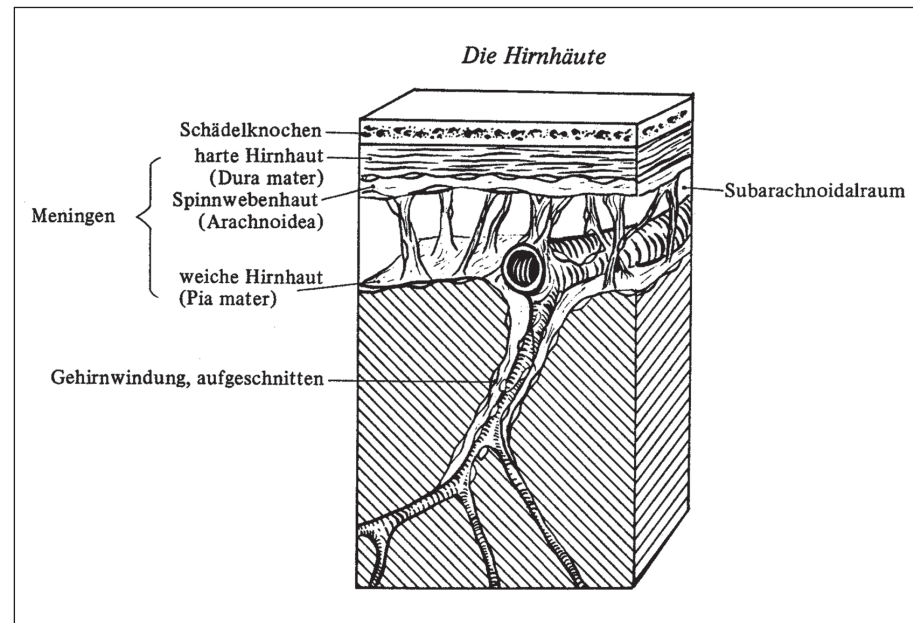


Abbildung 44: Hirnhäute (Meningen)
(CULCLASURE 1992)

Gemeinsam mit der Pia mater trägt die Spinnwebhaut die das Rückenmark nährenden Gefäße. Der äußersten Haut liegt ein Gefäße enthaltendes Fettpolster auf, welches das Rückenmark gegen Stöße schützt.

Auch die oben schon angesprochene Hirnrückenmarksflüssigkeit, auch Gehirnflüssigkeit oder **Liquor cerebrospinalis** genannt, dient dem Schutz des empfindlichen Zentralnervensystems. Diese farblose, klare Substanz umspült das gesamte Zentralnervensystem, wobei innere und äußere Liquorräume unterschieden werden, und verhindert so das Entstehen von Reibungs- und Scherkräften. Pro Tag werden insgesamt etwa 650 ml Liquor vom menschlichen Organismus gebildet und im Arachnoidalraum wieder resorbiert. Er besteht aus Wasser, Salzen, Eiweiß, Zucker und verschiedenen Zellen.

Zwischen Blut und Liquor bzw. Gehirn ist der Stoffaustausch für die meisten Substanzen bis auf Kohlendioxid, Sauerstoff und Wasser stark behindert (**Blut-Liquor-Schranke**, **Blut-Hirn-Schranke**).

6.2.1 Rückenmark (Medulla spinalis)

Das Rückenmark verknüpft Gehirn und peripheres Nervensystem miteinander und ist beim erwachsenen Menschen ein etwa 40 bis 45 cm langer, fingerdicker, im Querschnitt ovaler Stab, der sich nach unten ein wenig verjüngt. Sein Gewicht beträgt ungefähr 30 g. Es liegt geschützt im Wirbelkanal der Wirbelsäule, ohne diesen jedoch vollständig auszufüllen. Vom Hinterhauptsloch, wo es ohne erkennbare Grenze in das verlängerte Mark des Gehirns übergeht, reicht das Rückenmark bis etwa zur Höhe des 1. bis 2. Lendenwirbels. Dort geht es in den dünnen 20 bis 25 cm langen Endfaden (Filum terminale) über.

Aufbau und Lage

Zwischen zwei Wirbeln entspringt jeweils ein Paar **Rückenmarksnerven**. Eine Ausnahme bildet der Halsbereich. Hier existieren acht Halsnervenpaare, da das erste Nervenpaar noch vor dem ersten Halswirbel durch den Wirbelkanal tritt, obwohl die Wirbelsäule lediglich sieben Halswirbel besitzt. Die Wirbelsäule wächst jedoch in der Individualentwicklung schneller als das Rückenmark. Aus diesem Grund ist beim Erwachsenen die Wirbelsäule länger als das Rückenmark, sodass die Teilstücke und die Nervenwurzeln den Wirbelkanal nicht horizontal verlassen, sondern zunächst ein Stück nach unten ziehen bis zum entsprechenden Zwischenwirbelloch.

Man unterteilt das Rückenmark in vier Abschnitte mit insgesamt 31 bis 32 Segmenten, aus denen seitlich durch die Zwischenwirbellöcher die Rückenmarksnerven nach außen treten:

Halsmark	8 Segmente	8 Halsnerven
Brustmark	12 Segmente	12 Brustnerven
Lendenmark	5 Segmente	5 Lendennerven
Sakralmark	6–7 Segmente	5 Kreuznerven 1–2 Steißnerven

Die Rückenmarksnerven unterhalb des 1. bis 2. Lendenwirbels werden gemeinsam mit dem Endfaden als Pferdeschwanz (Cauda equina) bezeichnet.

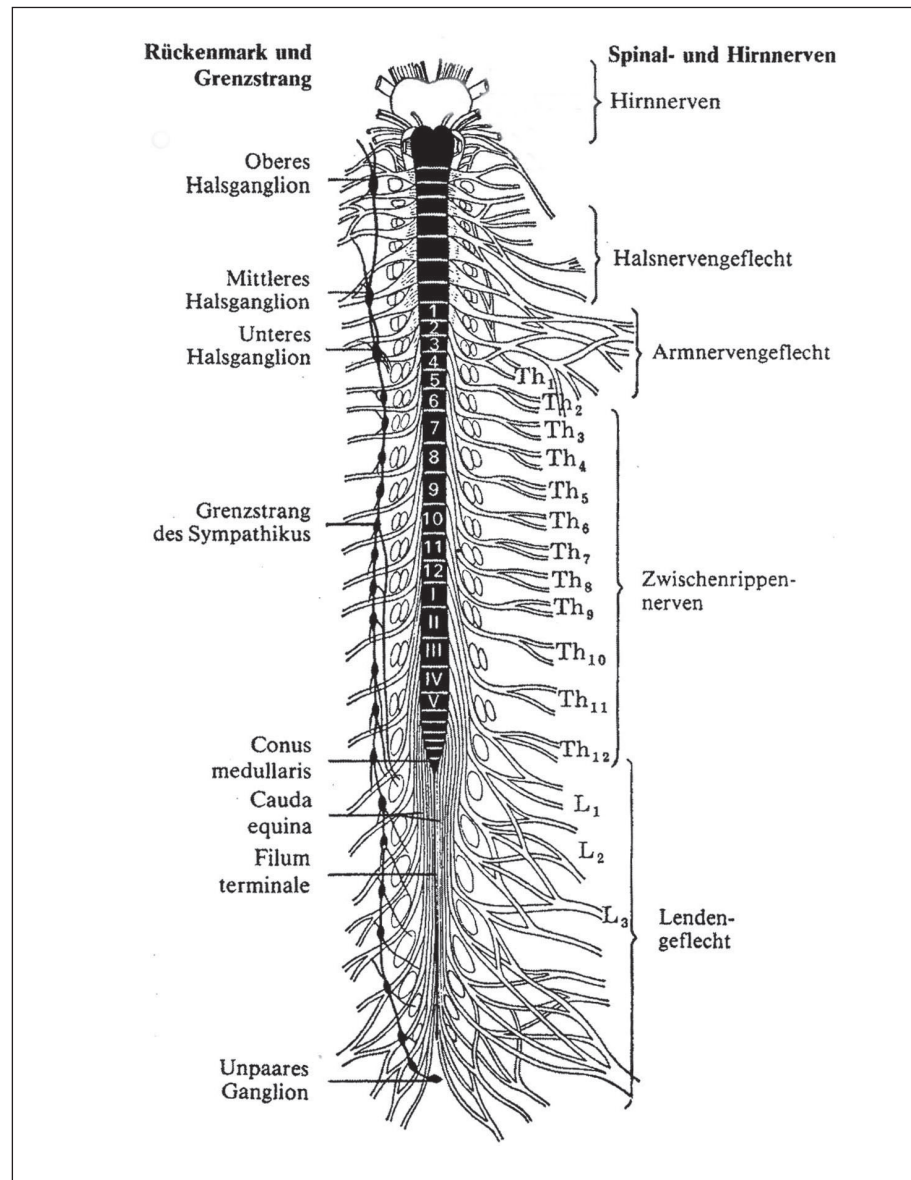


Abbildung 45: Rückenmark mit Hirn- und Rückenmarksnerven sowie dem sympathischen Grenzstrang (vgl. auch Abschnitt „Peripheres Nervensystem“) (HABERMANN-HORSTMEIER 1992)

Betrachtet man das freigelegte Rückenmark, so wird deutlich, dass es nicht an jeder Stelle denselben Durchmesser, sondern zwei spindelförmige Verdickungen in der Halsregion und der Lendengegend besitzt. Sie resultieren aus der Innervation der Extremitäten und werden Halsanschwellung und Lendenanschwellung genannt.

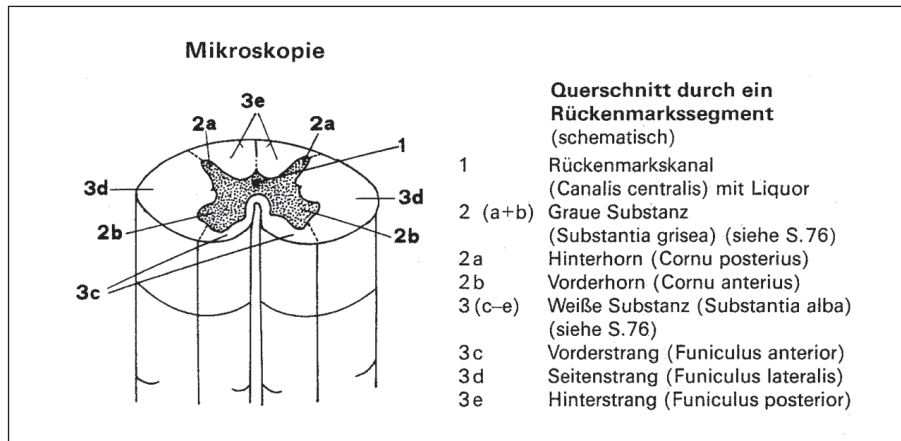


Abbildung 46: Querschnitt durch ein Rückenmarkssegment (schematisch) (JECKLIN 2004)

Im **Querschnitt durch das Rückenmark** erkennt man deutlich zwei verschiedenfarbige Bereiche:

1. die zentral gelegene graue Substanz, deren Form der eines Schmetterlings ähnelt. Die beiden Schmetterlingsflügel werden in Vorder- und Hinterhorn unterteilt und sind über den sogenannten Zentralkanal miteinander verbunden. Dabei liegen in den Vorderhörnern die motorischen Vorderhornganglienzellen, deren Axone die vordere Wurzel aufbauen, und in den Hinterhörnern entsprechend die Ganglienzellen, deren sensorische Nervenfasern die hintere Wurzel bilden.
2. die die graue Substanz vollständig wie ein Mantel umgebende weiße Substanz. In ihr verlaufen die Axone jeder Rückenmarkshälfte in drei sogenannten Strängen, die sich aus der Form der grauen Substanz ergeben:
 - ▶ Vorderstrang
 - ▶ Seitenstrang
 - ▶ Hinterstrang

In der Mitte wird das Rückenmark von dem mit Liquor gefüllten Zentralkanal durchzogen.

Die Aufgabe des Rückenmarks besteht jedoch nicht ausschließlich in der eingangs beschriebenen Weiterleitung von Impulsen zum Gehirn oder zur Peripherie, es fungiert vielmehr auch als **Reflexzentrum**. Dabei ist ein **Reflex** definiert als eine Reaktion auf einen sensorischen Reiz, die unwillkürlich und immer gleich abläuft. Die Impulse werden bei einem Reflex direkt von einer sensiblen auf eine motorische Nervenbahn übertragen. Reflexe laufen immer über eine ganz spezielle Nervenbahn, den sogenannten **Reflexbogen** ab, der je nach Art des Reflexes unterschiedlich aufgebaut sein kann. Man unterscheidet daher zwei **Typen von Reflexen**:

a) Eigenreflex

Reflexe Der Eigenreflex ist **monosynaptisch**, d. h., der Reflexbogen ist lediglich aus zwei Neuronen, einem efferenten und einem afferenten Neuron, aufgebaut, die über eine einzige Synapse miteinander verbunden sind. Der den Reiz aufnehmende Rezeptor befindet sich bei diesem Reflex im Erfolgsorgan (einem Muskel) selbst.

Zu den Eigenreflexen zählen beispielsweise alle Reflexe, die eine Muskelspannung, den Haltetonus, aufbauen und so die Haltung des Körpers kontrollieren. Der Kniesehnenreflex ist ebenfalls ein Eigenreflex. Schlägt man beim gebeugten, herunterhängenden Unterschenkel auf die Patellarsehne, werden der M. quadriceps und die in ihm befindliche Muskelspindeln (Dehnungsrezeptoren) gedehnt. Ein Reflex wird ausgelöst. Es folgt eine kurze Kontraktion dieses Muskels, der Unterschenkel schlägt aus. Alle Muskeln, in denen Muskelspindeln anzutreffen sind, verfügen über Eigenreflexe.

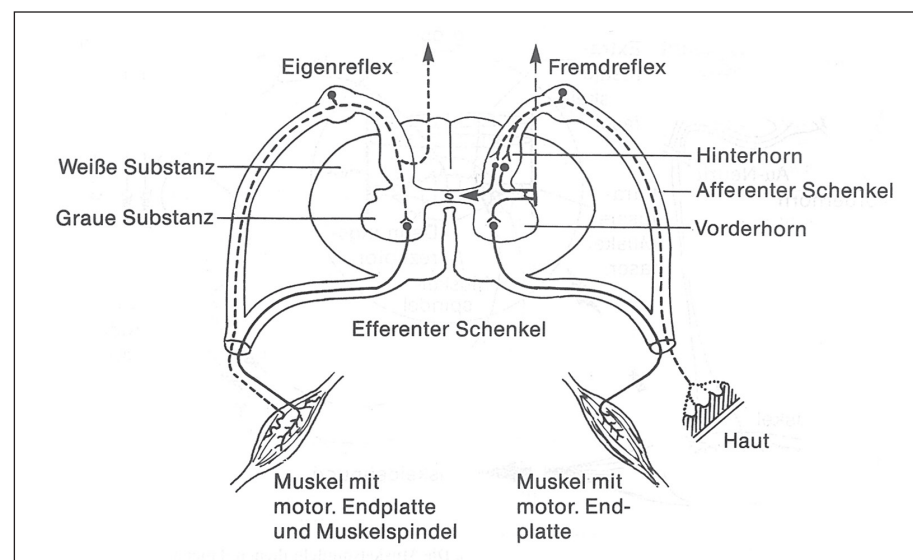


Abbildung 47: Schematische Darstellung des Eigen- und Fremdreflexes (WEINECK 2004, S. 71)

b) Fremdreflex

Beim Fremdreflex ist zwischen das afferente und das efferente Neuron mindestens ein weiteres Neuron geschaltet, das sogenannte **Interneuron**. Man nennt diesen Reflex deshalb auch **polysynaptisch**, da er über mehrere Synapsen abläuft. Außerdem befindet sich der Rezeptor in diesem Fall nicht im Erfolgsorgan.

Häufig handelt es sich um Temperatur- oder Tastrezeptoren der Haut, die Beugereflexe auslösen. Zu den Fremdreflexen zählen Fluchtreflexe, die beispielsweise bei Schmerzeinwirkung ausgelöst werden, Schutzreflexe, wie der Lidschlussreflex, der Hustenreflex oder der Pupillenreflex und die sogenannten Ernährungsreflexe, zu denen der Saugreflex, des Säuglings ebenso zählt wie die reflexartige Sekretion von Verdauungssäften oder der Schluckreflex (vgl. JECKLIN 2004).

Allen Reflexen ist gemeinsam, dass die Nervenbahnen nicht bis zum Gehirn laufen, sondern bereits im Rückenmark quasi kurzgeschlossen werden. Dadurch werden dem Gehirn die entsprechenden Impulse gar nicht zugeleitet und bewusste Empfindungen ausgeschaltet. Reflexe laufen unbewusst ab, dem Gehirn wird lediglich später gemeldet, wie ein entsprechender Reiz beantwortet wurde.

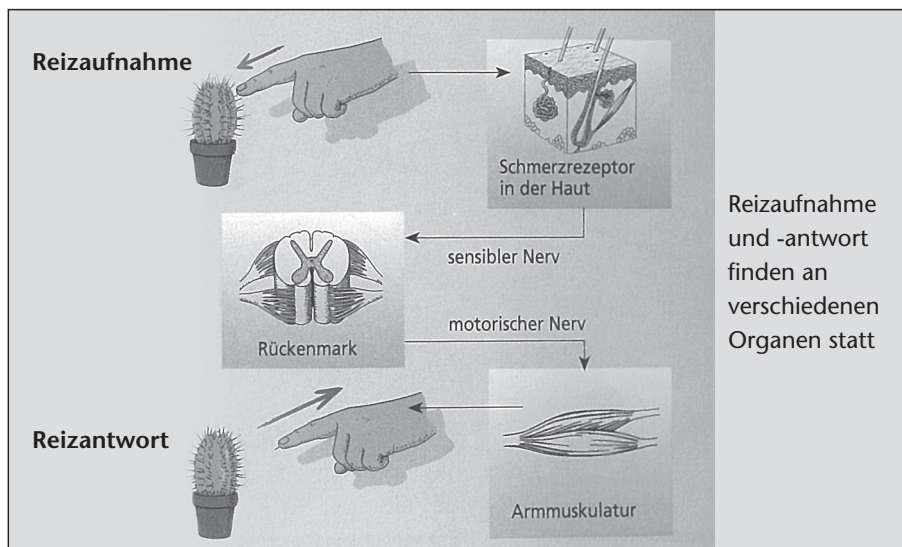


Abbildung 48: Schema eines Fremdreflexes am Beispiel einer Fluchtreaktion nach Schmerzreiz
(MENCHE 2007, S. 145)

6.2.2 Gehirn

Das die knöcherne Schädelkapsel nahezu vollständig ausfüllende Nervengewebe wird als Gehirn bezeichnet. Das Gehirn des erwachsenen Menschen erreicht ein Gewicht von durchschnittlich 1.330 g, wobei Frauen mit etwa 1.245 g eine etwas geringere Gehirnmasse besitzen als die Männer mit 1.375 g. Es besteht jedoch kein direkter Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Gewicht des Gehirns!

Das **Gehirn** wird in **fünf Abschnitte** eingeteilt:

1. Vorderhirn, auch Großhirn oder Endhirn (Cerebrum)
2. Zwischenhirn (Diencephalon) mit Thalamus und Hypothalamus
3. Mittelhirn (Mesencephalon)
4. Hinterhirn, das aus Kleinhirn (Cerebellum) und Brücke (Pons) besteht
5. Nachhirn oder verlängertes Mark (Medulla oblongata)

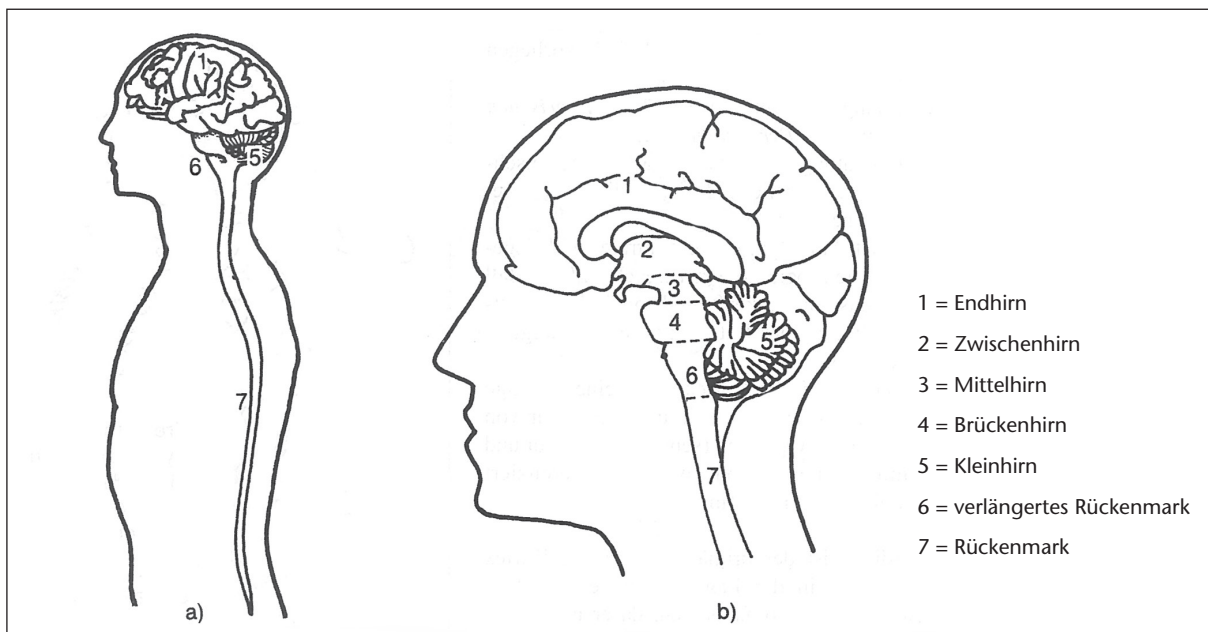


Abbildung 49: Hierarchischer Aufbau des Zentralnervensystems (schematisch)
(WEINECK 2004, S. 70)

Wie das Rückenmark vom Zentralkanal, so ist das Gehirn von insgesamt vier miteinander in Verbindung stehenden Hohlräumen durchsetzt, den sogenannten Hirnkammern oder Ventrikeln:

Ventrikel

- zwei im Endhirn gelegenen Seitenventrikeln (I. und II.), je einer pro Hemisphäre (Großhirnhälfte)
- dem III. Ventrikel, der einen schmalen Spalt im Zwischenhirn darstellt
- dem IV. Ventrikel, der zwischen verlängertem Mark und Kleinhirn angeordnet ist

Alle Ventrikel sind mit Liquor gefüllt und werden deshalb auch innere Liquorräume genannt. Über drei Gänge, die vom IV. Ventrikel abgehen, sind sie mit dem Subarachnoidalraum, dem äußeren Liquorraum, verbunden.

Das Großhirn (Cerebrum)

Von den fünf Abschnitten des Gehirns ist das Endhirn beim Menschen charakteristischerweise derjenige, der am größten und besonders hoch entwickelt ist. Etwa sieben Achtel der gesamten Hirnmasse entfallen auf das Großhirn. Es hat Kerne und Rindenbezirke.

Die **Aufgaben des Großhirns** sind mannigfaltig. Es steuert Bewegungsabläufe, verarbeitet die von den Sinnesorganen aufgenommenen Reize zu bewussten Wahrnehmungen und steht in Zusammenhang mit Gedächtnis, Intelligenz und Vernunft. Den einzelnen Bereichen der Großhirnrinde können, dank intensiver Forschung, heute zum Teil bestimmte Aufgaben und Leistungen zugeordnet werden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über diese sogenannten **Rindenfelder**.

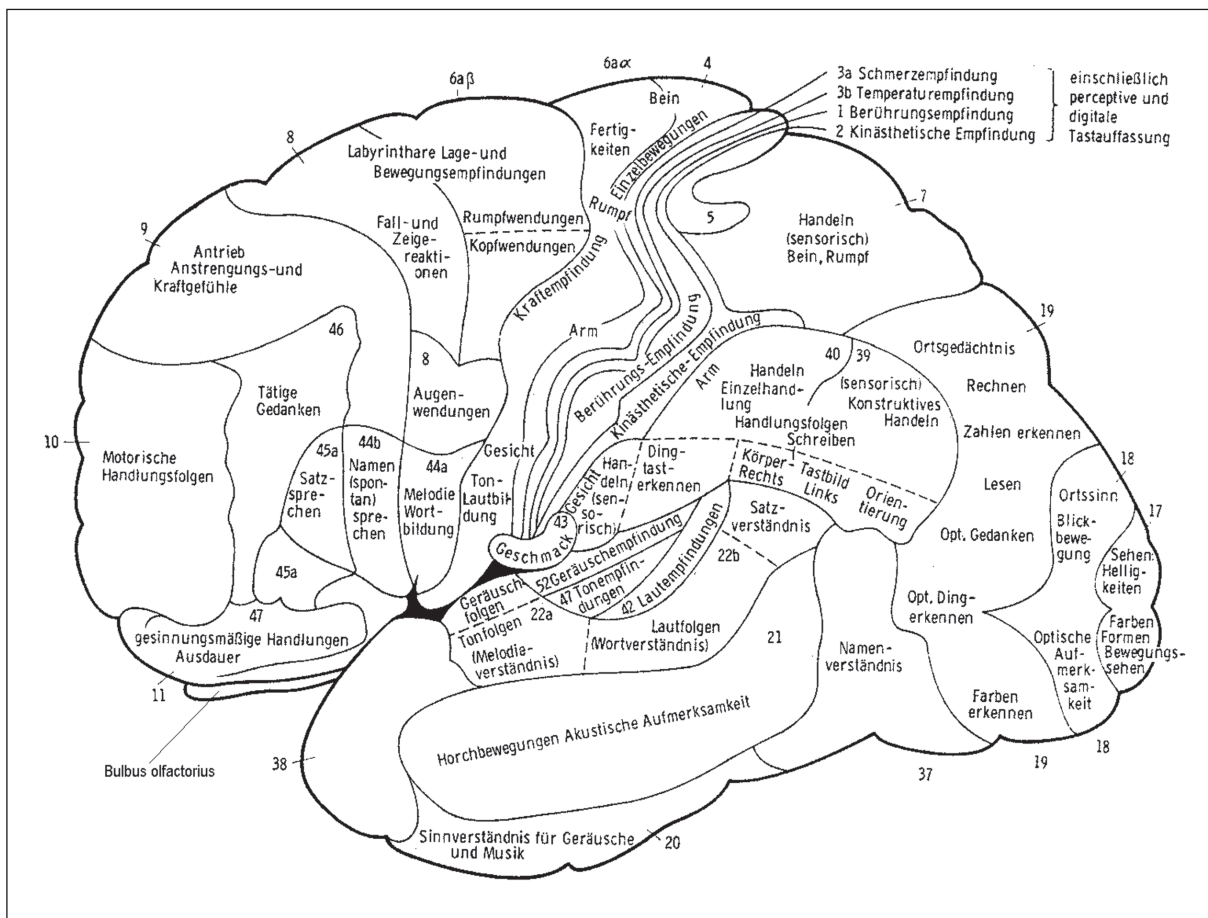


Abbildung 50: Lokalisation der Funktionen des Großhirns nach K. KLEIST. Laterale Großhirnfläche (STEPHAN 1984)

Bemerkenswert ist, dass die linke Hemisphäre die rechte und die rechte Hemisphäre die linke Körperseite steuert.

Grob unterschieden werden **sensorische** und **motorische** Rindenfelder.

Ein wesentliches motorisches Zentrum ist vor allem der primäre **Moto-cortex**. Jede Körperregion ist auf einem bestimmten Feld des Motocortex repräsentiert. Ferner sind **Basalganglien** stark an Bewegungsabläufen beteiligt. Dies sind Kerne des Endhirns. Man unterscheidet das **Striatum**, das Bewegungspläne empfängt, und das **Pallidum**, das diese Information über den Thalamus (siehe „Das Zwischenhirn“) an den primären Moto-cortex weitergibt. Möglicherweise sind die Basalganglien vor allem für die Durchführung und Einleitung langsamer Bewegungen von Bedeutung. Bei einer Störung kommt es zum Ausfall langsamer Bewegungen, zu erhöhtem Muskeltonus und Muskelzittern („Parkinson-Syndrom“).

Das Zwischenhirn

Das Zwischenhirn ist annähernd von den Hemisphären des Großhirns bedeckt und wird in **Thalamus** und **Hypothalamus** unterteilt. Es stellt die Zentrale des vegetativen Nervensystems dar, d. h., von hier aus werden beispielsweise die Bildung und Ausschüttung von Hormonen kontrolliert, die Körpertemperatur sowie der Kreislauf reguliert, Hunger- und Durstgefühle sowie Abwehrreaktionen ausgelöst und verschiedene Fortpflanzungsfunktionen gesteuert (vgl. STEPHAN 1984).

In engem Zusammenhang mit dem Zwischenhirn steht die **Hirnanhangdrüse**, in der Fachsprache **Hypophyse** genannt. Es handelt sich um eine endokrine, d. h. Hormone ausschüttende Drüse.

Der Hirnstamm

Mittelhirn, verlängertes Mark und die **Brücke** bilden gemeinsam den Hirnstamm.

Das **Mittelhirn** ist der kleinste Hirnabschnitt. Es kontrolliert die Feinmotorik und das Gleichgewicht. Da es über die Brücke mit dem verlängerten Mark verknüpft ist, fungiert es außerdem als Leitungsbahn zwischen Rückenmark und weiteren Teilen des Gehirns.

Das **verlängerte Mark** stellt das Verbindungsstück zwischen Gehirn und Rückenmark dar. Alle Nervenbahnen, die diese beiden Teile des Zentralnervensystems miteinander verbinden, laufen durch das verlängerte Mark. Hier liegen unter anderem Zentren, die lebenswichtige Funktionen steuern, wie beispielsweise Atmung, Kreislauf und Verdauungstätigkeit.

Das Kleinhirn

Der zweitgrößte Teil des Gehirns ist das Kleinhirn. Ähnlich dem Großhirn ist es aus zwei Hemisphären aufgebaut, die über ein Mittelstück, den sogenannten **Wurm**, miteinander verbunden sind. Seine Oberfläche ist ebenfalls durch Furchen und Windungen charakterisiert, und im Querschnitt können auch hier die jedoch sehr viel dünnere graue Rinde und das weiße Mark unterschieden werden.

Gemeinsam mit der Großhirnrinde reguliert es Bewegungen. Dabei werden die willkürlichen, vom Großhirn ausgehenden Bewegungen unbewusst vom Kleinhirn koordiniert und harmonisiert. Es hält die Muskelspannung (Muskeltonus) aufrecht und steuert damit das Gleichgewicht des Körpers.

Man geht davon aus, dass das Kleinhirn an der räumlich-zeitlichen Gliederung von Bewegungsprogrammen beteiligt ist. Es scheint v. a. für schnelle Bewegungen verantwortlich zu sein.

6.3 Peripheres Nervensystem

Zum peripheren Nervensystem zählen die Nervenbahnen, die außerhalb von Gehirn und Rückenmark zu den Muskeln verlaufen, sowie diejenigen, die von den Sinnesorganen zum Zentralnervensystem ziehen. Dabei kann ein Nerv sowohl **afferente** wie auch **efferente** Nervenfasern beinhalten, d. h., die Erregungsleitung führt sowohl von der Peripherie zum Gehirn wie auch in umgekehrter Richtung. Man spricht in diesem Zusammenhang daher auch von gemischten Nerven.

Bei den Nerven des peripheren Nervensystems werden zwei Gruppen unterschieden:

- Rückenmarksnerven
- Hirnnerven

Die Rückenmarksnerven

Rückenmarkskurven Wie vorangehend schon erläutert, entspringen aus dem Rückenmark 31 bis 32 Paare von Rückenmarksnerven oder Spinalnerven. Sie dienen als Leitungsbahnen zwischen Peripherie und Rückenmark. Mit Ausnahme der Halswirbelsäule entspricht jedem Abschnitt der Wirbelsäule ein Rückenmarkssegment mit je einem Paar von Rückenmarksnerven.

Ihre Einteilung erfolgt nach den Abschnitten der Zwischenwirbellöcher, aus denen sie austreten:

8	Halsnerven (Zervikalnerven):	C1–C8
12	Brustnerven (Thorakalnerven):	Th1–Th12
5	Lendennerve (Lumbalnerven):	L1–L5
5	Kreuznerven (Sakralnerven):	S1–S5
1–2	Steißnerven (Cokzygealnerven):	Co1–Co2

Jeder einzelne dieser Rückenmarksnerven tritt über zwei sogenannte **Wurzeln**, eine vordere und eine hintere Wurzel, mit dem Rückenmark in Verbindung. Die vordere Wurzel enthält ausnahmslos **motorische**, d. h. zentrifugale, zur Peripherie führende (efferente) Nervenfasern, die hintere Wurzel führt ausschließlich **sensible** oder zentripetale (afferente), zum Gehirn leitende Fasern. Beide Wurzeln verschmelzen vor Verlassen des Wirbelkanals zu einem sogenannten gemischten Rückenmarks- oder Spinalnervenpaar. Kurz vor diesem Punkt besitzt die hintere Wurzel eine eiförmige Anschwellung, die als **Spinalganglion** bezeichnet wird und aus einer Vielzahl von sensorischen Neuronen besteht (Ganglion = Anhäufung von Nervenzellen).

Direkt nach dem Austritt aus dem Zwischenwirbelloch teilt sich jeder Spinalnerv in mehrere Äste auf, von denen einer die Verbindung zum vegetativen Nervensystem herstellt. Die jedoch zur Innervation des Halses und der Extremitäten vorgesehenen Äste bilden sogenannte **Nervengeflechte**. Man unterscheidet:

Nervengeflecht

- **Halsnervengeflecht:** Es versorgt die Hals- und Schultermuskeln sowie die entsprechenden Hautabschnitte und das Zwerchfell.
- **Armnervengeflecht:** Es innerviert Haut und Muskulatur von Brust, Rücken und Armen.
- **Lendengeflecht:** Es sendet Nervenfasern zur Bauch- und Oberschenkelmuskulatur.
- **Kreuzgeflecht:** Bei ihm handelt es sich um das am stärksten ausgeprägte Nervengeflecht. Es versorgt mittels des sogenannten Ischiasnervs in erster Linie Haut und Muskulatur der Unterschenkel und Füße.

Die Hirnnerven

Die Hirnnerven entspringen in der grauen Substanz der Hirnbasis im Bereich von Zwischenhirn, Mittelhirn, Brücke und Mark. Sie werden mit römischen Ziffern von I bis XII entsprechend der Reihenfolge ihres Austritts von vorn nach hinten durchnummeriert und tragen Namen, die ihre Funktion oder ihren Bestimmungsort beschreiben. Einige dieser Nerven sind rein sensorisch, andere motorisch und wieder andere sind gemischt (sensorisch-motorisch). Bis auf den X. und XI. Hirnnerv innervieren alle anderen bestimmte Bereiche im Kopf, wie beispielsweise der Riechnerv, der Hörnerv oder Nerven, die zu den Augenmuskeln ziehen.

6.4 Vegetatives Nervensystem

Autonomes Nervensystem

Das vegetative Nervensystem regelt die Gesamtheit der inneren Organfunktionen. Da es unbewusst und unwillkürlich arbeitet, wird es auch **autonomes Nervensystem** genannt. Diese Autonomie ist insofern von immenser Wichtigkeit, als dass alle vom vegetativen Nervensystem gesteuerten Tätigkeiten lebensnotwendig sind. Es ist daher sinnvoll, dass sie nicht willkürlich reguliert werden, sondern auch bei Bewusstlosigkeit und im Schlaf aufrechterhalten bleiben. Es hätte sonst fatale Folgen, wenn wir z. B. im Schlaf vergessen würden zu atmen. Durch das vegetative Nervensystem werden alle Organe zu einer harmonischen Einheit zusammengefügt.

Zwischen dem autonomen Nervensystem und der Psyche eines Menschen gibt es eine enge Beziehung. Emotionale Erregung kann einerseits, wie jeder wohl schon erlebt hat, die Schweißdrüsen anregen, zum Erröten oder Erbleichen führen, Durchfall hervorrufen, die Atmung beeinflussen oder für Gänsehaut und Herzklopfen sorgen. Andererseits können körperliche Erkrankungen sich auch psychisch bemerkbar machen.

Funktionell wird das **vegetative Nervensystem** in **zwei Teile** unterteilt, die als Gegenspieler oder Antagonisten arbeiten:

1. Sympathikus
2. Parasympathikus

Sympathikus

Der Ausgang des Sympathikus liegt in der grauen Substanz des Rückenmarks im Bereich von Thorax und Lenden. Die Ganglien befinden sich beiderseits der Wirbelsäule und sind untereinander verknüpft. Man spricht vom **Grenzstrang**.

Seine Aufgabe ist es, den Körper zu mobilisieren, Energie freizusetzen und den Stoffwechsel anzuregen. Der Organismus wird durch den Sympathikus in eine Art Alarmzustand versetzt, er wird auf Kampf, Abwehr und Flucht vorbereitet.

Parasympathikus

Der Parasympathikus entspringt in unterschiedlichen Kerngebieten des Hirnstamms, insbesondere aus vegetativen Teilen verschiedener Hirnnerven und dem Sakralmark. Seine Ganglien liegen verstreut nahe den zu versorgenden Organen.

Seine Aufgabe besteht darin, den Körper in eine Aufbau- und Erholungsphase zu versetzen. Herz- und Kreislaufsystem werden reduziert, die Verdauungsorgane dagegen aktiviert.

Parasympathikus und Sympathikus werden in erster Linie über Reflexe reguliert. Sie ergänzen sich gegenseitig, arbeiten stets gleichzeitig und ermöglichen dem menschlichen Organismus somit eine optimale Anpassung an sich ständig verändernde Umweltbedingungen.

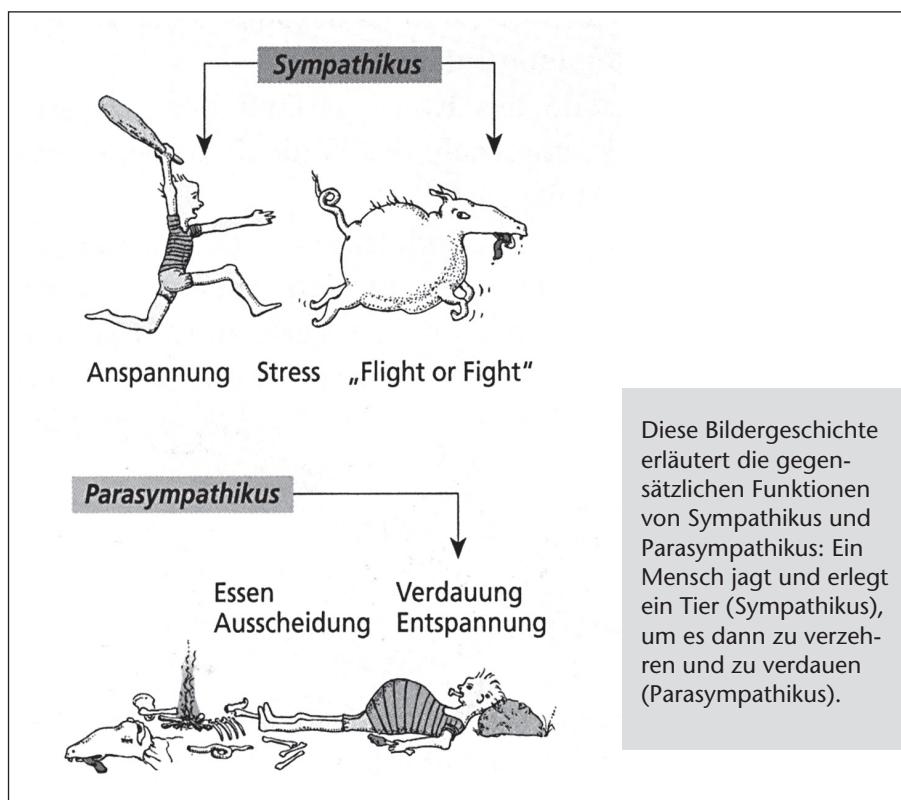


Abbildung 51: Funktionen von Sympathikus und Parasympathikus (MENCHE 2007, S. 150)

Autonomes Nervensystem und sportliches Training

Ein regelmäßiges sportliches Training – besonders ein Ausdauertraining – führt zu einer zunehmenden Dominanz des Parasympathikus mit einer Umschaltung auf Erholung. Es sorgt außerdem für eine bessere Stoffwechselökonomisierung und psychische Dämpfung im Sinne einer erhöhten „inneren Ruhe“ und Ausgeglichenheit. Parallel dazu erhöhen die vom Sympathikus stimulierten Organsysteme (u. a. Hormonsystem – Adrenalin, Noradrenalin etc.) über funktionelle Anpassungen (Ökonomisierung aller Stoffwechselvorgänge) ihre Leistungskapazitäten im Sinn einer erhöhten allgemeinen psychophysischen Leistungsfähigkeit (WEINECK 2004).

Lernkontrollfragen zu Kapitel 6 ?

Aufgabe 6.1

In welche Abschnitte wird das Nervensystem unterteilt?

Aufgabe 6.2

Nennen Sie die einzelnen anatomischen Abschnitte einer Nervenzelle und geben Sie deren jeweilige Funktion an.

Aufgabe 6.3

Erläutern Sie stichwortartig die Entstehung und den Verlauf eines Aktionspotenzials.

Aufgabe 6.4

Welche Arten der Erregungsleitung kennen Sie und wo finden sie statt?

Aufgabe 6.5

Im Zentralnervensystem treten zwei unterschiedlich gefärbte Gewebereiche auf. Wie werden sie bezeichnet und woraus bestehen sie?

Aufgabe 6.6

Wie wird das autonome Nervensystem unterteilt, wo entspringen die zugehörigen Nerven und welche allgemeine Funktion haben die Abschnitte?

Kapitel 7

7. Endokrinsystem (Hormonsystem)

7.1 Klassifizierung der Hormone

7.1.1 Molekularer Aufbau

7.1.2 Bildungsort

7.1.3 Funktion der Hormone

7.2 Wirkungsmechanismen von Hormonen

Lernorientierung



Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sind Sie in der Lage,

- ▶ einen Überblick über die endokrinen Drüsen des menschlichen Körpers zu geben;
- ▶ Aufgabe, Struktur und Wirkungsweise von Hormonen zu erklären;
- ▶ die Regulationsmechanismen des Hormonsystems zu verstehen.

Neben dem Nervensystem verfügt der menschliche Organismus über ein weiteres System zur Koordination der Körperfunktionen und zum Austausch von Signalen zwischen den Zellen: das **Endokrinsystem**. Seine Aufgabe ist die Aufrechterhaltung eines gleichbleibenden (konstanten) Milieus (Homöostase) sowie die Abstimmung aller Organe aufeinander, sodass ein funktionsfähiger Organismus entsteht. Es steuert gemeinsam mit dem vegetativen und sympathischen Nervensystem Stoffwechsel, Fortpflanzung, Wachstum, psychische Entwicklung, Reifung, Ernährung, Kreislauf und Temperatur (SILBERNAGEL/DESPOPULUS 2003).

Eine gestörte Regulation (Unter- bzw. Überfunktion) des Hormonsystems kann beispielsweise zu zahlreichen Krankheitsbildern führen. So führt eine Unterfunktion des Nebennierenmarks zu einer Verminderung des Blutzuckers und zu einem ungenügenden Blutdruck. Eine Überfunktion des Nebennierenmarks bewirkt einen erhöhten Blutdruck und stellt somit einen Risikofaktor der Herz-Kreislauf-Erkrankungen dar. Ferner ist z. B. eine gezielte Stressbewältigung wichtig, da ein hoher Cortisolspiegel (Hormon der Nebennierenrinde) das Immunsystem schwächt.

Es handelt sich bei dem Endokrinsystem um verschiedene Drüsen, die die von ihnen synthetisierten hochwirksamen Substanzen, sogenannte **Hormone**, direkt ins Blut sezernieren und daher als **innersekretorisch** oder **endokrin** bezeichnet werden.

Die Nerven sind direkt mit den Organen verbunden. Die Nachrichten können daher im Nervensystem im Allgemeinen fein abgestuft und mittels spezieller Zellen durch sich sehr schnell ausbreitende Aktionspotenziale rasch weitergeleitet werden. Die hormonelle Signalübertragung dauert meist einige Minuten bis Stunden, da die Hormone mithilfe des Kreislaufsystems über den Blutweg zu ihren weit im Körper verstreuten Erfolgsorganen gelangen, wo sie ihre Wirkung entfalten.

Hormone dienen daher der lang andauernden Steuerung von Reaktionen, wohingegen einzig und allein das Nervensystem schnelle sofortige Reaktionen auszulösen vermag.

Ziel dieses Kapitels ist es nicht, jede einzelne endokrine Drüse mit ihren Hormonen und deren Wirkungen detailliert zu schildern (der interessierte Leser sei in diesem Fall auf die im Anhang zitierte Literatur verwiesen). Vielmehr soll nachfolgend eine Übersicht über die molekulare Struktur der Hormone, ihre grundsätzliche Wirkungsweise und ihre Regulationsmechanismen gegeben werden.

7.1 Klassifizierung der Hormone

Kriterien Allen Hormonen ist gemeinsam, dass es sich um chemische Überträgerstoffe handelt, die von speziellen Geweben gebildet werden und in anderen definierten Geweben eine Wirkung entfalten, die für die Leistung des Organismus als Einheit essenziell ist. Man teilt die Hormone nach zwei Kriterien ein:

- molekularer Aufbau
- Syntheseort

7.1.1 Molekularer Aufbau

Hormone lassen sich keiner einheitlichen Stoffgruppe zuordnen. Vielmehr werden sie entsprechend ihrer chemischen Struktur in vier unterschiedlich kompliziert gebaute Gruppen eingeteilt (vgl. KLEINERT/RUPPERT/STRATIL 1994):

■ Peptid- und Protein hormone (Proteohormone)

Dies ist die größte Gruppe der Hormone. Peptid- und Protein hormone bestehen aus unterschiedlich langen Ketten von Aminosäuren, die durch Auffaltung verschiedenste räumliche Strukturen ausbilden. Ihre Wirkung ist dennoch an die Aminosäuresequenz gebunden.

Die Hormone der Bauchspeicheldrüse, **Insulin** und **Glucagon**, sowie alle weiteren Verdauungshormone gehören in diese Gruppe.

■ Steroid hormone

Ihre Synthese erfolgt aus einer Substanz der Zellmembran, dem Cholesterin. Durch geringfügige chemische Veränderungen entstehen so z. B. die Sexualhormone **Östradiol** und **Testosteron**.

■ Aminosäureabkömmlinge (Tyrosinderivate)

Diese Gruppe von Hormonen wird in mehreren Reaktionsschritten durch Abwandlung einzelner Aminosäuren gebildet. So entstehen beispielsweise aus der Aminosäure Tyrosin in dem Nebennierenmark das Stresshormon **Adrenalin** und in der Schilddrüse auf einem ganz anderen Weg die Schilddrüsenhormone **Thyroxin** und **Trijodthyroxin**.

■ Aus Fettsäuren gebildete Hormone

In erster Linie dienen ungesättigte langkettige Fettsäuren, wie z. B. die Arachidonsäure, zur Herstellung dieser Hormone. Zu ihnen zählen unter anderem die **Prostaglandine**, die Schmerzrezeptoren sensibilisieren und so bei der Wahrnehmung von Schmerzen eine Rolle spielen.

7.1.2 Bildungsort

Nach dem Syntheseort gliedert man die Hormone in:

- Drüsenhormone
- Gewebshormone

Drüsenhormone

Hierzu zählen alle Hormone, die in besonderen Organen, den sogenannten **endokrinen Drüsen** (innersekretorischen Drüsen), produziert werden. Diese Drüsen sind besonders gut durchblutet, da sie über das Blut die zur Synthese der Hormone erforderlichen Substanzen aufnehmen. Beim Menschen sind dies:

- Hirnanhangdrüse (Hypophyse)
- Epiphyse (Zirbeldrüse)
- Nebenschilddrüsen (Glandulae parathyreoideae)
- Schilddrüse (Glandula thyroidea)
- innere Brustdrüse (Thymus)
- Langerhans'sche Inseln der Bauchspeicheldrüse (Pankreas)
- Nebennieren (Glandula adrenalis)
- männliche Keimdrüsen: Hoden (Testikel)
- weibliche Keimdrüsen: Eierstöcke (Ovarien)

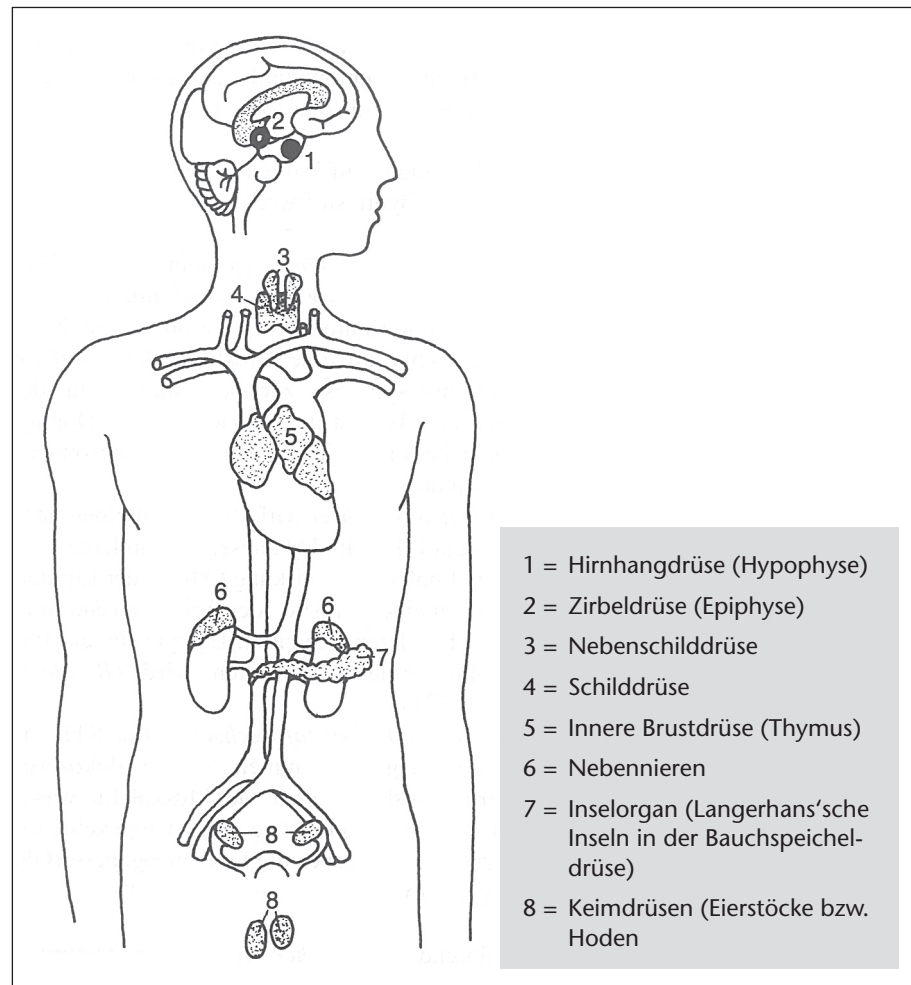


Abbildung 52: Übersicht Drüsen
(WEINECK 2004, S. 229)

Gewebshormone

Diese Gruppe von Hormonen wird von Zellen hergestellt, die nicht zu besonderen epithelialen Drüsen zusammengefasst sind. Vielmehr handelt es sich um kleine Gruppen, die verstreut in Geweben liegen und deren Aufgabe in erster Linie eine ganz andere als die Hormonsynthese ist. Dabei werden nicht alle Gewebshormone in die Blutbahn sezerniert, um über weite Strecken zu den Zielzellen zu gelangen. Vielmehr wandern einige, wie z. B. die Prostaglandine, durch Interzellularräume lediglich zu benachbarten Zellen. Ihre Wirkung ist daher lokal.

Beispiele für Gewebshormone:

- Im **Verdauungsapparat**: Gastrin (Magenschleimhaut), Sekretin (Dünndarm), Pankreozymin (Bauchspeicheldrüse)
- In der **Niere**: Renin und Angiotensin zur Steigerung des Blutdrucks, Erythropoetin zur Förderung der Erythrozytensynthese
- In den **Nervenzellen**: sogenannte Neurohormone
- Serotonin wird bei dem **Thrombozytenzerfall** freigesetzt und fördert die Kontraktion der Blutgefäßmuskulatur bei der Blutgerinnung
- Histamin ist in den **basophilen Granulozyten** enthalten und spielt eine Rolle bei der Antigen-Antikörper-Reaktion

7.1.3 Funktion der Hormone

Im Folgenden erhalten Sie einen Überblick über die für die körperliche bzw. sportliche Leistungsfähigkeit wichtigsten Hormone; anschließend stellen wir Ihnen die Wirkungen des Insulins beispielhaft vor:

Drüse	Hormon	Funktion	
		physiologisch	morphologisch
Schilddrüse	Thyroxin	Gesamtstoffwechsel, Sympathicus-Förderung, Grundumsatz	Wachstum und Entwicklung in der Jugend
	Calcitonin	CA ²⁺ -Spiegel-Senkung	Einbau von CA ²⁺ und PO ³⁻⁴ in die Knochen
Nebenschilddrüse	Parathormon	CA ²⁺ -Spiegel-Hebung	
Bauchspeicheldrüse (Langerhans'sche Inseln)	Glucagon	Hebung des Blutzuckerspiegels	
	Insulin	Senkung des Blutzuckerspiegels	
Nebennierenmark	Adrenalin und Noradrenalin	Förderung des Sympathicus, Hemmung der Verdauung, Hebung des Blutzuckerspiegels, Alarm-Reaktionen	
Nebennierenrinde	ca. 40 verschiedene Hormone (Corticoide)	Gesamtstoffwechsel (Mineral- und Wasserhaushalt, Eiweiß- und Kohlenhydratstoffwechsel)	
Hoden	Testosteron und Verwandte (Androgene)	Eiweißstoffwechsel	Ausbildung der männlichen Geschlechtsmerkmale, Spermiogenese
Eierstöcke	Östradiol und Verwandte (Östrogene)		Ausbildung der weiblichen Geschlechtsmerkmale, Veränderung der Uterusschleimhaut
Gelbkörper	Progesteron und Verwandte (Gestagene)	Erhaltung der Schwangerschaft, Steigerung der Körpertemperatur	Aufbau der Uterusschleimhaut, Aufbau der Milchdrüsen
Zirbeldrüse	Melatonin	Steuerung des Schlaf-Wach-Rhythmus	

Abbildung 53: Wichtige Hormone des Menschen (MIRAM/SCHARF 1997)

Beispiel: Wirkungen des Insulins

1. Steigerung der Zellpermeabilität

In insulinabhängigen Organen (z. B. Muskulatur, Leber, Nerven- und Fettgewebe) wird die Aufnahme von Monosacchariden (Zuckern), Aminosäuren und Fettsäuren durch Insulin erhöht.

Merke



Die auffallendste Wirkung des Insulins auf den Gesamtorganismus ist die Senkung des normalen oder erhöhten Blutglucosespiegels. Insulinmangel führt zur Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus).

2. Einfluss auf den Kohlenhydratstoffwechsel

Insulin fördert vorwiegend die Glycogenbildung im Muskel und in anderen Organen (Voraussetzung ist eine ausreichende Präsenz von Kohlenhydraten). Beim Absinken des Blutzuckers kommt es unter seiner Einwirkung zu einer Verschiebung der Glycogenbestände aus der Leber in die Muskulatur, was insbesondere bei körperlicher Belastung von großer Bedeutung ist. Des Weiteren fördert Insulin die Glucoseverbrennung im peripheren Zellstoffwechsel.

3. Einfluss auf den Fettstoffwechsel

Von der mit der Nahrung aufgenommenen Glucose werden – sofern sie nicht unmittelbar dem Abbau und der Oxidation unterliegt – 3 % zu Glycogen, jedoch 30 % in Fette umgewandelt. Unter Insulineinfluss laufen beide Prozesse verstärkt ab.

4. Einfluss auf den Eiweißstoffwechsel

Insulin fördert die Proteinbiosynthese aus Aminosäuren.

(vgl. WEINECK 2004)

7.2 Wirkungsmechanismen von Hormonen

Da mithilfe der Hormone Informationen von der Drüse zur Zielzelle, auch Effektor- oder Targetzelle genannt, übermittelt werden, bezeichnet man sie auch als Botenstoffe oder **First Messengers**. Wie genau ist das Botenmolekül nun in der Lage, unter der ungeheuren Zahl von Zellen des menschlichen Organismus die Effektorzellen zu erkennen?

Zu diesem Zweck bedient sich die Natur eines Mechanismus, der als **Schlüssel-Schloss-Reaktion** bezeichnet wird. Das Hormon wird dabei mit einem Schlüssel verglichen, der sich an einen Rezeptor (das Schloss) anlagert und zur Bildung eines Hormon-Rezeptor-Komplexes führt. Wie bei Schlüssel und zugehörigem Schloss, so existiert auch für jedes Hormon ein spezieller Rezeptor. Je nach molekularer Struktur des Botenstoffes befindet er sich außen an der Oberfläche der Membran oder im Zytoplasma der Zielzelle. Dies ermöglicht eine Zuordnung von Hormon und Effektorzelle. Weder Hormon noch Rezeptor allein können eine Zellantwort hervorrufen. Der gebildete Komplex ist die Voraussetzung für eine Hormonwirkung.

Je nachdem, ob der durch die Schlüssel-Schloss-Reaktion gebildete Komplex in der Zelle selbst oder außen auf ihrer Membran liegt, existieren zwei verschiedene Wirkungsmechanismen, die beide eine spezifische Zellantwort hervorrufen. Dabei greifen die Hormone im Allgemeinen indirekt in den zellulären Stoffwechsel ein und lösen eine Reaktionskaskade aus.

Lernkontrollfragen zu Kapitel 7 ?

Aufgabe 7.1

Wo werden Hormone außer in den endokrinen Drüsen noch synthetisiert, und wie werden diese Hormone genannt?

Aufgabe 7.2

Nennen Sie mindestens fünf endokrine Drüsen. Welche Hormone produzieren sie und welche Funktion haben diese Hormone?

Nun ist Ihre Meinung gefragt!

Dieses Formular bitte entweder ausschneiden und versenden oder interaktiv im PDF ausfüllen und mit einem Klick per Mail versenden (s. unten)!

Studienhefttitel: FB_P_1015

Haben Sie das Studienheft per Post oder online erhalten?

1. Waren die Inhalte des Studienheftes für Sie insgesamt gut verständlich?

++	+	-	--
----	---	---	----

a) Textpassagen

++	+	-	--
----	---	---	----

b) Abbildungen/Tabellen

++	+	-	--
----	---	---	----

Haben Sie hierzu Anmerkungen?

2. Haben Sie das Studienheft pünktlich erhalten?

++	+	-	--
----	---	---	----

Gab es Besonderheiten (z. B. Schwierigkeiten bei der Zustellung, beim Download etc.)?

3. Haben Sie durch das Studienheft neue Erkenntnisse, Einsichten gewinnen können?

++	+	-	--
----	---	---	----

Haben Sie hierzu Anmerkungen?

4. Entsprachen Layout und grafische Darstellung Ihren Ansprüchen?

++	+	-	--
----	---	---	----

Haben Sie hierzu Anmerkungen?

5. Waren Sie mit den didaktischen Mitteln des Studienheftes (Praxisbeispiele, Lernkontrollfragen, Merksätze usw.) zufrieden?

++	+	-	--
----	---	---	----

Haben Sie hierzu Anmerkungen?

6. Konnten Sie die Lernkontrollfragen durch das vermittelte Wissen beantworten?

++	+	-	--
----	---	---	----

Wenn Schwierigkeiten aufgetreten sind, in welchem Kapitel, bei welchen Lernkontrollfragen hatten Sie Schwierigkeiten?

Nun ist Ihre Meinung gefragt!

7. Haben Sie das Stichwort-, Abbildungs- und Literaturverzeichnis innerhalb Ihres Lernprozesses genutzt?

++	+	-	--
----	---	---	----

Haben Sie hierzu Anmerkungen?

8. Der Titel eines Studienheftes suggeriert bestimmte Inhalte. Entsprachen die Inhalte Ihren Erwartungen?

++	+	-	--
----	---	---	----

Haben Sie hierzu Anmerkungen?

9. Welche Kapitel oder Textabschnitte haben Ihnen besonders gut gefallen?
(Bitte geben Sie die Kapitel- oder Seitenzahl an und begründen Sie kurz)

10. Welche Kapitel oder Textabschnitte haben Ihnen nicht so gut gefallen?
(Bitte geben Sie die Kapitel- oder Seitenzahl an und begründen Sie kurz)

11. Wie beurteilen Sie das Studienheft insgesamt?

++	+	-	--
----	---	---	----

Begründung:

12. Ich habe folgende Verbesserungsvorschläge, Anmerkungen und offene Fragen:

Wir freuen uns über Ihre Anregungen, die Sie uns gern per Post, per e-Mail oder per Fax zusenden können. Ansonsten haben Sie die Möglichkeit, den Fragebogen mit Ihrer nächsten Einsendearbeit zu schicken oder ihn zu Ihrem Seminar mitzubringen. Wir werden Ihre Anregungen bei der Entwicklung unserer Lehrmaterialien berücksichtigen.

Per Post: IST-Studieninstitut
Erkrather Str. 220 a–c
D-40233 Düsseldorf
Per Fax: +49(0)211/866 68-30

Per e-Mail: [hier senden](#)

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!
Ihr IST-Team

Aufgabe 1.1

Wasserlösliche Vitamine werden im Körper nur in geringen Mengen gespeichert.

Aufgabe 1.2

Zur Energiegewinnung dienen Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße.

a) Eiweiße (Proteine)

- enthalten neben Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff auch Stickstoff und Schwefel
- ihre Bausteine heißen Aminosäuren
- viele Aminosäuren verbinden sich zu unverzweigten Ketten, den Polypeptiden, die ihre räumliche Struktur durch Faltung und Drehung einnehmen
- mehrere Polypeptide bilden ein komplettes Protein

b) Kohlenhydrate

- enthalten Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff

man unterscheidet:

- ▶ Monosaccharide = ringförmige Moleküle aus meist sechs Kohlenstoffatomen
- ▶ Disaccharide = Zweifachzucker, der unter Abspaltung von einem Molekül Wasser aus zwei Monosacchariden besteht
- ▶ Polysaccharide = Verkettung einer großen Zahl von Monosacchariden

c) Fette

- bestehen aus Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff
- Nahrungsfette sind Öle und Neutralfette
- Neutralfette bestehen aus einem Molekül Glycerin und drei Molekülen Fettsäure
- man unterscheidet gesättigte und ungesättigte Fettsäuren

Aufgabe 1.3

Je geringer die Trainingsintensität, desto mehr Fettsäuren werden zur Energiegewinnung aus den Körperdepots herangezogen. Es ist aber trotzdem die Anwesenheit von Kohlenhydraten erforderlich, denn nur zusammen mit den Kohlenhydraten können die Fette vollständig verbrannt werden. Ist dagegen keine ausreichende Versorgung mit Kohlenhydraten gegeben, verstoffwechselt der Körper die Fettsäuren nicht vollständig. Es entstehen sogenannte Ketonkörper, die auf Dauer zu einer Übersäuerung (Acidose) führen können. Die Folge der Acidose ist, dass der Körper nicht mehr ausreichend Energie bereitstellen kann. Dies erklärt auch den häufigen Energiemangel und die Schwindelanfälle bei Sportlern, die eine kohlenhydratarme Diät befolgen, bzw. Leistungseinbußen bei mangelnder Kohlenhydratzufuhr (Hungerast).

Aufgabe 1.4

Anaerobe Energiegewinnung

Vorteil:

- Energiebereitstellung erfolgt relativ schnell
- Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ groß

Nachteile:

- Gesamtenergiemenge ist relativ klein
- Energie kann nur relativ kurze Zeit anaerob bereitgestellt werden
- Anreicherung von Laktat

Aerobe Energiegewinnung

Vorteile:

- nahezu unbegrenzte Dauer der Energiegewinnung
- durch Abbau von Fetten möglich
- die bereitgestellte Gesamtenergiemenge ist relativ groß
- problemlose „Entsorgung“ der Stoffwechselendprodukte (H_2O und CO_2) über Haut und Lungen

Nachteil:

- Energiebereitstellung erfolgt relativ langsam
- die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ klein

Aufgabe 1.5

Kreatinphosphat dient als Spender einer Phosphatgruppe bei der Resynthese von ATP:



Dieser Weg ist schnell und benötigt keinen Sauerstoff.

Aufgabe 2.1

Die Nase erfüllt drei wichtige Funktionen bei der Atmung:

- Reinigung
- Befeuchtung
- Erwärmung der Atemluft

Aufgabe 2.2

Den Gasaustausch zwischen Umgebungsluft und Blut nennt man äußere Atmung. Er findet in den Alveolen der Lunge statt.

Aufgabe 2.3

Die Atemfrequenz eines Erwachsenen beträgt 14 bis 16 Atemzüge pro Minute (evtl. Schwankungen 10–18 Atemzüge). Durch Multiplikation von Atemzugvolumen und Atemfrequenz erhält man das Atemminutenvolumen.

Aufgabe 2.4

- **Sauerstoff:** Er wird in erster Linie chemisch an Hämoglobin gebunden und von den roten Blutkörperchen, die dieses Transportmolekül enthalten, transportiert.
- **Kohlendioxid:** Es wird auf drei verschiedene Arten vom Blut transportiert:
 - ▶ ca. 60 % im Plasma in Form von Hydrogencarbonat
 - ▶ ungefähr 25 % an Hämoglobin gebunden in den Erythrozyten
 - ▶ geringe Mengen gelöst im Plasma

Aufgabe 3.1

Die Lymphozyten, sie zählen zu den weißen Blutkörperchen, synthetisieren die Antikörper.

Aufgabe 3.2

Tritt eine Verletzung auf, kommt es zu einer Gefäßverengung vor und hinter der Verletzungsstelle, welche zu einem Blutdruckabfall an dieser Stelle führt. Außerdem bildet sich an den Wundrändern ein reversibler Thrombozyten-Pfropf, der die Blutung zum Stehen bringt. Dieser kann die Wunde nicht dauerhaft verschließen, da ihm die nötige Festigkeit fehlt.

Bei der Blutgerinnung findet eine Reihe von enzymatischen Reaktionen statt. Es wird ein Prothrombinumwandlungsfaktor freigesetzt, der in Gegenwart von Calcium- 2^+ -Ionen das inaktive Enzym Prothrombin in das aktive Thrombin umwandelt. Das Thrombin wiederum wandelt das im Blut vorhandene lösliche Fibrinogen in das unlösliche Fibrin um. Dieses bildet ein dichtes Faserwerk, das sich zusammenzieht und den Gefäßdefekt endgültig verschließt.

Aufgabe 3.3

Plasma ist die Flüssigkeit des Blutes, die nach Abtrennung der zellulären Bestandteile des Blutes zurückbleibt.

Als Serum bezeichnet man das Blutplasma ohne Gerinnungsfaktoren. Es bleibt bei der Blutgerinnung als gelbliche Flüssigkeit übrig.

Aufgabe 4.1

Man gliedert das Kreislaufsystem des menschlichen Körpers in:

- kleiner Kreislauf oder Lungenkreislauf
- großer Kreislauf oder Körperkreislauf

Jeder der beiden Kreisläufe beginnt und endet am Herzen, wobei drei Abschnitte unterschieden werden:

- Arterien, die das Blut vom Herzen zur Peripherie des Organismus leiten
- Kapillaren, in denen der Stoffaustausch stattfindet
- Venen, die das Blut dem Herzen wieder zuführen

Aufgabe 4.2

Das Herz ist in vier unterschiedlich große Hohlräume unterteilt:

- linker Vorhof (Atrium): hier münden die vier Lungenvenen, von denen dem Vorhof das Blut zugeführt wird
- linke Hauptkammer (Ventrikel): von hier geht die den Körperkreislauf versorgende Aorta ab
- rechter Vorhof (Atrium): hier münden die beiden Körpervenen
- rechte Hauptkammer (Ventrikel): von hier geht die Lungenarterie ab, die dem kleinen Kreislauf das sauerstoffarme Blut zuführt

Aufgabe 4.3

Die Ventilebene kennzeichnet von außen den Verlauf der Herzkranzgefäße. Die rechte und linke Koronararterie versorgen gemeinsam mit den zugehörigen Venen die Herzmuskulatur.

Aufgabe 4.4

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten von Herzklappen:

- Segelklappen: Sie befinden sich zwischen Atrium und Ventrikel und sind über feine Sehnenfäden an den Papillarmuskeln befestigt.
- Taschenklappen: Sie liegen an der Stelle, wo die großen Arterien aus den Kammern entspringen.

Die Aufgabe der Herzklappen ist die Steuerung der Richtung des Blutstromes. Man bezeichnet dies als Ventilfunktion.

Aufgabe 4.5

In der Kammersystole wird das Blut aus den Ventrikeln in die Arterien gepresst. Gleichzeitig läuft auch die Vorhofdiastole ab, in der sie mit Blut gefüllt werden. Während der Kammerdiastole strömt dann das Blut von den Vorhöfen in die Kammern. Gegen Ende der Kammerdiastole beginnt die Vorhofsystole, in deren Verlauf die restlichen 15 % des Blutes, welches sich noch in den Vorhöfen befindet, in die Kammern gepresst werden.

Aufgabe 4.6

Das erregungsbildende Zentrum der Herzmuskulatur ist der Sinusknoten. Er besteht aus den reizbildenden Muskelzellen, deren Eigenschaften denen der Nervenzellen sehr ähnlich sind.

Aufgabe 4.7

Die Wand von Arterien und Venen wird aus drei Schichten aufgebaut. Sie heißen:

- Tunica interna (innerste Schicht)
- Tunica media (mittlere Schicht)
- Tunica externa (äußere Schicht)

Bei den Arterien ist die Tunica media besonders stark ausgebildet. In den herznahen Arterien ist der Anteil an elastischen Fasern besonders groß, in den Arteriolen besteht die Tunica media aus schraubenförmigen Muskelfasern.

Die Tunica externa dagegen ist bei den Venen besonders kräftig entwickelt, damit die herznahen Venen unter der Sogwirkung des Herzens nicht in sich zusammenfallen.

Aufgabe 5.1

Das Abwehrsystem des Menschen besteht aus vier Teilsystemen. Die unspezifische Abwehr richtet sich gegen alle „Fremdlinge“ im Körper. Ihre Mechanismen sind angeboren. Die spezifische Abwehr richtet sich gezielt gegen bestimmte Antigene, die auch wiedererkannt werden können. Die Vorgänge der spezifischen Abwehr sind erworben. Das bedeutet, dass jeder Mensch erst lernen kann, einen bestimmten Krankheitserreger spezifisch abzuwehren, wenn er mit ihm in Kontakt kommt.

Dann gibt es noch die Unterscheidung in eine zelluläre und eine humorale Abwehr. Zellulär bedeutet, dass die Abwehr durch Zellen erfolgt. Humoral meint nichts anderes als „nicht zellulär“. In der Übersichtsgrafik finden Sie die Bestandteile dieser vier Teilsysteme noch einmal zusammengefasst.

Teilsysteme der Abwehr	zellulär	humoral
spezifisch	T-Zellen T-Helferzellen T-Gedächtniszellen T-Suppressorzellen zytotoxische T-Zellen	Antikörper (produziert von Plasmazellen und B-Gedächtniszellen)
unspezifisch	NK-Zellen Makrophagen neutrophile Granulozyten	Komplement Zytokine Lysozym

Aufgabe 5.2

Genau wie die Blutbahnen ist auch der gesamte Körper von einem System von feinen Lymphbahnen durchzogen. In den Kapillaren der Arterien tritt Blutplasma durch die feinen Membranen in die Zellzwischenräume (Interstitium) aus. Zusammen mit dieser Flüssigkeit gelangen auch Leukozyten in die Zellzwischenräume. Ein Großteil des Blutplasmas – 90 % – wird wieder in die venösen Blutgefäße rückresorbiert. Die restlichen 10 % gelangen als Lymphe in die Lymphbahnen.

Die Lymphkapillaren befinden sich überall im Körper. Sie verlaufen parallel zu den venösen Blutgefäßen. Die Lymphkapillaren beginnen blind und vereinigen sich zu immer größeren Lymphbahnen. Die Lymphbahnen wiederum laufen in den Lymphknoten zusammen und werden von dort über große „Sammelbahnen“ weitergeführt. Im linken und rechten Venenwinkel gelangt die Lymphe zurück in die Blutbahn.

Das Lymphsystem hat die Aufgabe, Nahrungsfette aus dem Darm zu transportieren. Außerdem sorgt es durch die Rückführung der Lymphe in die Blutbahn dafür, dass die Zellzwischenräume von überschüssiger Flüssigkeit befreit werden.

Zum lymphatischen System gehören neben den Lymphbahnen auch Lymphknoten, Mandeln, Milz und lymphatisches Gewebe auf Schleimhäuten.

Die Lymphknoten sind Filterstationen, die die Lymphe reinigen. Durch Makrophagen und Lymphozyten werden Krankheitserreger, Fremdkörper und Zelltrümmer beseitigt. Die Lymphknoten sind außerdem auch Bildungsstätten der Lymphozyten, die sich vorwiegend im lymphatischen System und nur zu einem geringen Teil in den Blutbahnen aufhalten. Die Lymphozyten, die ständig im Körper zirkulieren, halten auf diese Weise den Abwehrmechanismus in Gang.

Aufgabe 6.1

Das Nervensystem wird gegliedert in:

- Zentralnervensystem mit Gehirn und Rückenmark
- peripheres Nervensystem mit Hirnnerven und Rückenmarksnerven
- vegetatives Nervensystem mit Sympathikus und Parasympathikus

Aufgabe 6.2

Die verschiedenen Abschnitte einer Nervenzelle lauten:

- Dendriten: sie nehmen die Erregung von anderen Nervenzellen auf und leiten sie zum Soma der Nervenzelle
- Axonhügel: hier entsteht das Aktionspotenzial
- Axon: Weiterleitung der Erregung bis zur Zielzelle
- Endknöpfchen: die Nachricht wird in ein chemisches Signal umcodiert und mithilfe des Transmitters über den Synapsenspalt zur Empfängerzelle geleitet
- Markscheide: fungiert als Isolationsschicht und erhöht die Geschwindigkeit der Erregungsleitung

Aufgabe 6.3

Folgende Prozesse laufen bei einem Aktionspotenzial ab:

- ein Reiz von ausreichender Stärke führt zu einer Depolarisation über das Schwellenpotenzial hinaus;
- Natriumionen können nun einströmen;
- das Zellinnere wird rapide positiver, wodurch noch mehr Natriumkanäle geöffnet werden;
- das Membranpotenzial wird immer positiver und kehrt sich schließlich um (Overshoot);
- Natriumkanäle werden geschlossen, die Durchlässigkeit für Kaliumionen steigt nun schnell an;
- Kaliumionen strömen in den Extrazellulärraum, das Membranpotenzial nimmt entsprechend ab (Repolarisation), kann sogar bis unter das Ruhepotenzial fallen (Hyperpolarisation);
- schließlich wird das Ruhepotenzial eingestellt und mithilfe der Natrium-Kalium-Pumpe aufrechterhalten.

Aufgabe 6.4

Man unterscheidet:

- kontinuierliche Erregungsleitung an marklosen Axonen
- saltatorische Erregungsleitung an markhaltigen Axonen

Aufgabe 6.5

Die beiden Gewebetypen werden entsprechend ihrer Farbe bezeichnet:

- graue Substanz: sie besteht aus Zellkörpern der Nervenzellen
- weiße Substanz: sie setzt sich aus Axonen der Nervenzellen zusammen

Aufgabe 6.6

Die beiden Gegenspieler des autonomen Nervensystems werden bezeichnet als:

1. Sympathikus: Seine Nerven entspringen in der grauen Substanz des Rückenmarks in Thorax und Lendengegend. Er stellt den Körper auf Arbeit ein und versetzt ihn in Alarmbereitschaft, d. h., der Stoffwechsel wird angeregt und so Energie freigesetzt;
2. Parasympathikus: Seine Nerven entspringen im Hirnstamm. Der Parasympathikus ist der Antagonist des Sympathikus, er stellt den Körper auf Ruhe und Erholung ein. Nährstoffe werden verdaut und Energie wird gespeichert.

Aufgabe 7.1

Neben den Drüsenhormonen, die in den endokrinen Drüsen synthetisiert werden, existieren im menschlichen Organismus auch Gewebshormone. Ihre Produktion erfolgt in kleinen Zellgruppen, die verstreut in Organen angeordnet sind, deren Aufgabe ansonsten nicht die Hormonbildung ist.

Aufgabe 7.2

Die Hirnanhangdrüse (Hypophyse) produziert diverse Neurohormone und ist das übergeordnete Regulationszentrum des endokrinen Systems.

Die Zirbeldrüse (Epiphyse) produziert das Melatonin, welches den Schlaf-Wach-Rhythmus steuert.

Die Schilddrüse (Glandula thyreoides) produziert das Triiodthyronin und Thyroxin, welche physiologisch für den Gesamtstoffwechsel, die Sympathicus-Förderung und den Grundumsatz zuständig sind. Morphologisch beeinflusst sie das Wachstum und die Entwicklung in der Jugend. Weiterhin produziert sie das Calcitonin, welches physiologisch den Ca^{2+} -Spiegel senkt und morphologisch den Einbau von Ca^{2+} und PO_3-4 in die Knochen beeinflusst.

Die Nebenschilddrüsen (Glandulae parathyreoideae) produzieren das Parathormon, welches den Ca^{2+} -Spiegel hebt.

In der inneren Brustdrüse (Thymus) werden Thymozyten in T-Lymphozyten umgewandelt, welche der Immunabwehr dienen.

Die Langerhans'schen Inseln der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) produzieren Glucagon zur Hebung des Blutzuckerspiegels und Insulin zur Senkungen desselben.

Die Nebennieren (Glandula adrenal) produzieren im Nebennierenmark das Adrenalin und das Noradrenalin, welche den Sympathicus fördern, die Verdauung hemmen, den Blutzuckerspiegel heben und Alarmreaktionen auslösen. Die Nebennierenrinde produziert ca. 40 verschiedene Hormone (Corticoide), welche den Gesamtstoffwechsel (Mineral- und Wasserhaushalt, Eiweiß- und Kohlenhydratstoffwechsel) beeinflussen.

Die männlichen Keimdrüsen, Hoden (Testikel), produzieren u. a. das Testosteron, welches physiologisch den Eiweißstoffwechsel beeinflusst und morphologisch für die Ausbildung der männlichen Geschlechtsmerkmale und die Spermiogenese verantwortlich ist.

Die weiblichen Keimdrüsen, Eierstöcke (Ovarien), produzieren Östradiol und Östrogene, die die weiblichen Geschlechtsmerkmale ausbilden und die Uterusschleimhaut verändern.

Abbildung 1:	Zusammensetzung einiger Speisen	9
Abbildung 2:	Biologische Wertigkeit verschiedener Eiweißträger	15
Abbildung 3:	Gleichgewicht zwischen Wasseraufnahme und Wasserausscheidung	17
Abbildung 4:	Anteil der verschiedenen energieliefernden Substrate an der Energiebereitstellung	18
Abbildung 5:	Glykolyse in der Muskelzelle	22
Abbildung 6:	Stoffwechselwege der energieliefernden Nahrungsstoffe	25
Abbildung 7:	Zusammensetzung des Energiebedarfs bei normaler körperlicher Belastung	27
Abbildung 8:	Abhängigkeit des Energiebedarfs vom Grad der körperlichen Betätigung	27
Abbildung 9:	Energieumsätze bei verschiedenen sportlichen Disziplinen	30
Abbildung 10:	Schematische Darstellung der Atmungsorgane	34
Abbildung 11:	Luftröhre (Trachea)	36
Abbildung 12:	Form und Bau der Lunge und des freigelegten Bronchialsystems, von vorn gesehen	37
Abbildung 13:	Aufteilung eines Luftröhrenastes (schematisch)	38
Abbildung 14:	Grundschema der Beziehungen zwischen Kreislauf, Blut und Atmung	40
Abbildung 15:	Frontalschnitt durch die Lunge	41
Abbildung 16:	Lungenvolumina	42
Abbildung 17:	Bestandteile des Blutes und ihre funktionelle Bedeutung	51
Abbildung 18:	Reife rote Blutkörperchen	54
Abbildung 19:	Übersicht über die Vorgänge bei der Blutstillung und -gerinnung	58
Abbildung 20:	Schematische Darstellung des Blutkreislaufes	63
Abbildung 21:	Längsschnitt des Herzens	64
Abbildung 22:	Segelklappen und Taschenklappen im Vergleich	66

Abbildung 23:	Längsschnitt durch das Herz	67
Abbildung 24:	Darstellung von Systole (links) und Diastole (rechts)	69
Abbildung 25:	Verteilung des strömenden Blutvolumens (Herzminutenvolumen) auf die einzelnen Teilkreisläufe bei körperlicher Ruhe	70
Abbildung 26:	Reizleitungssystem	72
Abbildung 27:	Schematische Darstellung der Windkesselfunktion der Aorta	73
Abbildung 28:	Schichtaufbau einer Arterie	74
Abbildung 29:	Unterstützung des Blutstroms der Venen zum Herzen hin durch die Pulswelle der benachbarten Arterie	76
Abbildung 30:	Ursprung sowie Prägung, Speicherung und Wirkung der Blutzellen zur Abwehr körperfremder Substanzen	81
Abbildung 31:	Spezifische Abwehr körperfremder Substanzen mithilfe der B-Lymphozyten	83
Abbildung 32:	Verschiedene Faktoren, die die Immunabwehr beeinflussen	85
Abbildung 33:	Wichtige Lymphbahnen und Lymphknotenstationen	87
Abbildung 34:	Verschiedene Typen von Nervenzellen	92
Abbildung 35:	Motorisches Neuron eines Wirbeltieres mit Bezeichnung der verschiedenen Teilfunktionen. Axon und umgebende Myelinscheiden sind im Längsschnitt dargestellt	93
Abbildung 36:	Struktur der motorischen Endplatte	95
Abbildung 37:	Bau eines Nervs	96
Abbildung 38:	Mechanismen, die zur Entstehung des Ruhemembranpotenzials führen	98
Abbildung 39:	Entstehung des Aktionspotenzials	100
Abbildung 40:	Refraktärphase nach einem Aktionspotenzial/ Zeitverlauf der Änderung in der Erregbarkeit	102
Abbildung 41:	Kontinuierliche und saltatorische Erregungsleitung. Die Zahlenangaben beziehen sich auf Axone mit einem Durchmesser von 10 μm	103
Abbildung 42:	Funktion der Synapse	104

Abbildung 43:	Nachrichtenübermittlung bei Nervenzellen	106
Abbildung 44:	Hirnhäute (Meningen)	108
Abbildung 45:	Rückenmark mit Hirn- und Rückenmarksnerven sowie dem sympathischen Grenzstrang	110
Abbildung 46:	Querschnitt durch ein Rückenmarkssegment (schematisch)	111
Abbildung 47:	Schematische Darstellung des Eigen- und Fremdreflexes	112
Abbildung 48:	Schema eines Fremdreflexes am Beispiel einer Fluchtreaktion nach Schmerzreiz	113
Abbildung 49:	Hierarchischer Aufbau des Zentralnervensystems (schematisch)	114
Abbildung 50:	Lokalisation der Funktionen des Großhirns nach K. KLEIST. Laterale Großhirnfläche	116
Abbildung 51:	Funktionen von Sympathikus und Parasympathikus	121
Abbildung 52:	Übersicht Drüsen	128
Abbildung 53:	Wichtige Hormone des Menschen	129

- BERTELSMANN-VERLAG (Hrsg.) (1984):** Der Mensch, Bd. 3 der Enzyklopädie „Natur und Wissen“, München
- BAUER, E. W. et. al. (1983):** CVK Biologiekolleg
- BRANDIS V., H.-J./SCHÖNEBERGER, W. (1995):** Anatomie und Physiologie, Stuttgart/New York: Urban & Fischer
- BÜCKER, J. (1992):** Anatomie und Physiologie, Stuttgart/New York: Thieme
- CULCLASURE, D. F. (1992):** Anatomie und Physiologie des Menschen, Bd. 3, 13, 14, 15. Die Muskulatur, Weinheim: Wiley-VCH
- ECKERT, R. (2002):** Tierphysiologie, Stuttgart/New York: Thieme
- FALLER, A. (2004):** Der Körper des Menschen, Stuttgart/New York: Thieme
- HABERMANN-HORSTMEIER, L. (1992):** Anatomie, Physiologie und Pathologie, Stuttgart/New York: Schattauer
- HECK, H. (1990):** Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik, Schorndorf: Hofmann
- HOFF, P./JAENICKE, J./MIRAM, W. (1995):** Biologie heute 2G, Hannover: Schroedel Verlag
- HOHMANN, A./LAMES, M./LETZELTER, M. (2002):** Einführung in die Trainingswissenschaft, Wiebelsheim: Limpert Verlag
- HUPPELSBERG, J./WALTER, K. (2005):** Kurzlehrbuch Physiologie, Stuttgart/New York: Thieme
- JECKLIN, E. (2004):** Arbeitsbuch Anatomie und Physiologie, München/Jena: Urban & Fischer
- KLEINERT, R./RUPPERT, W./STRATIL, F. X. (1994):** Nervensystem, Hormonsystem und Immunsystem, München: Mentor
- LINDER, H. (1998):** Biologie, Stuttgart: Schroeder Verlag
- LINDER/HÜBLER (1989):** Biologie des Menschen, Hannover: Metzler
- MENCHE, N. (2007):** Biologie, Anatomie, Physiologie, 6. Aufl., München/Jena: Urban & Fischer
- MIRAM, W./SCHARF, K.-H. (1997):** Biologie heute SII. Hannover: Schroedel Verlag
- MÖRIKE, K./BETZ, E./MERGENTHALER (2001):** Biologie des Menschen, Heidelberg/Wiesbaden: Nikol

SCHÜTZ, E./CASPER, H./SPECKMANN, E.-J. (1982): Physiologie, Lehrbuch für Studierende, München/Wien/Baltimore: Urban & Fischer

SCHÜTZ, E./ROTHSCHUH, K.-E. (1982): Bau und Funktionen des menschlichen Körpers, München/Wien/Baltimore: H. F. Ullmann Publishing

SILBERNAGEL, S./DESPOPULUS, A. (2003): Taschenatlas der Physiologie. 6. Aufl., Stuttgart/New York: Thieme

SPECKMANN, E.-J./WITTKOWSKI, W. (2004): Bau und Funktionen des menschlichen Körpers, München/Wien/Baltimore: H. F. Ullmann Publishing

STEPHAN, K.-E. (1984): Physiologie für MTA, Stuttgart/New York: Thieme

TOMASITS, J./HABER, P. (2003): Leistungsphysiologie, Wien/New York: Springer

VILLIGER, B./EGGER, K./LERCH, R. et. al. (1991): Ausdauer, Stuttgart: Thieme

VOSS, H./HERRLINGER, R. (1986): Taschenbuch der Anatomie. Bd. 3: Nervensystem, Sinnesorgane, Hormonsystem, Stuttgart: VEB Gustav Fischer

WEINECK, J. (2007): Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings, 15. Aufl., Balingen: Spitta

WEINECK, J. (2004): Sportbiologie, 9. Aufl., Balingen: Spitta

Weiterführende Literatur

ALBERS, B. et. al. (1983): Molecular Biology of the Cell, New York/London: Wiley

BARTELS, H./BARTELS, R. (1987): Physiologie, München/Wien/Baltimore: Urban & Schwarzenberg

BAUER, E. W. (1992): Humanbiologie, Bielefeld: Cornelsen Verlag

CZIHAK, G./LANGER, H./ZIEGLER, H. (1984): Biologie, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer

DE MARÉES, H. (2003): Sportphysiologie, 9. Aufl., Köln: Sportverlag Strauß

DKV (1992): Das Lexikon für Gesundheitssport: Der aktuelle Leitfaden rund um das Thema Gesundheit durch Bewegung, Spiel und Sport, Oberhaching: Sportinform

- DTV-ATLAS DER PHYSIOLOGIE (1998):** München: DTV Verlag
- FENEIS, H. (1974):** Anatomisches Bildwörterbuch, Stuttgart: Thieme
- GOTTSCHALK, W. (1994):** Allgemeine Genetik, Stuttgart/New York: Thieme
- HADORN, E./WEHNER, R. (1986):** Allgemeine Zoologie, Stuttgart/New York: DTV
- HAFNER, L./HOFF, P. (1984):** Genetik, Hannover,:Schroedel
- HAGEMANN, R. (1984):** Allgemeine Genetik, Stuttgart: Spektrum Akademischer Verlag
- HARTMANN, G. (1988):** Lehrbuch der Anatomie und Physiologie für ärztliches Assistenzpersonal, Bern/Stuttgart/Toronto: Verlag Haus Huber
- HESS, D. (1982):** Genetik, Freiburg/Basel/Wien: Freiburg
- HOLLMANN, W. (Hrsg.) (1995):** Lexikon der Sportmedizin, Heidelberg/Leipzig: Schhatauer
- KAHLE, W (1984):** Taschenatlas der Anatomie, Band 3: Nervensystem und Sinnesorgane, Stuttgart/New York: Thieme
- KAUDEWITZ, F. (1992):** Genetik, Stuttgart: Ulmer
- KEIDEL, W.-D. (1985):** Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, Stuttgart/New York: Thieme
- KNIPPERS, R. (1982):** Molekulare Genetik, Stuttgart/New York: Thieme
- KNUSSMANN, R. (1980):** Vergleichende Biologie des Menschen, Stuttgart: Gustav Fischer
- KULL, U./KNODEL, H. (1980):** Genetik und Molekularbiologie, Stuttgart: Schroedel
- LEHRSTUHL FÜR SPORTMEDIZIN (1993):** Basistext zur Vorlesung Sportmedizin. Ruhr-Universität Bochum
- LENZ, W. (1983):** Medizinische Genetik, Stuttgart/New York: Thieme
- LEWIN, B. (1988):** Gene, Weinheim: Wiley-VCH
- LIPPERT, H. (1983):** Anatomie, Text und Atlas, München/Wien/Baltimore: Urban & Fischer

NULTSCH, W. (1986): Allgemeine Botanik, Stuttgart/New York: Thieme

REIN, H./SCHNEIDER, M. (1973): Einführung in die Physiologie des Menschen, Berlin/Heidelberg/New York: Springer

ROHEN, J. W. (1990): Funktionelle Anatomie des Menschen, Stuttgart/New York: Schattauer

SCHIEBLER, T. H./SCHMIDT, W. (1987): Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen, Berlin/Heidelberg/New York/London/Paris/Tokyo: Springer

SKINNER, J. S. (Hrsg.) (1989): Rezepte für Sport und Bewegungstherapie, Köln: Deutscher Ärzte Verlag

STEGEMANN, J. (2001): Leistungsphysiologie, Stuttgart/New York: Thieme

STEINHAUSEN, M. (1991): Medizinische Physiologie, Heidelberg: Urban & Fischer

WILKIE, D. R. (1983): Muskel - Struktur und Funktion, Stuttgart: Vieweg + Teubner Verlag

Internetquellen (Letzter Zugriff am 06.10.2015)

SPORTMEDIZIN ONLINE

Sportmedizinische Zeitschriften:

www.zeitschrift-sportmedizin.de

BIBLIOTHEKEN, DATENBANKEN

www.dimdi.de

www.zbmed.de

www.zb-sport.dshs-koeln.de

www.pudmed.de

www.sponet.de

www.bisp.de

A

Adrenalin	127
Aktionspotenzial	99
Albumine	52
Alles-oder-nichts-Gesetz	101
Alveolen	39
Anabolismus	8
Antigen	82
Aorta	62
Aortenklappe	65
Arachnoidea	107
Armnervengeflecht	119
Arterien	73
Aspiration	35
Atemfrequenz	43
Atemminutenvolumen	43
Atemwege	35
Atemzugvolumen	43
Atmung	40, 62
Atrioventrikularknoten	72
Atrium	65
Aufbau	126
Autonom	71
AV-Knoten	72
Axon	94
Axone	95, 103

B

Basophile Granulozyten	55
Betriebsstoffwechsel	9
Bikuspidalklappe	65
Blutdruck	69

Blutgefäße	73
Blutgerinnung	58
Blut-Hirn-Schranke	108
Blutkörperchen	53
Blut-Liquor-Schranke	108
Blutmakrophagen	82
Blutplättchen	56
Blutstillung	57
Bronchialbaum	37
Bronchien	37
Bronchiolen	38
Brücke	117

C

Carbaminohämoglobin	46
Carboanhydrase	46
Cerebrum	115
Codierung	102
Coenzym	21
Cor	64

D

Dendriten	94
Depolarisation	99
Dextrose	11
Diastole	68
Dipeptid	14
Drüsen	127
Drüsenhormone	127
Dura mater	107

E

Eigenreflex	112
Einfachzucker	11
Einheit	94
Eiweiße	10, 14
Endbronchien	38
Endknöpfchen	94
Endocard	67
Endokrin	125
Endokrinsystem	125
Energiebedarf	26
Energiegewinnung	18
Energiestoffwechsel	9
Eosinophile Granulozyten	55
Epicard	66
Epiglottis	35
Erregungsleitung	103
Erregungsleitungssystem	72
Erregungsprozesse	97
Erythrozyten	53
Expiration	40

F

Fette	10, 12, 20
Fettsäuren	13, 127
Fettstoffwechsel	24, 130
First Messengers	131
Flimmerepithel	35
Fremdreflex	113
Fresszellen	82
Fructose	11

G

Galactose	11
Gedächtniszellen	82
Gefäßarten	62
Gehirn	114
Gerinnungsfaktoren	57
Gewebshormone	128
Gliazellen	91
Globuline	52
Glucagon	126
Glucose	11
Glycogen	11
Granulozyten	55, 129
Grenzstrang	120
Großhirn	115
Grundumsatz	27

H

Haargefäße	75
Halsnervengeflecht	119
Hämatokrit	53
Hämoglobin	54
Hämostase	57
Häute	107
Heparin	55
Herz	64
Herzminutenvolumen	70
Herzschlag	70
Herztätigkeit	68
Hirnanhangdrüse	117

Stichwortverzeichnis

Hirnnerven	119
Hirnstamm	117
Hirnwasserraum	107
His'schen-Bündel	72
Histamin	55
Hochdrucksystem	73
Höhenpolyglobulie	54
Hormone	125
Hyperpolarisation	99
Hypervolämie	51
Hypophyse	127
Hypothalamus	117
Hypovolämie	51

I

Immunität	80
Immunsystem	81
Innersekretorisch	125
Inspiration	40
Insulin	126
Interferon	81
Interleukin	84
Interneuron	113

J

Joule	26
-------	----

K

Kalorie	26
Kammer	65
Kapillaren	75
Katabolismus	8
Kehldeckel	35
Kehlkopf	35
Kleinhirn	117
Kohlenhydrate	10
Komplementsystem	81
Kontraktion	71
Körperkreislauf	62
Kreislaufsystem	62
Kreuzgeflecht	119

L

Lactose	11
Lendengeflecht	119
Leukozyten	55
Lipide	12
Liquor cerebrospinalis	108
Luftröhre	36
Lunge	38
Lungenbläschen	37
Lungenflügel	37
Lungenkreislauf	62
Lymphozyten	56
Lymphsystem	87
Lysozym	81

M

Maltose	11
Mark	117
Mediastinum	38
Medulla spinalis	109
Meningen	107
Mikrophagen	82
Mineralstoffe	8
Mittelhirn	117
Monosaccharide	11
Monosynaptisch	112
Monozyten	56
Muskel-Venen-Pumpe	77
Myocard	66

N

Nährstoffe	10
Nase	35
Nasenscheidewand	35
Nasenschleimhaut	35
Natrium-Pumpe	97
Nerven	95
Nervengeflecht	119
Nervengewebe	91
Nervenimpuls	101
Nervensystem	91, 118
Nervenzellen	91, 129
Netzwerk	91
Neurit	94
Neuronen	91
Niederdrucksystem	75
Niere	129
Normovolämie	51

O

Organismen	8
Östradiol	126
Overshoot	99

P

Pallidum	116
Papillarmuskeln	65
Parasympathikus	121
Pericard	66
Pfortaderkreislauf	63
Phagozytose	55
Pharynx	35
Phonation	36
Pia mater	107
Plasmafaktoren	80
Plasmazellen	82
Polypeptid	14
Polysaccharide	11
Polysynaptisch	113
Potenzial	105
Pressatmung	43, 44
Pressdruckprobe	43
Prostaglandine	127
Proteinhormone	126
Proteohormone	126
Pulmonalklappe	65
Purkinje-Fasern	72
Pyruvat	21

R

Rachen	35
Rauchen	47
Reflex	112
Reflexzentrum	112
Refraktärphase	101
Reizbarkeit	90
Reizleitungssystem	71
Rephosphorylierung	19
Repolarisation	101
Reservevolumen	42
Residualvolumen	42
Rindenfelder	115
Rückenmark	109
Rückenmarksnerven	109, 118
Ruhepotential	99
Ruhepotenzial	97
Ruheumsatz	27

S

Sarkoplasma	21
Schicht	74
Schlagadern	73
Schlüssel-Schloß-Reaktion	131
Schrittmacher	71
Schwellenpotenzial	101
Segelklappen	65
Septum	62
Serum	52
Signalübertragung	104
Sinusknoten	71
Soma	94

Spinalganglion	118
Spurenelemente	8
Steroidhormone	126
Striatum	116
Subarachnoidalraum	107
Substanz	107
Sympathikus	120
Synapse	94, 104
Systole	68

T

Taschenklappen	65
Tawara-Schenkel	72
Testosteron	126
Thalamus	117
Thrombose	54
Thrombozyten	56
Thrombozytenzerfall	129
Thrompozyten	57
Thyroxin	127
T-Lymphozyten	84
Totalkapazität	42
Trachea	36
Tractus	95
Trijodthyroxin	127
Trikuspidalklappe	65
Tunica externa	74
Tunica interna	74
Tunica media	74

V

Venen	75
Venenklappen	75
Venenpumpe	76
Ventrikel	65, 115
Verdauungsapparat	129
Vitalkapazität	42
Vitamine	16
Vorhof	65
Vorhof-Kammer-Knoten	72

W

Wanderzellen	55
Wirkung	52
Wurm	117

Z

Zentralnervensystem	91, 107
Zwischenhirn	117