PHYSIOLOGIE

EINFÜHRUNG IN DIE PHYSIOLOGIE UND ANATOMIE

Lehrbehelf zum Seminar Funktionelle Anatomie und Physiologie

Kirchliche Pädagogische Hochschule
Wien/Krems
Campus Krems-Mitterau

ANATOMIE

Inhalt

1 Der Knochen ... 6
1.1 Allgemein ... 6
1.2 Aufbau eines Knochens ... 6
1.3 Knochenbrüche ... 8
1.4 Interessantes ... 9
2 Knochenverbindungen (Gelenke) ... 10
2.1 Gelenkformen ... 11
2.2 Wichtige Gelenke des menschlichen Körpers ... 13
3 Das Skelett ... 18
3.1 Allgemeines ... 18
3.2 Interessantes (der Mensch in Zahlen): ... 19
3.3 Genaue Beschreibung verschiedener Knochen ... 19
3.4 Hand- und Fußknochen ... 21
3.5 Das Rumpfskelett ... 21
3.6 Schultergürtel und obere Extremitäten ... 23
3.7 Beckengürtel und untere Extremitäten ... 25
4 Die Wirbelsäule (Columna vertebralis) ... 27
4.1 Allgemeines ... 27
4.2 Die Wirbel ... 28
4.3 Die Wirbelsäulenabschnitte im Detail ... 29
4.4 Die Bandscheiben ... 30
4.5 Aufgaben der Wirbelsäule ... 33
4.6 Fehlstellungen der Wirbelsäule ... 33
5 Muskulatur ... 37
5.1 Oberflächenmuskeln und tiefe Muskeln ... 40
5.2 Muskelarten ... 41
5.3 Makroskopie ... 41
5.4 Mikroskopie ... 43
5.5 Muskel-Sehnen-Verbindungen ... 43
5.6 Halte- und Bewegungsmuskulatur: Eigenschaften und Beispiele ... 43
5.7 Starke, stabilisierende Muskeln ... 44
5.8 Sehnen-Knochen-Verbindungen ... 44
5.9 Aufbau der Muskeln ... 44
5.10 Hebelsysteme ... 48
5.11 Muskelverletzungen und -krankheiten ... 49
6 Lunge / Atmung ... 51

6.1 Die Oberen Atemwege: ... 51
6.2 Die unteren Atemwege: ... 52
6.3 Funktion von Thorax, Atemmuskulatur und Lunge ... 54
6.4 Sauerstoffaufnahme, Sauerstofftransport und Sauerstoffverwertung ... 57
6.5 Interessantes (der Mensch in Zahlen): ... 58
7 Das Herz (Cor) ... 59
7.1 Die Lage, Form und Größe des Herzens ... 59
7.2 Funktionelle Gliederung des Herzens ... 60
7.3 Der Aufbau des Herzens ... 60
7.4 Funktionen des Herzens - Herztätigkeit ... 65
7.5 Der Weg des Blutes durch das Herz ... 70
7.6 Physiologische Grundbegriffe zum Herz ... 71
7.7 Die Herztöne ... 72
7.8 Das Elektrokardiogramm – EKG ... 73
7.9 Der Frank-Starling-Mechanismus ... 76
8 DER KREISLAUF ... 77
8.1 Die Windkesselfunktion ... 77
8.2 Querschnitt und Volumen der Gefäßabschnitte ... 78
8.3 Funktionelle Daten des Kreislaufs ... 78
8.4 Der Aufbau der Wände der Gefäße ... 79
8.5 Die Druckverhältnisse bei einem normalen Blutdruck (120/80) ... 79
8.6 Der Blutdruck des Menschen ... 79
8.7 Wie verhält sich der Blutdruck im Laufe eines Lebens? ... 80
8.8 Der Aufbau einer Arterie ... 81
8.9 Die Kreislaufregulation ... 81
9 Das Herz-Kreislauf System ... 83
9.1 Das Herz: ... 83
9.2 Das Blut: ... 83
9.3 Das Gefäßsystem: ... 84
9.4 Physikalische Faktoren, die den peripheren Widerstand verringern ... 84
9.5 Schematische Darstellung der Veränderung von Druck und Geschwindigkeit im Gefäßsystem ... 85
9.6 Schematische Darstellung der Filtrationsvorgänge im Bereich der Kapillaren ... 85
9.7 Das Kreislaufsystem… ... 86
9.8 Leistungsfähigkeit durch Herz-Kreislauf-Lunge-Blut: ... 86
9.9 Herz – Kreislauf Regulation bei körperlicher Arbeit: ... 87
9.10 Das Verhalten zentraler Kreislaufgrößen bei körperlicher Arbeit: ... 88
9.11 Zunahme von Herzfrequenz und Schlagvolumen: ... 89

9.12 Eine stärkere Ausschöpfung der menschlichen Ressourcen wird ermöglicht durch: 89
9.13 Die Kreislaufregulation bei körperlicher Arbeit: 91
10 Das Blut 92
10.1 Begriffserläuterungen 92
10.2 Grundlagen 92
10.3 Eigenschaften des Blutes 93
10.4 Blutbildung (Hämatopoese) 93
10.5 Zusammensetzung des Blutes 93
10.6 Aufgaben des Blutes 100
10.7 Blutgruppen 100
10.8 Blutstillung und Blutgerinnung 103
10.9 Blutdoping 104
11 Energiebereitstellung 105
11.1 Allgemein 105
11.2 Energiequellen 105
11.3 Energiebereitstellung/Energiestoffwechsel 106
11.4 Laktatbildung 108
11.5 Laktatelimination 109
11.6 Energieumsatz 110
12 Die Sinne 111
12.1 Informationsverarbeitung 111
12.2 Haut – Tastsinn 112
12.3 Auge – Sehsinn 114
12.4 Ohr – Hör- u. Gleichgewichtsorgan 116
12.5 Nase – Riechorgan 118
12.6 Mund – Geschmacksorgan 119
13 Das Nervensystem 121
13.1 Überblick 121
13.2 Das Zentral Nervensystem 121
13.3 Das Gehirn 121
13.4 Das periphere Nervensystem 124
13.5 Rückenmark und Spinalnerven 125
13.6 Aufbau des peripheren Nervensystems 126
13.7 Nervensystem: Aufbau und Funktion 127
14 Verletzungen 133
14.1 Läsion 133
14.2 Sportverletzungen 133

14.3 Sportverletzungen im Bereich Beine & Füße 135
14.4 Sportverletzungen im Bereich Knie 136
14.5 Verletzungen im Bereich Kopf und Rumpf 140
14.6 Verletzungen im Bereich Schulter und Arme 141
14.7 Wachstumsfuge 142
15 Literatur 143

1 Der Knochen

1.1 Allgemein

Das statische Gerüst des Körpers aus Knochen- und Knorpelgewebe, nennt man Skelettsystem. Gemeinsam mit der Muskulatur bildet es den Bewegungsapparat. Speziell gehören die Knochen zum **passiven Bewegungsapparat**, der folgende **Aufgaben** hat:

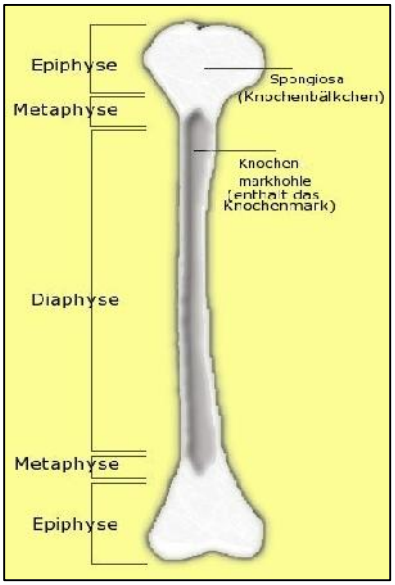
- Stabilität des Körpers herstellen
- Schutz für innere Organe (z.B.: Brustkorb schützt Herz und Lungen)
- Speicherung von Mineralien
- Ansatzteile für Muskeln und Sehnen

Die über 200 Knochen im menschlichen Körper unterteilt man weiters in **5 Knochentypen**:

- **Röhrenknochen** (*Oberarmknochen, Oberschenkelknochen*,…)
  Besteht aus einem röhrenförmigen Schaft mit zwei meist verdickten Enden.
- **Kurze Knochen** (*Handwurzelknochen, Fußwurzelknochen*,…)
  Meist würfel- oder quaderförmig.
- **Platte Knochen** (*Hirnschädelknochen, Schulterblatt, Brustbein*,…)
  Flache, kompakte Form.
- **Sesambeine** (*Kniescheibe, im Handgelenk*,…)
  Sind in besonders belastete Muskelsehnen eingebettet und ihre Anzahl kann von Mensch zu Mensch variieren.
- **Irreguläre Knochen** (*Wirbel, vor allem Knochen des Gesichtsschädels*)
  Knochen die in kein anderes Schema passen

1.2 Aufbau eines Knochens

Ein Knochen ist als selbstständiges Organ zu verstehen, mit eigener Blut- und Nervenversorgung.

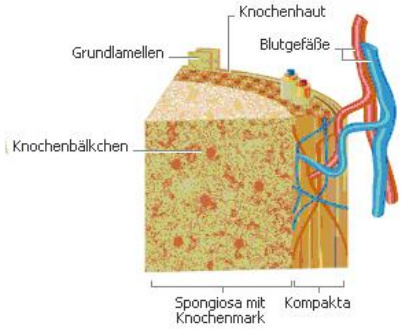


1.2.1 Äußere Strukturen

Den dünneren Schaftanteil eines Röhrenknochens nennt man **Diaphyse** und die beiden Enden heißen **Epiphyse**. Die zwei Abschnitte, die Dia- und Epiphyse verbinden heißen **Metaphysen**. Sie sind im Kindes- und Jugendalter für das Längenwachstum eines Knochens verantwortlich.

1.2.2 Innere Strukturen

Der Aufbau eines Knochens beginnt Außen mit der **Periost** (*Knochenhaut*). Sie hat eine Schutz- und Ernährungsfunktion und ist sehr schmerzempfindlich.
Danach folgt die **Kortikalis** (auch **Kompakta** genannt). Sie ist aus dichtem Knochengewebe aufgebaut und ihre dicke variiert je nach Funktionalität des Knochens.



Das Knochengewebe besteht aus:

- 35% Proteinen (*Zuständig für Biegsamkeit*)
- 65% Mineralsalze (*Zuständig für Härte des Knochens*)

Der größte Anteil im Inneren des Knochens besteht aus zarten Knochenbälkchen, der **Spongiosa**. Auch ihre Anordnung folgt den funktionellen Anforderungen des Knochens. Die Spongiosa wird weiters vom blutbildenden Knochenmark ausgefüllt.

1.2.3 Knochenbildung

Den Vorgang der Knochenbildung nennt man **Ossifikation** (*Verknöcherung*) und man unterscheidet zwei Möglichkeiten:

Desmale Ossifikation (direkte Verknöcherung)
Entwicklung aus bindegewebartiger Vorstufe (*Schädeldach, Gesicht, Teile des Schlüsselbeins*)

Chondrale Ossifikation (über knorpelige Zwischenstufen)
Entwicklung aus glasartigem, hyalinem Knorpelskelett (*Mehrheit der Knochen*)

1.2.4 Knochenwachstum

Das Wachstum der Knochen wird vor allem von Wachstumshormonen gesteuert. Diese werden bis zum Ende der Pubertät ausgeschüttet. Danach verknöchern auch die knorpeligen Wachstumsfugen und das Längenwachstum des Knochens ist unwiderruflich beendet.

1.3 Knochenbrüche

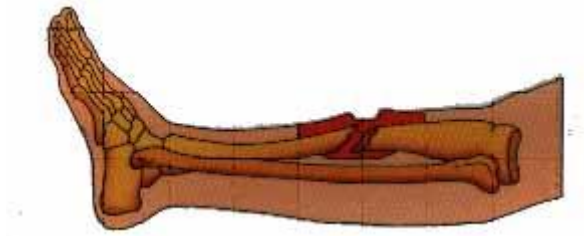
Knochenbrüche oder auch Frakturen genannt, entstehen durch:

- Direkte Gewalteinwirkung (z.B. beim Sport)
- Materialermüdung

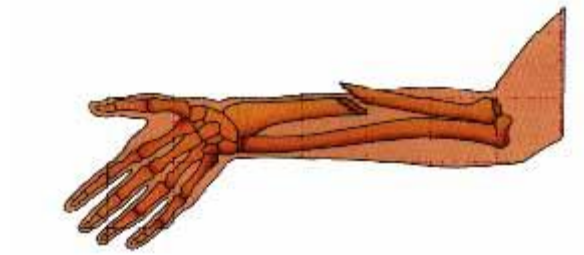
Man unterscheidet folgende Arten von Brüchen:

- Geschlossener Bruch
  (ohne sichtbare Wunde)

- Offener Bruch
  (mit sichtbarer Wunde)



- Offener Bruch
  (mit sichtbarem Knochen)



Frakturen heilen aufgrund der hohen Regenarationsfreudigkeit des Knochengewebes relativ gut und schnell. Geschlossene Brüche sind in ca. 6-8 Wochen ausgeheilt, Offene Brüche benötigen mehr Zeit.

1.4 Interessantes

Die Knochen sind die wichtigsten Bestandteile des menschlichen Skelettes und machen **10% des Körpergewichts** aus. Ein Erwachsener hat wie bereits erwähnt ca. 206 Knochen. 5% aller Männer in Europa haben eine zusätzliche Rippe. Der größte Knochen ist der **Oberschenkelknochen**, der im Durchschnitt 46 cm lang ist und 1,65 Tonnen tragen kann. Der kleinste Knochen ist der **Steigbügelknochen** im Mittelohr mit ca. 2,6 – 3,4 mm.

Die Knochen im menschlichen Körper zeichnen sich durch ihre extreme Festigkeit aus. So kann beispielsweise der Oberschenkelknochen einen Druck oder Zug von 15 000 Newton bestandhalten, was ca. einem Gewicht von 1500 kg entspricht. Das Schienbein sogar einem Druck oder Zug von 16 500 Newton.

Im Vergleich zum weiblichen enthält das männliche Skelett längere und schwerere Knochen. Diese haben weiters größere Aufrauhungen und Knochenvorsprünge, da dort auch größere Muskeln ansetzen. Ein weiterer Unterschied ist das Becken. Die Frau besitzt ein anders geformtes, vor allem breiteres Becken.

2 Knochenverbindungen (Gelenke)

Gelenke sind die **Verbindungsstellen zwischen den Knochen**, die unseren Körper beweglich machen. Die Gelenkflächen sind von Knorpel umhüllt, der sie gleitfähig macht. Größere Gelenke enthalten zusätzlich eine schleimige Flüssigkeit (Gelenkschmiere), die die Reibung an den Berührungsflächen vermindert und ihre Beweglichkeit erhöht.

Bei echten Gelenken sind die Knochen durch einen Gelenkspalt voneinander getrennt. Um das Gelenk befindet sich eine Gelenkkapsel.

Es gibt Synarthrosen und Diarthrosen.

Synarthrosen (feste Verbindungen der Knochen miteinander)

- Syndesmosis (bandhaft) – z. B.: Schienbein – Wadenbein
- Synchondrosis (knorpelhaft) – z. B.: Schambeinfuge
- Synostosis (knochenhaft) – z. B.: Kreuzbein

Diarthrosen (bewegliche Verbindungen der Kochen mit Gelenkspalten)

- Einachsig (Scharniergelenk, Dreh- oder Radgelenk = Zapfengelenk)
- Zweiachsig (Eigelenk, Sattelgelenk)
- Dreiachsig (Kugelgelenk)

Gelenkknorpel:
Der Gelenkknorpel ist hyalin (glatt, transparent) und hat eine „Stoßdämpferfunktion. Da er keine Blutgefäße enthält, muss er von der Gelenkflüssigkeit durch Diffusion ernährt werden. Eine optimale Versorgung mit Nährstoffen setzt eine regelmäßige Bewegung (Be- und Entlastung) des Knorpels voraus, um die Gelenksflüssigkeit in den Knorpel zu pressen. Bewegungsmangel und unphysiologisch hohe Belastungen führen besonders bei alten Menschen zu einer Abnützung des hyalinen Gelenkknorpels. Aufgrund der fehlenden Knorpelhaut ist das Regenerationsvermögen des Gelenkknorpels gering.

Gelenkkapsel und Gelenkflüssigkeit:
Die Gelenkkapsel ist eine Fortsetzung der Knochenhaut und besitzt eine äußere straffe Schicht und eine innere locker gebaute, nervenreiche Gelenksinnenhaut, die auch Fettzellen enthalten kann. Die äußere Schicht wird häufig durch Bänder verstärkt. Je nach ihrer Funktion werden sie bezeichnet als

- Verstärkungsbänder: für die Gelenkskapsel
- Führungsbänder: bei Bewegungen
- Hemmungsbänder: zur Bewegungseinschränkung

Bei längerer Ruhigstellung eines Gelenks verkürzen sich die Bindegewebsfasern, die Gelenkkapsel schrumpft und die Beweglichkeit des Gelenks kann stark eingeschränkt sein. Die dickflüssige Gelenksflüssigkeit ernährt die Gelenkknorpel und vermindert als Gelenkschmiere eine Reibung der Gelenkflächen.

Der Mensch hat insgesamt über hundert Gelenke. Man unterscheidet zwei Hauptgruppen:

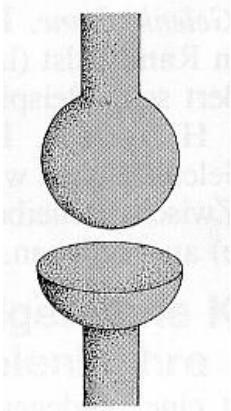
Bindegewebige oder knöcherne Gelenke:
Diese Gelenke lassen sich kaum oder gar nicht bewegen.
Beispiele: Knochennähte im Schädel, Becken

Echte Gelenke:
Die echten Gelenke ermöglichen einen Bewegungsspielraum, der - je nach Gelenkform - unterschiedlich groß ist. Man unterscheidet sie deshalb in ein-, zwei- und dreiachsige Gelenke. (Gemeint ist die Bewegungsmöglichkeit um eine oder mehrere Achsen.)

2.1 Gelenkformen

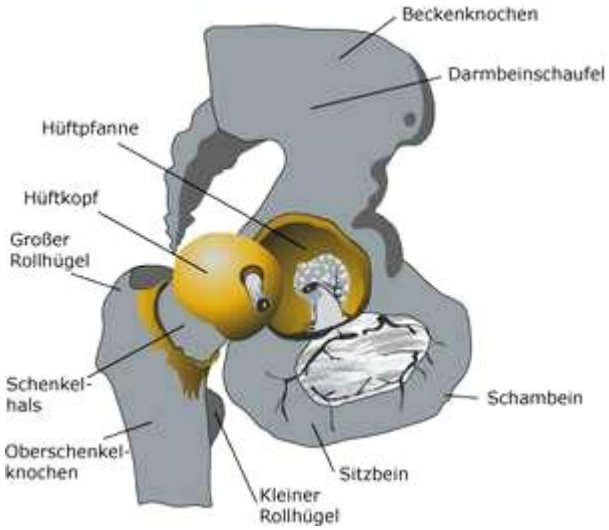
Man unterscheidet 6 verschiedene Grundformen.

Kugelgelenk:
Das Kugelgelenk bietet die meisten Bewegungsmöglichkeiten. Hier sitzt eine kugelige Gelenkfläche (= der Gelenkkopf) in einer kugelförmig ausgehöhlten Gelenkpfanne. Das Kugelgelenk ist dreiachsig und somit sind Rotationsbewegungen möglich.

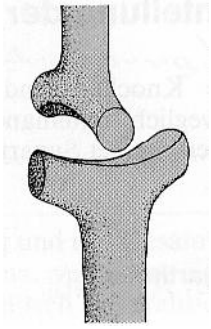


6 Hauptbewegungen:
- Beugung und Streckung
- Seit-zu-Seit-Bewegung
- Drehung (Innen- und Außenrotation)

Beispiele: Schultergelenk, Hüftgelenk



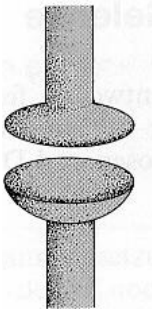
Sattelgelenk:
Eine Gelenkfläche besitzt die Form eines Sattels und die andere ähnelt der eines Reiters. Das Sattelgelenk hat zwei Achsen, die senkrecht zueinander stehen.



4 Hauptbewegungen:
- Seit-zu-Seit-Bewegung
- Vorwärts-Rückwärts-Bewegung

Beispiel: Daumenwurzelgelenk

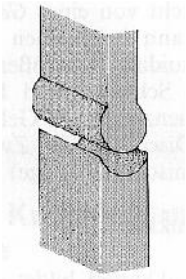
Eigelenk:
Ellipsenförmige Gelenkflächen stehen einander gegenüber. Eine ist nach außen und eine nach innen gewölbt. Ein Eigelenk besitzt zwei Achsen, die senkrecht aufeinander stehen.



4 Hauptbewegungen: (ganz gering auch Drehung möglich)
- Beuge-Streck-Bewegung
- Seit-zu-Seit-Bewegung

Beispiel: Proximales Handwurzelgelenk

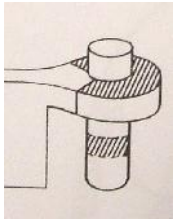
Scharniergelenk:
Eine nach außen gewölbte Gelenkfläche wird von einer nach innen gewölbten Gelenkfläche schalenförmig umgriffen (ähnlich wie das Öffnen und Schließen einer Tür). Es besitzt nur einen Freiheitsgrad (1 Achse)

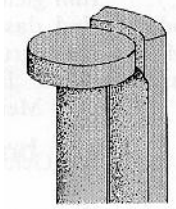


2 Hauptbewegungen:
- eine Bewegung in zwei Richtungen

Beispiel: Ellbogen, Knie

Zapfen- und Radgelenk:
Bei diesen beiden Gelenkstypen dreht sich ein Ring um einen Zapfen. Sie haben nur einen Freiheitsgrad.





2 Hauptbewegungen:
- Drehbewegungen um eine Achse in zwei Richtungen

Beispiele: Elle und Speiche.

Flaches Gelenk (Gleitgelenk):
Die Gelenkflächen der Knochen, die ein Gleitgelenk bilden, sind flach und erlauben in geringem Maße eine Gleitbewegung nach vorne und hinten oder von Seite zu Seite, ohne dass Beuge- oder Rotationsbewegungen möglich sind.

Beispiele: Hand- und Fußwurzel, Zwischenwirbelgelenke

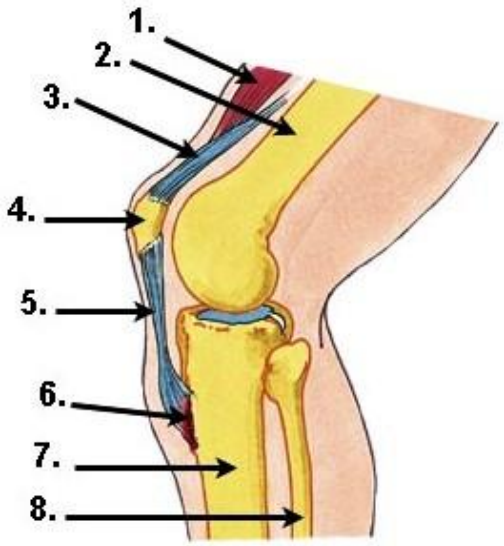
2.2 Wichtige Gelenke des menschlichen Körpers

2.2.1 Das Knie

Das Kniegelenk ist das größte Gelenk im menschlichen Körper. Es wird aus drei Knochen gebildet:

- Oberschenkelknochen (Femur)
- Schienbein (Tibia)
- Kniescheibe (Patella)

(Wadenbein (Fibula) ist nicht beteiligt)



1. Oberschenkelmuskulatur (Musculsus quadriceps femoris)
2. Oberschenkelknochen (Femur)
3. Oberschenkelsehne (Quadricepssehne)
4. Kniescheibe (Patella)
5. Kniescheibensehne (Patellasehne)
6. Kniescheibensehnenan satz (Tuberositas tibiae)
7. Schienbein (Tibia)
8. Wadenbein (Fibula)

Das Kniegelenk wird in 2 Untergelenke geteilt:

- **Oberschenkel-Schienbein-Gelenk:** Es wird vom Oberschenkelknochen mit seinen zwei Gelenkköpfen und dem Schienbeinplateau gebildet.
- **Schienbein-Kniescheiben-Gelenk:** Die Kniescheibe gleitet beim Beugen durch eine vorgegebene Gleitbahn zwischen den Oberschenkelknochenköpfen. Insgesamt kann die Kniescheibe so 5-10 cm gleiten.

Bewegungen:

- Streckstellung: kann 5-10° überstreckt
- Beugestellung: kann bis 120-150° gebeugt werden; Bei 90° Beugung kann das Knie ca. 40° außenrotiert und 10-20° innenrotiert werden.

Um den Oberschenkel in der kleinen Pfanne des Schienbeins zu stabilisieren, gibt es verschiedenen Stabilisatoren:

- Menisken
- Kreuzbänder
- Seitenbänder
- Gelenkkapsel

a. Kniescheibe

Die Kniescheibe ist das größte Sesambein (= ein Knochen, der in eine Sehne eingewachsen ist) des Körpers. Sie hat 4 wichtige Funktionen:

1. Führung der Oberschenkelmuskulatur

Die Kniescheibe kann sich nur gering verschieben und sichert somit die Beuge- und Streckbewegung im Kniegelenk.

2. Optimierung der Hebelverhältnisse

Die Kniescheibe hält die Quadrizepssehne möglichst weit vom Drehpunkt des Kniegelenks entfernt. Dadurch verbessert sie Hebelverhältnisse im Kniegelenksbereich.

3. Bremsfunktion

Die Kniescheibe ist ein wichtiges Bremselement von Bewegungen, vor allem von Vorwärtsbewegungen. Wenn die Kniescheibe entfernt wurde, werden Aktivitäten mit schnellen Richtungsänderungen (z.B. Fußball) meistens nicht mehr ausgeführt.

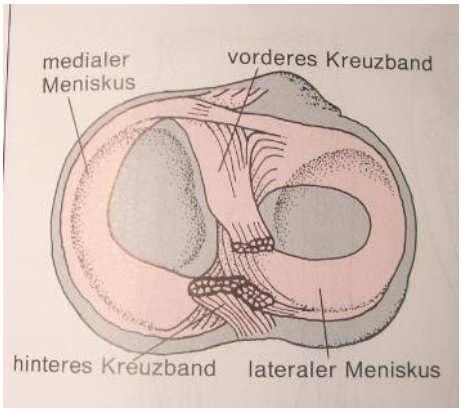
4. Schutzfunktion

Die Kniescheibe bietet Schutz für das Kniegelenksinnere. Auf der Rückseite der Kniescheibe befindet sich ein hyaliner Knorpel, der zur Verringerung des Reibungswiderstandes beiträgt.

b. Menisken

Um den Kontakt von Schenkel und Schienbein (siehe Kniekehlgelenk) auszugleichen, sind zwischen ihren Gelenkknorren (= knöcherner Teil des Gelenkes) zwei Gelenkscheiben eingeschoben:

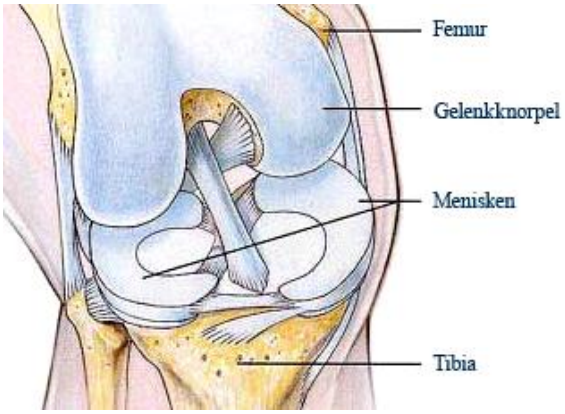
- medialer Meniskus
- lateraler Meniskus



Zusammen mit dem Bandapparat und Kniescheibe ist das Kniegelenk daher sehr stabil, aber auch etwas kompliziert.

Am äußeren Rand sind die Menisken dick und laufen gegen die zentrale Aushöhlung hin keilförmig aus. Bei Bewegungen verschieben sich die Menisken so, dass die den Gelenkknorren eine größtmögliche Unterstützungsfläche sichern.

Funktionen der Menisken:



Aufnahme des Gewichts
→ Medialer Meniskus 50 %
→ Lateraler Meniskus 70 %

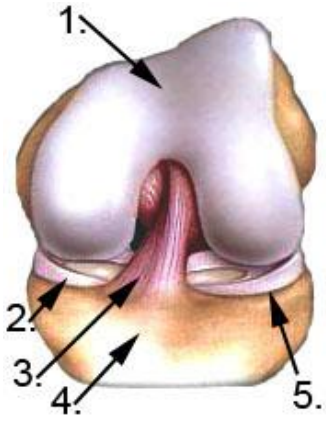
Stoßaufnahme
Die Stoßaufnahme der Menisken ist sehr wichtig, da der Gelenkknorpel nicht in der Lage ist, plötzliche Kompressionskräfte aufzunehmen.

Gelenksstabilisierung
Die Menisken erhöhen die Stabilität des Gelenks, weil sie die Gelenkflächen des Schienbeinplateaus verbreitern (Last wird auf größere Fläche verteilt). Außerdem sind die Menisken verschiebbar und verformbar, was ihnen dabei hilft.

Rotationsbeitrag
Die komplexen Bewegungen des Kniegelenks, besonders die Schlussrotation, werden durch die Menisken ermöglicht.

c. Kreuzbänder

Es gibt bei jedem Bein ein vorderes und ein hinteres Kreuzband. Sie sind die Haftbänder der Kondylen (Gelenkknorren) und verhindern, vor allem in der Beugestellung, in der die Seitenbänder erschlaffen, ein Nachvorne- bzw. Nachhintengleiten des Schienbeinkopfes. In jeder Stellung des Kniegelenks sind einzelne Anteile der Kreuzbänder gespannt.
Bei der Innenrotation des Unterschenkels wickeln sich die Bänder umeinander. Bei der Außenrotation ist eine größere Rotationsbewegung möglich, weil sich hier die Bänder voneinander abwickeln.



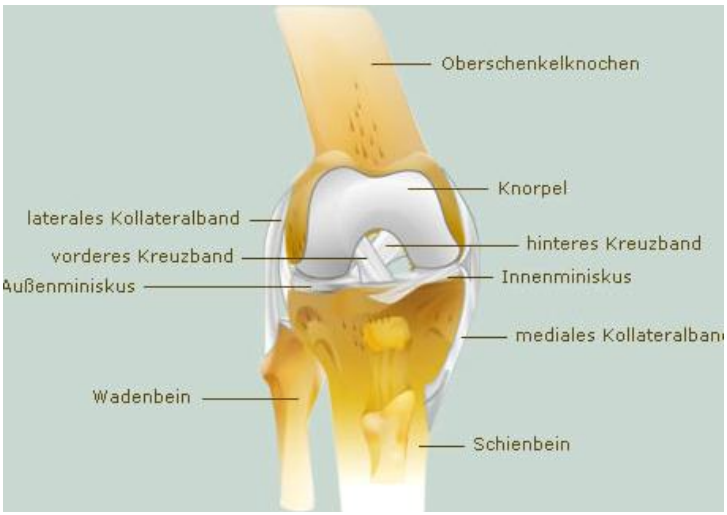
1. Oberschenkelknochen (Femur)I
2. Innenmeniskus
3. vorderes Kreuzband (VKB)
4. Schienbein (Tibia)
5. Außenemeniskus

d. Seitenbänder

Es gibt pro Bein 2 Seitenbänder:

- laterales Seitenband
- mediales Seitenband

Sie dienen der Kniegelenksstreckung. Bei der Kniebeugung sind die Seitenbänder entspannt und bei der Kniestreckung maximal gespannt.



e. Muskulatur

Im Gegensatz zur Beugemuskulatur muss die Streckmuskulatur des Kniegelenks das gesamte Körpergewicht tragen. Daher kommt es im Bereich der unteren Extremitäten zu einem Überwiegen der Streckmuskulatur. Dieses Überwiegen der Strecker ist für die aufrechte Körperhaltung und den normalen Gang Voraussetzung.

Muskulatur der Oberschenkelvorderseite

Vierköpfiger Schenkelstrecker = M. quadriceps femoris

Er ist der größte und kräftigste Muskel des Menschen und der Hauptstrecker des Kniegelenks.

- Statische Funktion: beim Stehen das Einknicken im Kniegelenk verhindern
- Dynamische Funktion: kraftvolle Kniestreckung (zB bei Läufen, Sprüngen)

Schenkelbindenspanner = M. tensor fasciae latae

- Funktion: begrenzter Anteil an Kniegelenksstreckung

Schneidermuskel = M. sartorius

Er ist der längste Muskel des Menschen (50-60 cm).

- Beugung (Abduktion und Außenrotation) des Oberschenkels
- Beugung des Unterschenkels und Nachinnenrollen in gebeugtem Zustand
- wirkt im Hüft- und im Kniegelenk beugend!

Muskulatur der Oberschenkelrückseite
Sie hat vor allem dynamische Bewegungsaufgaben.

Zweiköpfiger Schenkelmuskel = M. biceps femoris
Funktionen:
- hilft bei Hüftstreckung
- beugt Unterschenkel und rollt ihn bei gebeugtem Kniegelenk nach außen
- (beim Schifahren wichtig für Führung der Schi)

Halbsehnenmuskel = M. semitendinosus
Funktionen:
- unterstützt Hüftstreckung
- beugt Kniegelenk
- dreht gebeugten Unterschenkel

Plattensehnenmuskel = M. semimembranosus
Er liegt unter dem Halbsehnenmuskel, hat die gleichen Funktionen, ist aber etwas kräftiger.

f. Verletzungen im Kniegelenk

Die Verletzung des muskel- und bandgeführten Kniegelenks gehört zu den bedeutsamsten Sportverletzungen, nicht nur wegen ihrer Häufigkeit, sondern auch wegen des komplizierten Aufbaus des Kniegelenks und der Komplikationsmöglichkeiten. Die Unfallhäufigkeit im Kniegelenk liegt bei 13,9% und ist somit das am zweit häufigsten betroffene Gelenk des Körpers. Am meisten von Verletzungen betroffen ist das obere Sprunggelenk mit 19%. Von den 13,9% sind 11,3% Bänderrisse und 2,6% Verstauchungen. Berüchtigt ist die „unhappy triade“ → Riss des inneren Meniskus, Innenband und vorderen Kreuzband.

3 Das Skelett

3.1 Allgemeines

Das **Skelett (**griechisch.: *skeletos* = ausgetrockneter Körper, Mumie) des Menschen ist ein kräftiges, leichtes Stützgerüst, das sowohl bewegungsfreundlich als auch biegsam ist. Es stützt und formt den Körper und schützt innere Organe, fungiert aber auch als Verankerung für die Skelettmuskeln. Das Knochengewebe wird ständig erneuert und speichert für den Körper lebenswichtige Mineralien wie Kalzium und Phosphor. Das Skelett lässt sich in zwei Hauptteile gliedern:

- Die Knochen des Schädels, der Rippen, der Wirbelsäule und des Brustbeins bilden das Achsenskelett.
- Die Knochen der Arme und Beine, der Schulterblätter, des Schlüsselbeins und Beckens werden als Bewegungsapparat bezeichnet.

Das Skelett des Menschen besteht aus ca. 206 Knochen. Diese zahlreichen Knochen werden durch unterschiedliche Verbindungen zusammengehalten.

Die Knochen des menschlichen Skeletts können wie folgt eingeteilt werden:

- Schädelskelett: 22 Knochen (Gehirnschädel 8 Knochen und Gesichtsschädel 14 Knochen)
- Halsregion: 1 Knochen (Zungenbein)
- Rumpfskelett: 57 – 58 Knochen (Wirbelsäule 32 – 33 Knochen und Brustkorb 25 Knochen)
- Gliedmaßenskelett: 126 Knochen (obere Gliedmaßen, Arme und Schultergürtel 64 Knochen; untere Gliedmaßen Beine und Beckengürtel 62 Knochen)

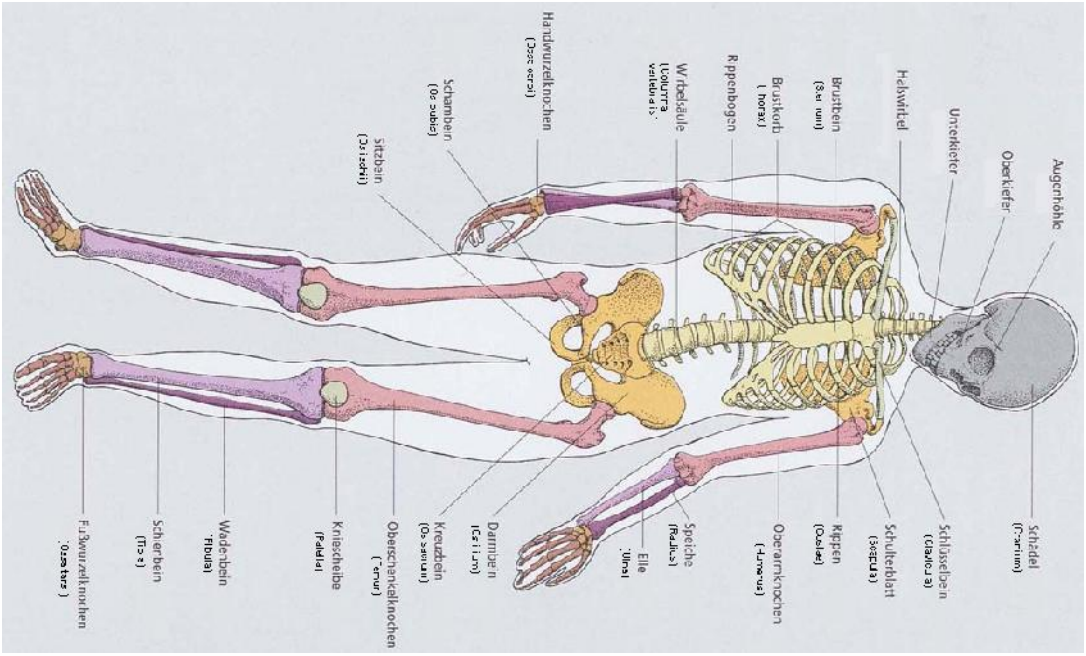
Das Skelett lässt sich nun in folgende **Knochengruppen** einteilen:

- Schädel (Cranium)
- Wirbelsäule (Columna vertebralis)
- Brustkorb (Thorax)
- Schulter- und Beckengürtel
- Obere (Arme) und untere Extremitäten (Beine)

Als Extremitäten werden die Knochen der Arme und Beine, sowie Schulter- und Beckengürtel gezählt.

Im Vergleich zum weiblichen enthält das männliche Skelett längere und schwerere Knochen. Diese haben weiters größere Aufrauungen und Knochenvorsprünge, da dort auch größere Muskeln ansetzen. Ein weiterer Unterschied ist das Becken. Die Frau besitzt ein anders geformtes, vor allem breiteres Becken.

Die einzelnen Knochen haben eine lange Entwicklungszeit, sodass die Knochen des Menschen erst mit etwa 24 Jahren ausgewachsen sind.
Im Sport ist das Skelettsystem stark beansprucht, Knochen und Gelenke können beschädigt werden.



3.2 Interessantes (der Mensch in Zahlen):

Die Knochen sind die wichtigsten Bestandteile des menschlichen Skelettes und machen 10% des Körpergewichts aus. Ein Erwachsener hat wie bereits erwähnt ca. 206 Knochen. 5% aller Männer in Europa haben eine zusätzliche Rippe. Der größte Knochen ist der Oberschenkelknochen, der im Durchschnitt 46 cm lang ist und 1,65 Tonnen tragen kann. Der kleinste Knochen ist der Steigbügelknochen im Mittelohr (2,6 – 3,4 mm).

3.3 Genaue Beschreibung verschiedener Knochen

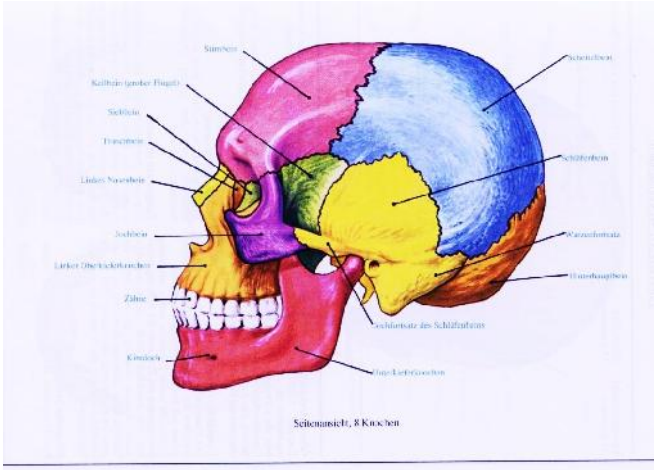
3.3.1 Der Schädel

Der Schädel ist ein aus 22 Platten oder unregelmäßig geformten Einzelknochen zusammengesetzter Abschnitt des menschlichen Skeletts. Mit Ausnahme des Unterkiefers (Mandibula) sind alle Schädelknochen unbeweglich miteinander verbunden.

a) Der Gehirnschädel

Der Gehirnschädel (Neurocranium) kann nochmals in die Schädelbasis und das Schädeldach, das auch als "Schädelkalotte" bezeichnet wird, unterteilt werden. Er besteht aus 8 Knochen:
dem Stirnbein (Os frontale)
den beiden Schläfenbeinen (Os temporale)
dem Hinterhauptbein (Os occipitale)
dem Keilbein (os sphenoidale)
dem Siebbein (Os ethmoidale)
den beiden Scheitelbeinen (Os parietale)

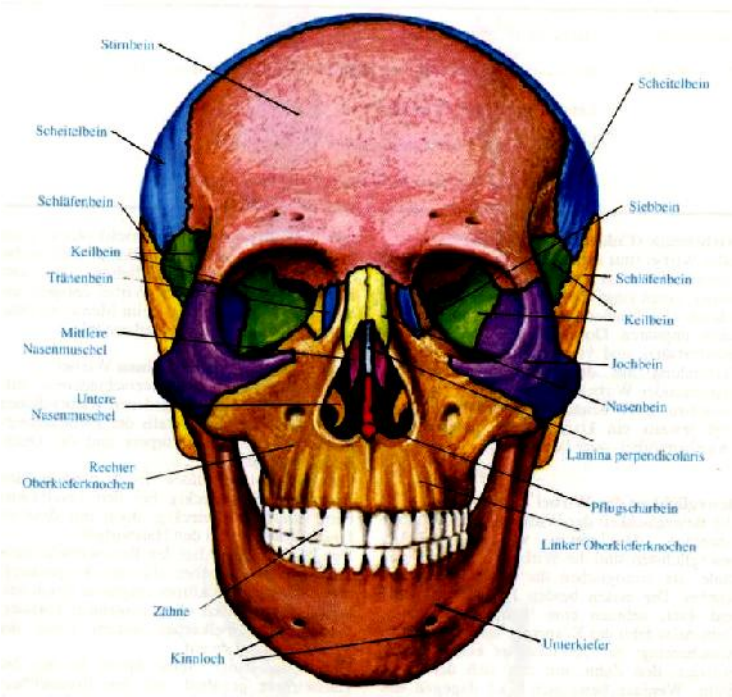
Die größten Knochen des Gehirnschädels sind die beiden Scheitelbeine. Sie bilden zusammen das Schädeldach. Die beiden Schläfenbeine schützen das Mittel- und das Innenohr mit seinen Gehörgängen. Im Mittelpunkt der Schädelbasis liegt das Keilbein, das die anderen Schädelknochen miteinander verbindet. Im vorderen Bereich des Schädels liegt das Stirnbein über den Augenhöhlen. Die leichte Erhebung in der Mitte des Stirnbeins über den Augenhöhlen heißt Glabella. Die Öffnung am Hinterhauptbein, das Hinterhauptloch, dient als Durchgang für das Rückenmark. An der unteren Seite des Stirnbeins liegt das Siebbein, das wegen seiner vielen kleinen Öffnungen so genannt wird. Durch diese Öffnungen verlaufen die Riechnerven.



b) Der Gesichtsschädel

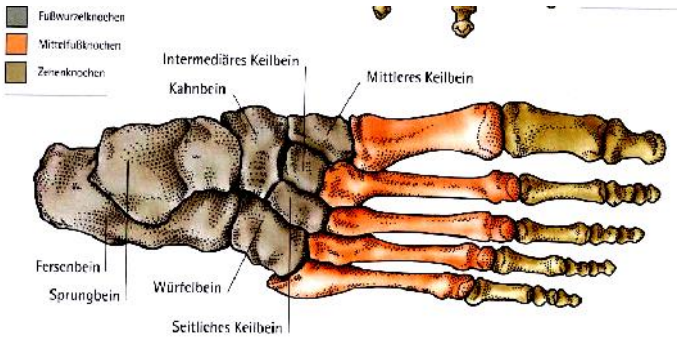
Der Gesichtsschädel (Viscerocranium) bildet, wie der Name schon vermuten lässt, die knöcherne Grundlage des Gesichts und formt die Augen-, Mund- und Nasenhöhlen. Er besteht aus 14 Knochen:

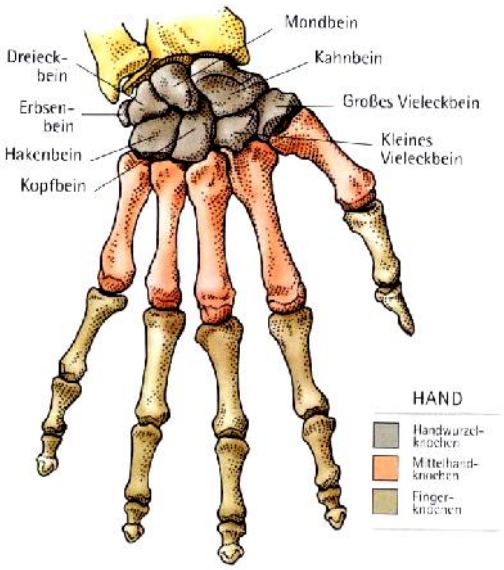
- Nasenbeine (2) bilden den äußeren Teil der Nase
- Tränenbeine (2) im Inneren der Augenhöhle
- untere Nasenmuscheln (2)
- Jochbeine (2) bilden die Backen
- Gaumenbeine (2) bilden das hintere Gaumendach
- Oberkiefer (2) tragen die obere Zahnreihe
- Pflugscharbein bildet den knöchernen Teil der Nasenscheidewand
- Unterkiefer trägt die untere Zahnreihe



3.4 Hand- und Fußknochen

Die Skelettstruktur von Hand und Fuß ist ähnlich. Beide bestehen aus einer Anordnung kleiner Knochen, die als Verbindungsstücke dienen. Die Hand hat 14 Fingerknochen, 5 Mittelhandknochen und 8 Handwurzelknochen. Entsprechend weist der Fuß 14 Zehenknochen auf, die jedoch meist kürzer sind als die Fingerknochen. Der übrige Fuß besteht aus 5 Mittelfußknochen und 7 Fußwurzelknochen.





3.5 Das Rumpfskelett

Aufgaben:

- Schutz der inneren Organe
- Basis für die Extremitätenbewegung und die Haltung des Kopfes

Das **Rumpfskelett** (der Körperstamm) setzt sich aus:

- Wirbelsäule (besteht aus)
  - Hals-
  - Brust-
  - Lenden-
  - Kreuz-
  - Steißwirbel
- dem Brustkorb
- und dem Beckengürtel zusammen.

3.5.1 Der Brustkorb

Er wird vom **Brustbein** (Sternum), den **Rippen** (Costae) und der **Brustwirbelsäule** (Columna vertebralis) gebildet.
Der Brustkorb umschließt die Brusthöhle mit Herz und Lunge sowie den oberen Anteil der Bauchhöhle. Er hat die Form eines **offenen ovalen Bienenkorbes**. Sein Umfang vergrößert sich von oben nach unten. Dorsal (rückenwärts) in der Mitte liegt die Brustwirbelsäule, deren Wirbelkörper in den Brustkörper hineinragen.

Von den zwölf Rippenpaaren sind sieben direkt mit dem Brustbein verbunden. Wir nennen sie daher **echte Rippen**.

- Zwischen der ersten Rippe und dem Brustbein besteht eine knorpelige Verbindung. Zwischen den 2. – 5. Rippen (meist auch 6. und 7. Rippe) und dem Brustbein finden wir echte Gelenkverbindungen.

Die übrigen fünf Rippenpaare nennen wir **falsche Rippen**, da sie nur indirekt oder gar nicht mit dem Brustbein verbunden sind.

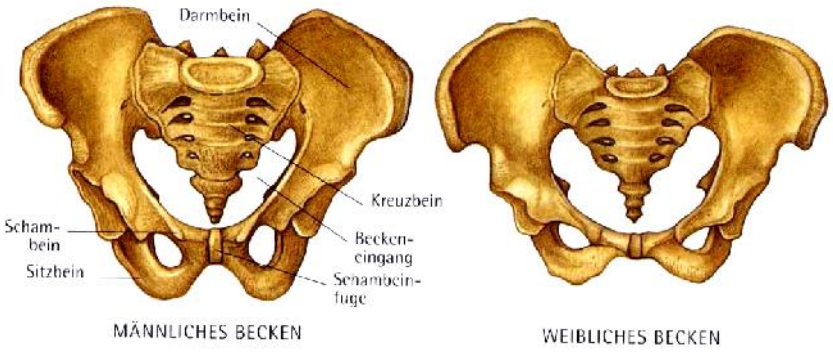
- Die Rippen acht, neun und zehn (die ersten drei der falschen Rippen) sind knorpelig untereinander verbunden und an dem untersten echten Rippenpaar, ebenfalls knorpelig, befestigt. Sie bilden den Rippenbogen und heißen Bogenrippen. Die beiden untersten Rippenpaar enden frei in der Muskulatur. Wir sprechen daher auch von freien Rippen.

3.5.2 Der Beckenknochen

Der Beckengürtel ist ein kräftiger, stabiler Knochenring, der von den beiden Hüftbeinen, dem Kreuzbein und dem Steißbein gebildet wird. Er trägt die Hauptlast des Körpergewichts und ermöglicht, dass wir uns aufrecht halten können. Außerdem schützt er die Beckeneingeweide - also Harnblase, Mastdarm und innere Geschlechtsorgane.

Das gewölbte Hüftbein entsteht durch das Zusammenwachsen von Darmbein, Sitzbein und Schambein, die beim Embryo zunächst noch getrennt sind. Am unteren Teil des Darmbeins befindet sich - ähnlich wie beim Schulterblatt - eine Gelenkvertiefung, in der der abgerundete

Kopf des Oberschenkelknochens Platz hat. Das Darmbein ist vorn mit dem Schambein und nach unten hin mit dem Sitzbein verbunden.
Weil der obere Raum des Beckens größer ist als der untere, unterscheidet man das große vom kleinen Becken. Das weibliche Becken hat generell einen größeren Umfang als das männliche und ermöglicht damit den Geburtsvorgang.



3.6 Schultergürtel und obere Extremitäten

Der Schultergürtel wird in folgende drei Knochen unterteilt:

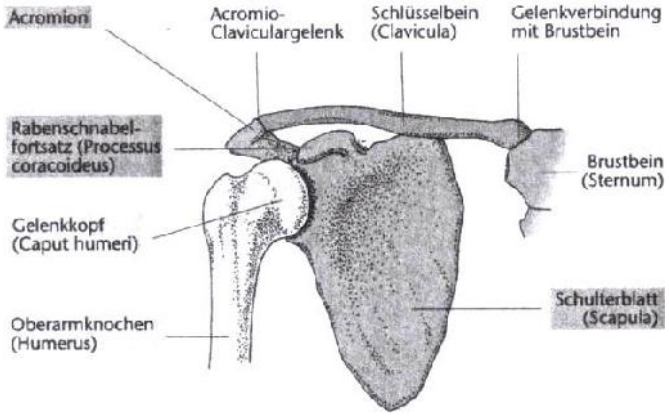
- Schulterblatt (Scapula)
- Schlüsselbein (Clavicula)
- Rabenbein (Coracoid)

3.6.1 Schulterblatt

Der Schultergürtel mit dem Schulterblatt und dem Schlüsselbein verbindet den Rumpf mit der oberen Extremität. Hinten am Schulterblatt finden wir eine vorspringende, durch die Haut gut tastbare raue Kante, Schulterblattgräte genannt. Sie ist eine wichtige Ansatzstelle für Muskeln und Sehnen.
Das **Schulterblatt (Scapula)** ist ein flacher, dreieckiger Knochen und die Verbindung zwischen oberer Extremität und Rumpf. Unterteilt wird das Schulterblatt rückseitig durch eine knöcherne Leiste (Spina scapulae), die nach vorne hin in einen knöchernen Vorsprung (Akromion) endet. Das Akromion bildet zusammen mit dem

Schlüsselbein **(Clavikula)** das **Schultereckgelenk (Akromio - Klavikulargelenk/ AC-Gelenk).** Ein weiterer wichtiger Fortsatz des Schulterblattes ist das Korakoid/ Coracoid. Dieses endet unterhalb des Akromions und ist ein wichtiger Ansatzpunkt für Muskeln und Bänder zur Stabilität und Funktion von Schultereckgelenk und Schultergelenk.
Seitlich am Schulterblatt befindet sich als gelenkbildende Struktur und Widerlager des **Oberarmkopfes** die Schultergelenkpfanne (Glenoid).
Das Schulterblatt dient ferner der **Rotatorenmanschette** als knöcherner Ursprung. Als Rotatorenmanschette bezeichnet man eine muskuläre Einheit, die für die Bewegung, insbesondere der Drehung des Armes, von besonderer Bedeutung ist. Viele weitere Muskeln fixieren das Schulterblatt flexibel am Rumpf.
Das Schulterblatt dient als Ursprung vieler Muskeln und ist für die Bewegung und Aufhängung des Armes von großer Bedeutung. Eine Bewegung des Armes im Schultergelenk allein ist nur bis circa zur Horizontalen möglich. Bei Bewegungen darüber hinaus drehen sich die Schulterblätter nach innen mit.
Gelenkverbindungen:

- Schulterblatthöhe zum Schlüsselbein = echtes Gelenk
- Rabenschnabelfortsatz des Schulterblattes zum Schlüsselbein = unechtes Gelenk
- Schulterblatt zum Oberarmknochen = echtes Gelenk (Kugelgelenk)
- Schlüsselbein zum Brustbein = echtes Gelenk



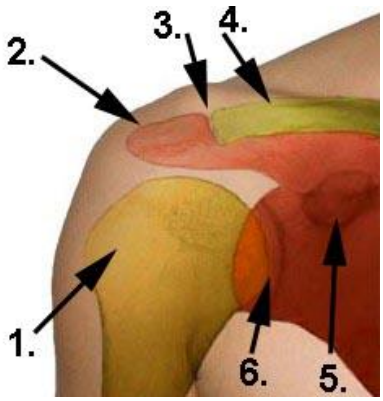
3.6.2 Schlüsselbein

Das **Schlüsselbein** (**Clavicula**) ist ein ca. 12 – 15 cm langer, s-förmig gebogener Knochen. Das Schlüsselbein gehört zum **Schultergürtel**. Es verbindet das **Brustbein** (Sternum) mit dem Aromion (Schulterhöhe), einem Teil des Schulterblattes (Scapula).
Das Schlüsselbein ist gelenkig mit dem Brustbein und dem Acromion verbunden. Mit dem Brustbein bildet es das so genannte Schlüsselbein-Brustbein-Gelenk (Sternoclaviculagelenk) und mit dem Acromion (Schulterhöhe), das Schultereckgelenk (Acromioclaviculagelenk = Schultereckgelenk = ACG).
Die **Clavicula** ist direkt unter der Haut in ihrem gesamten Verlauf tastbar, daher ist sie sehr anfällig für Brüche. Das Schlüsselbein dient als Ansatzpunkt vieler Muskeln.
Das **Schlüsselbein** besitzt eine wichtige Funktion im Rahmen der Schultergelenksbeweglichkeit. Insbesondere bei der Elevation (Heben des Arms seitlich über die Horizontale hinaus) ist das Mitbewegen der Clavicula mit ihren zwei Gelenken notwendig.

3.6.3 Rabenbein (Rabenschnabelfortsatz)

Das Rabenbein ist ein recht unbekannter Teil des Schultergürtels und es befindet sich neben dem Schlüsselbein und dem Schulterblatt als Teil des Schultergürtels. Von vorne betrachtet ist das Rabenbein zwischen dem Oberarmkopf und dem Schlüsselbein des Menschen zu finden. Es ist ein Fortsatz des Schulterblattes und somit kein eigenständiger Knochen. Am Rabenbein befinden sich der kleine Brustmuskel und einige Bänder. Die Bänder sind unter anderem auch dazu da, das Schlüsselbein zu stabilisieren. Werden Muskeln oder Sehnen in diesem Bereich eingeklemmt, kann dies zu schmerzhaften Bewegungseinschränkungen führen.

3.6.4 Schultergelenk



1.) Oberarmkopf (Humerus)
2.) Schulterhöhe (Acromion)
3.) Schultereckgelenk
4.) Schlüsselbein (Clavicula)
5.) Rabenschnabelfortsatz (Coracoid)
6.) Schultergelenk (Glenohumeralgelenk)

Das Schultergelenk ist das frei beweglichste Gelenk unseres Körpers und deshalb auch das Gelenk, an dem am häufigsten Verrenkungen (Luxationen) vorkommen. Es wird durch einen Bandapparat stabilisiert.
Das Hauptgelenk der Schulter besteht aus dem Oberarmkopf und der Schulterpfanne. Es handelt sich um ein Kugelgelenk, dessen Gelenkpfanne deutlich größer (4:1) als der Gelenkkopf ist, wodurch eine besonders große Bewegungsfreiheit gewährt wird. Allerdings wird das Gelenk hierdurch auch instabiler und anfälliger für Beschwerden wie Auskugeln oder Ausrenken. Sowohl die Schulterpfanne als auch der Oberarmkopf sind von Gelenkknorpel überzogen. Außerdem bildet die Schulterkapsel kontinuierlich Gelenkschmiere (Synovialflüssigkeit), um das Gelenk geschmeidig zu halten. Durch Verschleiß oder Infektionen können Beschwerden auftreten, die bis zur Zerstörung des Gelenks führen können.

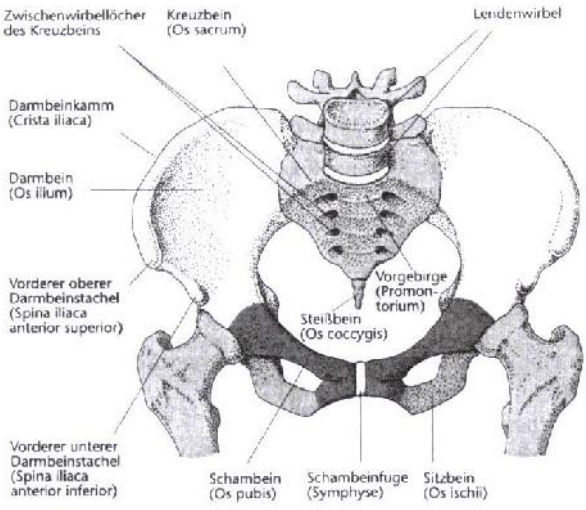
3.6.5 Ellbogengelenk

Das Ellbogengelenk ist dadurch gekennzeichnet, dass in ihm drei Knochen gelenkig verbunden sind, nämlich der Oberarmknochen (Humerus) und die beiden Unterarmknochen Elle (Ulna) und Speiche (Radius). Für die gelenkige Verbindung zwischen Oberarm und Unterarm ist von den Unterarmknochen die Elle der Hauptknochen, für jene zwischen Unterarm und Hand die Speiche.
Das Ellenbogengelenk besteht in funktioneller Hinsicht aus drei Gelenken, da in ihm drei Knochen beweglich miteinander verbunden sind: Das Beugen und Strecken des Unterarmes wird durch das Zusammenwirken eines Scharniergelenkes und eines Kugelgelenkes bedingt; hinzu kommt das Zapfengelenk, das die Unterarmhanddrehungen ermöglicht.
Der Ellenbogen ist ein hervorstehender Teil des Ellenknochens. Dieses Scharniergelenk bewirkt, dass der Unterarm sich nicht zurückbiegen lässt.

3.7 Beckengürtel und untere Extremitäten

3.7.1 Knöchernes Becken

Der Beckengürtel, aufgrund seiner Bauart auch Beckenring genannt, verbindet den Rumpf mit den unteren Extremitäten. Seine Aufgabe ist, das Körpergewicht gleichmäßig über die Hüftgelenke auf die Beine zu übertragen. Auch hier sind die rauen Stellen und Vorsprünge des Beckens Ansatzstellen für Muskeln und Sehnen.
Das Becken wird in das **große** und **kleine Becken** eingeteilt.
Im großen Becken liegt ein wesentlicher Anteil der Dünndarmschlingen. Im kleinen Becken sind die Harnblase und der Mastdarm zu finden, bei der Frau zudem die Gebärmutter und die Eierstöcke.
Je ein Darmbein, Schambein und Sitzbein zusammen bilden ein Hüftbein. Die drei Knochen bilden an der dicksten Stelle eine halbkugelige Aushöhlung, die Hüftgelenkspfanne. Hier ist das Becken mittels eines Kugelgelenks mit dem Oberschenkelknochen verbunden.
Darmbeine und Schambeine bilden zusammen das große Becken. Kreuzbein, Steißbein und Sitzbeine zusammen bilden das kleine Becken.

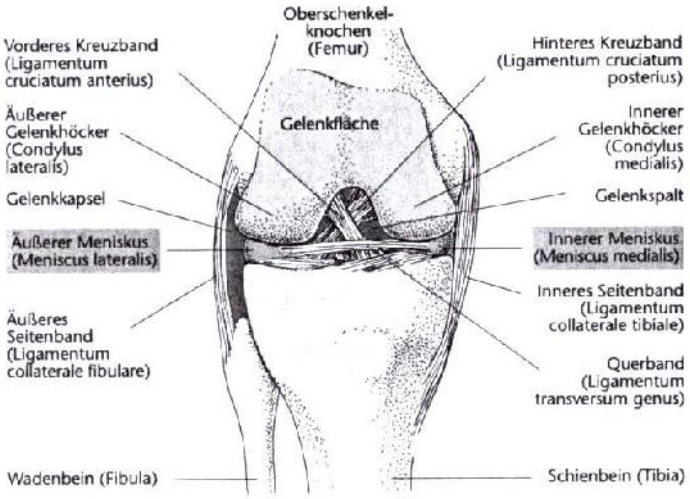


3.7.2 Oberschenkelknochen

Das Hüftgelenk wird aus dem Oberschenkelknochen und dem Hüftbein gebildet.
Der Oberschenkelknochen (Femur) ist der größte Knochen des menschlichen Körpers. Er ist wie Schien- und Wadenbein ein Röhrenknochen. Das bedeutet er besteht aus einem harten Mantel (Compakta) und einem weichen mit Blutzellen gefüllten Hohlraum (Spongiosa).
Mit seinem Oberschenkelkopf (Hüftkopf = Caput femoris) bildet er mit der Hüftpfanne des Beckens das Hüftgelenk. Hierbei handelt es sich um ein so genanntes Kugelgelenk.
An der Spitze des Oberschenkelschaftes findet man auf der Außenseite den Trochanter major (großer Rollhügel) und auf der Innenseite den Trochanter minor (kleiner Rollhügel). Beide sind Ansatzstellen (Apophysen) für große Muskelgruppen (Hüftbeuger und Abspreitzer). Der Oberschenkelknochen endet zum Kniegelenk hin mit seinen beiden Oberschenkelrollen (mediale und laterale Femurkondyle). Diese beiden Oberschenkelrollen bilden mit dem Schienbein (**Tibia**) das **Kniegelenk**.

3.7.3 Kniegelenk

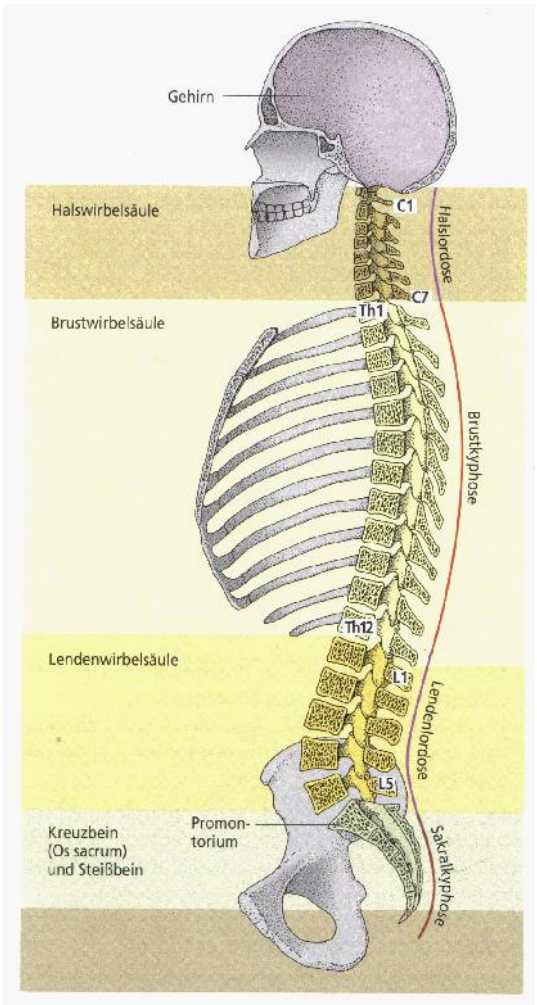
Das Kniegelenk wird aus dem Oberschenkelknochen (Femur) und dem Schienbein (Tibia) gebildet. Das Kniegelenk, das größte Gelenk unseres Körpers, ist komplex und kombiniert aus Scharnier- und Drehgelenk. Es erlaubt Beuge- und Streckbewegungen sowie bei gebeugtem Knie auch Rotationsbewegungen. Oberschenkelknochen und Schienbein berühren sich nur punkt- oder linienhaft. Im Gegensatz zu den meisten anderen Knochen passen sie nicht richtig ineinander. Um diese Inkongruenz auszugleichen, liegen zwischen ihnen Gelenkscheiben aus Bindegewebe mit Faserknorpel.
Beim Kniegelenk finden wir neben den charakteristischen Zeichen eines echten Gelenkes zusätzlich Kreuzbänder im Gelenkinneren, welche die Aufgabe haben, das Kniegelenk besonders zu stabilisieren. Sie hemmen die Beugung, Streckung und Innenrotation, geben aber die Außenrotation frei. Durch die inneren und äußeren Seitenbänder wird die Gelenkkapsel verstärkt.
Die Menisken liegen medial und lateral zwischen Femur und Tibia.
Die Kniescheibe (Patella) ist das größte Sesambein am menschlichen Körper.



4 Die Wirbelsäule (Columna vertebralis)

4.1 Allgemeines

Die Wirbelsäule (Columna vertebralis) bildet das Achsenskelett des menschlichen Körpers. Sie besteht aus 33-34 Wirbeln (Vertebrae), den Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebralis) und dem Bandapparat. Die Wirbelsäule umschließt und schützt das Rückenmark, welches durch die Wirbellöcher nach unten zieht. Sie trägt den Kopf und dient der Anheftung der Rippen und der Rückenmuskulatur.
Zwischen den Wirbeln liegen Öffnungen, die man Zwischenwirbellöcher (Foramen intervertebralis) nennt. Durch diese Öffnungen treten die Spinalnerven, die vom Rückenmark ausgehen oder zum Rückenmark führen.



Die Wirbelsäule besteht aus **5 Abschnitten**:

- **Halswirbelsäule** (HWS)
  mit 7 Halswirbeln (Zervikalwirbel)
- **Brustwirbelsäule** (BWS)
  mit 12 Brustwirbeln (Thorakalwirbel)
  (und 12 Rippenpaaren)
- **Lendenwirbelsäule** (LWS)
  mit 5 Lendenwirbeln (Lumbalwirbel)
- **Kreuzbein** (Os sacrum)
  5 Sakralwirbel verschmolzen
  zu einem Knochen
- **Steißbein** (Os coccygis)
  4-5 knöchern verschmolzene Coccygealwirbel

Kreuz- und Steißwirbel werden als „falsche Wirbel“ den „echten Wirbeln“ gegenübergestellt.

Die Wirbelsäule des Erwachsenen ist bei aufrechter Körperhaltung in der Sagittalebene doppelt s-förmig gekrümmt, sie weist zwei nach ventral konvexe Krümmungen (Hals- und Lendenlordose) und zwei nach ventral konkave Krümmungen (Brust- und Sakralkyphose) auf. Dadurch stellt sie einen biegsamen, elastisch federnden Stab dar, der verschiedene Belastung wie etwa beim Laufen oder Springen ideal abfangen kann. Die Wirbelsäulenkrümmung ist individuell verschieden, eine seitliche Verkrümmung der Wirbelsäule wird als Skoliose bezeichnet. Die Wirbelsäule ist beim erwachsenen Mann durchschnittlich 72 cm lang, bei der Frau um 7-10 cm kürzer. Bei der Geburt hat die Wirbelsäule eine durchgehende dorsalkonvexe Krümmung (durch die Haltung im Uterus bedingt). Sobald der Säugling jedoch den Kopf heben (3.-4. Lebensmonat) und aufrecht sitzen (6.-9. Monat) kann, krümmen sich die Hals- und Lendenwirbelsäulensegmente in die Gegenrichtung. Die Wirbelsäule kann vom Bauprinzip her mit einer Bogen-Sehnen-Konstruktion verglichen werden. Während im Rumpfbereich die kyphotisch gekrümmte Brustwirbelsäule den Bogen und die Bauchmuskeln die verspannende Sehne darstellen, erfolgt die Verspannung der Hals- und Lendenlordose durch die dorsal liegenden Rückenmuskeln und Bänder. Ein Ungleichgewicht dieser Verspannungssysteme, z.B. bei schwach ausgebildeter Bauchmuskulatur, kann zu einer verstärkten Lendenlordose führen.

4.2 Die Wirbel

Die Wirbel besitzen eine einheitliche Grundform, die in den einzelnen Abschnitten der Wirbelsäule in Anpassung an die unterschiedlichen statischen Erfordernisse abgewandelt ist. Jeder Wirbel – mit Ausnahme des 1. Halswirbels – besitzt:

- 1 Wirbelkörper (Corpus vertebrae),
- 1 Wirbelbogen (Arcus vertebrae),
- 1 Dornfortsatz (Processus spinosus),
- 2 Querfortsätze (Processus transversus) und
- 4 Gelenkfortsätze (Processus articularis).

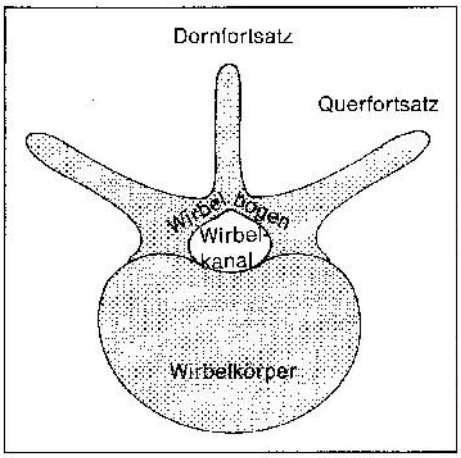
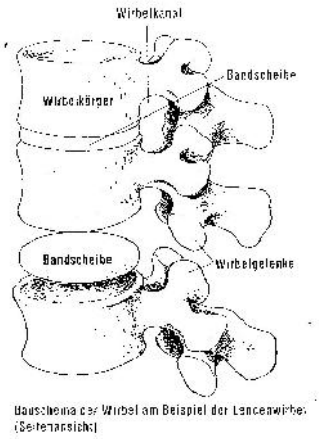
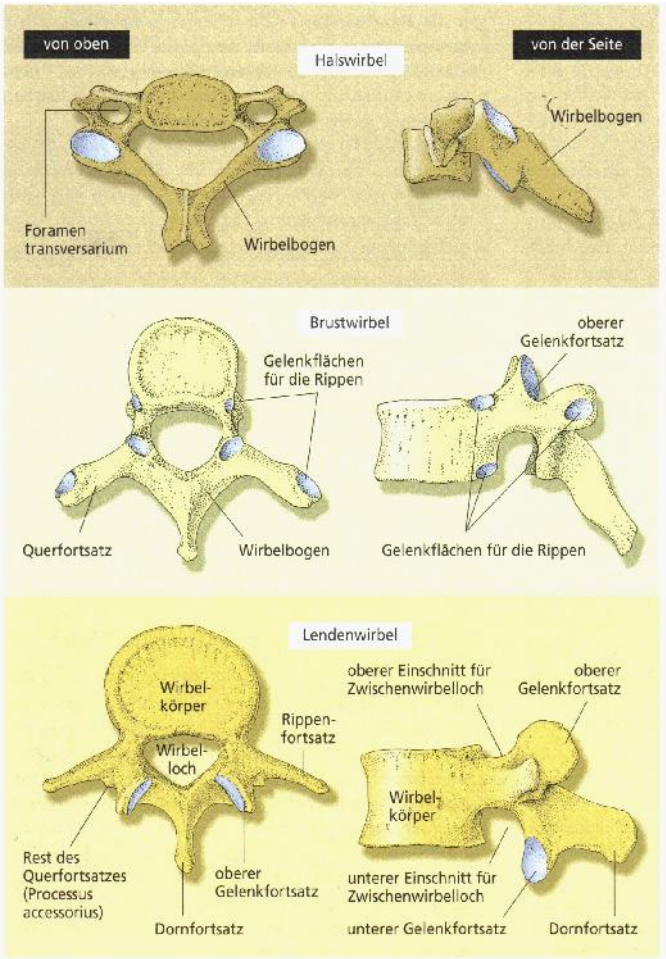


Abb. 30 Schematische Darstellung von Bau und Form eines Wirbels in der Aufsicht.



Bauschema der Wirbel am Beispiel der Lendenwirbel (Seitenansicht)

Der **Wirbelkörper** ist eine dicke, rundliche, belastbare „Knochenscheibe“ und bildet den tragenden Teil der Wirbelsäule. An der Hinterfläche dieses Körpers setzt der **Wirbelbogen** an. Wirbelkörper und Wirbelbogen umschließen das Wirbelloch (Foramen vertebrale). Die Wirbellöcher gesamt bilden den Wirbelkanal, in dem das Rückenmark liegt. Vom Wirbelbogen gehen 3 Knochenfortsätze aus, an denen Muskeln entspringen und ansetzen. Man bezeichnet den nach hinten und unten zeigenden Fortsatz als **Dornfortsatz** und die beiden nach links und rechts zeigenden Fortsätze als **Querfortsatz**. Ca. auf Höhe der Querfortsätze entspringen dem Wirbelbogen jeweils 2 **Gelenkfortsätze**. Diese werden auch Facettengelenke genannt und ermöglichen eine exakte Feinabstimmung der Wirbelsäulenbewegungen und verhindern zu heftige Bewegungen, durch die Rückenmark oder Nerven verletzt werden könnten. Jeder Wirbelbogen zeigt an seinem Ursprung am Wirbelkörper oben und unten je eine Einbuchtung (Incisura vertebralis). Dadurch bilden zwei benachbarte Wirbel ein so genanntes Zwischenwirbelloch (Foramen intervertebralis), durch welches die Rückenmarksnerven austreten.



4.3 Die Wirbelsäulenabschnitte im Detail

Die **Halswirbelsäule** (HWS)
Die Halswirbelsäule ist der beweglichste Teil der Wirbelsäule. Sie besteht aus 7 Wirbeln, wobei der 1. und der 2. Halswirbel (Atlas und Axis) entscheidend von der typischen Grundform der Wirbel abweichen.
Der 1. Halswirbel, der Atlas, ist nach dem sagenhaften Riesen benannt, der die Erdkugel auf seinen Schultern trug, und trägt den Kopf. Er besitzt keinen Wirbelkörper und hat die Form eines Ringes. Die beiden oberen Gelenkfortsätze bilden mit den Gelenkfortsätzen des Hinterhauptbeins (Os occipitale) das obere Kopfgelenk, ein Eigelenk, das sowohl Seitwärtsneigungen als auch Vor- und Rückwärtsbewegungen gestattet. Der Wirbelkörper des 2. Halswirbels (Axis) trägt an seiner oberen Fläche einen zahnartigen Fortsatz (Dens axis), der an seiner Vorderfläche eine Gelenkfläche besitzt. Über sie stehen Atlas und Axis zusätzlich gelenkig in Verbindung. Um diesen Zahnfortsatz kann der Atlas mit dem darauf ruhenden Kopf rotiert werden. Atlas und Axis bilden das untere Kopfgelenk, das funktionell Drehbewegungen des Kopfes zu beiden Seiten zulässt (Gesamtbewegungsumfang etwa 50 Grad).
Vom 3. bis zum 6. Halswirbel ist der Processus spinosus jeweils zweigeteilt. Der 7. Halswirbel heißt Vertebra prominens, weil sein langer Dornfortsatz in einem deutlichen Höcker endet, der am unteren Ende der Nackenfurche leicht tastbar ist.

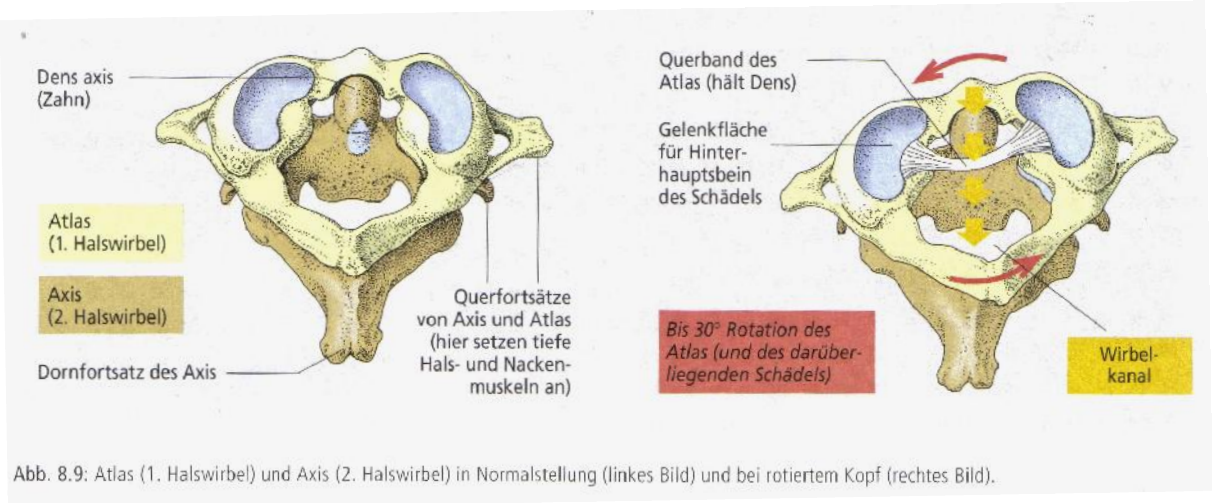


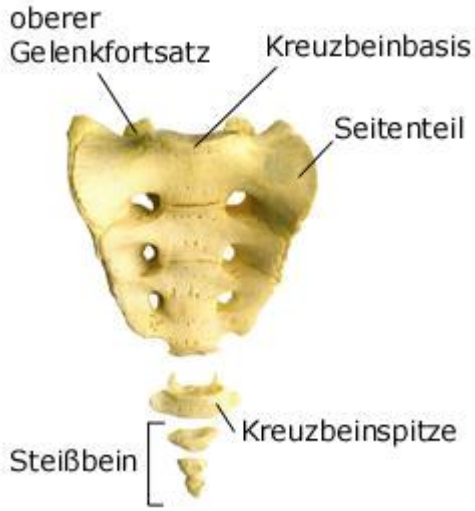
Abb. 8.9: Atlas (1. Halswirbel) und Axis (2. Halswirbel) in Normalstellung (linkes Bild) und bei rotiertem Kopf (rechtes Bild).

Beim klassischen Genickbruch bricht der Dens axis ab (Densfraktur).

Die **Brustwirbelsäule** (BWS)
Die Brustwirbelsäule ist wenig beweglich, die Haltefunktion des Brustkorbs
steht im Vordergrund. Der Brustteil der Wirbelsäule gestattet jedoch vor allem Drehbewegungen. Die BWS besteht aus **12 Wirbeln,** die stärker gebaut sind als die Halswirbel. Die Dorn- und Querfortsätze der Brustwirbel sind relativ lang. Die Dornfortsätze der Brustwirbelsäule liegen dachziegelartig übereinander. Die Rippen sind mit den Wirbelkörpern und Querfortsätzen der Brustwirbel durch verschiedene Bänder verbunden.

Die **Lendenwirbelsäule** (LWS)
Die Lendenwirbelsäule besteht aus **5 Wirbeln**. Die 5 Lumbalwirbel sind unter den nicht miteinander verschmolzenen Wirbeln am größten. Der 5. Lendenwirbel ist besonders groß. Im Verhältnis zu den Brustwirbeln ist das dreieckige Foramen vertebrale klein, gegenüber den Halswirbeln jedoch relativ groß.

Kreuzbein und **Steißbein**

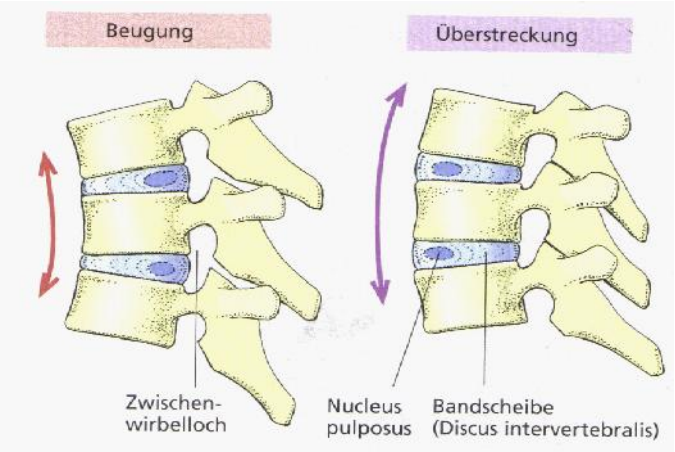


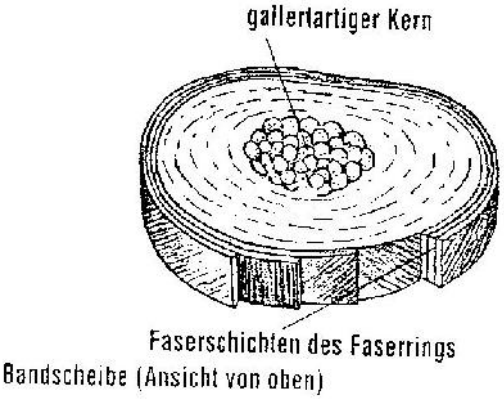
Das Kreuzbein (Os sacrum) besteht aus 5 miteinander verschmolzenen Wirbeln (S1-S5) und hat von kranial nach kaudal und von ventral nach dorsal die Form eines Keils. Es bildet den Großteil der hinteren Beckenwand.
Das kleine dreieckige Steißbein (Os coccygis) ist durch Verschmelzung von 4, mitunter auch 3 oder 5 rudimentären Schwanzwirbeln entstanden. Das Steißbein bietet kaum Merkmale eines typischen Wirbels. Lediglich am ersten Steißwirbel ist ein kleiner Processus transversus vorhanden.

4.4 Die Bandscheiben

Die Bewegungen der Wirbelsäule erfolgen in Bewegungssegmenten, darunter versteht man den Bewegungsraum zwischen zwei Wirbeln. Dazu gehören Discus intervertebralis mit oberer und unterer hyaliner Knorpelplatte, Wirbelgelenke und Ligamenta. Innerhalb des Bewegungssegmentes nimmt die Zwischenwirbelscheibe (Discus intervertebralis) eine zentrale Stellung ein. Jede Bandscheibe ist ca. 5 mm dick und besteht aus

- einem äußeren straffen Faserring (Anulus fibrosus) aus kollagenen Fasern und Faserknorpel und
- einem zentralen gallertartigen Kern (Nucleus pulposus), der wie ein Wasserkissen die Druckunterschiede zwischen 2 Wirbeln ausgleicht, wenn diese sich gegeneinander bewegen.

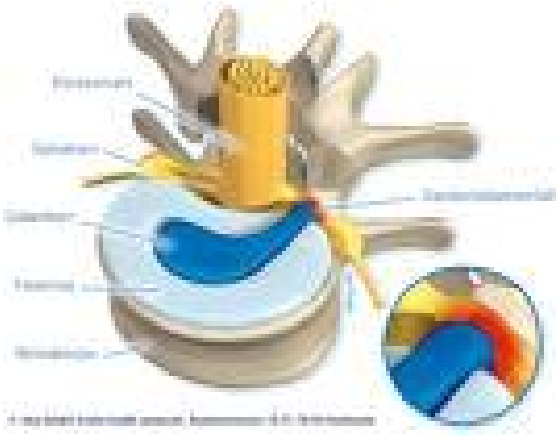


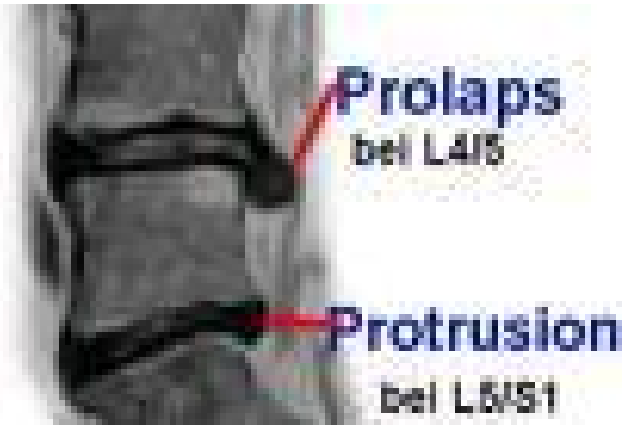


Eine gesunde Bandscheibe kann so starken Kräften ausgesetzt werden, dass vor einer Verletzung der Bandscheibe zuerst der Wirbelkörper brechen würde.
Der Nucleus pulposus erfährt mit dem Alter jedoch gewisse Veränderungen: Sein Wassergehalt verringert sich, und die gallertartige Grundsubstanz wird allmählich durch Faserknorpel ersetzt, sodass er schließlich dem Anulus fibrosus immer ähnlicher wird. Dadurch nimmt zwar die Höhe der einzelnen Zwischenwirbelscheiben nur geringfügig ab; insgesamt kann die Wirbelsäule aber 2-3 cm an Länge verlieren. Die Funktion der Bandscheiben ist vergleichbar mit der Aufgabe der Stoßdämpfer eines Autos. Durch Belastung (beim Stehen) werden sie zusammengedrückt und bei länger andauernder

Entlastung (beim Liegen) nehmen sie wieder die ursprüngliche Form an. Sie gleichen einem Wasserkissen, das den Druck bei zentrischer Belastung gleichmäßig über den Nucleus pulposus auf den angrenzenden Anulus fibrosus überträgt. Kommt es zu einem Einriss des Faserringes und damit zu einem Austritt von Teilen des Nucleus pulposus, sprechen wir von einem Bandscheibenvorfall. Drückt das Gewebe auf einen austretenden Rückenmarksnerv, kann es zu Schmerzen und Lähmungserscheinungen, zum Beispiel im Bereich der unteren Extremitäten kommen, da sich Bandscheibenvorfälle meist in der Lendenwirbelsäule ereignen. Das Vorstadium eines Bandscheibenvorfalls (Discusprolaps) ist die Bandscheibenvorwölbung (Discusprotrusion). Bei einer Bandscheibenvorwölbung verrutscht der weiche Kern der Bandscheibe ohne den äußeren Ring zu durchbrechen. Sie ist nur dann schmerzhaft, wenn das vorgewölbte Gewebe die Spinalnerven bedrängt und reizt. Auf eine Bandscheibenvorwölbung muss nicht zwingend ein Bandscheibenvorfall folgen.

Die Symptome eines Bandscheibenvorfalls hängen davon ab, ob Nervenstrukturen betroffen sind. Ein Bandscheibenvorfall muss also nicht zwingend schmerzhaft sein, dennoch gehört der akut auftretende, stechende Schmerz zum klassischen Erscheinungsbild. Der Schmerz kann auf die Lendenwirbelsäule begrenzt sein oder in die Beine bis über die Knieregion, ähnlich einer Ischialgie hinaus ausstrahlen. Oft kommt es dabei in der betroffenen Region zu Empfindungsstörungen (Taubheit, Kribbeln) und zu einer Muskelschwächung. Husten und Niesen verstärken die Symptome. Bei einem Bandscheibenvorfall im Bereich der Halswirbelsäule zeigen sich die Beschwerden in den Armen und Händen.





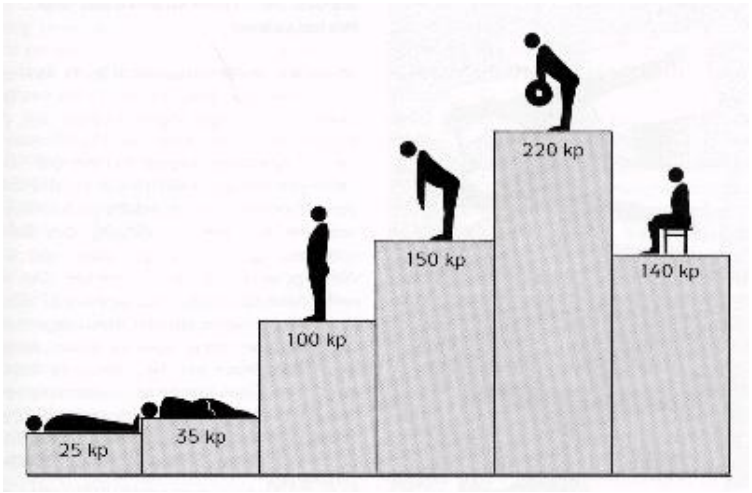
Bandscheibenvorfall mit deutlicher Reizung der Spinalnerven

Mögliche Ursachen eines Bandscheibenvorfalls

Die Degeneration (Abnützung) einer Bandscheibe führt zur Höhenabnahme (Dehydration der Bandscheibe) und damit zu einer Instabilität im Bewegungssegment und zu einer Abnützung der Facettengelenke. Mögliche Ursachen dafür sind dauerhafte Fehlbelastungen (langes Sitzen, Beckenschiefstand, einseitiges Tragen, monotones Arbeiten, …), jegliche Arten einer Wirbelsäulenfehlbildung (Skoliose, Hohlrücken, Rundrücken, Flachrücken, Gleitwirbel…) sowie schlecht funktionierende lokale Stabilisatoren (M. multifidi, Mm. interspinales, Mm. intertransversarii, M. abdominis, Beckenboden). Hypomobilität und die daraus resultierende Hypermobilität in angrenzenden Gelenken (Bsp: Minderbeweglichkeit in der Brustwirbelsäule – der Körper gleicht diese Hypomobilität mit einer Überbeweglichkeit in den unteren Segmenten aus) können auch zu einem Bandscheibenvorfall führen. Besonders häufig sind falsches Heben und Tragen schwerer Lasten Ursache für eine Schädigung der Bandscheibe. Daneben können jedoch auch Übergewicht und eine allgemein zu schwache Rückenmuskulatur Ursache sein. Selten wird ein Vorfall durch Verletzungen oder Unfälle ausgelöst.

Druckbelastung der Bandscheibe:

- Die niedrigste Belastung der Bandscheiben wirkt im Liegen
- Beim aufrechten Stehen ist die Belastung 4 mal so hoch
- Beim Sitzen mit aufrechtem Rücken ist die Belastung 6 mal höher als im Liegen
- Beim Heben von Lasten in unkorrekter Haltung ist die Belastung der Bandscheiben 3 ½ mal so hoch wie beim Heben in korrekter Haltung



4.5 Aufgaben der Wirbelsäule

Schutzfunktion
Das Zentralnervensystem ist der mechanisch gefährdetste Teil es Körpers, da Heilungsvorgänge in ihm nur begrenzt möglich sind. Gehirn und Rückenmark werden aus diesem Grund schützend von Knochen (Schädelknochen bzw. Wirbelbögen) umgeben.

Stützfunktion
Damit der Rumpf nicht zu einer formlosen Masse zusammensinkt, benötigt er wie die übrigen Teile des Körpers ein Stützgerüst. Diese Aufgabe wird hauptsächlich von den Wirbelkörpern übernommen.

Federungsfunktion
Da das Gehirn nicht nur direkte Verletzungen, sondern auch durch indirekt wirkende Stöße und Erschütterungen gefährdet ist, sind in die Wirbelsäule Bandscheiben als Druck- und Stoßamortisatoren eingebaut.

Bewegungsfunktion
Die Beweglichkeit der Wirbelsäule ist nicht nur aus Gründen der Federung, sondern auch der Tätigkeit der inneren Organe erforderlich. Atmung, Nahrungsverarbeitung und Schwangerschaft bedingen Volumenänderungen in Brust- und Bauchbereich, denen sich die Wirbelsäule anpassen muss. Schließlich erfordert auch die Erhaltung des Gleichgewichts beim Stehen, Gehen und Laufen Ausgleichsbewegungen der Wirbelsäule.

Ansatzfläche
Viele Bänder und Muskel setzen an der Wirbelsäule an.

Ausdrucksorgan
Man kann den seelischen Zustand eines Menschen meist an seiner Körperhaltung erkennen.

4.6 Fehlstellungen der Wirbelsäule

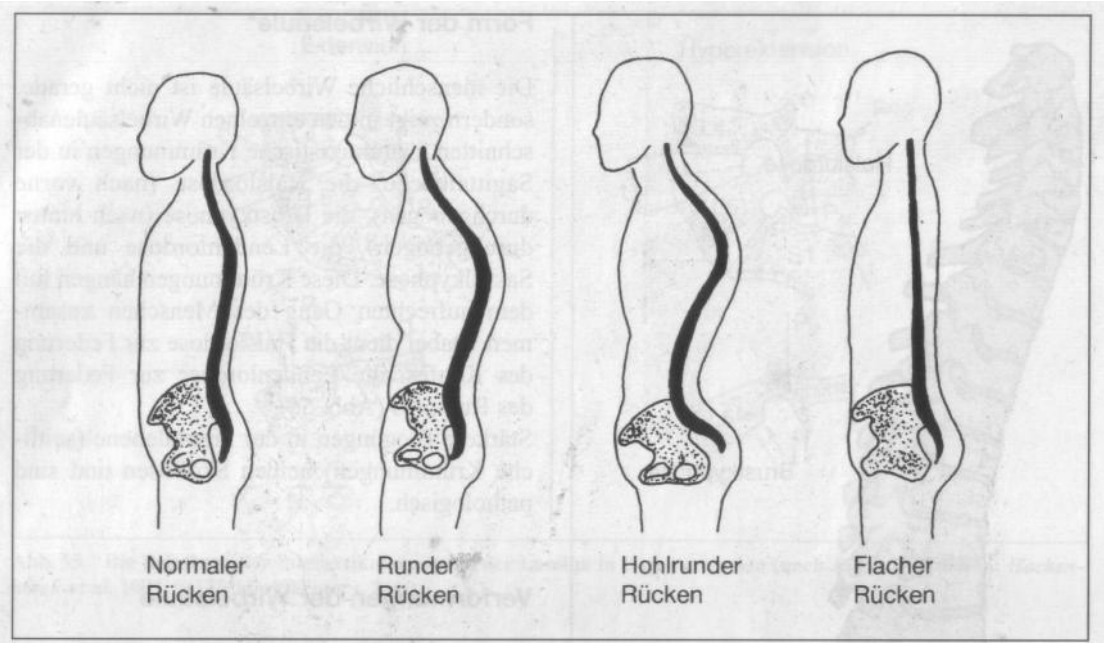
4.6.1 Skoliose

Mit Skoliose wird eine seitliche Verbiegung der Wirbelsäule bezeichnet, bei der einzelne Wirbelkörper zusätzlich gegeneinander verdreht sind. Die Entstehungsursache ist meist unklar. Erkrankungsursachen wie Entwicklungsstörungen, Kinderlähmung oder der einseitige Zug einer Narbe sind eher selten. Etwas häufiger kommen Asymmetrien im Bereich der Beine (Beinlängendifferenz) oder des Beckens als Verursacher in Frage. Skoliotische Fehlhaltungen können sich schon im Mutterleib anbahnen, wenn der Embryo immer auf einer Seite liegt. Im Säuglingsalter kann diese Bevorzugung einer Seite durch die oft unterschiedlich schnelle Reifung der beiden Gehirnhälften noch unterstützt werden. Einseitige

Gewohnheitshaltungen und Bewegungen des Kindes und des Erwachsenen im Alltag trainieren die Muskulatur weiterhin ungleichgewichtig, woraufhin die seitlichen Verbiegungen verstärkt werden. Bei „echten“ Skoliosen sind asymmetrische, verdrehte Wirbelkörper im Röntgenbild zu sehen. Bei Jugendlichen besteht die besondere Gefahr, dass sich die Fehlstellung durch den Wachstumsprozess verstärkt. Wenn das Knochenwachstum abgeschlossen ist, kommt der Prozess dagegen eher zum Stillstand. Die Therapiewahl einer Skoliose ist abhängig vom Alter des Betroffenen und dem Ausmaß der Krümmung. Bei schwachen Krümmungen ist eine physiotherapeutische Behandlung meist ausreichend. Bei stärkeren Krümmungen können Rumpforthesen als Wachstumslenkung verwendet werden. Bei sehr starken Krümmungen muss, sofern alle bisherigen Therapiemethoden keine Wirkung zeigten, eine Operation in Betracht gezogen werden. Wird eine Skoliose ignoriert bzw. nicht behandelt, kann dies in der Folge zum Verlust der Beweglichkeit der Wirbelsäule führen. In fortgeschrittenen Stadien kommt es weiters zu Einschränkungen der Vitalkapazität (z. B. Lungenfunktion). Die Folge ist eine ständige Überlastung des Herz-Lungen-Kreislaufes. Die Lebensqualität und letztlich auch die Lebenserwartung sind eingeschränkt.

4.6.2 Rundrücken – Hyperkyphose

Beim Rundrücken hat sich abweichend von der normalen Doppel-S-Form der Wirbelsäule der Bogen der Brust- und Lendenwirbelsäule zu einem großbogigen Rundrücken verändert. Der Brustkorb ist eingesunken, die Schultern hängen nach vorne, die Arme sind nach innen gedreht und hängen eher vor dem Körper, der Kopf wird nach vorne geschoben. Diese Haltung ist sehr häufig zu sehen, da die Schwerkraft den Körper in diese Stellung zieht. Außerdem finden fast alle Tätigkeiten vor unserem Körper statt, viele Bewegungen der Hände begünstigen die krumme Körperhaltung. Durch diese Alltagstätigkeiten sind diejenigen Muskeln überbelastet und verkürzt, die den Körper in die Krümmung ziehen. Die aufrichtenden Muskeln können gegen den dadurch hervorgerufenen Zug nach vorn nur schwer oder gar nicht anarbeiten. Auf diese Weise festigt sich die krumme Körperhaltung. Es gibt auch schwere Krankheiten, die mit einem ausgeprägten Rundrücken einhergehen. Dazu gehören der Morbus Scheuermann, eine Entwicklungsstörung der Wirbel im Jugendalter, der Morbus Bechterew, eine chronische Gelenkentzündung mit Beteiligung des Immunsystems, und die Osteoporose.



4.6.3 Hohlrücken – Hyperlordose

Das Hohlkreuz ist eine Haltungsabweichung im Bereich der Lendenwirbelsäule. Die normale Innenwölbung dieses unteren Bogens der Wirbelsäule ist verstärkt, das Becken ist unnatürlich stark nach vorne gekippt. Ein tatsächlich bestehendes Hohlkreuz kommt allerdings viel seltener vor, als allgemein angenommen wird. Oft wird dieses Erscheinungsbild von einer vermehrten Rundung der Brustwirbelsäule begleitet und fällt dadurch ins Auge. Richtet man die Brustwirbelsäule auf, kommt es meist automatisch zu einer Normalisierung der Lendenwirbelsäulenkrümmung. Das Hohlkreuz kann auch in Verbindung mit einer Schwangerschaft auftreten, wenn das höhere Gewicht des Bauches die Lendenwirbelsäule nach vorne zieht. Auch das Trage von hochhakigen Schuhen fördert die ungünstige Abweichung des Beckens nach vorne und somit die Bildung eines Hohlrückens.

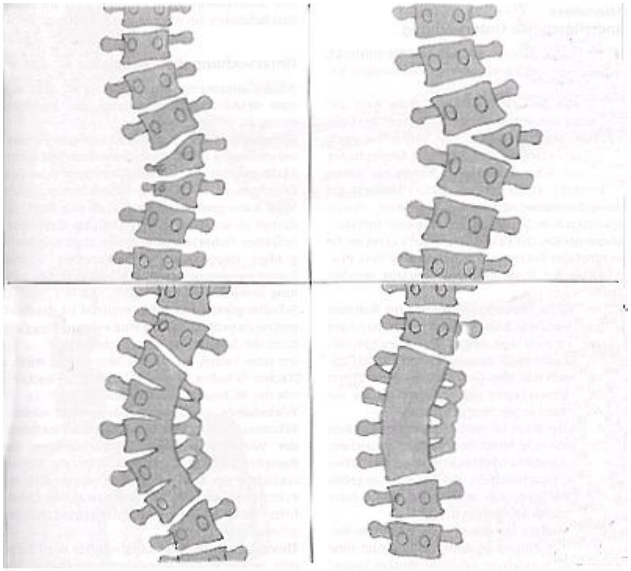
4.6.4 Flachrücken

Menschen mit einem Flachrücken fallen dem Laien für gewöhnlich nicht durch eine schlechte Haltung auf, verantwortlich dafür ist die Tatsache, dass der Flachrücken einen aufrechten Gang und eine gerade Haltung des Halses und damit des Kopfes verursacht. Dennoch leidet dieser Haltungstyp häufig unter starken Schmerzen. Das Fehlen der natürlichen S-Form sorgt für eine starke axiale (von oben nach unten) Belastung der Wirbelkörper und der Bandscheiben. Die S-Form sorgt für einen natürlichen Federmechanismus, der Bandscheiben und Gelenke entlastet. Dieser Federmechanismus fällt bei einem Flachrücken weg. Die Folgen sind eine starke Beanspruchung der Wirbelsäule und der Bandscheiben beim Heben und Tragen von Lasten. Ein junger, aufrecht gehender und scheinbar gesunder Mensch kann so, vor allem unter Anwendung falscher Hebe- und Tragetechniken, schon bei kleinsten Anstrengungen von Rückenschmerzen geplagt werden.
Für alle Haltungsabweichungen gilt es, die aufrechte Körperhaltung und damit die Streckung der Wirbelsäule zu fördern. Die Symmetrie der Haltung und der Bewegungen ist bei der skoliotischen Fehlhaltung besonders wichtig. Liegt eine anatomische Beinlängendifferenz vor, muss diese durch eine Absatz- oder Sohlenerhöhung am Schuh ausgeglichen werden.
Oft wurde in der Vergangenheit zur Therapie von Haltungsfehlern, vor allem zur Korrektur des Hohlkreuzes, eine Kräftigung der Bauchmuskulatur verordnet. Dies ist dadurch zu erklären, dass der Bauch in der krummen Körperhaltung eher schlaff und vorgewölbt ist und aus diesem Grund auch schwach erscheint. Eine Kräftigung der Bauchmuskulatur führt tatsächlich dazu, dass das Hohlkreuz ausgeglichen wird. Die reine Anspannung und Kräftigung der Bauchmuskeln bewirkt allerdings, dass Becken und Brustkorb zusammengezogen werden. Der Brustkorb sinkt ein, die Schulter ziehen nach vorne und die Rundung der Brustwirbelsäule verstärkt sich. So wird die krumme Körperhaltung nicht ausgeglichen, sondern sogar trainiert. Um die aufrechte Körperhaltung zu unterstützen, müssen sich Becken und Brustkorb dagegen voneinander entfernen. Dazu müssen die Bauchmuskeln lang werden. Der Bauch wird dadurch flacher und die Taille schmaler. Das Hohlkreuz wird durch die Hebung des Brustkorbs ausgeglichen, so dass die Wirbelsäule ihre normalen Krümmungen erreicht. Die Bauchmuskeln haben stabilisierende Funktion, müssen aber lang sein. Das wird mit Dehnübungen erreicht. Erscheinen Kräftigungsübungen für die Bauchmuskeln sinnvoll, muss demnach der Schwerpunkt auf Stabilisation bei langem Bauch gelegt werden. Wichtig bei der Ausführung der Übungen ist, dass die Wirbelsäule korrigiert und aufgerichtet ist und Becken und Brustkorb bei langem Bauch in ihrer voneinander entfernten Position bleiben. In dieser Stellung ist die Belastung der Wirbelsäule am geringsten. Bei herkömmlichen Übungen wie zum Beispiel dem „Klappmesser“ werden Becken und Brustkorb zueinander gebracht, die Wirbelsäule wird gerundet und die Bauchmuskulatur verkürzt.

4.6.5 Wirbelfehlbildungen

Wirbelfehlbildungen kommen als „offene“ oder „geschlossene“ Fehlbildungen vor. Bei den geschlossenen Fehlbildungen unterscheidet man vier Varianten:

- partielle einseitige Wirbelkörperdefekte (Keilwirbel) – (oberes Bild links)
- komplette einseitige Wirbelkörperdefekte (Halbwirbel) – (oberes Bild rechts)
- einseitige Segmentationsstörungen – (unteres Bild links)
- beidseitige Segmentationsstörungen (Blockwirbel) – (unteres Bild rechts)



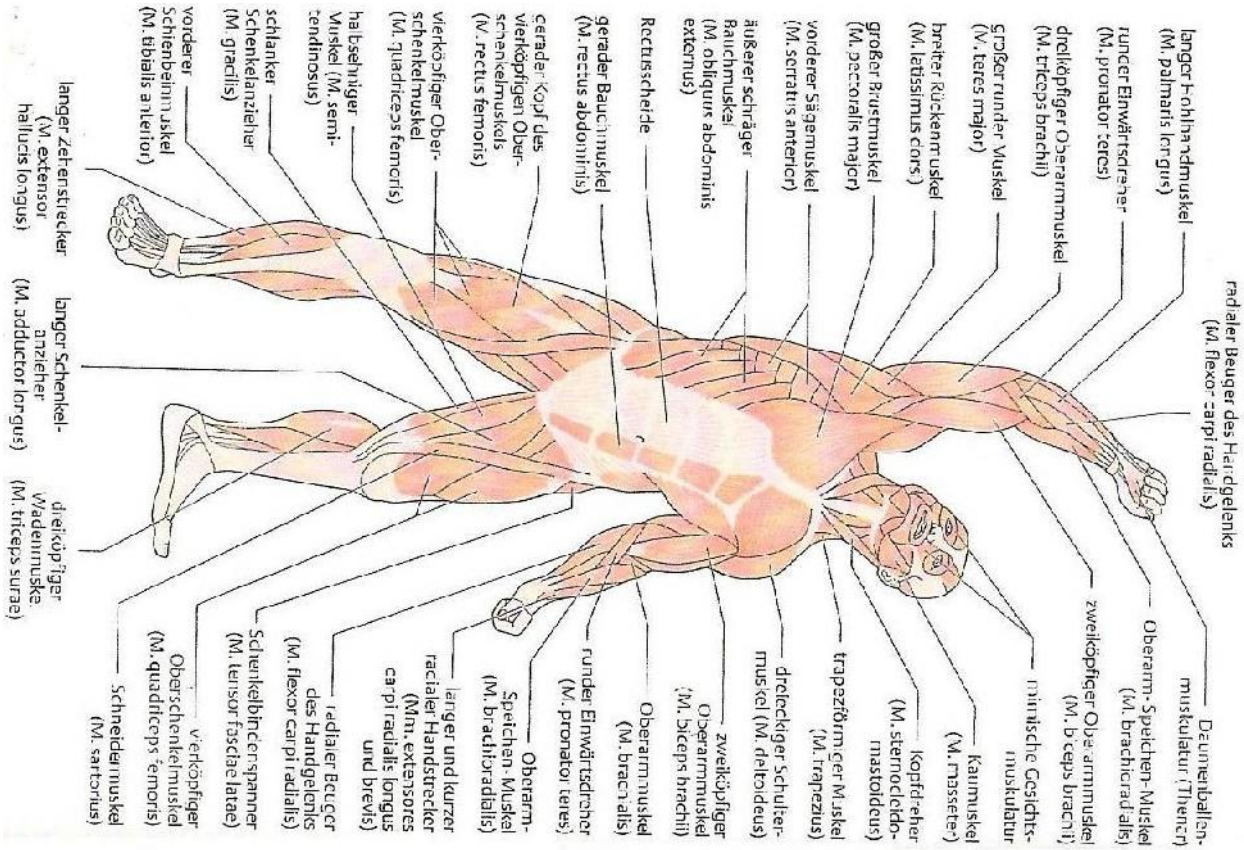
Die folgenschwersten Krümmungen entwickeln sich aus der Kombination von Halbwirbeln auf einer Seite und einer mehrere Wirbel umfassenden einseitigen Segmentationsstörung auf der Gegenseite.

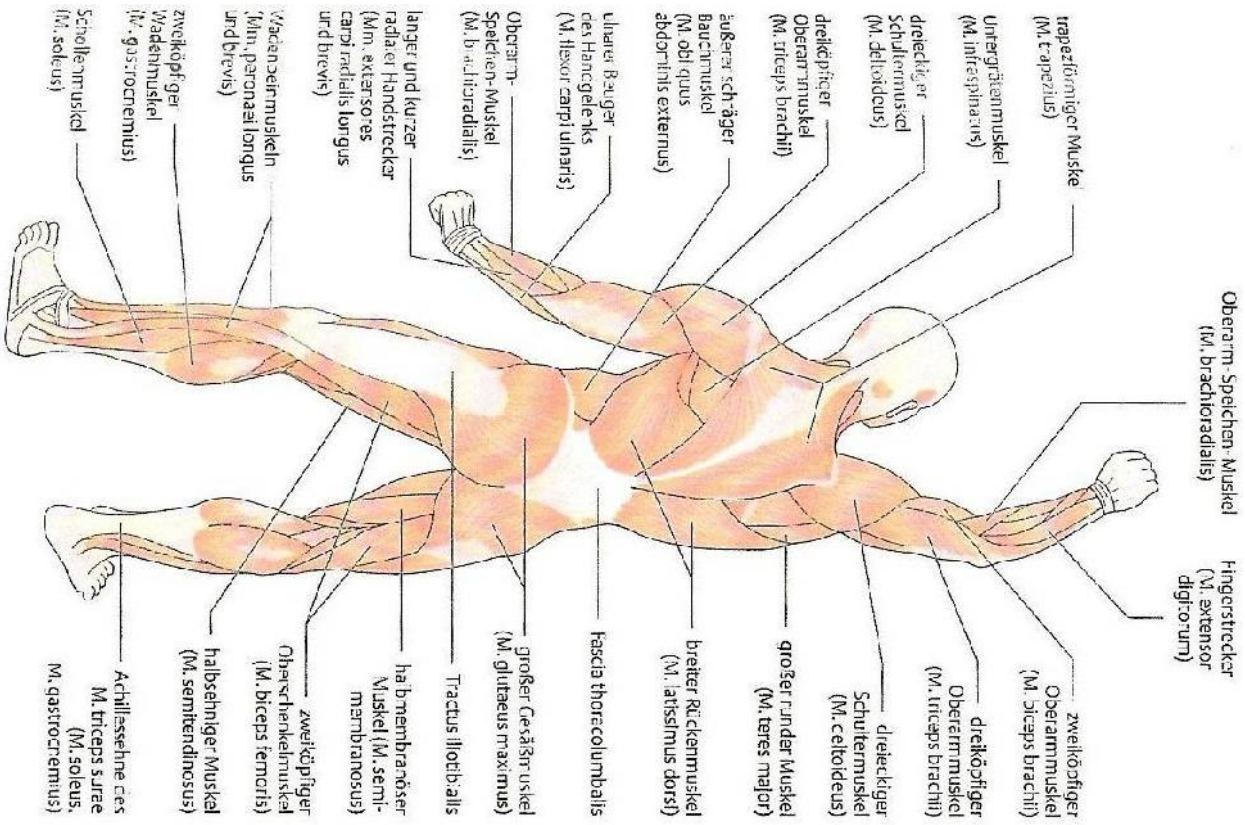
5 Muskulatur

Die Muskeln bilden die Körpermasse und machen ungefähr die Hälfte des Körpergewichts aus.
Es gibt drei verschieden Muskelarten:

- Skelettmuskeln
- unwillkürliche oder glatte Muskeln
- Herzmuskel

Alle drei Muskelarten können gestreckt und zusammengezogen werden, sie reagieren auf Reize und nehmen wieder ihre ursprüngliche Form und Größe an.
Die unwillkürlichen Muskeln führen die unbewussten, routinemäßigen Körperfunktionen aus: Sie schieben die Nahrung den Verdauungstrakt hinunter, halten die Augen im Brennpunkt und steuern den Durchmesser der Arterien.
Der Herzmuskel ist einzigartig wegen seiner miteinander verbundenen Verzweigungen.
Die Skelettmuskeln werden auch willkürliche Muskeln genannt, da wir sie willentlich zusammenziehen oder entspannen können.
Alle Muskeln im Rumpf und in den Gliedern werden durch ständige Nervenimpulse aus dem Rückenmark in einem Teilkontraktionszustand gehalten, den man Muskeltonus nennt.
Wenn ein Muskel nicht mehr innerviert wird, schrumpft seine Masse innerhalb von wenigen Monaten bis auf ca. zwei Drittel. Bei vielen Erkrankungen wie Kinderlähmung und Myasthenia gravis, bei denen die Muskeln in Mitleidenschaft gezogen werden, handelt es sich in Wirklichkeit um Erkrankungen des Nervensystems und nicht der Muskeln. Muskeln sind eher von Verletzungen als von Erkrankungen betroffen, und sie haben die Fähigkeit, sich selbst zu heilen: Wenn ein Muskel teilweise zerstört ist, wächst zum Ausgleich der übrige Teil und wird länger und kräftiger.

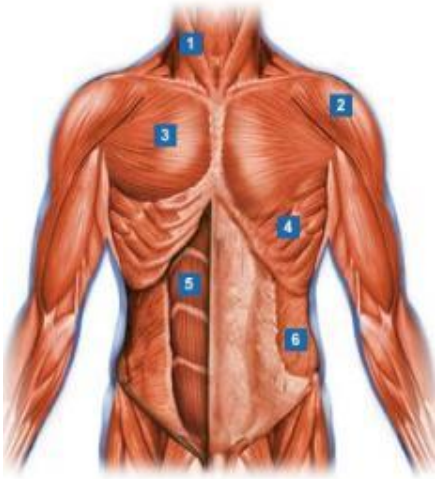




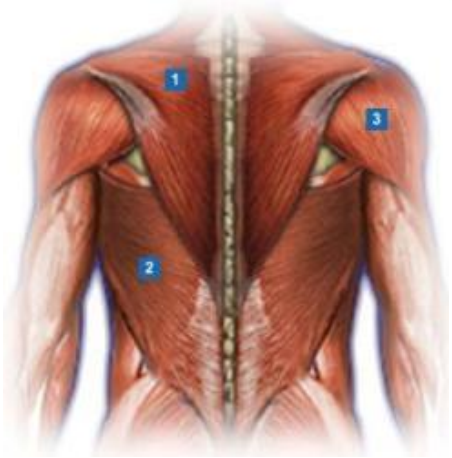
1. Ringmuskel des Mundes (lat.: Musculus orbicularis oris)
2. Augenringmuskel (lat.: Musculus orbicularis oculi)
3. Stirnmuskel (lat.: Musculus (occipito-) frontalis)
4. äußerer Kaumuskel (lat.: Musculus masseter)
5. Jochbeinmuskel (lat.: Musculus zygomaticus)
6. Kopfnicker (lat.: Musculus sternocleidomastoideus)

1. großer Brustmuskel (lat.: Musculus pectoralis major)
2. Deltamuskel (lat.: Musculus deltoideus)
3. zweiköpfiger Armmuskel (lat.: Musculus bizeps brachii)
4. dreiköpfiger Armmuskel (lat.: Musculus trizeps brachii)
5. Oberarm-Speichenmuskel (lat.: Musculus brachioradialis)
6. Hand-/Fingerbeugemuskulatur (lat.: Musculi flexores digiti)

1. Deltamuskel (lat.: Musculus deltoideus)
2. dreiköpfiger Armmuskel (lat.: Musculus trizeps brachii)



1. Kopfnicker (lat.: Musculus sternocleidomastoideus)
2. Deltamuskel (lat.: Musculus deltoideus)
3. großer Brustmuskel (lat.: Musculus pectoralis major)
4. vorderer Sägemuskel (lat.: Musculus serratus anterior)
5. gerader Bauchmuskel (lat.: Musculus rectus abdominis)
6. schräger äußerer Bauchmuskel
   (lat.: Musculus obliquus externus abdominis)



1. Trapezmuskel (lat.: Musculus trapezius)
2. breitester Rückenmuskel
   (lat.: Musculus latissimus dorsi)
3. Deltamuskel (lat.: Musculus deltoideus)

1. gerader Oberschenkelmuskel (lat.: Musculus rectus femoris)
2. seitlicher Unterschenkel- Strecker (lat.: Musculus vastus lateralis)
3. innerer Oberschenkelstrecker (lat.: Musculus vastus medialis)
4. Schlankmuskel (lat.: Musculus gracilis)
5. Zwillingswadenmuskel (lat.: Musculus gastrocnemius)
6. vorderer Unterschenkelmuskel (lat.: Musculus tibialis anterior)
7. langer Wadenbeinmuskel (lat.: Musculus peroneus longus)

1. großer Gesäßmuskel (lat.: Musculus gluteus maximus)
2. halbsehniger Muskel (lat.: Musculus semitendinosus)
3. zweiköpfiger Oberschenkelmuskel (lat.: Musculus biceps femoris)
4. Wadenmuskel (lat.: Musculus gastrocnemius)

Die über 600 Skelettmuskeln machen fast die Hälfte des menschlichen Körpergewichtes aus. Sie arbeiten mit den Knochen zusammen und verleihen dem Körper die Kraft, die er zur Bewegung braucht.
Ein Skelettmuskel hängt für gewöhnlich an einem Knochenende, erstreckt sich über ein Gelenk, verjüngt sich dann hin zu einem anderen Knochen und hängt sich an diesen an. Wenn sich ein Muskel zusammenzieht, bewegt er einen Knochen, während der andere Knochen relativ stabil bleibt. Der Punkt, an dem ein Muskel an dem unbewegten Knochen hängt, heißt Ursprung, der Punkt, an dem er an dem bewegten Knochen hängt, heißt Ansatz. Viele Muskeln besitzen mehrere Ursprungs- und Ansatzpunkte.
Die einzelnen Muskeln sehen ganz unterschiedlich aus: Am oberen Rücken sind die dicken Dreiecksmuskeln und in der Hand schlanke, kabelartige Muskeln. Die Stärke, mit der sich ein Muskel zusammenziehen kann, und somit seine spezifische Funktion, hängt von seiner Form ab.
Die Muskeln, die entlang des Rückgrats verlaufen, sind am stärksten; sie sorgen für eine aufrechte Körperhaltung und für die Kraft, die zum Heben und Stoßen nötig ist. Der kleinste Muskel ist der Steigbügelmuskel am Ohr.

5.1 Oberflächenmuskeln und tiefe Muskeln

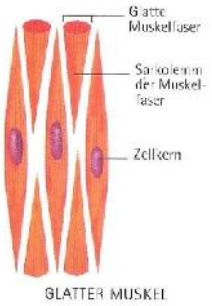
Die Skelettmuskelschichten überlappen einander und bilden ein kompliziertes Muster. Die Muskeln, die genau unter der Haut und der Fettschicht liegen, sind die Oberflächenmuskeln, jene, die noch darunter liegen, sind die tiefen Muskeln. Die Muskeln der Bauchwand bilden drei Schichten deren Fasern jeweils in unterschiedlichen Richtungen verlaufen.

5.2 Muskelarten

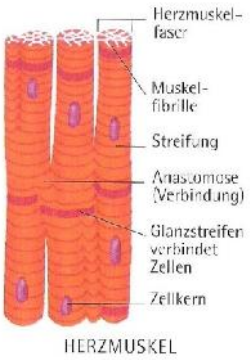
Es gibt drei Muskelarten:

- Skelettmuskeln

- glatte Muskulatur



- Herzmuskel oder Myokard



Die Skelettmuskeln bestehen aus langen, gestreiften Faserbündeln.
Glatte Muskeln, die in den Wänden der inneren Organe (z.B. des Darms) vorkommen, bestehen aus Lagen von kurzen, spindelförmigen Fasern.
Der Herzmuskel, der nur im Herzen zu finden ist, besitzt kurze, miteinander verbundene Fasern.

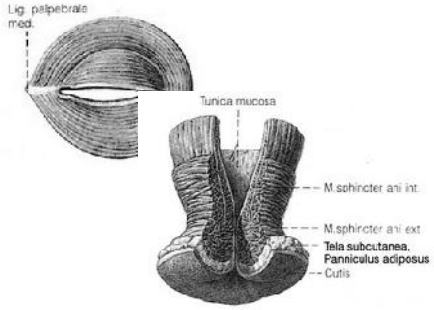
5.3 Makroskopie

5.3.1 Muskelformen

- **Platte Muskeln:** Bauch-, Rücken- und Brustmuskulatur

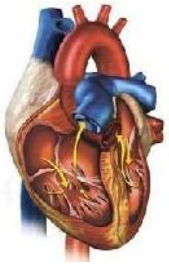
- **Spindelförmige Muskeln:** Extremitäten

- **Ringmuskeln:** Mund und Augen

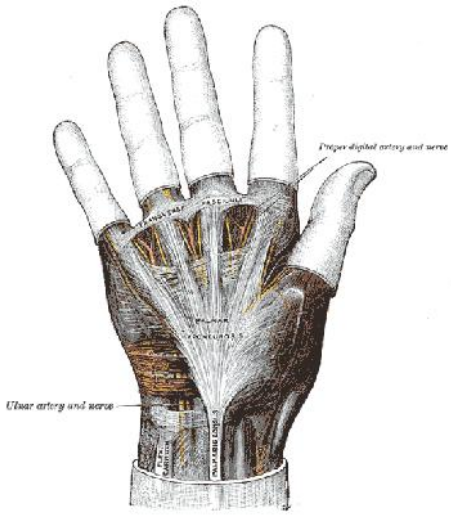


- **Schließmuskeln oder Sphincteren:** Anus und Harnröhre

- **Hohlmuskeln:** Herz, Harnblase, Gallenblase und Gebärmutter



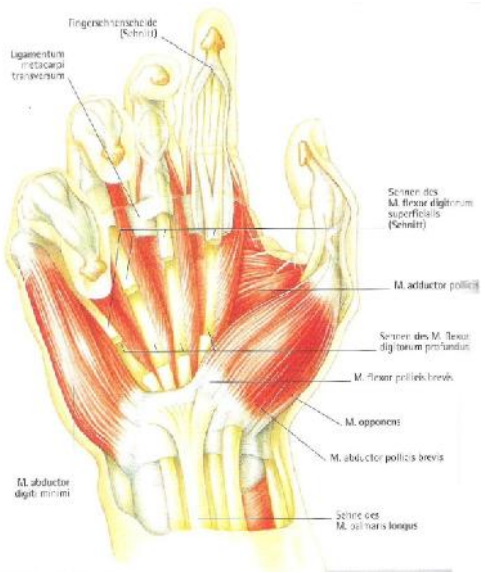
- **Rundliche Sehnen und flächenhafte Sehnenplatten oder Aponeurosen:** Kopf, Bauch, Rücken, Hände, Füße, etc.



5.4 Mikroskopie

5.4.1 Aufgaben und Fähigkeiten der Muskeln

- Bewegung des Skeletts durch Zusammenspiel der Muskeln
  - zusammenziehen (kontrahieren) und verkürzen
  - erschlaffen (relaxieren) und verlängern
  - Mischformen: Teile eines Muskels kontrahieren, andere erschlaffen
- Gewährleistung der Aufgaben der inneren Organe (Peristaltik etc.)
- Wärmebildner durch Stoffwechselprozesse (Verbrennung) in den Muskelzellen
- Wärmespeicher aufgrund guter Muskeldurchblutung
- Förderung des venösen und lymphatischen Rückenstromes von der Peripherie zum Herzen



5.5 Muskel-Sehnen-Verbindungen

Sehnen sind faserige Bindegewebsstränge, die Skelettmuskeln mit Knochen verbinden. Einige Sehnen sind von Sehnenscheiden und einer Gelenkschmiere umgeben, die sie vor Reibung schützen. In der Hand reichen die Sehnen bis zum Arm, wo sie von Muskeln neben dem Ellbogen gesteuert werden. Die Hand ist sehr kräftig, aber auch kompakt, da viele der Muskeln, die die Hand bewegen, von der Hand entfernt liegen.

5.6 Halte- und Bewegungsmuskulatur: Eigenschaften und Beispiele

Innerhalb der Arbeitsmuskulatur (extrafusale Muskulatur) werden aus funktionellen Gründen Halt- (tonische Muskeln) und Bewegungsmuskeln (phasische Muskeln) unterschieden.

5.6.1 Haltemuskulatur (rote Muskulatur)

Eigenschaften:

- überwiegend langsam zuckende Muskelfasern (Zuckungsdauer: ca. 100ms)
- auf Dauerleistung ausgelegt
- ermüden langsam
- oxidativer (aerober) Stoffwechsel
- sehr gute Blutgefäßversorgung
- neigen zur Verkürzung (Erhöhung des Grundtonus) und müssen regelmäßig gedehnt werden

Beispiele:

Adduktoren, Trapezmuskel, gerader Muskel des Oberschenkels,…

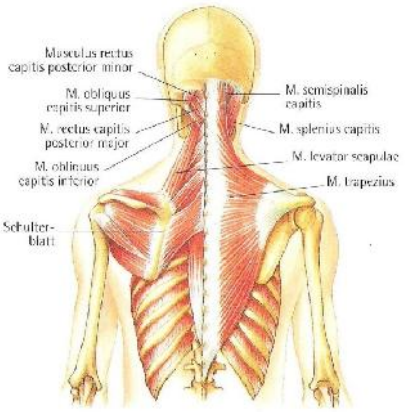
5.6.2 Bewegungsmuskulatur (weiße Muskulatur)

Eigenschaften:

- überwiegend schnell zuckende Muskelfasern (Zuckungsdauer: ca. 30ms)
- schnelle, kurze und kraftvolle Kontraktionen
- ermüden schneller
- arbeiten überwiegend anaerob (Glykolyse)
- deutlich geringer kapillarisiert
- neigen zur Atrophie und müssen regelmäßig gekräftigt werden

Beispiele:
Bizeps, Trizeps, vordere Oberschenkelmuskulatur, 2-köpfige Wadenmuskulatur

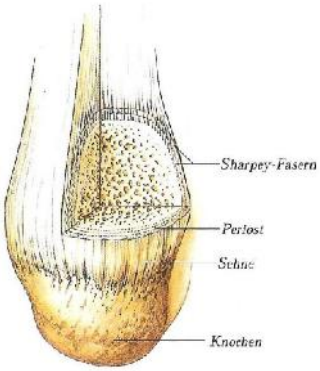
Untersuchungen haben gezeigt, dass Athleten, die Sportarten mit zeitlich begrenzter und schneller Muskelarbeit betreiben(z.B. Sprinter), mehr weiße Zuckungsfasern haben, während Ausdauersportler(z.B. Marathonläufer) vermehrt rote Zuckungsfasern besitzen.



5.7 Starke, stabilisierende Muskeln

Die Muskeln im Nacken und im oberen Rücken ermöglichen vielfältige Bewegung. Die Nackenmuskeln stützen den Kopf und halten ihn aufrecht. Die Muskeln im oberen Rückenbereich, die an dem flügelförmigen Schulterblatt hängen, stabilisieren die Schulter, das beweglichste Gelenk im Körper.

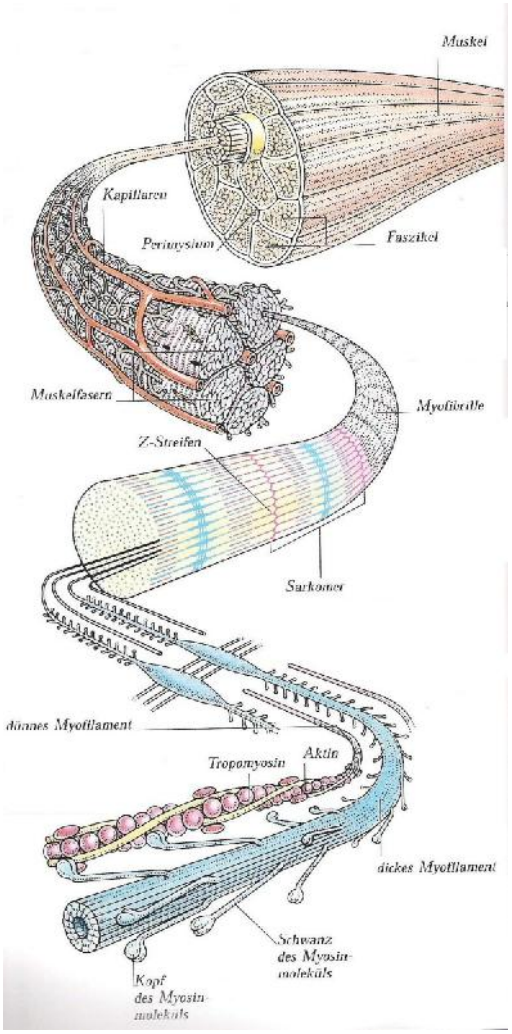
5.8 Sehnen-Knochen-Verbindungen



Die Sehnen sind durch die Sharpey-Fasern, das sind kollagene (proteinhaltige) Bindegewebsfasern, fest mit einem Knochen verbunden. Sie verlaufen durch das Periost und sind in die äußeren Knochenteile eingebettet; dadurch sind sie so fest verankert, dass sie auch dann, wenn sich die darunter befindlichen Knochen bewegen, fest an ihrem Platz bleiben.

5.9 Aufbau der Muskeln

Die Muskeln sind so aufgebaut, dass sie sich als Reaktion auf Nervenimpulse zusammenziehen könne und einen Teil des Skeletts in die Kontraktionsrichtung ziehen. Die Muskeln sind jeweils gegensinnig angeordnet, da sie nur ziehen und nicht stoßen können. Das bedeutet, dass die Bewegung einer Muskelgruppe immer von ihren Antagonisten umgekehrt werden kann.

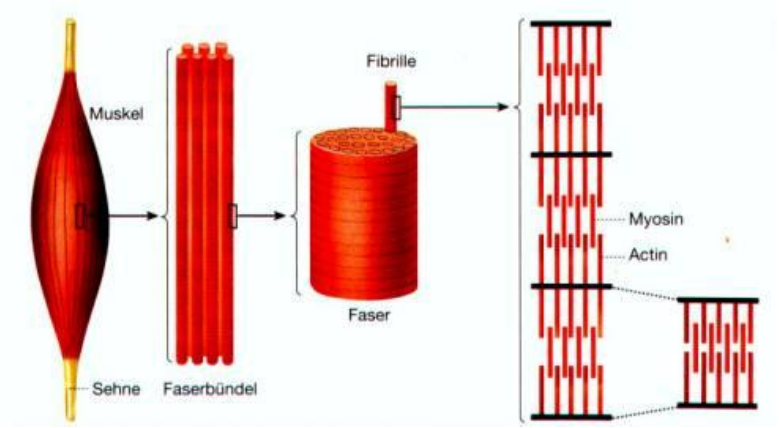


5.9.1 Aufbau der quergestreiften willkürlichen Skelettmuskulatur

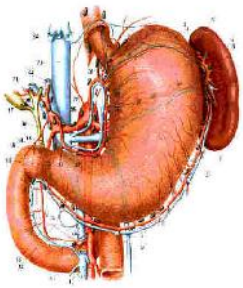
- Zylindrische Form (Muskelfaser)
- Länge: wenige mm bis 15 cm
- Dicke: 0,01 - 0,1 mm (in Extremfällen bis 0,2 mm)

Jede Faser hat viele Zellkerne, die direkt unter der Zellmembran liegen. Die Myofibrillen ermöglichen die Kontraktion und sind so geordnet, dass Querstreifung erscheint. Mehrere Muskelfasern sind von einer bindegewebigen Haut umgeben und bilden ein sog.

Faserbündel oder Primärbündel. Die Muskelfasern können sich rasch und kräftig kontrahieren, ermüden jedoch relativ schnell. Mehrere Primärbündel zusammen bilden wieder größere Bündel, die sog. Sekundärbündel, die ebenfalls von einer bindegewebigen Haut umgeben sind.
Mehrere Sekundärbündel sind von einer Muskelhülle (Faszie) umgeben und bilden den Muskel. Für die Innervation (Reizauslösung) sind das Zentrale und das Periphere Nervensystem verantwortlich.

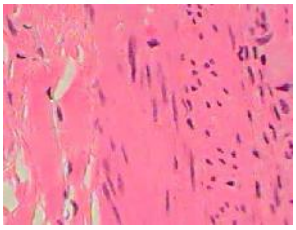


5.9.2 Aufbau der glatten unwillkürlichen Organmuskulatur

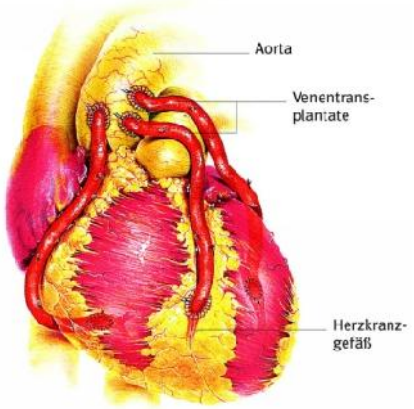


- Längliche Form, spindelförmig
- Länge: 0,1 mm (im schwangeren Uterus bis 0,5 mm)

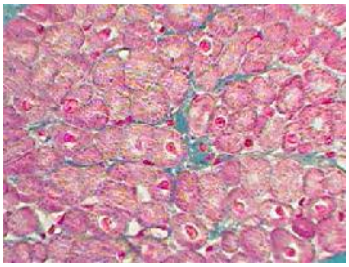
Jede Zelle besitzt in ihrem Zentrum nur einen Kern. Durch die Anordnung der Myofibrillen erscheint keine Querstreifung, deshalb spricht man von glatter Muskulatur. Mehrere Fasern zusammen bilden ebenfalls Bündel, die jedoch eher flächenhaft geformt sind. Die Muskelzellen kontrahieren sich langsam und ermüden kaum. Oft ist eine lang andauernde Kontraktion notwendig.
Für die Innervation ist das Vegetative Nervensystem verantwortlich.

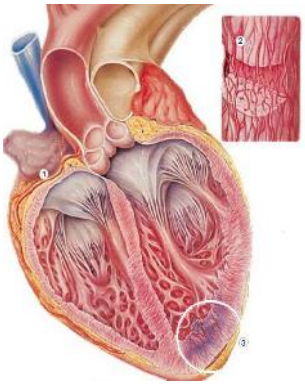


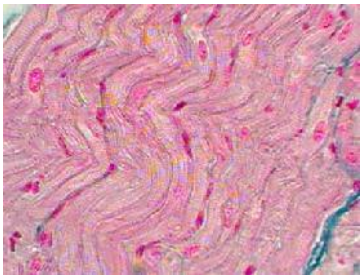
5.9.3 Aufbau der quergestreiften unwillkürlichen Herzmuskulatur



Die Myofibrillen sind in diesen Zellen geordnet, so dass Querstreifung erscheint. Die Zellen besitzen einen großen zentralen Kern. Die Muskelzellen sind netzartig untereinander zu einem Fasersystem verbunden.
Die Innervation übernimmt das herzeigene Reizleitungssystem.





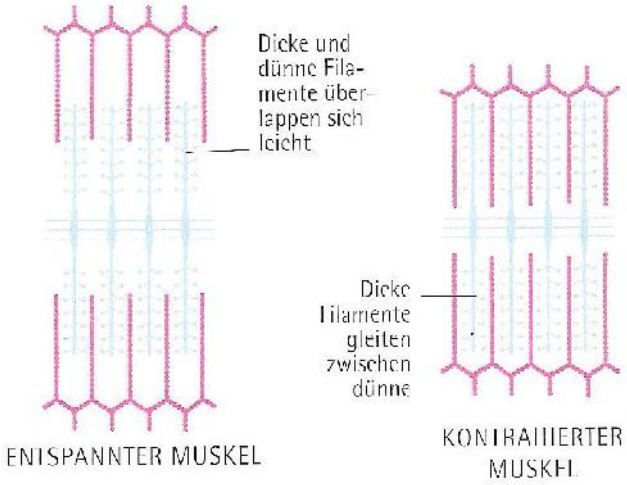


5.9.4 Sarkomer

Jedes Sarkomer ist hauptsächlich aus drei mikroskopisch kleinen, kontraktilen Proteinen aufgebaut, die sich zu Filamenten (Proteinfäden) zusammensetzen, welche aus Aktin, Myosin und Titin bestehen. Das Sarkomer hat einen strengen, regelmäßigen Aufbau und ist in Längsrichtung der Myofibrille, die wiederum längs der Muskelfaser gerichtet ist, angeordnet und hintereinander gereiht. Im Ruhezustand hat es eine Länge von etwa 2-2,5 Mikrometer.

Abschnitte des Sarkomers
Die Z-Scheiben (auch Z-Streifen oder Z-Linien genannt), welche mit den relativ dünnen und daher helleren Aktinfilamenten verbunden sind, begrenzen das Sarkomer an seinen Enden. An den Z-Scheiben „hängen“ zu beiden Seiten Aktinfilamente, zwischen deren Enden die dicken und daher im mikroskopischen Bild dunkleren Myosinfilamente liegen. Ein Aktinfilament ragt damit in zwei benachbarte Sarkomere.
Die Myosinfilamente sind über das elastische Protein Titin mit jeweils zwei benachbarten Z-Scheiben verbunden und werden dadurch in der Mitte des Sarkomers zentriert.
Die Proteinfamilie der Myosine stellt die Motorproteine des Aktins.
Typischerweise besteht ein Myosinmolekül aus einem Schwanz, der mit anderen Strukturen (zu transportierende Vesikel) oder einem anderen Myosinschwanz verbunden ist, und einem Köpfchen. Das Myosinköpfchen stellt eine ATPase dar, kann also ATP spalten und mit der gewonnenen Energie den Winkel des Köpfchens ändern. Da das Köpfchen an Aktinfilamente binden kann, bewegt sich das Molekül so am Filament entlang.

5.9.5 Muskelkontraktion
Ist ein Muskel entspannt, überlappen sich die dicken und dünnen Myofilamente ein wenig. Bei einer Kontraktion gleiten die dicken Filamente weiter zwischen die dünnen Filamente und bewegen sich auf die Z-Streifen zu. Dadurch verkürzt sich die Myofibrille und die gesamte Muskelfaser. Die Stärke der Kontraktion hängt von der Menge der dabei beteiligten verkürzten Muskelfasern ab.



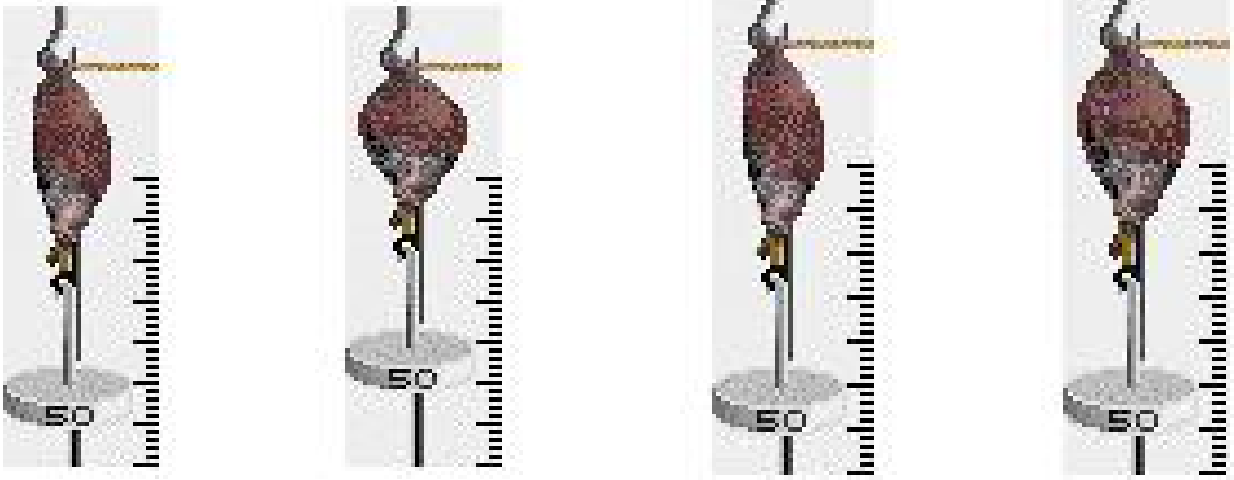
Kontraktionsarten:

- **Isotonische Kontraktion:** Muskel verkürzt sich und wird dadurch dicker, ohne Kraft auszuüben.

- **Isometrische Kontraktion:** Muskel ist kontrahiert, Länge und Dicke bleiben jedoch gleich, Kraft verstärkt sich.

- **Auxotone Kontraktion:** Isotonisch und isometrisch gemischte Kontraktion.

- **Ruhetonus:** Auch in Ruhestellung ist im Muskel immer eine gewisse Spannung da.

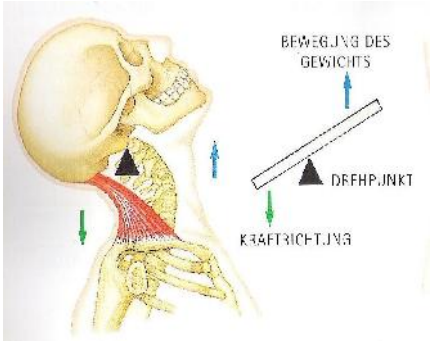


5.10 Hebelsysteme

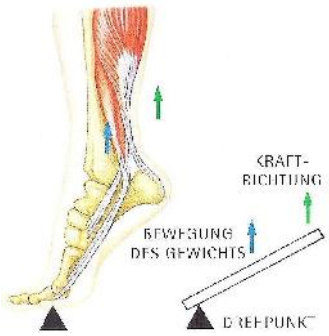
Körperbewegungen laufen nach mechanischen Prinzipien ab: Eine Kraft wirkt auf einen Teil eines Hebelarms; sie wird über einen Drehpunkt auf ein Gewicht übertragen, das auf der anderen Seite des Hebels Kraft ausübt. Im Körper üben die Muskeln Kraft aus, die Knochen dienen als Hebel, und die Gelenke agieren wie Drehpunkte. Hebelsysteme im Körper verzichten zugunsten etwas größeren Bewegungsumfangs auf mechanische Vorteile.

5.10.1 Hebel erster Klasse

Er funktioniert wie eine Wippe, d.h. der Drehpunkt liegt zwischen Kraft und Gewicht. Ein seltenes Beispiel im Körper sind die hinteren Nackenmuskeln, die den Kopf nach hinten beugen. Der Hebel an der Schädelbasis dreht sich auf dem Drehpunkt des Atlantookzipitalgelenks.



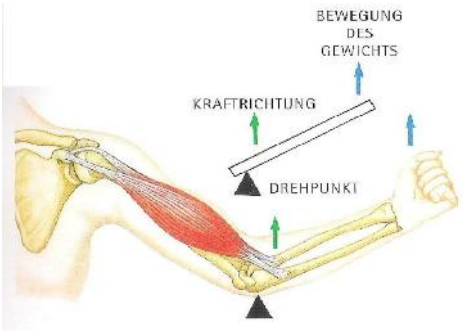
5.10.2 Hebel zweiter Klasse



Hier liegt das Gewicht zwischen der Kraft und dem Drehpunkt. Das entsprechende Beispiel im Körper ist das Heben der Ferse. Die Wadenmuskeln sind die Kraft, mit der das Körpergewicht gehoben wird, die Ferse und der meiste Teil des Fußes bilden den Hebel und die Metatarsophalangealgelenk sind der Drehpunkt.

5.10.3 Hebel dritter Klasse

Bei einem Hebel dritter Klasse, der häufigsten Hebelart im Körper, wird die Kraft auf den Hebel zwischen Gewicht und Drehpunkt ausgeübt. Ein typisches Beispiel ist das Beugen des Ellbogengelenks durch Kontraktion des Musculus biceps brachii, wenn man den Unterarm und die Hand hebt.



5.11 Muskelverletzungen und -krankheiten

Verletzungen der Muskeln sind gewöhnlich die Folge von Überanstrengung, oder sie entstehen, wenn man plötzliche ziehende oder drehende Bewegungen ausführt. Verschiedene Arbeitsabläufe können ebenfalls die Muskeln und Sehnen schädigen. Eine Reihe seltener Muskelerkrankungen kann die Ursache von Muskelschwäche und fortschreitender Degeneration sein.

5.11.2 Muskelkater

Man ist sich noch nicht vollends über die Ursachen des Muskelkaters einig. Früher wurde eine Übersäuerung des Muskels durch Milchsäure (Laktat) angenommen. Diese Hypothese ist jedoch durch folgende Fakten widerlegt worden:

- Nach der Laktathypothese müsste ein Muskelkater besonders durch sportliche Betätigungen entstehen, bei denen sehr hohe Laktatwerte gemessen werden, wie zum Beispiel beim 400-Meter-Lauf. Die Praxis zeigt jedoch, dass er häufiger nach Krafttraining auftritt, bei dem nicht so viel Laktat gebildet wird.
- Laktat hat eine Halbwertszeit von etwa 20 Minuten. Ein Muskelkater tritt aber erst Stunden später auf, nachdem sich der Laktatspiegel längst normalisiert hat.

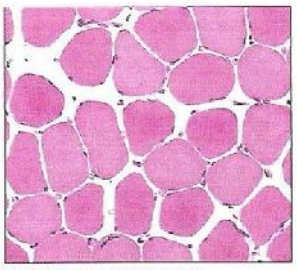
Heute nimmt man an, dass – wie Beobachtungen zeigen – durch Überlastung kleine Risse in den Z-Scheiben im Muskelgewebe (Mikrotraumata) auftreten. Diese sind gewissermaßen die äußeren Abgrenzungen kleiner Abschnitte innerhalb der Muskelfibrille. Die Entzündungen, die durch die Risse entstehen, führen durch Eindringen von Wasser (es bilden sich Ödeme) zum Anschwellen des Muskels; dies führt zu den hier thematisierten Dehnungsschmerzen. Diese stellen sich jedoch erst nach etwa 12 bis 24 Stunden ein, wenn die bei den Mikrorissen entstandenen Abfallprodukte aus dem Muskel befördert werden und dort mit den Nervenzellen in Kontakt kommen.

5.11.1 Muskelzerrungen und -risse

Der Begriff Muskelzerrung umschreibt eine leichte Schädigung der Muskelfasern. Begrenzte Blutungen im Muskel verursachen Berührungsschmerz und Anschwellen des Gewebes; manchmal treten auch Muskelkrämpfe auf, und es können sich sichtbare Blutergüsse bilden.

5.11.2 Muskeldystrophie

Muskeldystrophie heißt eine Reihe erblicher Erkrankungen mit fortscheitender Degeneration der Skelettmuskeln. Die häufigsten Symptome sind zunehmende Abnutzung und Verlust der Funktionsfähigkeit der Muskeln. Es gibt keine wirksame Therapie, aber manchmal kann man durch Streckübungen oder einen chirurgischen Eingriff, bei dem die verkürzten Muskeln und Sehnen korrigiert werden, Erleichterung verschaffen.


NORMALE MUSKELFASERN

ANORMALE MUSKELFASERN

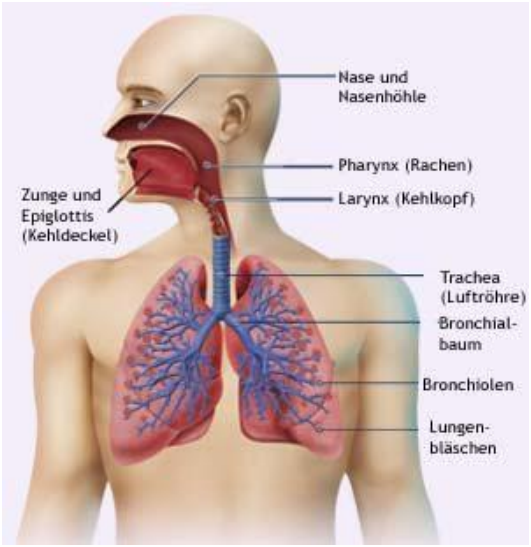
5.11.3 Myasthenia Gravis

Eine Autoimmunkrankheit, die sich durch schwere Muskelschwäche und Ermüdung der Muskeln auszeichnet. Die Verursacher sind Antikörper, die schrittweise die Anzahl der Rezeptoren in den Muskelfasern reduzieren, die die Muskelkontraktion anregen. Eine Thymuserkrankung kann die Krankheit auslösen.

6 Lunge / Atmung

Die menschlichen Lungen bestehen aus einer rechten Lunge (rechtem Lungenflügel) und einer linken Lunge (linkem Lungenflügel). Jeder Lungenflügel wird durch Furchen in so genannte *Lungenlappen* unterteilt. Der rechte Lungenflügel teilt sich dabei in 3 Lappen auf. Der linke Lungenflügel teilt sich in lediglich 2 Lappen. Die Lungenflügel werden in Lungensegmente unterteilt. Die Bezeichnung erfolgt hier entsprechend der Zuordnung zum versorgenden Bronchialast. Der linke Lungenflügel ist etwas kleiner als der rechte, da auf der linken Seite das Herz einigen Raum einnimmt.

6.1 Die Oberen Atemwege:



- die beiden **Nasenhöhlen**
- der **Rachen** (Pharynx)
- der **Kehlkopf** (stellt die Verbindung zw. oberen und unteren Atemwegen her)

Die Nasenhöhle:

Die Nasenschleimhaut ist mit Flimmerhaaren überzogen. In der Nasenhöhle wird die Luft, erwärmt, angefeuchtet und gesäubert. Danach können sie zu den Nasenlöchern oder gegen den Rachen transportiert werden.

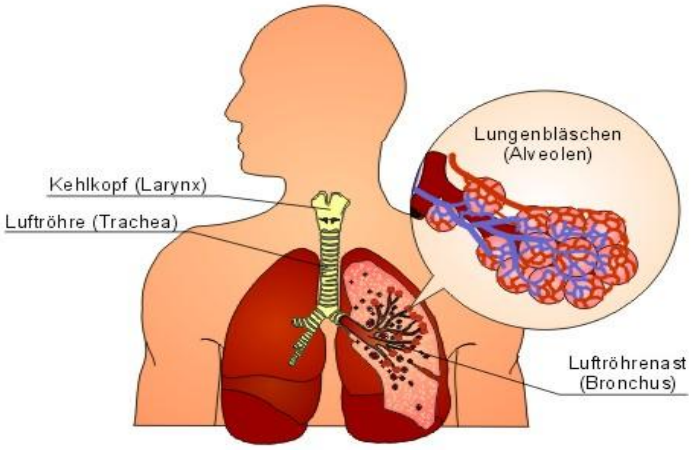
An die beiden Nasenhöhlen schließt der obere Abschnitt des Rachens an. In die mittlere Etage mündet die Mundhöhle.
Hier kreuzen sich der Atemweg und der Speiseweg.

Die Speisen wandern durch den unteren Rachenabschnitt nach hinten in die Speiseöhre.
Die Atemluft strömt nach vorne in den Kehlkopf.
Der Rachen hat also die Aufgaben, den Luftstrom auf seinem Weg in die Lunge weiterzuleiten. Der Kehlkopf schließt sich nach vorn an den Rachen an und besteht aus mehreren Knorpeln.

Der Kehlkopf verbindet die oberen und die unteren Atemwege und schafft so einen Durchgang für die Atemluft. Außerdem schützt er die unteren Atemwege durch den Hustenreflex bei eingedrungenen Fremdkörpern.
Darüber hinaus bildet er den Sitz des Stimmorgans.

6.2 Die unteren Atemwege:

- Die **Luftröhre** (Trachea)
- die **Luftröhrenäste** (Bronchien) mit
- den **Lungenbläschen** (Alveolen).



Die **Luftröhre** ist eine etwa 12 cm lange und 2 cm weite Röhre, an der sich als oberer Abschluss der Kehlkopf (Larynx) befindet und die sich in Höhe des 4. Brustwirbels in zwei Bronchialäste verzweigt, die zu den beiden Lungenflügeln führen. Die Luftröhre liegt vor der Speiseröhre. Die Stelle der Verzweigung wird als Bifurcatio bezeichnet.

Die Luftröhre ist besonders biegsam und kann die Bewegungen von Kopf und Hals mitmachen. In der Vorderseitenwand sorgen 15 - 20 hufeisenförmige hyaline Knorpelspangen dafür, dass sie immer weit geöffnet bleibt und die Luft ungehindert einströmen kann. Sie sind durch Bänder untereinander verbunden (Ligamenta anularia). An der rückwärtigen Seite schließen sich die Knorpel durch Bindegewebe und Muskeln zum Ring.

In der Luftröhre befinden sich neben den schleimabsondernden Becherzellen auch Zellen mit beweglichen Härchen, die Flimmerzellen. Die Härchen sind ständig in Bewegung und sorgen dafür, dass eingedrungener Staub und Fremdkörper sowie Schleim nicht zur Lunge gelangen können. Nach außen hin ist die Luftröhre von einem lockeren Bindegewebe (Adventitia) umgeben, die eine Verschiebung gegen die umliegenden Organe ermöglicht.

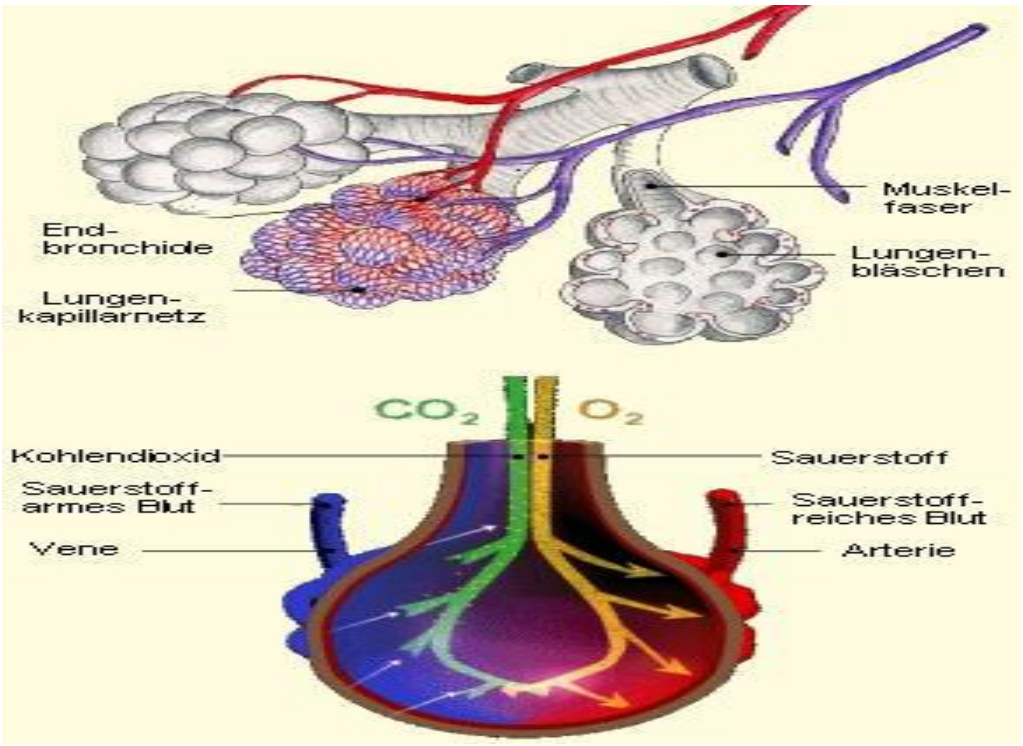
Um die **Alveolen** (beim Erwachsenen etwa 500 Millionen) herum verzweigt sich ein dichtes Netz von **Blutgefäßen**, die **Lungenkapillaren.**

Menschliche Zellen sind zur Energiegewinnung auf Sauerstoff **(O_2)** angewiesen.
Wegen der **weiten Entfernungen** zwischen der Umgebung und den Zellen sind **spezielle Transportsysteme** für den Antransport von O_2 und den Abtransport des im oxidativen Stoffwechsel entstehenden Kohlendioxids (CO_2) erforderlich.
Diese Transportvorgänge von O_2 und CO_2 bezeichnet man als **Gasaustausch.**

Bronchien

Alveolen

Durch **Lungenbelüftung** kommt O_2 in den **Alveolarraum** >> von dort **Diffusion ins Blut** >> über den Blutkreislauf zu den **Körperzellen** (wiederum durch **Diffusion**)



1. Durch die **Einatmung (Inspiration)** wird ein bestimmtes Luftvolumen aus der Umgebung angesaugt und durch die Atemwege in die Alveolen transportiert. Dieser Transport erfolgt über längere Streckenabschnitte mit hoher Geschwindigkeit und wird als **Konvektion** bezeichnet.

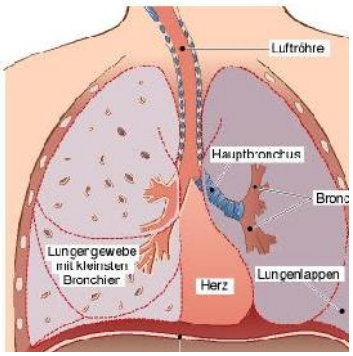
2. Das durch die Konvektion bewegte Luftvolumen verteilt sich über die Stammbronchien in die beiden Lungenflügel **bis hin zu den Alveolen**.

3. In den Alveolen findet **Gasaustausch** statt.
   Durch die Wand der Alveolen **diffundiert** Sauerstoff entsprechend dem **O_2-Partialdruckgefälle** in die Kapillaren hinein.
   Kohlendioxid dringt ebenfalls entsprechend dem **CO_2-Partialdruckgefälle** aus den Kapillaren in die Alveolen hinein.

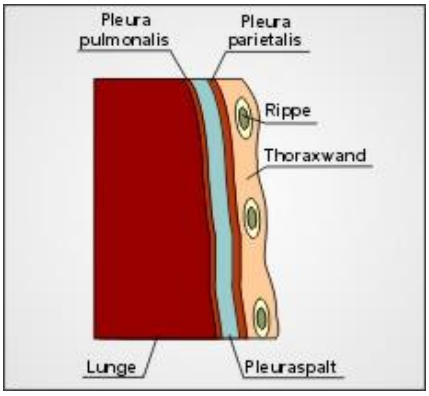
   Die Diffusionskapazität ist sehr groß:
   - Der Abstand zwischen Alveolen und Kapillaren ist sehr gering (~1/1000 mm)
   - Die Austauschfläche ist sehr groß
     - Lungenkapillaren: 100m²
     - Muskelkapillaren: 6000m²

4. Das Blut strömt als **dunkleres, O_2-armes Blut** in die Lungenstrombahn ein und fließt als **helleres, O_2-reiches Blut** wieder ab.
   Das CO_2-angereicherte und O_2-ärmere Gasvolumen in der Lunge wird abgeatmet (**Exspiration**).

6.3 Funktion von Thorax, Atemmuskulatur und Lunge



Der **Brustkorb** besteht aus **Brustbein, Rippen** und **Brustwirbelsäule**.
durch **bewegliche Verbindungen** zwischen den Rippen und den Wirbeln können die Rippen **gehoben** und **gesenkt** werden.
auf diese Weise **vergrößert oder verkleinert** sich der Innenraum des Thorax.
Der **wichtigste Atemmuskel** ist das Zwerchfell, das den Thoraxraum als horizontal liegende Muskelplatte nach unten gegen die Bauchhöhle abgrenzt.
Der **Vorgang der Atmung** wird unterteilt in **Einatmung (Inspiration)** und **Ausatmung (Exspiration).**
In der Phase der **Einatmung** kontrahieren sich das Zwerchfell und die äußeren **Rippenzwischenmuskeln**. Bei diesem aktiven Vorgang vergrößert sich der Innenraum des Thorax.

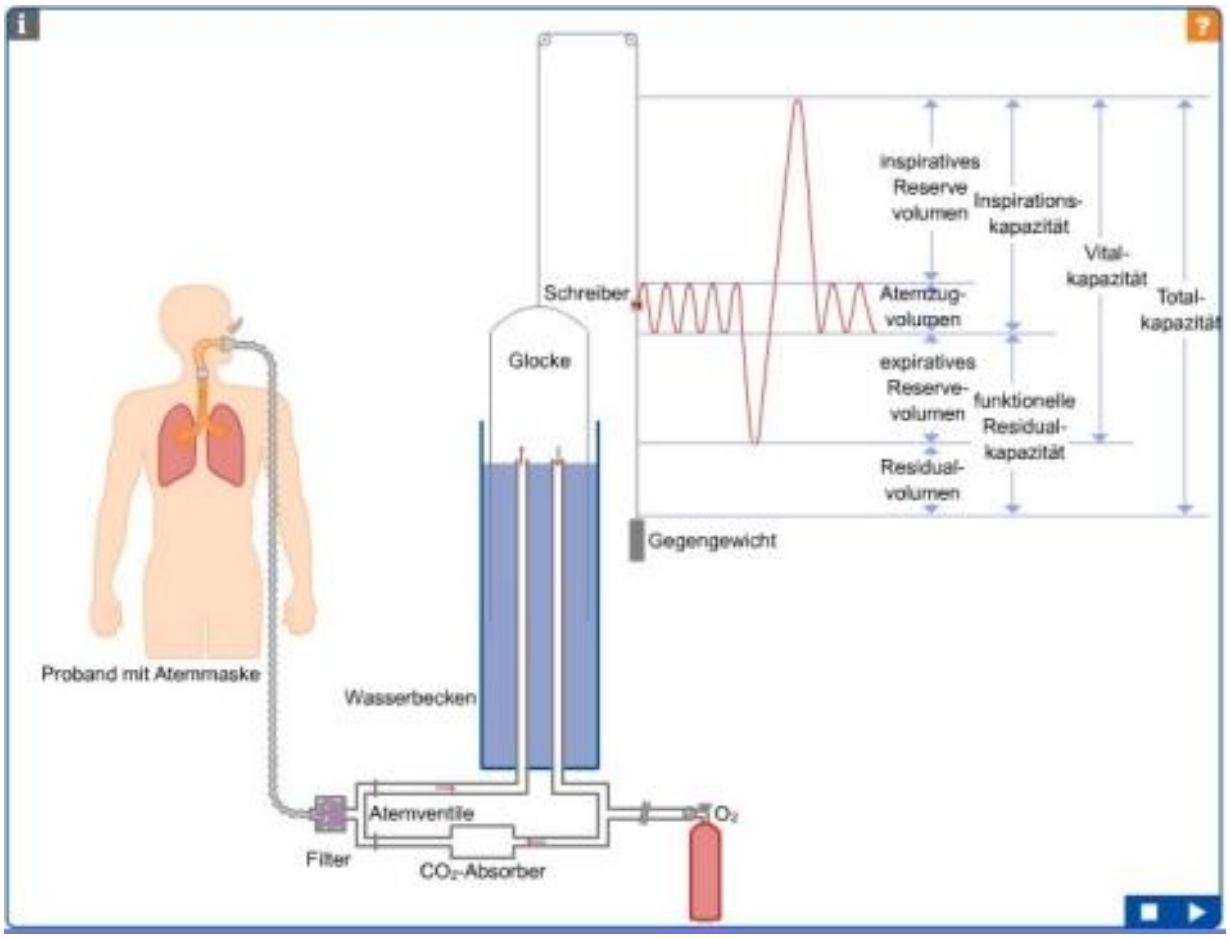


In der Phase der **Ausatmung** erschlafft die Atemmuskulatur und gibt dem Innenraum des Thorax die Möglichkeit, sich **passiv zu verkleinern**.
Die Lunge ist **in den Brustkorb eingespannt** und von **zwei dünnen Häuten** umgeben. Das **Lungenfell** liegt der Lunge auf, und das **Rippenfell** befindet sich innen an den Rippen. Zwischen diesen Häuten liegt ein **mit Flüssigkeit gefüllter Gleitspalt** (Pleuraspalt), in dem **ständig Unterdruck** herrscht.
Wegen des Unterdrucks kann sich der **Pleuraspalt** nicht ausdehnen.
Die Lunge kann sich deshalb nicht von der Wand des Brustkorbes abheben und wird gezwungen, den **Bewegungen des Brustkorbes** zu folgen.
Bei der Einatmung und **Vergrößerung des Brustraums** vergrößert sich der Lungeninnenraum. Bei der Ausatmung und **Verkleinerung des Brustraums** verkleinert sich auch der Lungeninnenraum.

6.3.1 Größen

Folgende Größen sind für die Lungenarbeit von Bedeutung:

Ventilation: Ventilationsgrößen beschreiben die äußere Atmung (Atemminutenvolumen, O_2-Aufnahme pro Minute,…)
Distribution (Verteilung): Die Distribution misst, welche Anteile der Lunge wie gut durchlüftet sind. In Ruhe sitzend werden nicht alle Lungenpartien gleich gut belüftet und gleich gut durchblutet.
Diffusion: Die Diffusion sagt aus, wie viel O_2 pro Zeiteinheit von der Alveole ins Blut übertreten kann.
Perfusion: Die Perfusion beschreibt, welche Teile der Lunge wie stark durchblutet sind. Sind Teile der Lunge schlecht durchblutet, so können sie weniger O_2 aufnehmen und folglich wird das Blut mit weniger O_2 angereichert.



Atemzugvolumen:

jene Menge Luft, die beim Atemvorgang ein- und ausgeatmet wird (in Ruhe 5 bis 7-mal pro Minute etwa 0,5 bis 0,7 Liter)

Inspiratorisches Reservevolumen:

das Volumen, das nach normaler Inspiration noch maximal eingeatmet werden kann (etwa 2,4 bis 2,6 Liter)

Exspiratorisches Reservevolumen:

jenes Vol., das nach normaler Exspiration noch maximal ausgeatmet werden kann (etwa 1,5 bis 1,8 Liter)

Residualvolumen:

jenes Volumen, das nach maximaler Exspiration noch in der Lunge verbleibt (1,2 bis 1,5 Liter)

Vitalkapazität:

jenes Volumen, das nach maximaler Inspiration ausgeatmet werden kann (Summe aus Atemzugsvolumen und inspiratorischem sowie exspiratorischem Reservevolumen).
Wird mit dem Spirometer gemessen.
Sie ist abhängig von

- **Alter**
- **anthropometrischen Gegebenheiten** (Größe des Thorax ist abhängig von der Körpergröße)
- **Geschlecht** (Thorax der Frau etwas kleiner)
- **Körperposition** (stehend, liegend, …)
- **Trainingszustand** (Ausdauertraining erhöht die Vitalkapazität (Erwachsene?); es werden allerdings nur die funktionellen Anteile beeinflusst, z.B. durch verbesserte Durchlüftung)

Totalkapazität:

Maximales Lungenvolumen. Jene Menge Luft, die nach maximaler Inspiration insgesamt in der Lunge enthalten ist.

Atemminutenvolumen:

Produkt aus Atemzugsvolumen und Atemfrequenz (in Ruhe etwa **7-9 l/min**)
Bei körperlicher Belastung steigen das Atemzugvolumen und die Atemfrequenz an, wodurch auch das Atemminutenvolumen wesentlich größer wird.
Mittlerer Maximalwert für **Untrainierte**: etwa **100 l/min**
Hochausdauertrainierte: 160-240 l/min

Das System Lunge ist für Untrainierte nicht leistungslimitierend, wenn man jung und gesund ist und sich auf Meereshöhe (PO_2 nimmt mit der Höhe ab) befindet.

Untrainierte haben eine maximale Atemfrequenz von ca. 50 Atemzügen pro Minute, Kinder und Ausdauertrainierte schaffen bis zu 60 Atemzüge in der Minute.

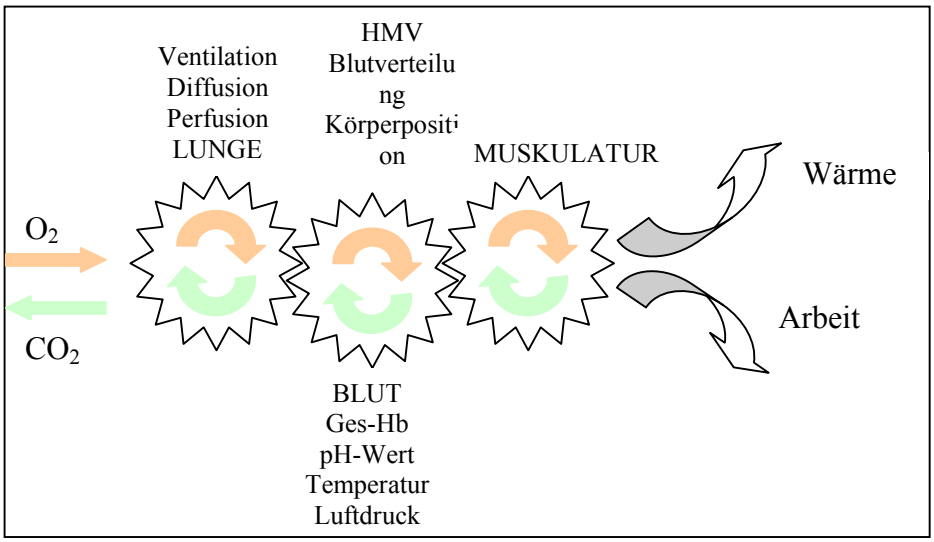
Das Atemzugvolumen beträgt bei Untrainierten bei Belastung bis etwa 2,4 Liter, bei Ausdauertrainierten bis etwa 3,4 Liter.

Bei hoher Atemfrequenz verbraucht die Atemmuskulatur etwa 10 bis 15% des aufgenommenen Sauerstoffs. Je höher die Ventilation, desto höher wird auch der Anteil des aufgenommenen Sauerstoffs, der von der Atemmuskulatur verbraucht wird.

6.3.2 Der Tiffeneau-Test (Ein-Sekunden-Atemstoßtest)

Dieser Test bestimmt das in der ersten Sekunde maximal ausatembare Volumen (exspiratorische Sekundenkapazität), das meist als Anteil der Vitalkapazität angegeben wird. Normalwert ist größer als 70%. Mit diesem Test können Atemstörungen festgestellt und unterschieden werden (Tiffeneau niedriger - normale VK → Verdacht auf Asthma; Tiffeneau normal – VK kleiner → Teil der Lunge nicht richtig belüftet).

6.4 Sauerstoffaufnahme, Sauerstofftransport und Sauerstoffverwertung



6.4.1 Die Sauerstoff-Zufuhr:

In der Lunge erfolgt der **Übertritt von Sauerstoff (O2) aus der eingeatmeten Luft ins arterielle Blut** und gleichzeitig der Übertritt von Kohlendioxid (CO2) vom venösen Blut in die Ausatemluft (sog. *Gasaustausch*). Dabei wird dem Blutkreislauf in der Lunge immer ein Mehrfaches an O2 angeboten, als er ausschöpfen kann. Daraus folgt, dass **ein großes Lungenvolumen nicht automatisch eine hohe VO2max bewirkt** - wenn also jemand glaubt, dass ihn seine große Lungenkapazität (*Vitalkapazität*) von vornherein zum besseren Ausdauersportler macht, dann irrt er! Entscheidend ist nämlich, wie viel des Sauerstoffangebotes in der Lunge vom Blutkreislauf aufgenommen und zu den arbeitenden Muskeln transportiert werden kann

6.4.2 Der Sauerstoff-Transport:

Im Anschluss an den Gasaustausch bewerkstelligt der Blutkreislauf den O2-Transport zu allen Organen, somit auch zur Muskulatur ("Arbeitsmuskulatur"), wobei die roten Blutkörperchen (Erythrocyten) als "Sauerstoffträger" fungieren. Aufrechterhalten wird der Blutkreislauf vom Herz als "Pumpe", weshalb man diese funktionelle Einheit als **Herz-Kreislauf-System**bezeichnet.
Dieses hat - im Gegensatz zur Atmung - eine entscheidende Bedeutung für die VO2max und damit für die aerobe Kapazität: **Je mehr Blut pro Minute vom Herz gefördert wird und durch den Kreislauf fließt, desto mehr O2 wird aus der Atemluft mittels Gasaustausch ins Blut aufgenommen und zur Arbeitsmuskulatur befördert**. Diese Größe wird *Herzminutenvolumen* (*HMV*) genannt und ist der **limitierende Faktor für die VO2max.**

6.4.3 Die Sauerstoff-Verwertung:

Der letzte und **für die maximale Sauerstoffaufnahme mitentscheidende Schritt ist die Aufnahme des vom Erythrozyten freigegebenen O2 aus dem Blut in die arbeitende Muskulatur**, die den Sauerstoff zur **aeroben Energiegewinnung** benötigt. Der Übertritt von Sauerstoff erfolgt über direkten Kontakt der Kapillaren (die dünnsten, nur mikroskopisch sichtbaren Blutgefäße, "Haargefäße") mit den Muskelzellen.
Ausdauertraining bewirkt über die belastungsbedingte Blutdruckerhöhung als funktionellen Reiz eine **verbesserte Durchblutung der Muskulatur**, indem es die bereits vorhandenen Kapillaren erweitert, "Ruhekapillaren" öffnet und sogar neue Kapillaren bildet. Diese Vorgänge, die letztlich das "Gefäßbett" vergrößern, werden unter dem Begriff der *Kapillarisierung* zusammengefasst.
Ausdauertrainierte haben somit eine bessere Sauerstoffausschöpfung in der Muskulatur

6.5 Interessantes (der Mensch in Zahlen):

Etwa 21.000-mal am Tag atmen wir und bewegen damit 10.000 Liter Luft beim Ein- und Ausatmen durch die Lunge. Diese Menge reicht aus, um 40 Zwei-Mann-Schlauchboote aufzublasen. Mit 900 km/h pustet die Lunge die Luft beim Husten durch die Atemwege, beim Niesen sind es lediglich 170 km/h. Beim Schlafen atmen wir etwa 5 Liter Luft pro Minute ein und aus, beim Spazierengehen 14 und beim Laufen 170 Liter.

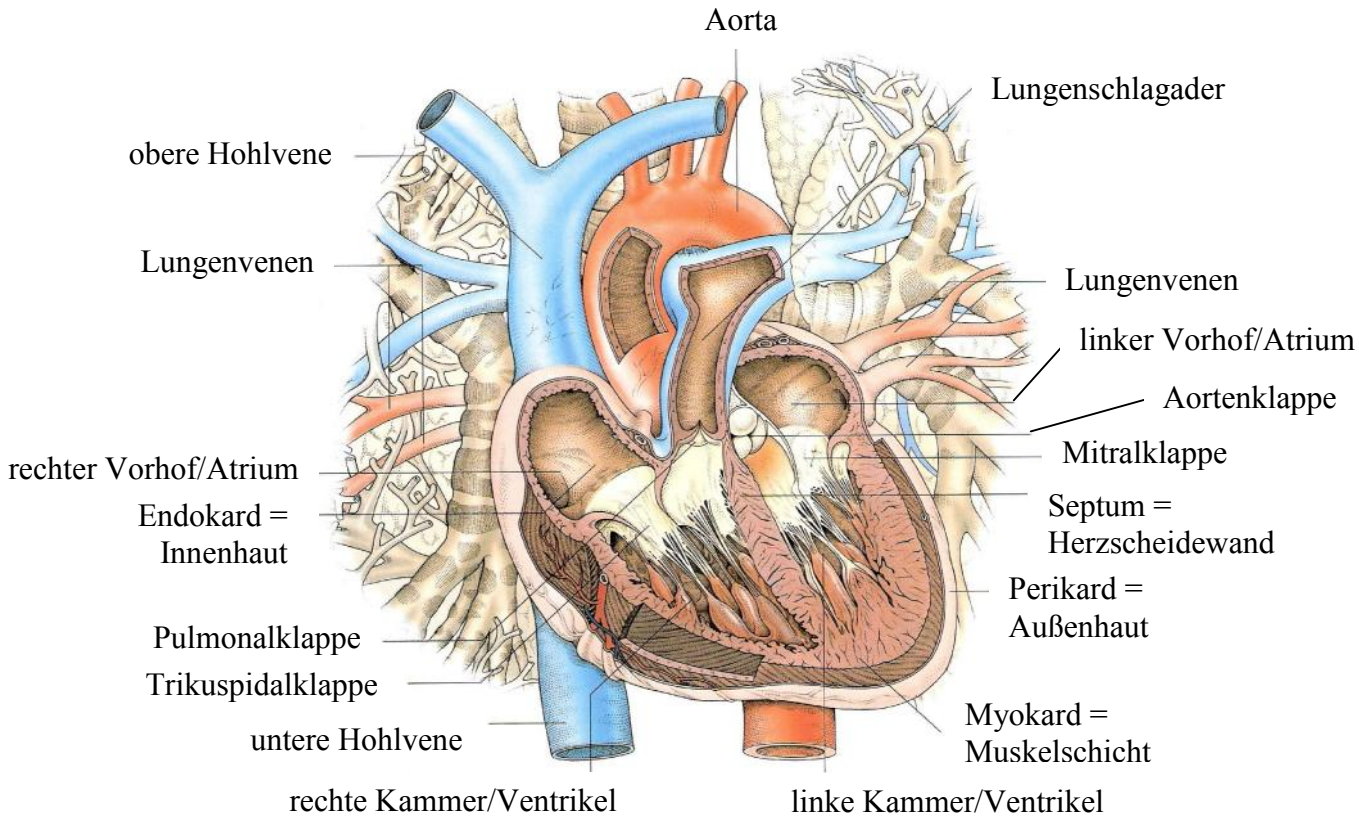
7 Das Herz (Cor)

Die wesentlichste Aufgabe des Herzens ist, dass es als treibende Kraft gilt, die das aus Körper- und Lungenkreislauf in das Herz zurückgeflossene Blut in den großen und kleinen Kreislauf pumpt.

7.1 Die Lage, Form und Größe des Herzens

Das Herz ist ein kräftiger, etwa faustgroßer Hohlmuskel, dass im vorderen unteren Teil des Mediastinums (Mittelfellraum = Organ- und Bindegewebskomplex zwischen den Lungenflügeln) liegt und beiderseits von den äußeren Pleurablättern (Pleurae mediastinales) der Lungenflügel begrenzt wird. Die untere Begrenzung bildet das Zwerchfell (Diaphragma), dem das Herz teilweise aufliegt. Vorn berührt das Herz das Brustbein (Sternum) und die anschließenden Rippenknorpeln, hinten sind ihm die Organe des hinteren Mediastinums, insbesondere der Speiseröhre (Ösophagus) und der Luftröhre (Trachea), angelagert. Wegen dieser engen Beziehung zum Atmungsapparat ändert das Herz seine Lage mit dem Atmungsbewegungen des Zwerchfells, der Rippen und der Lungen.
Zwei Drittel des Herzens befinden sich in der linken und ein Drittel auf der rechten Brustseite. Die Form des Herzens ist mit einem abgestumpften Kegel vergleichbar, dessen Basis oben liegt und durch die leichte Neigung des Herzens zeigt die Längsachse nach schräg links vorne. Die Herzspitze liegt daher sehr dicht an der Brustwand der linken Brustseite. Wenn man von der Mitte des Schlüsselbeins gerade nach unten in den 5. Zwischenrippenraum tastet, den Herzspitzenstoß und damit die Lage der Herzspitze mit den Fingern fühlen.

Die Größe des Herzens hat ca. die Größe der geballten Faust, des betreffenden Menschen. Das Herzgewicht beträgt ungefähr beim erwachsenen Mann 320 g und bei der Frau 280 g.



7.2 Funktionelle Gliederung des Herzens

Das Herz des Menschen gliedert sich in zwei Teile, in das rechte und das linke Herz, die jeweils aus einem kleineren Vorhof (Atrium) und einer größeren Kammer (Ventrikel) bestehen. Die Herzscheidewand (Septum) teilt das Herz vollständig in ein „rechtes Herz“ für den Lungenkreislauf und in ein „linkes Herz“ für den Körperkreislauf.

Die **Vorhöfe** befinden sich im oberen Anschnitt des rechten und linken Herzens, welche jeweils mit einem Herzohr (Auriculum cordis) ausgestattet sind, dass die Wurzel der benachbarten großen Arterien berührt bzw. umgreift.

Die **Kammern** sind von den Vorhöfen durch eine äußere Furche (Sulcus coronarius), abgegrenzt. Eine durch diese Furche gelegte Ebene bildet die Herzbasis. Da in dieser Ebene sämtliche Klappen angeordnet sind, bezeichnet man sie auch als die Ventilebene des Herzens. Die vier Hohlräume sind von unterschiedlich starken Muskelmassen umschlossen. Der rechte Vorhof nimmt das sauerstoffarme Blut aus den großen Hohlvenen auf und leitet es and die rechte Kammer weiter. Von dort wird das Blut über die Lungenschlagader (Truncus pulmonalis) in die Lunge transportiert. Dem linken Vorhof fließt das sauerstoffreiche Blut aus vier Lungenvenen zu. Von hier gelangt es in die linke Kammer und wird dann in die Hauptschlagader (Aorta) ausgeworfen.

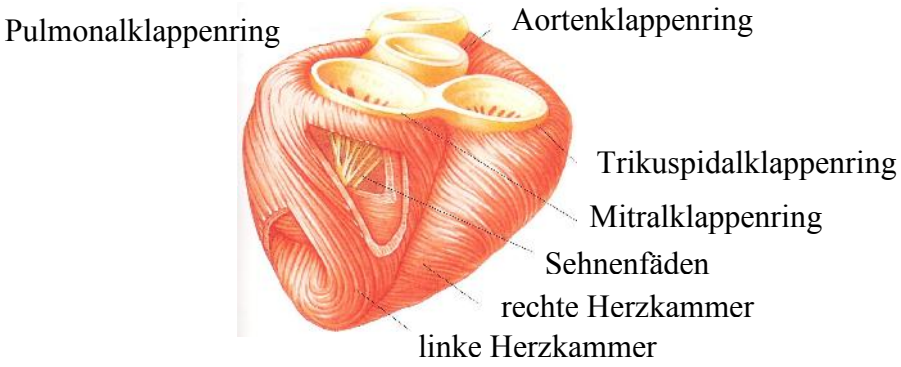
Eintretende Gefäße = Venen:
- In den linken Vorhof: je zwei linke und rechte Lungenvenen (Venae pulmonales sinistrae und dextrae) mit sauerstoffreichem (arteriellem) Blut.
- In den rechten Vorhof: untere und obere Hohlvene (Vena cava inferior und superior), außerdem die herzeigene Vene (Sinus cavernosus) mit sauerstoffarmen (venösem) Blut.

Austretende Gefäße = Arterien:
- Aus der linken Kammer: Hauptschlagader (Aorta) mit sauerstoffreichem (arteriellem) Blut.
- Aus der rechten Kammer: Lungenarterienstamm mit zwei Ästen (Arteriae pulmonales) mit sauerstoffarmen (venösem) Blut.

7.3 Der Aufbau des Herzens

7.3.1 Das Herzskelett

Eine Reihe vier fester Faserringe, das Herzskelett, bilden den Ansatzpunkt für die vier Herzklappen und den Herzmuskel. Die Darstellung zeigt die Muskelfasern des linken und rechten Ventrikels, welche die Masse des Herzgewebes ausmachen. Da die Muskelfasern eng um die Ventrikel gewickelt sind, können diese das Blut aus dem Herz drücken, so wie man mit der Faust Wasser aus einem Ballon drückt.

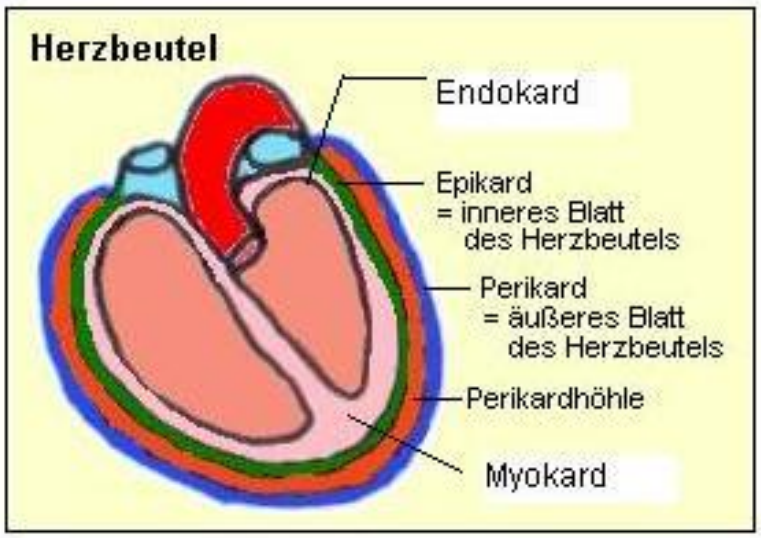


7.3.2 Die Herzwandschichten

Innenhaut (Endokard)
Das Endokard besteht aus einer dünnen, feinfaserigen Bindegewebsschicht, die zum Herzinnenraum hin von einem Endothel bedeckt ist. Dieses einschichtige flache Epithelgewebe finden wir in allen Blut- und Lymphgefäßen wieder. Das Endokard bildet auch die Taschenklappen und die Segelklappen und überzieht die dazugehörigen Papillarmuskeln.

Muskelschicht (Myokard)
Das Myokard, der eigentliche Herzmuskel (Zellen der quer gestreiften unwillkürlichen Herzmuskulatur) ist die dickste Schicht der Herzwände. Die Dicke bzw. Stärke des Herzmuskels variiert je nach geforderter Leistung. So ist das Myokard der Vorhöfe dünne als das der Kammern. Das Myokard der linken Herzkammer ist sogar dreimal dicker (ca. 1 cm) als rechts, da die Muskulatur der linken Herzkammer das Blut in den Körperkreislauf pumpen muss. Im Myokard liegt das Reizleitungssystem des Herzens. Ernährt wird der Herzmuskel durch das Blut der Koronararterien.

Außenhaut (Epikard und Perikard)
Das Herz wächst während der embryonalen Entwicklung in einen Beutel hinein, in den sog. Herzbeutel = Perikard. Das innere Blatt des Herzbeutels bildet die äußere Schicht der drei eigentlichen Herzwandschichten, das Epikard. Im Herzbeutel finden wir wenig seriöse Flüssigkeit, die eine Reibung verhindert. Aufgrund dieses „Gleitlagers“, welches der Herzbeutel bildet, kann sich das Herz bewegen und verformen.



7.3.3 Die Herzpumpe(n)

Betrachtet man das Herz genauer, so zeigt sich, dass es eigentlich, zwei im gleichen Takt schlagende Pumpen sind, die durch die Herzscheidewand (Septum cardiale) getrennt werden. Das Herz versorgt zwei ineinandergreifende Kreisläufe:

- Der **linke** Herzteil pumpt sauerstoffreiches Blut in den Körperkreislauf (*Aorta* – Hauptschlagader)

- Der **rechte** Herzteil pumpt das Blut über die Lungenschlagader *(Truncus pulmonalis)* in den Lungenkreislauf um es mit Sauerstoff anzureichern.

7.3.4 Die Herzklappen

Zwischen den Vorhöfen und den Kammern sowie zwischen den Kammern und den großen austretenden Arterien finden wir verschiedene Klappen, die das Zurückfließen des Blutes verhindern. Bestimmt wird das Öffnen und Schließen der Klappen vom Druck, der beidseits der Klappen herrscht.

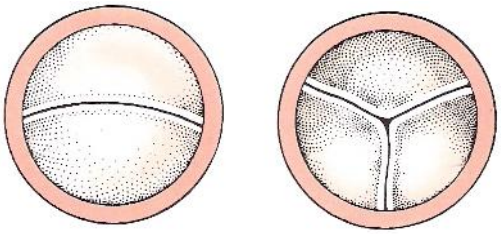
Insgesamt gibt es vier Herzklappen, die auf zwei Arten eingeteilt werden können. Zum einen nach der Art der Klappen:

- Segelklappen (trennen Vorhöfe und Kammern): *Trikuspidalklappe und Mitralklappe*
- **Taschenklappen** (trennen Kammer und Auswurfgefäße): *Pulmonalklappe und Aortenklappe*

Eine andere Art der Einteilung ist die Betrachtung der Herzklappen des rechten und des linken Herzens:

- rechtes Herz: *Trikuspidalklappe (Segelklappe) und Pulmonalklappe* (Taschenklappe)

- **linkes Herz:** *Mitralklappe (Segelklappe) und Aortenklappe* (Taschenklappe)



Segelklappen
Die beiden Segelklappen nennt man auch Vorhof-Kammer-Klappen (atrioventrikuläre Klappen). Weil die Segelklappen Vorhöfe und Kammern trennen, werden sie auch Atrio-Ventrikular-Klappen oder kurz AV-Klappen genannt (*Atrium = Vorhof, Ventrikel = Kammer*). Durch feine Sehnenfäden sind dies Klappen an den Papillarmuskeln (kleine kräftige Muskeln) und durch diese an der Kammerwand befestigt (Form erinnert an Segel).

- Dreizipflige Segelklappe oder Trikuspdialklappe (Valva tricuspidalis), sie liegt zwischen dem rechten Vorhof und der rechten Kammer. Sie ist dreizipflig gebaut, daher ihr Name. Sie verhindert, dass das Blut aus der rechten Kammer in den rechten Vorhof und den großen Kreislauf zurückfließt.

- Zweizipflige Segelklappe oder Mitralklappe (Valva mitralis bzw. Mitra -> erinnert an die zweizipflige Bischofsmütze), sie liegt zwischen dem linken Vorhof und der linken Kammer. Sie ist zweizipflig gebaut und verhindert, dass das Blut aus der linken Kammer in den linken Vorhof und in die Lunge zurückfließt.

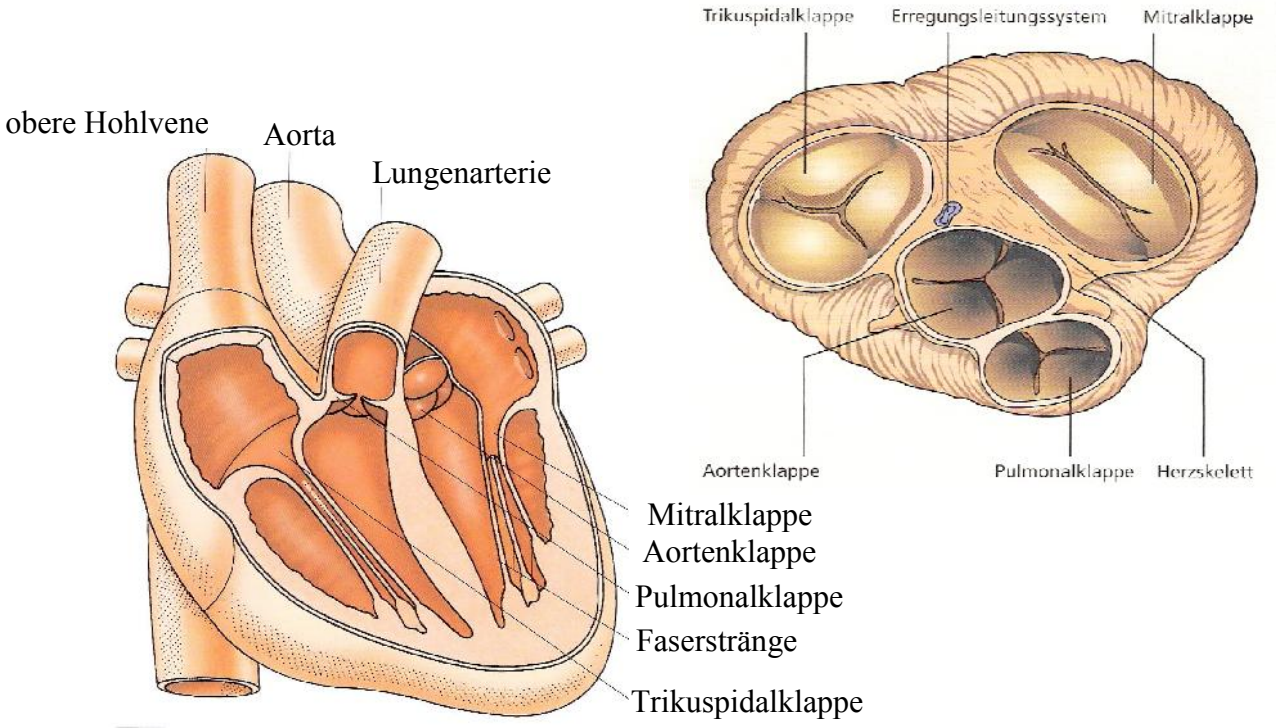
Funktion:
1. Der Druck des einströmenden Blutes aus den Vorhöfen öffnet die Klappen.
2. Der Druck des Blutes in den Kammern schließt die Klappen.
3. Die Papillarmuskeln werden bei der Kammerkontraktion aktiv, sie verkürzen sich kräftig und ziehen mit den straffen Sehnenfäden die geschlossenen Klappen herzspitzenwärts.

Taschenklappen
Diese dünnen, faserigen Taschen sind von inner glatten Membran, dem Endokard, bedeckt und durch dichtes Bindegewebe verstärkt. Sowohl zwischen der rechten Kammer und der Lungenarterie als auch zwischen der linken Kammer und der Aorta finden wir Taschenklappen. Sie verhindern das Zurückfließen des Blutes aus den großen Gefäßen in die Herzkammern. Auch die Taschenklappen öffnen und schließen sich abhängig vom Druck, der beidseits der Klappen herrscht. Taschenklappen finden wir außer zwischen Herzkammern und Arterien auch in den Venen und Lymphengefäßen.

Als Beispiel die Taschenklappe der Aorta (= Aortenklappe):
Ist der Druck in der linken Kammer höher als in der Aorta, ist die Aortenklappe offen. Wird der Druck in der linken Kammer niedriger als in der Aorta, schließt sich die Aortenklappe.

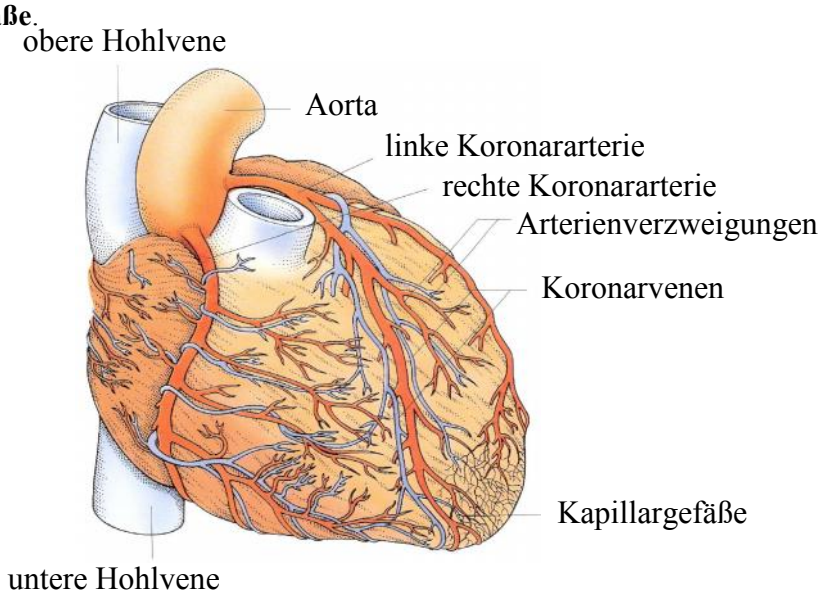
Funktion:
1. Druck des strömenden Blutes öffnen die Klappen, bis sie schließlich dicht der Gefäßinnenwand anliegen.
2. Wenn das Blut in der Lungenarterie bzw. in der Aorta angelangt ist, entsteht ein Druck auf die Klappen.
3. Die Klappen schließen sich wegen diesem Druck des Blutes passiv.

Angeborene Herzfehler (z.B.: Ventrikelseptumeffekt) oder Herzklappenfehler (Mitral-, Trikuspidal- oder Aortenklappenanomalien) kommen bei etwa 6 bis 10 von 1 000 Neugeborenen vor.



7.3.5 Die Koronargefäße

Da das Herz enorme Sauerstoffmengen benötigt, muss es ausreichend mit Blut versorgt werden – nur das Gehirn benötigt noch mehr. Blut, das durch die Herzkammern fließt, kann nicht durch die Kammerwände dringen. Der Herzmuskel besitzt deshalb ein eigenes Netzwerk aus Blutgefäßen, die **Herzkranzgefäße**.



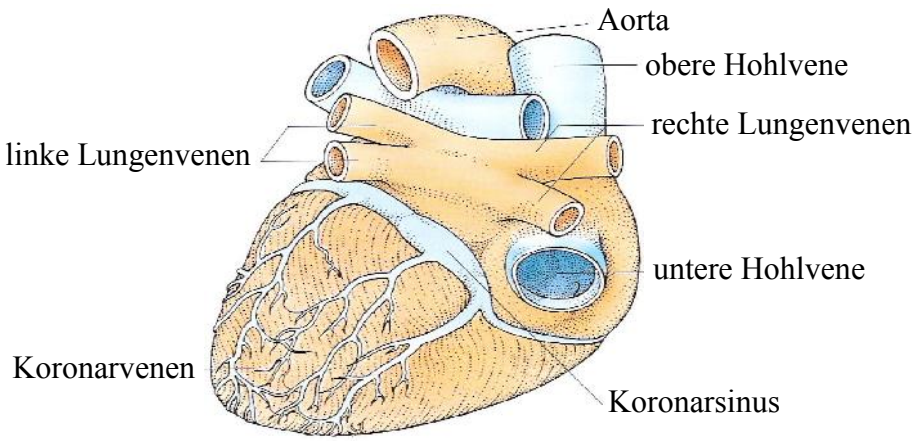
Koronararterien
Das Blut wird über die rechte und linke Koronararterien, die aus der Aorta kommen, zum Herzen hin transportiert. Die linke Arterie teilt sich in zwei Hauptzweige, deshalb sprechen Ärzte oft von drei Koronararterien.

Arterienzweige
Die Hauptarterien teilen sich in mehrere kleinere Blutgefäße auf.

Koronarvenen
Diese Gefäße transportieren sauerstoffarmes Blut, zusammen mit den schädlichen Abfallprodukten, vom Herz weg.

Kapillare
Kapillare sind winzige Gefäße, die Verbindungen zwischen den kleinsten Arterien und Venen herstellen.

Die Blutsammlung
Die Verteilung der Koronarvenen verläuft fast genauso wie bei den Koronararterien. Die meisten gelangen in den *Koronarsinus*, eine große Vene an der Rückseite des Herzens. Aus dieser Vene fließt das Blut dann in den rechten Vorhof. Einige kleine Venen geben das Blut direkt dorthin ab.



7.4 Funktionen des Herzens - Herztätigkeit

Die eigentliche Triebkraft für die Zirkulation des Blutes ist der Druck, welcher durch die Herzmuskelkontraktion entsteht.

- Kontraktion = Zusammenziehen der Kammermuskeln (Systole).
- Entspannung = Erschlaffen der Kammermuskeln (Diastole).

Kontraktion und Entspannung wechseln in gleichmäßigem Rhythmus ab.

7.4.1 Aktionsphasen des Herzens - Herzzyklus

Betrachtet man die Tätigkeit des Herzens genauer, so kann man erkennen, dass der Herzzyklus in vier Phasen verläuft:
- Die Entspannungsphase und Füllungsphase gehören zur **Diastole**
- Die Anspannungsphase und Austreibungsphase gehören zur **Systole**
Die Bezeichnungen dieser „vier“ Phasen beziehen sich auf die Tätigkeit der Herzkammern.

Die Herzkammern arbeiten als Druck-Saug-Pumpe:
Durch Kontraktion der Kammermuskulatur (= Systole) wird Blut aus den Kammern in den kleinen und großen Kreislauf gepresst (Druck). Gleichzeitig werden die Vorhöfe gedehnt, so dass eine Sogwirkung entsteht, wodurch das Blut in die Vorhöfe gesaugt wird. Die Wiederauffüllung der Herzkammern erfolgt anschließend zu 85 % passiv durch Erschlaffung der Kammermuskulatur (= Diastole). Durch die Vorhofmuskelkontraktion werden am Ende der Diastole die schon fast vollen Kammern nur noch etwas mehr gefüllt (ca. 15 %).

- Entspannungsphase: Das Blut strömt aus den Venen in die beiden Vorhöfe, dabei sind alle Klappen geschlossen. Diese Phase nennt sich Ruhephase. Hier ist der erste Herzton zu hören.

- Füllungsphase: Die Muskulatur der Herzkammern erschlafft und es herrscht ein niedriger Druck in den Herzkammern. Sie Segelklappen zwischen Vorhof und Kammern öffnen sich, während die Taschenklappen geschlossen bleiben. Das Blut aus den Vorhöfen fließt in die Kammern. Diese Phase wird *Diastole* genannt.

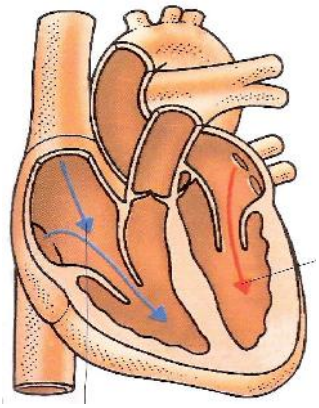
- Anspannungsphase: Die Muskulatur der Herzkammern kontrahiert. Da die Taschenklappen weiter geschlossen bleiben, steigt der Druck in den Herzkammern an und die Segelklappen schließen sich ebenfalls. Hier ist der zweite Herzton zu hören.

- Austreibungsphase: Durch den erhöhten Druck in den Herzkammern öffnen sich jetzt die Taschenklappen (Aorten- und Pulmonalklappe). Das Blut wird aus den Kammern in den großen und den kleinen Kreislauf getrieben. Die Anspannungsphase und die Austreibungsphase zusammen nennt man *Systole*.

Die Verteilung des Herzzyklus auf
- Diastole 0,53 Sekunden und
- Systole 0,27 Sekunden.

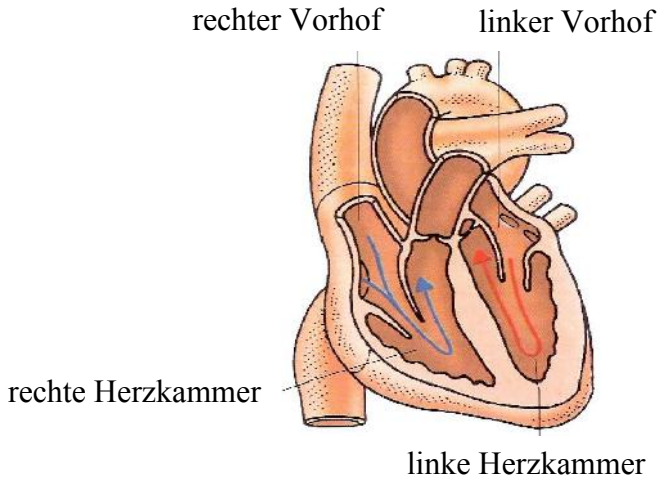
Die Diastole ist fast doppelt so lang. Das zeigt, das die Diastole für die Füllung wichtig ist da sie auch für die gute Durchblutung und Herzentspannung sorgt.

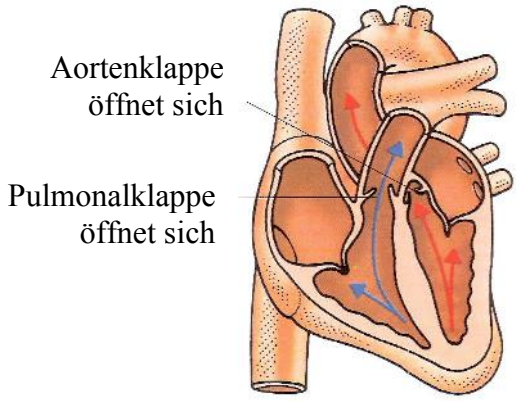
Die regelmäßigen Herzschläge setzen sich aus 4 Phasen zusammen, wobei die unteren Grafiken nur 3 Phasen dargestellt, da bei der Diastole die Entspannungs- und Füllungsphase zu einer Phase zusammengefasst wurde.
Während der ersten Phase entspannt sich der Muskel und die Kammern füllen sich mit Blut (Diastole = Entspannungs- und Füllungsphase).
In den folgenden Phasen (Vorhof- und Ventrikelsystole) ziehen sich zuerst die Vorhöfe zusammen und lassen das Blut durch das Herz und die Arterien fließen (Systole = Anspannungs- und Austreibungsphase).
Dieser Zyklus dauert ungefähr vier Fünftel einer Sekunde, bei Belastung ist er mehr als doppelt so schnell.



Diastole
(Entspannungs- und Füllungsphase)
Während der ersten Phase des Zyklus fließt sauerstoffarmes Blut in den rechten Vorhof und sauerstoffreiches Blut in den linken Vorhof. Danach strömt es in die Herzkammern.

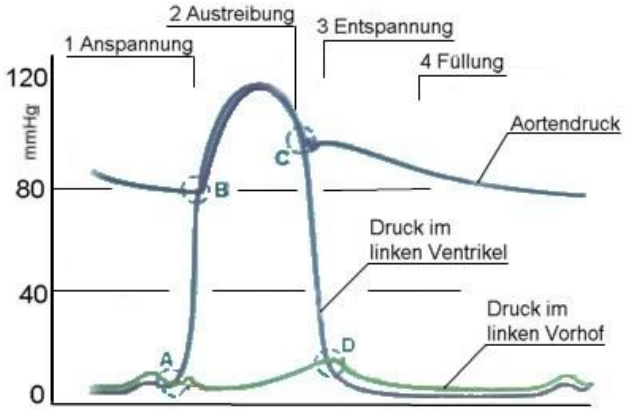
Vorhofsystole (Anspannungsphase)
Impulse des Sinusknotens leiten die nächste Phase ein, bei der sich die Vorhöfe zusammenziehen. Dadurch wird Blut, das sich eventuell noch in den Vorhöfen befindet, in die Herzkammern gedrückt.





Ventrikelsystole (Austreibunsphase)
In der dritten Phase des Herzschlag-zyklus ziehen sich die Ventrikel (Herzkammern) zusammen.
Die Klappen an den Ventrikelausgängen öffnen sich und das Blut wird in die Lungenarterie und Aorta gepumpt.
Nach Abschluss dieser Phase setzt wieder die Diastole ein.

7.4.2 Druck- und Volumenänderungen



-> während der einzelnen Phasen der Herzaktion

1. Anspannungsphase (Isovulometrische Kontraktionsphase)

Die Ventrikel-Systole beginnt mit dem Schluss der Atrioventrikularklappen.
Der Klappenschluss kommt dadurch zustande, dass der Ventrikeldruck den Vorhofdruck überschreitet. Damit wird der Rückfluss von Blut in den Vorhof verhindert (siehe A)
Die Aortenklappen sind ebenfalls durch Kontraktion geschlossen.
Der Druck im Ventrikel steigt steil an (das Volumen ändert sich nicht = isovolumetrische Kontraktion) intraventrikulärer Maximaldruck links: über 125 mm Hg, intraventrikulärer Maximaldruck rechts: 25 mm Hg oder weniger. Die Anpassung endet, wenn der Ventrikeldruck den Druck in der Aorta überschreitet und sich die Aortenklappe öffnet (siehe B)

2. Austreibungsphase

Die Aortenklappen sind jetzt geöffnet.
-> weiterer Druckanstieg in Ventrikel und Aorta
-> das Volumen im Ventrikel nimmt jetzt ab, weil das Blut in die Aorta gepumpt wird
-> Schlagblutvolumen (ca. 80ml) wird in die Aorta gepumpt. (Ein Restblutvolumen von ca. 40 ml bleibt im Ventrikel zurück.
In der Austreibungsphase verändern sich sowohl der Druck als auch das Volumen im Ventrikel - man bezeichnet die Kontraktionsform als auxoton.
Der Ventrikeldruck sinkt jetzt ab. Die Austreibungsphase endet, wenn der Ventrikeldruck den Aortendruck wieder unterschreitet, was zum Schließen der Aortenklappen führt (siehe C).

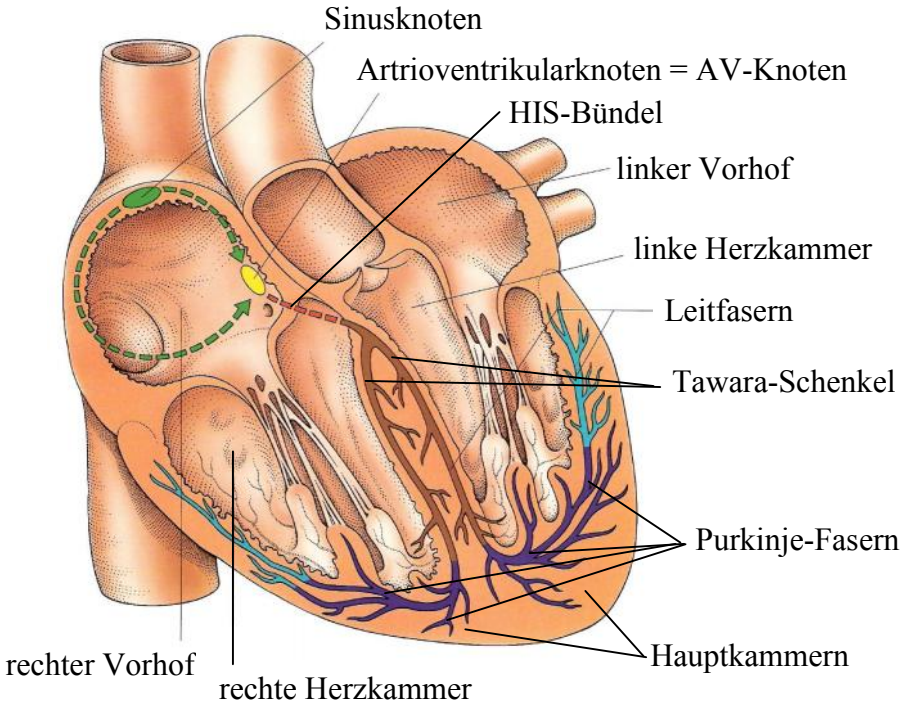
3. Entspannungsphase (Isovulometrische Erschlaffungsphase)

= Zeitabschnitt zwischen Schluss der Aortenklappe und der Wiederöffnung der Mitralklappe (siehe D). In dieser Phase nimmt der Ventrikeldruck weiter rasch ab.
-> Ventrikeldruck unterschreitet Vorhofdruck
-> Wiederöffnung der Mitralklappe (die Füllungsphase beginnt).

4. Füllungsphase

In der Füllungsphase nimmt das Ventrikelvolumen schnell zu. Diese rasche Füllung hat zur Folge, dass selbst bei gesteigerter Herzfrequenz (Abnahme der Diastolendauer) eine adäquate Ventrikelfüllung garantiert ist.

7.4.3 Herzreizleitungssystem oder Erregungsleitungssystem



Sinusknoten
Er liegt im rechten Vorhof an der Einmündung der oberen Hohlvene und ist der Schrittmacher des Herzens. Von ihm kommt 70- bis 80-mal pro Minute ein Depolarisierungssignal.
Im Sinusknoten entsteht der Reiz. Er ist verantwortlich für den regelmäßigen Herzschlag.
Ist der Sinusknoten krank, spricht man vom SICK SINUS. Das Herz schlägt dann zu langsam und oder zu unregelmäßig - ein Schrittmacher wird benötigt.
AV-Knoten (Atrioventrikularknoten)
Er liegt in der bindegewebigen Struktur der Ventilebene; zum Teil im Septum (Herzscheidewand), zum Teil zwischen den rechten Klappen und dem Vorhof. Er ist der zweite Schrittmacher des Herzens und hat eine Eigenfrequenz von ca. 40 Schlägen pro Minute. Der AV-Knoten stellt aus diesem Grund eine Art Sicherheitssystem dar.
Zwischen dem Sinusknoten und dem AV-Knoten gibt es keinen Nervenstrang, der die zwei Knoten verbindet und auch kein eigenes Nervensystem. -> DIFFUSE Reizleitung.

His'sches Bündel
Es schließt an den AV-Knoten an und ist der kurze Nervenstrang der vom AV-Knoten weggeht. Er hat eine Eigenfrequenz von 20 Schlägen pro Minute. Das His'sche Bündel teilt sich in zwei Schenkel:

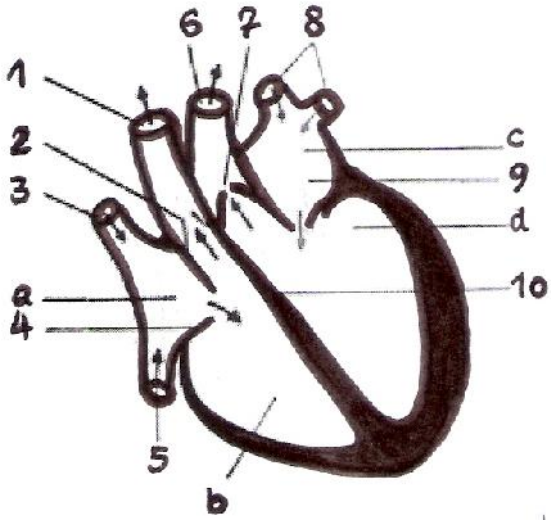
Die **Tawaraschenkel** befinden sich am Rand des Septums und ziehen sich bis in die Herzspitze. Diese teilen sich dann in viele kleine **Nervenfasern (= Purkinjesche Nervenfasern)**, welche sich von der Herzspitze aufwärts ins Herz verteilen.

7.5 Der Weg des Blutes durch das Herz

Die Blutbewegung wird durch die rhythmische Kontraktion und Erschlaffung der Herzmuskulatur bewirkt. Zunächst kontrahieren sich die beiden Muskelschwachen Vorhöfe und tragen damit in geringem Maße zur Füllung der Kammern bei. Danach erfolgt die Kontraktion der beiden Kammern, wodurch das Blut in die Truncus pulmonalis (Lungenschlagader) und die Aorter (Hauptschlagader) ausgetrieben wird. Die Ventilwirkung der Herzklappen verhindern dabei, einen Rückfluss des Blutes.

a) rechter Vorhof
b) rechte Kammer
c) linker Vorhof
d) linke Herzkammer

1) Lungenarterie (*Arteria pulmonales*)
2) Lungenschlagaderklappe
3) obere Hohlvene (*Vena cava superior*)
4) 3-zipflige Segelklappe *(Trikuspidalklappe)*
5) untere Hohlvene (*Vena cava inferior*)
6) Hauptschlagader (*Aorta*)
7) Aorten- (Hauptschlagader-) klappe
8) Lungenvenen (*Pulmonalvenen*)
9) 2-zipflige Segelklappe *(Mitralklappe)*
10) Herzscheidewand (*Septum)*



1) Durch die untere (**5**) und obere Hohlvene (**3**) strömt das sauerstoffarme Blut in den rechten Vorhof (**a**). Durch die Entspannung der Vorhofmuskulatur erhöht sich das Volumen des Vorhofes und das Blut wird dadurch angesaugt.
2) Die Vorhofwände ziehen sich zusammen, die Segelklappen (**4**) öffnen sich und das Blut strömt durch die Segelklappe in die rechte Kammer (**b**), die sich gleichzeitig entspannt.
3) Die Kammermuskulatur zieht sich zusammen und das Blut strömt daher aus der Kammer. Das Blut kann nicht zurück in den Vorhof (**a**) fließen, da das strömende Blut die Segelklappen (**4**) schließt. Der Blutdruck öffnet die Lungenschlagaderklappe (**2**) und lässt das Blut in die Lungenarterien (**1**) fließen.
4) Durch die Lungenarterien (**1**) strömt das Blut in die Lunge, wo das Blut Stickstoff abgibt und Sauerstoff aufnimmt.
5) Durch die Lungenvenen (**8**) strömt sauerstoffreiches Blut aus den Lungen in den linken Vorhof (**c**), der sich entspannt, dadurch das Volumen erhöht und so das Blut ansaugt.
6) Die Vorhofwände ziehen sich zusammen, die Segelklappen (**9**) öffnen sich und das Blut strömt durch die Segelklappe in die linke Kammer (**d**), die sich gleichzeitig entspannt.

7) Die Kammermuskulatur zieht sich zusammen und das Blut strömt daher aus der Kammer (**d**). Das Blut kann nicht zurück in den Vorhof (**c**) fließen, da das strömende Blut die Segelklappen (**9**) schließt. Der Blutdruck öffnet die Aortenklappe (**7**) und lässt das Blut in die Hauptschlagader (**6**) fließen.
8) Durch die Hauptschlagader (**6**) strömt sauerstoffreiches Blut in den restlichen Körper und wird durch die Arterien verteilt.
9) Aus der linken Herzkammer (**d**) strömt das Blut durch die Hauptschlagader (**6**) zurück in den Körper.

(Achtung: Mediziner gehen immer von der Sicht des Patienten aus!)

7.6 Physiologische Grundbegriffe zum Herz

Während eines durchschnittlichen Lebens schlägt das Herz über drei Milliarden mal. In dieser Zeit pumpt es über 300 Millionen Liter Blut durch die Adern.

7.6.1 SCHLAGVOLUMEN

Man bezeichnet damit das Blutvolumen, das bei einem Herzschlag ausgeworfen wird.
- Schlagvolumen eines Untrainierten: ~70 ml
- Maximales Schlagvolumen eines jungen Menschens: 100 ml (Herzfrequenz 200)
- Maximales Schlagvolumen eines Hochtrainierten: 200 ml

7.6.2 HERZMINUTENVOLUMEN

berechnet sich aus Herzschlagvolumen * Herzfrequenz. Das Herzminutenvolumen ist also ein Maß für die Pumpfunktion des Herzens. Es sagt aus, wieviel Blut das Herz pro Minute pumpt.

- Herzminutenvolumen in Ruhe eines Untrainierten: ~5,3-5,5 l pro Minute.
- Herzminutenvolumen in Ruhe eines Leistungssportlers: 5,8 l pro Minute.
- Maximales Herzminutenvolumen eines Untrainierten: 18-20 l pro Minute.
- Maximales Herzminutenvolumen eines Hochtrainierten: bis 40 l pro Minute.
  (200*200 = 40000 ml = 40 l/Min.)

7.6.3 HERZFREQUENZ

Die Herzfrequenz ist nicht abhängig vom Trainingszustand sondern vom Alter.
Berechnung der Herzfrequenz: 220 – Lebensalter = maximale Herzfrequenz In körperlicher Ruhe beträgt die Herzfrequenz des erwachsenen Menschen etwa 70 Schläge pro Minute.

Die maximale Herzfrequenz ist abhängig vom Alter und minimal von Trainingszustand.
Mit dem Alter wird die Herzfrequenz langsamer, weil
- Myokard kann nicht mehr so schnell kontrahieren,
- Gefäße sind nicht mehr so elastisch,
- Bindegewebseinlagerungen.

7.6.4 DIE O2-AUFNAHME

Je größer das Herz ist, desto mehr Blut kann transportiert werden,

- desto mehr O2 wird aufgenommen,
- desto mehr O2 wird verwertet.

Weitere Faktoren für die O2-Aufnahmefähigkeit: Hämoglobingehalt, Diffusion.
- O2 = Sauerstoffaufnahme (Volumen – Sauerstoff);
- VO2/P = Sauerstoffpuls (O2- Aufnahmegröße Herzschlag);
- HV/VO2/P = Herzvolumenleistungsquotient

7.6.5 Herzfrequenz, Schlagvolumen und Herzminutenvolumen im Vergleich

	Ruhe		**Maximale Belastung**	
	untrainiert	AD-Sportler	untrainiert	AD-Sportler
HF (bpm)	70	40	180	180
SV (ml)	75	125	110	220
HMV (l/min)	5	5	20	40

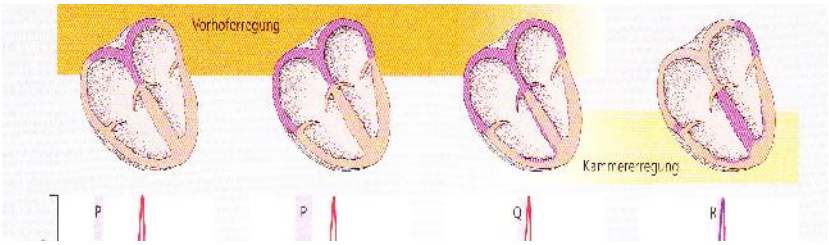
Das Sportherz arbeitet mit einem größeren Schlagvolumen und einer erniedrigten Schlagzahl.
Maximale Herzfrequenz: wenig Differenz zwischen Untrainierten und AD-Sportlern.
Bei Trainierten können wesentlich höhere maximale Herz-Minutenvolumina erreicht werden.
-> Die Werte im Vergleich zu Untrainierten sind etwa doppelt so hoch.

7.7 Die Herztöne

Mit einem Stethoskop können die durch die Herztätigkeit entstandenen und auf den Brustkorb übertragenen Schwingungen abgehört werden (Auskultation). Während des Beginns der Systole hört man den ersten Herzton (Anspannungston). Am Ende der Systole kann als zweiter Herzton das „Zuschlagen“ der Aorten- und Pulmonalklappe gehört werden.

-> Beim gesunden Menschen sind diese Herztöne hörbar.
Beim Kind ist es oft möglich, einen dritten Herzton zu hören, der sich durch das Füllen der Ventrikel/Kammern ergibt.

7.8 Das Elektrokardiogramm – EKG



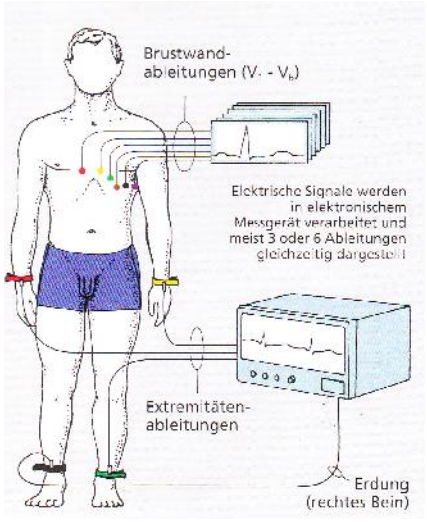
Das Elektrokardiogramm - EKG hat die Aufgabe, Ströme, die bei der Kontraktion erfolgen, zu erfassen und zu interpretieren.

P - Zacke: Charakterisiert die Vorhofserregung
Q-R-S-Komplex: Alles im Bereich der Kammererregung (Kammerkontraktion)
T - Zacke: Repolarisation und Depolarisation des Herzens, Nachschwankung, Erregungsrückgang, Ende der Austreibungsphase

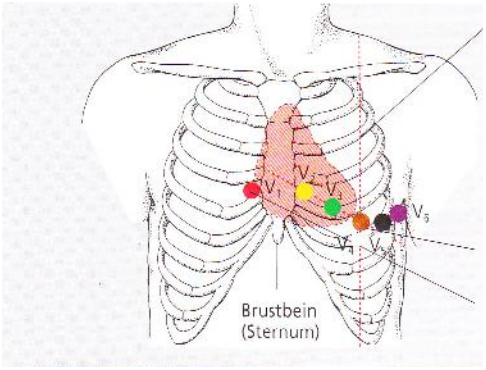
Mit dem EKG kann man Rückschlüsse auf Beeinträchtigungen des Herzens ziehen.
Beim EKG werden die Dauer der Zacke und die Höhe der Zacke gewertet.

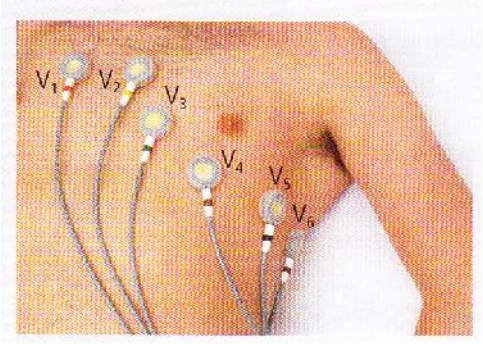
Es kann Auskunft geben über Herzlage, Herzfrequenz, Erregungsrhythmus und –ursprung sowie Impulsausbreitung, Erregungsrückbildung und deren Störungen, jedoch nicht über die Kontraktion und Pumpleistung des Herzens.

7.8.1 Die verschiedenen Ableitungen



Extremitätenableitungen
Sie misst die Spannung zwischen
je zwei Punkten am Arm oder am Bein.





Brustwandableitungen
werden sechs Elektroden
auf der Brustwand angebracht.

7.8.2 EKG-Bilder bei verschiedenen Herzrhythmusstörungen

1) **Normalzustand:** Jedem P folgt ein normaler QRS- Komplex, die Herzfrequenz liegt im Normbereich.

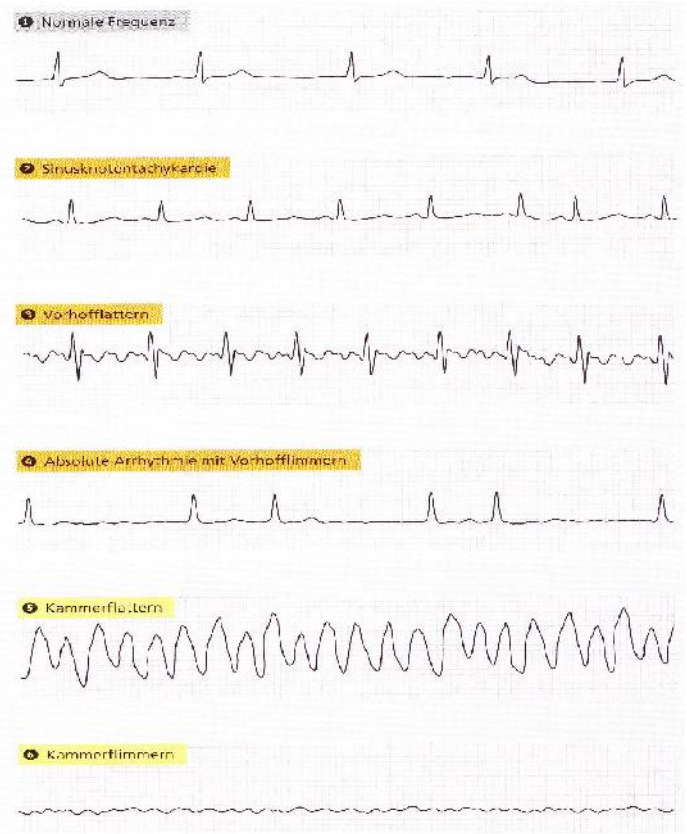
2) **Sinusknotentachykardie:** Der Sinusknoten löst zu häufig einen Herzschlag aus. Dies kann physiologisch oder krankhaft sein.

3) **Vorhofflattern:** Typisch ist das Auftreten von sägezahnförmigen Vorhofwellen anstelle der normalen P- Wellen.

4) **Absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern:** Die völlig unkoordinierten Vorhofaktionen zeigen sich nur noch durch eine unruhige Null-Linie im EKG. Die Kammeraktionen sind unregelmäßig.

5) **Kammerflattern** mit einer Frequenz von ca. 200/min. Die Kammerkomplexe sind haarnadelförmig deformiert.

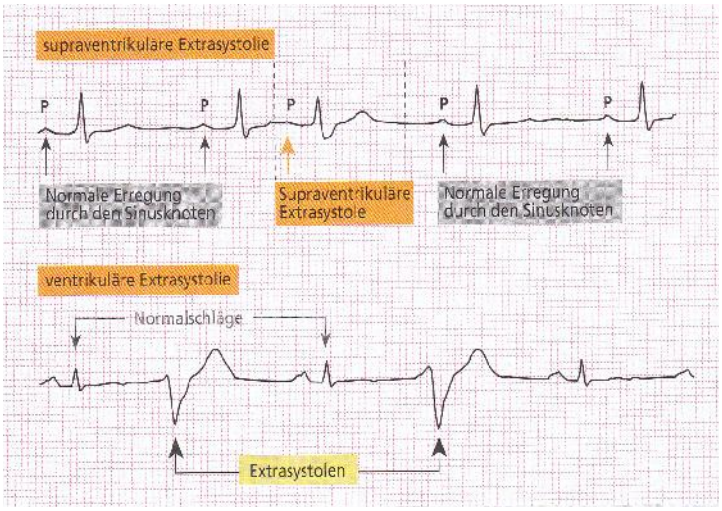
6) **Kammerflimmern:** Die einzelnen Kammerkomplexe können im EKG nicht mehr voneinander getrennt werden.



7.8.3 Extrasystole = Extraschlag

Ein außerhalb des regulären Grundrhythmus auftretender Herzschlag. Man unterscheidet zwischen Supraventrikulären und ventrikulären Extrasystolen.

Ein Zwischenschlag 1-mal oder 2-mal pro Minute ist erlaubt.



7.9 Der Frank-Starling-Mechanismus

Der Frank-Starling-Mechanismus beschreibt den Zusammenhang zwischen Füllung und Auswurfleistung des Herzens. Der entscheidende Faktor hierbei ist die Vordehnung der Kammermuskulatur des Herzens, welche vom Füllungsdruck in der linken Herzkammer abhängt. Nachdem es zu einer Kontraktion der Herzmuskulatur, also zum Blutausstoss in die Aorta gekommen ist und sich die Herzmuskulatur für einen kurzen Moment wieder entspannt, bleibt in jeder Muskelfaser eine gewisse Restdehnung bestehen.

Bei erhöhter Herztätigkeit steigt das Volumen in der Herzkammer (z.B. bei körperlicher Anstrengung; hierbei wird mehr Sauerstoff benötigt, d.h. Steigerung der Pumpleistung und Kontrakionskraft des Herzens) und die Restdehnung der Muskelfasern ist erhöht. Durch diese erhöhte Dehnung steigt auf Grund der physiologischen Eigenschaften der Muskulatur die Kontraktionskraft. So entsteht eine positive Rückkopplung, welche zur Regulation der Herztätigkeit dient.

Der Frank-Starling-Mechanismus beschreibt nichts anderes als das Prinzip einer einfachen Wasserpumpe. Um Druckveränderungen in den Schläuchen und somit auch in der Pumpe (Druckveränderungen im Sinne eines Überwindens einer Steigung) ausgleichen zu können, um den Ausfluss konstant zu halten, muss die Pumpkraft bzw. die Leistung erhöht werden. Genau nach diesem Prinzip arbeitet auch die menschliche Pumpe. Dieser Mechanismus ist eine Reaktion auf Veränderungen der Druckverhältnisse um eine konstante Versorgung zu garantieren.

8 DER KREISLAUF

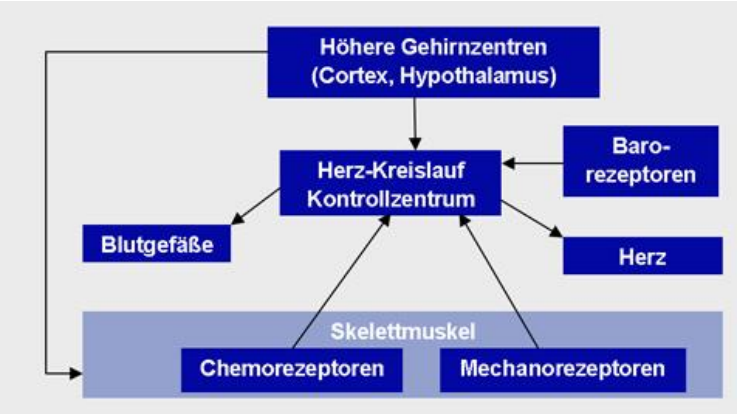


Abb.: Genereller Aufbau des Kreislaufsystems

Der Körperkreislauf besteht aus dem Hochdruck- und dem Niederdrucksystem.
Hochdrucksystem:
Arterieller Schenkel, linker Herzteil, Aorta, Windkessel, gesamtes Kapillarsystem.
Niederdrucksystem:
Das Kapillarsystem ist der Beginn des Niederdrucksystems. Lungenkreislauf, Venensystem.
Der Kreislauf wird vom Blutdruck, dem peripheren Widerstand (= Widerstand der Gefäße im Hochdrucksystem) und der Herzfrequenz beeinflusst.

Die Elastizität der großen Gefäße:
Durch die Elastizität sind die großen Gefäße imstande, das Schlagvolumen aufzunehmen und langsam weiterzuleiten. Am besten kann dies die Aorta, weil sie das größte Gefäß ist.
→ = Windkesselfunktion der großen Gefäße.

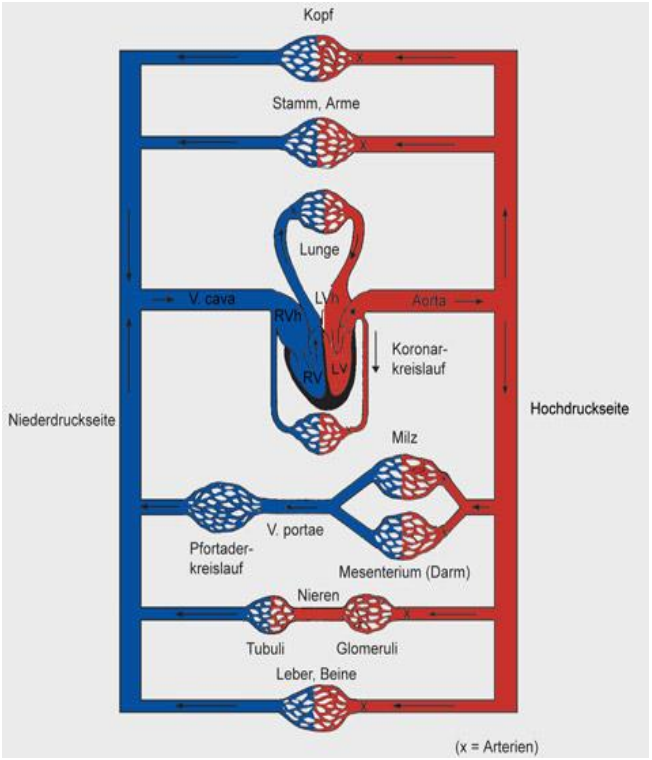
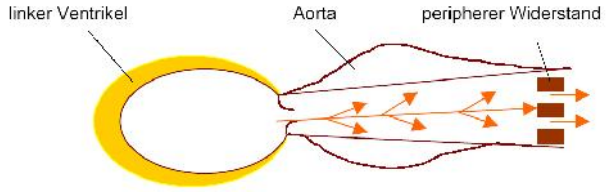


Abb.: Kreislaufaufbau

8.1 Die Windkesselfunktion

Der Windkessel findet sich in der Aorta und in allen großen Arterien.
Der linke Ventrikel presst Blut in die Aorta und in die großen Arterien. → Große Gefäße (glatte Muskulatur) erweitern sich und nehmen ein großes Blutvolumen auf. Wenn nun die Diastole beginnt, würde die Strömung wieder nachlassen. Damit das Blut aber nicht stehen bleibt, sondern weiter gepumpt wird, ziehen sich die großen Gefäße zusammen. → Eine kontinuierliche Strömung ist gewährleistet. Die Arterien wirken wie ein Luftpolster.

Druckverhältnisse:
Systolischer Druck: wird immer dann gemessen, wenn der Ventrikel kontrahiert; etwa 120.
Diastolischer Druck: wird immer dann gemessen, wenn der Ventrikel erschlafft; etwa 80.



8.2 Querschnitt und Volumen der Gefäßabschnitte

Der Durchmesser der einzelnen Gefäße wird umso kleiner, je mehr wir ins Innere des Kapillarbett gehen. Das Kapillarbett selbst hat einen sehr großen Durchmesser um eine größere Austauschfläche zur Verfügung zu stellen.

Anteile des Blutvolumens:
Die kleinen und großen Venen enthalten mindestens 40% des gesamten Blutes. Die Lunge enthält 20%. Der Rest des Blutes befindet sich im arteriellen Teil.
Das heißt, dass sich der Großteil des Blutvolumens im Bereich der Venen (= Niederdrucksystem) befindet, wo es als Reserve und Speicher dient.

8.3 Funktionelle Daten des Kreislaufs

Unterschiede in der Blutverteilung in Körperruhe und bei Belastung:
In körperlicher Ruhe beträgt das Herzzeitvolumen zirka 5 l/min.
Bei Belastung beträgt das Herzzeitvolumen zirka 25 l/min.

a) Blutverteilung in % bei Körperruhe (=5 l/min)
Verschiedene Organe haben verschiedene Prozentsätze des Blutvolumens. In Ruhe arbeiten vor allem die inneren Organe.

25 bis 30% des Blutvolumens werden dem Verdauungsbereich zur Verfügung gestellt.
15 bis 20% für die Muskulatur
5% nur für die Haut mit 1,7 bis 1,9 m² Oberfläche und Austauschfunktion.
4 bis 5% bekommt das Herz.

b) Blutverteilung in % bei Körperbelastung (=25 l/min)
Es muss vermehrt O_2 in die arbeitenden Organe (= Muskeln) transportiert werden, damit dort ATP resynthetisiert werden kann. Deshalb kommt ein großer Teil des Herzminutenvolumens in die Muskulatur und die Haut. Das Herz bleibt dabei in % etwa gleich. Die inneren Organe und Teile des Skeletts werden zurückgeschallten.

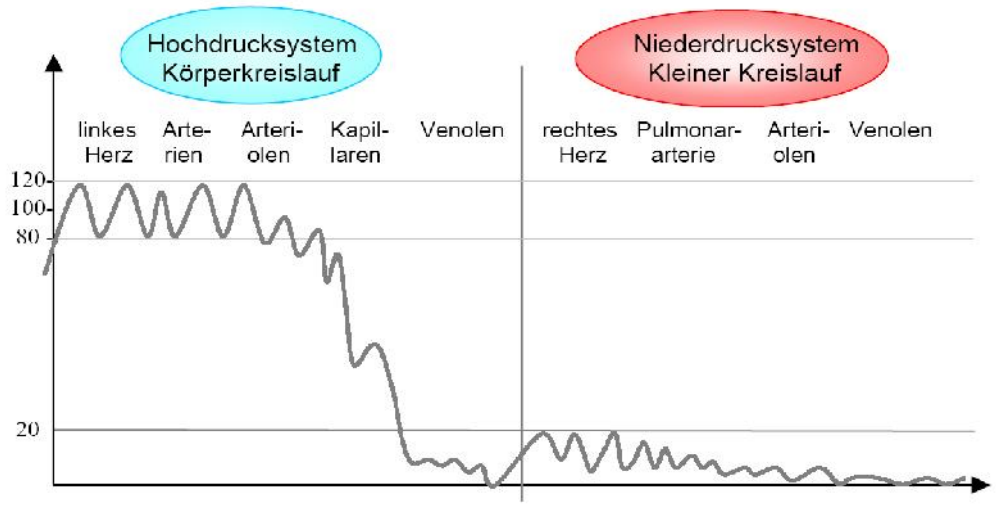
3 bis 5% des Blutvolumens für das Verdauungssystem,
2 bis 3% für die Nieren
0,5 bis 1% für das Skelett, dafür aber
80 bis 85% für die Muskulatur.

Ergebnis: Die Verteilung des Blutes zwischen Belastung und Ruhe ist sehr verschieden. Damit die Verteilung gut funktioniert, benötigt man einen komplexen Regelmechanismus.

8.4 Der Aufbau der Wände der Gefäße

Mit kleiner werdenden Gefäßen verändern sich die Anteile von KOLLAGEN, GLATTER MUSKULATUR und ELASTIN. Fast alle Gefäße haben verhältnismäßig große Anteile von glatter Muskulatur (unterliegt Sympathikus). Mit dieser Muskulatur können sich die Gefäße zusammenziehen und ausweiten.

8.5 Die Druckverhältnisse bei einem normalen Blutdruck (120/80)



8.6 Der Blutdruck des Menschen

Es gibt zwei Drucke, die man messen kann:
1) **Systolischer Druck** - vom linken Ventrikel in der Austreibungsphase erzeugt
2) **Diastolischer Druck** - der gefäßimmanente Druck; er ist auch an der Aortenklappe messbar.

Methoden des Blutdruckmessens:
1) **Direkte Methode:** Punktieren einer Arterie, Katheder hinein schieben und den Druck messen. Zieht allerdings eine spritzige Blutung und ein Hämatom nach sich.
2) **indirekte Methode** mit der Manschette: RIVIA-ROCCI-KOROTKOFF-METHODE

a) Die Manschette rund um den Arm wird aufgeblasen. → Dadurch entsteht ein äußerer Druck, der verhindert, dass weiteres Blut durch die Adern geht. → Die Oberarmarterie ist völlig verschlossen, wenn der äußere Druck größer ist als der Druck im Gefäß. → *Kein Geräusch ist zu hören.*
b) Der äußere Druck wird nachgelassen → das Gefäß beginnt wieder durchlässig zu werden. Wenn der Druck innen und außen gleich groß ist, *hört man, dass das Blut wieder durchgeht*. Dieser Druck ist der **systolische Druck**.
c) Man lässt den Druck weiter nach, → das Blut wird weiter abgelassen, → *das Geräusch wird lauter,* das Gefäß ist nur mehr minimal blockiert.
d) Wenn das Gefäß nun wieder ganz frei ist, verschwindet das Geräusch, da es keinen Widerstand gibt. Der Moment, in dem das *Geräusch verschwindet*, ist der **diastolische Druck**.

8.7 Wie verhält sich der Blutdruck im Laufe eines Lebens?

Der normale Blutdruck bei jungen Leuten ist 120/80 mm Hg - Idealdruck. Normal ist auch noch 140 zu 90. Der Grenzwertbereich geht bis 160/95.
HYPERTONIE liegt vor, wenn der Blutdruck höher als 160 zu 95 ist. Hypertonie ist ein großer Risikofaktor für degenerative Herzkrankheiten (Herzinfarkt, Schlaganfall, Arteriosklerose). Das Problem hierbei ist allerdings, dass sich Hypertonie nicht bemerkbar macht, obwohl man trotzdem eine permanent erhöhte Herzarbeit hat → eine Behandlung ist äußerst wichtig.
Um Hypertonie feststellen zu können, muss man den Blutdruck oft messen, da er sehr schwankend ist.

HYPOTONIE ist ein besonders niederer Blutdruck in Ruhe. Die Hypotonie ist schwerer zu definieren als die Hypertonie. Die Hypotonie wird eher nach den Symptomen diagnostiziert, als nach dem Blutdruck selbst. Generell kann man ab unter 100 von Hypotonie sprechen. Wenn man allerdings kein Schwindelgefühl, ... fühlt, spricht man nicht von Hypotonie.
Bei jungen Leuten ist Hypotonie überhaupt nicht schlimm. Im Alter kann Hypotonie zu einer Mangeldurchblutung führen → Absterben von kleinen Gefäßen → Mini-Schlaganfall.

Die ortostatische Hypotonie ist Ausdruck einer gestörten Druckverteilung des Blutes.
Symptom: Wenn man schnell aufsteht, wird einem „schwarz“ vor Augen.
Ursache: Das Blut schießt nach unten,→ im Gehirn ist zu wenig Blut, man fällt um und die Gehirndurchblutung ist wieder gewährleistet.
Prinzipiell: Je niedriger der systolische Blutdruck mit zunehmendem Alter ist, desto besser ist es. Bei diastolischem Blutdruck ist ein geringes Ansteigen mit dem Alter normal. Grund dafür, dass der Blutdruck mit dem Alter steigt: Die Gefäße sind nicht mehr so elastisch → mehr Widerstand → mehr Druck nötig.

Belastungsuntersuchungen:
Der Blutdruck steigt mit der Belastung an, → der Kreislauf wird aktiviert, → es kommt zu Frequenz- und Drucksteigerung und → man vergleicht die Werte des Untersuchten mit Richtlinien für den Belastungsblutdruck.

Verhaltensweisen:
- Ist der Blutdruck während der Belastung erhöht und in Ruhe ebenfalls → der Mensch leidet unter Hypertonie.
- Blutdruck reguliert sich unter der Belastung, ist aber in Ruhe erhöht → kein Problem.

Leichte Hypertonien sprechen am besten auf extensives Ausdauertraining an. Die Hypotonie spricht eher auf ein dosiertes Krafttraining an.

Sauna und Blutdruck:
Sauna bedeutet eine Applikation von Hitze ohne Feuchtigkeit.
Die Herzfrequenz wird erhöht (auf Grund der Thermoregulation wegen der Hitze, da der Körper seine normale Temperatur beibehalten will), → der Blutdruck wird erhöht.
Geht man nach der Sauna in ein Kaltwasserbecken → die Gefäße sind von der Sauna weit und durchblutet, → kommt es hier zu einem Kälteschock, → die Gefäße ziehen sich blitzartig zusammen → unter immensem peripheren Widerstand → arbeitet das Herz dagegen und → der Blutdruck für einige zehntel Sekunden über 300!
Das ist bei jungen Leuten tolerierbar.
Bei älteren Menschen, die noch dazu Hypertoniker sind, ist das ein immenses Risiko.

Venöser Teil: die Venen haben Venenklappen, damit das Blut gegen die Schwerkraft aufsteigen kann. Die Klappen verhindern, dass das Blut zurück nach unten rinnt.

8.8 Der Aufbau einer Arterie

Die Gefäßwand besteht aus 3 Schichten:

INTIMA: Besteht aus Endothelzellen (glatte Oberfläche, damit das Blut möglichst widerstandsfrei durchfließen kann). Darunter eine Basalmembran und eine elastische Bindegewebsschicht, die Elastica interna.

MEDIA: Glatte Muskulatur mit Enden von sympathischen Nervenfasern (perlschnurartig), wieder eine elastische Bindegewebsschicht.

ADVENITIA: Außenhaut aus Bindegewebe. Elastica externa.

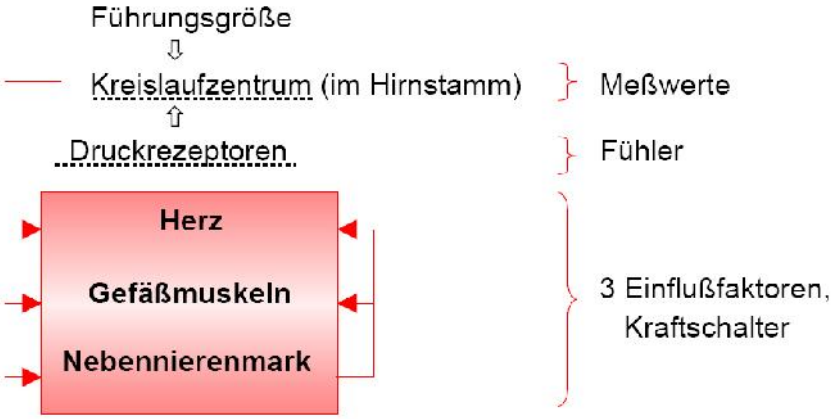
Die Muskulatur der Blutgefäße ist auch von Kapillaren, über die der Muskel versorgt wird, durchzogen.

Die Muskulatur der großen Gefäße kann sich verändert. Sie kann das Lumen enger machen, und beim Erschlaffen das Lumen weiter machen. Gesteuert wird das über das vegetative Nervensystem, insbesondere über den Sympathicus.

Bei Erhöhung der Reizzahl pro Sekunde, der Herzpulszahl, kommt es zu einer vermehrten Kontraktion; → der Querschnitt des Gefäßes wird kleiner, was man VASOKONSTRIKTION (= Zusammenziehen.) nennt.

Weiter werden = VASODILATATION.

8.9 Die Kreislaufregulation



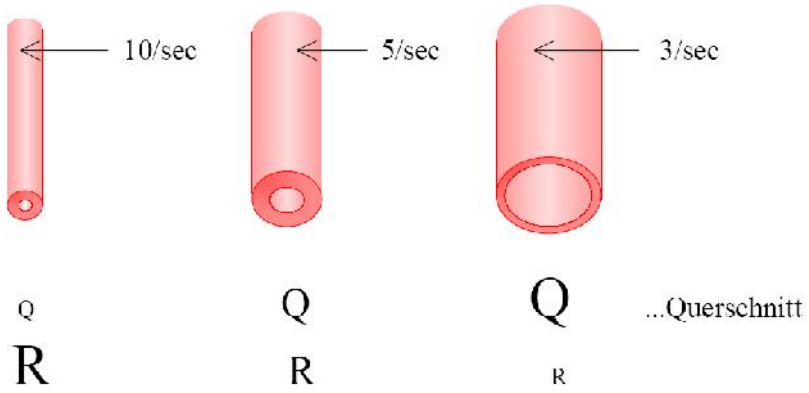
Diese 3 Systeme beeinflussen den Blutdruck

→ durch das Auf- und Zugehen der Gefäßmuskeln und

→ durch die Ausschüttung der Katecholamine des Nebennierenmarks.

Außerdem wird der Blutdruck durch den Sympathikotonus beeinflusst, der auf die 3 Einflusssysteme und auf das Kreislaufzentrum wirkt.

Wenn das Lumen enger wird, so wird der Strömungswiderstand größer; je nach Frequenz der Impulse kommt es zu einer Regulation der Gefäßweite. Viele Impulse→ enges Gefäß.



Wenn im Krafttraining eine größere Muskelgruppe kontrahiert wird, werden die kleineren Arteriolen und die Kapillaren mechanisch abgeklemmt, daher wird der periphere Widerstand, gegen den das Herz arbeiten muss, wesentlich größer. Als Folge entsteht bei ständigem Krafttraining ein Kraftherz, eine Verdickung des Myocards – die konzentrische Hypertrophie.
Bei Belastung muss das Gefäß weiter werden, damit mehr Blut in die arbeitende Muskulatur gepumpt werden kann.
Der Organismus regelt auch, dass bei Ruhe der Muskel weniger durchblutet wird. Das geförderte Herzminutenvolumen geht bei Ruhe daher z.B.: in die Verdauung.
Der Organismus regelt also das Herzminutenvolumen dorthin, wo er es braucht – Verteilungsregulation.

9 Das Herz-Kreislauf System

… verbindet alle Körperorgane zu einer funktionellen Einheit:

- Herz (treibende Kraft der Blutzirkulation)
- Blut und Blutdruck (Transportmittel)
- Gefäßsystem (Transportwege)
- Kreislauf

Seine Hauptaufgaben liegen in der Versorgung der Billionen von Zellen der verschiedenen Körpergewebe mit Nähr- und Wirkstoffen bzw. mit Sauerstoff sowie im Abtransport von Stoffwechselprodukten.

9.1 Das Herz:

- Leistungsstarker Muskel: Pumptätigkeit wird automatisch wiederholt, wobei die Stärke des Herzschlags und das Blutvolumen davon abhängen, inwieweit der Körper seelischen und körperlichen Belastungen ausgesetzt ist
- „Grapefruit“ mit spezialisierter Muskelart: Myokard: Muskelfasern sind miteinander verbunden und ziehen sich automatisch zusammen
- Richtunggebendes Klappensystem: 4 Herzklappen öffnen und schließen sich bei Druckänderungen
- Zwei in eins Pumpe: kombinierte „Pumpe Herz“ sendet ständig Blut in der Körper und wieder zurück
- Kontrolle durch das Nervensystem: Ohne Kontrolle ca. 80 Schläge / min; parasympathischen Nerven senden Impulse an das kardioregulatorische Zentrum in der Medula → nur 70x / min. Bei körperlicher oder seelischer Belastung gibt der Hypothalamus an die sympathischen Herzmuskeln den Befehl aus, den Herzschlag zu beschleunigen. Auch von den Nebennieren freigesetzte Hormone können den Herzschlag erhöhen.

9.2 Das Blut:

- Transport von Sauerstoff, Nährstoffen und Abfallprodukten
- Regulierung des Wasserhaushalts, Temperatur und Säure-Basen-Verhältnisses
- Signalübermittlung – Hormone fungieren als Botenstoffe
- Abwehr – im Blut sind Stoffe enthalten die der Schädigung des Organismus durch z.B.: Erreger (Immunsystem) oder Verletzung (Gerinnung) dienen

9.2.1 Der Blutdruck:

- Treibende Kraft für Zirkulation des Blutes
- Systolisch und diastolisch
- Hauptaufgabe der Blutduckregulation

9.3 Das Gefäßsystem:

Im arteriellen System wird das Blut mit relativ hohem Druck an die einzelnen Organe verteilt. Physikalisch gesehen ist die Beziehung von Strömung im Gefäßsystem, Druck und Widerstand durch das **OHM´SCHE GESETZ** definiert:

$$\frac{\text{Druck}}{\text{Widerstand}} = \text{Störung im Gefäßsystem}$$

HAGEN – POISSELL´SCHE Gesetz:

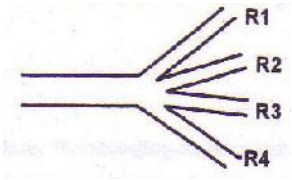
$$\frac{\text{Viskosität x Länge des Rohres}}{\prod \text{r4 (Radius des Rohres)}} = \text{Widerstand gegenüber einer Strömung (R)}$$

→ Daraus folgt: Die Strömung ändert sich mit der vierten Potenz des Radius!

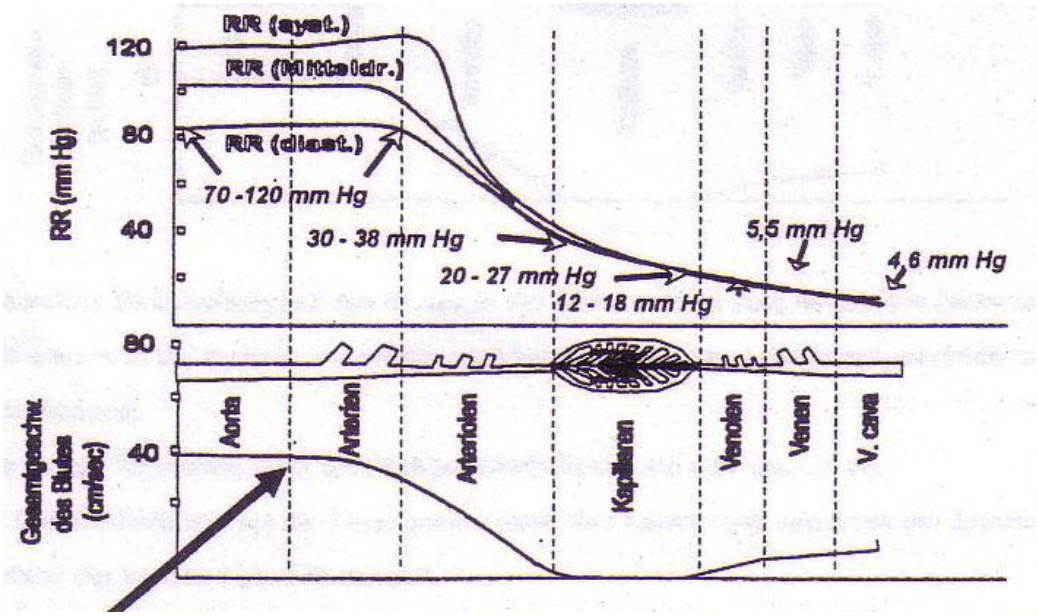
Die Blutströmung und der Widerstand werden daher stark durch die Kaliberänderung der Gefäße beeinflusst.
Die Arteriolen sind daher ein wichtige Faktor für die Kreislauf-Regulation auf Grund ihrer Wirkung auf Blutdruck und Organdurchblutung. Die Gefäßmuskulatur wird durch das sympathische Nervensystem versorgt. Eine Erhöhung der Sympathikusaktivität führt zu einer Gefäßkontraktion in der Muskulatur der kleinsten Gefäße.
→ Die Folge ist eine Erhöhung des peripheren Widerstandes und damit die Drosselung der Durchblutung.
Obwohl man nach dem Hagen – Poissell`schen Gesetz annehmen könnte, dass der Widerstand gegen die Peripherie hin wegen der Querschnittsminderung ins Unendliche steigen müsste, ist das genaue Gegenteil der Fall!

9.4 Physikalische Faktoren, die den peripheren Widerstand verringern

1. Verzweigung und damit Vergrößerung des Gesamtquerschnittes
2. Zunehmende Kürze, der sich verzweigenden Gefäße
3. Elastische Eigenschaften der Gefäße (Windkesselwirkung)



9.5 Schematische Darstellung der Veränderung von Druck und Geschwindigkeit im Gefäßsystem



A) Ein gewisser Druck wird durch die Windkesselfunktion beibehalten. In großen und mittleren Arterien fällt der Druck deshalb kaum ab.

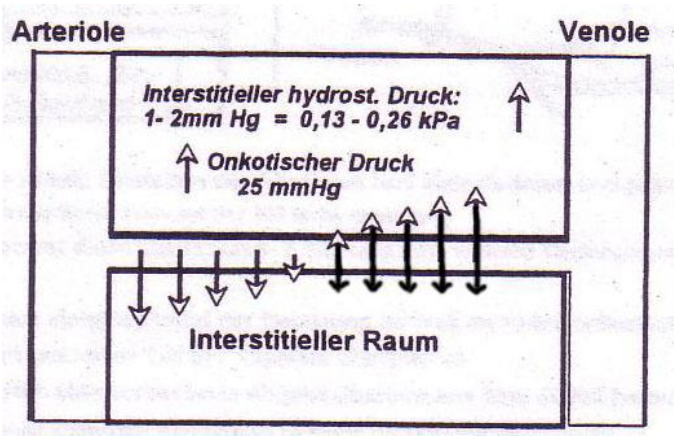
B) Der Gesamtquerschnitt des Gefäßsystems bewirkt einen steileren Druckabfall in den kleineren Arterien und vor alle in den Arteriolen.

C) Der Druck fällt in den Kapillaren weiter auf 17 – 20 mm Hg ab.

Im menschlichen Körper werden hierbei riesige Flüssigkeitsmengen verschoben (Filtration) Speziell kleine Moleküle wie Wasser können auf diese Weise sehr leicht ausgetauscht werden.

A

9.6 Schematische Darstellung der Filtrationsvorgänge im Bereich der Kapillaren



9.7 Das Kreislaufsystem…

Lässt sich in einen großen oder Körperkreislauf und einen kleinen oder Lungenkreislauf unterteilen. Beide Systeme sind in der Form einer Acht hintereinander geschaltet, in deren Zentrum das Herz liegt, das durch seine Pumptätigkeit das Blut durch die Arterien zu den Verbraucherorganen transportiert.

- Körperkreislauf, großer Kreislauf

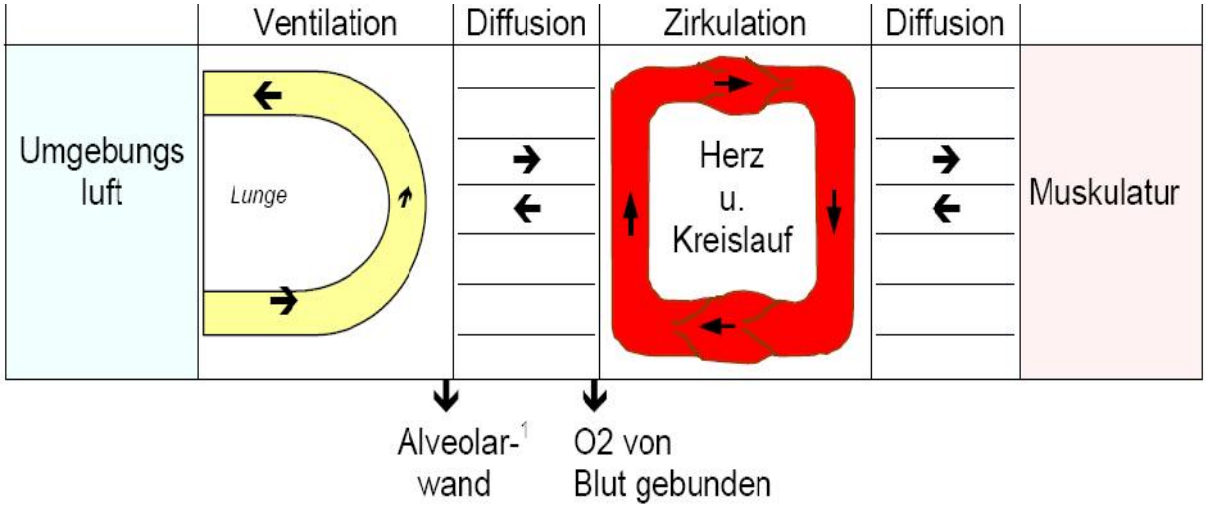
Ihm obliegt die Versorgung aller Organe des Körpers. Er beginnt in der linken Herzkammer und endet im rechten Vorhof des Herzens.

- Lungenkreislauf, kleiner Kreislauf

Er beginnt mit der rechten Herzkammer und endet im linken Vorhof. Er dient dem Gasaustausch: Kohlendioxidreiches Blut wird über die Lungenarterien zu den Lungen geführt und dort über Diffusionsvorgänge in sauerstoffreiches Blut umgewandelt.

→ Pfortaderkreislauf: Ist ein Nebensystem des großen Blutkreislaufes. Er führt das nährstoffbeladene venöse Blut der Verdauungsorgane über die Pfortader zur Leber. Die Leber stellt das Stoffwechselorgan des Körpers dar.

9.8 Leistungsfähigkeit durch Herz-Kreislauf-Lunge-Blut:



O2 gelangt in die Zelle → die Nährstoffe werden oxidiert → ATP entsteht → CO2 wird abtransportiert.

→ Ventilation = Ein- und Ausatmung
→ Diffusion = Aufnahme von O2 aus den Alveolen ins Blut und von den Kapillaren der Muskeln
→ Respiration = Durchblutung und Durchlüftung der Lunge

9.8.1 Limitationen durch:

1. Diffusionskapazität der Lunge unter maximaler Ausbelastung
2. Hämoglobinkonzentration (Blutfarbstoff) als Träger von O2
3. Herzgröße

9.8.2 Die Kreislaufregulation:

Beeinflussung durch:

- Auf- und Zugehen der Gefäßmuskeln
- Ausschüttung der Katecholamine des Nebennierenmarks

Der Blutdruck wird außerdem durch den Sympathikotonus beeinflusst, der auf die drei Einflusssysteme (Herz, Gefäßmuskeln, Nebennierenmark) und auf das Kreislaufzentrum wirkt. Das Kreislaufzentrum befindet sich im Hirnstamm.

9.9 Herz – Kreislauf Regulation bei körperlicher Arbeit:

Regulation des peripheren Gefäßwiderstandes:

1. Vasokonstrikorisch wirkende sympathische Nervenfasern →Gefäßverengung und Gefäßerweiterung.
2. Cholinergische sympathische Nervenfasern → Gefäßerweiterung
3. lokal chemische Reaktionen → Gefäßerweiterung; regulieren die Bluverteilung der Peripherie.

Um das Herzminutenvolumen an die jeweiligen Erfordernisse anzupassen, braucht es zwei Systeme: die Peripherie und die Pumpe. Es kann nur mehr Blut in der Peripherie zur Verfügung gestellt werden, wenn es von der Pumpe gefördert wird. Diese beiden Systeme müssen Hand in Hand arbeiten.

ad 1) Vasokonstrikorisch: Sympathische Fasern ziehen vom Rückenmark zum Herz und zur glatten Muskulatur in den Gefäßwänden (Blutgefäße außer Kapillaren): Gefäßverengung →Gefäßerweiterung durch die Impulszahl pro Minute. Noradrenalin und ev. auch Adrenalin als Transmittersubstanzen.
α- und β-Rezeptoren haben verschiedene Wirkungen.
Zwei Effekte:

1. Die perlschnurartigen sympathischen Nerven in der Muskulatur sind imstande in Abhängigkeit der Impulszahl das Gefäß eng oder weit zu stellen. Auch dafür ist die Überträgersubstanz in den Synapsen notwendig aber nicht direkt in der Muskulatur, denn sie geht vom Nerv an die Muskulatur.

2. In der glatten Muskulatur der Gefäße (=Gefäßwände) sind Rezeptoren; diese sind sensibel für die Katecholamine – das Adrenalin und das Noradrenalin. Adrenalin und Noradrenalin sind Streßhormone, die vom Nebennierenmark gebildet und ausgeschüttet werden und eine Verengung oder Erweiterung der Gefäße bewirken.

Noradrenalin bewirkt im Gefäß über α-Rezeptoren eine Vasokonstriktion, in der arbeitenden Muskulatur bewirkt Noradrenalin über β2-Rezeptoren eine Gefäßdilatation.

ad 2) Cholinergische: Sympathisch vasodilatorisch wirkende Nervenfasern mit Überträgersubstanz Azetylcholin. Bei Erregung dieser Fasern → Weitstellung der Arteriolen in der Skelettmuskulatur bei gleichzeitiger Verengung von Haut- und Darmgefäßen. Besonders bei emotionalen Reaktionen.
Der Organismus reagiert auf Streß. Physische, psychische oder psychoemotionale Streßbelastungen sind in der Gesamtheit ähnlich. Sie führen zu einer Erhöhung der Herzfrequenz, zu einer Erhöhung der Kontraktilität des Herzmuskels, zu einem Anstieg des Blutdrucks, zur Ausschüttung der Katecholamine, zu einer vermehrten Lipolyse,... . Die Systeme sind aber nicht quantitativ gleich stimulierend, und der Weg, wie sie stimuliert werden ist unterschiedlich. Es ist also ein Unterschied, wie der Organismus bei physischen und psychischen Belastungen reagiert.

ad 3) Lokal chemische Reaktionen: Pheriphere Substanzen die vasodilatorisch wirken:
Lokale Gefäßerweiterungen in der arbeitenden Muskulatur durch folgende chemische Substanzen:
→ O2-Partialdruck sinkt
→ CO2-Partialdruck und Wasserstoff-Ionen-Konzentration steigen
→ Intra- und Extrazelluläre Erhöhung der Laktat-Konzentration
→ ATP + Adenosin wirken gefäßerweiternd
→ Kalium vermehrt im Interstitium-Vasodilatation.

Mechanismen: Metabolische Rezeptoren als freie Nervenendigungen zwischen den Muskelfasern.
Wahrscheinlicher: Die vorhin erwähnten Substanzen: Wasserstoff und Kalium gelangen durch Diffusion in die Arteriolen.

9.10 Das Verhalten zentraler Kreislaufgrößen bei körperlicher Arbeit:

- Aktivierung kleiner Muskelgruppe

➔ Blutverschiebung innerhalb der Extremität von der nicht arbeitenden Muskulatur zur arbeitenden Muskelgruppe

Bsp.: Daumen wird bewegt

- Große Muskelgruppe aktiviert

➔ Herzminutenvolumen erhöht, weil Blutverschiebung alleine nicht ausreicht um große Muskelgruppe zu aktivieren

Bsp.: Laufen

Erhöhte Durchblutung einer Muskelgruppe – Herzminutenvolumen erhöht – Herz wirft mehr aus – Peripherie muss dafür sorgen, dass Blut auch entsprechend verteilt wird!

HERZMINUTENVOLUMEN = HERZFREQUENZ x SCHLAGVOLUMEN

Herzfrequenz ist primär ausschlaggebend für Zunahme des Herzminutenvolumens!

Bsp.: Wettkampfsituation – emotionale Erregung – zentrale Mitinnervation – sympathische Erregung über den Kreislauf – alle erhöhen sich

9.11 Zunahme von Herzfrequenz und Schlagvolumen:

Zentrale Regulationsmechanismen:

Zentrale Mitinnervation
+Vorstartreaktion
Nervöse Rückmeldung der arbeitenden Muskulatur

Wenn wir uns belasten, entsteht die Notwendigkeit in der belasteten Muskulatur die Durchleitung zu erhöhen, um sie ausreichend mit Sauerstoff zu versorgen. Dies passiert durch eine Erhöhung des Herzminutenvolumens, das in der Peripherie entsprechend aufgenommen und verteilt wird. Die Gefäßengstellung in benachbarten ruhenden Muskelarealen (kollaterale Vasokonstriktion) kann nur die erhöhte Durchblutung kleiner Muskelgruppen ausgleichen. Zwei Mechanismen ermöglichen die rasche Zunahme von Herzfrequenz und Schlagvolumen zu Arbeitsbeginn: die zentrale Mitinnervation du die nervöse Rückmeldung der arbeitenden Muskulatur.

ZENTRALE MITINNERVATION: Parallel zur Steigerung der Aktivität der motorischen Zentren des Gehirns werden vegetative Kreislaufzentren im Hirnstamm aktiviert. Dies geschieht meist schon vor Beginn der körperlichen Belastung.
VORSTARTREAKTION: die psychische Einstellung auf eine Belastung bewirkt eine gewisse Vorinnervation und Aktivierung der Herz-Kreislaufaktion. Diese Vorstartreaktion wird umso mehr begünstigt, wenn vor einer Belastung aufgewärmt wird.
NERVÖSE RÜCKMELDUNG VON DER ARBEITENDEN MUSKULATUR: Die Rezeptoren in der Skelettmuskulatur melden den momentanen Zustand der lokalen Situation an die Herz-Kreislauf-fördernden Zentren und das Atmungszentrum im Hirnstamm.

Von dort werden ausgelöst:
→Herzfrequenzsteigerung bei Startvorbereitung
→Schlagvolumenzunahme durch Steigerung der Kontraktionskraft der Herzmuskulatur
→periphere Vasokonstriktion im nicht arbeitenden Muskelgebiet und in der Haut, Nieren und Darm (auch Kontraktion der Venen →dadurch vermehrter Rückstrom.)
→Zunahme von Atemfrequenz und Atemzugvolumen.

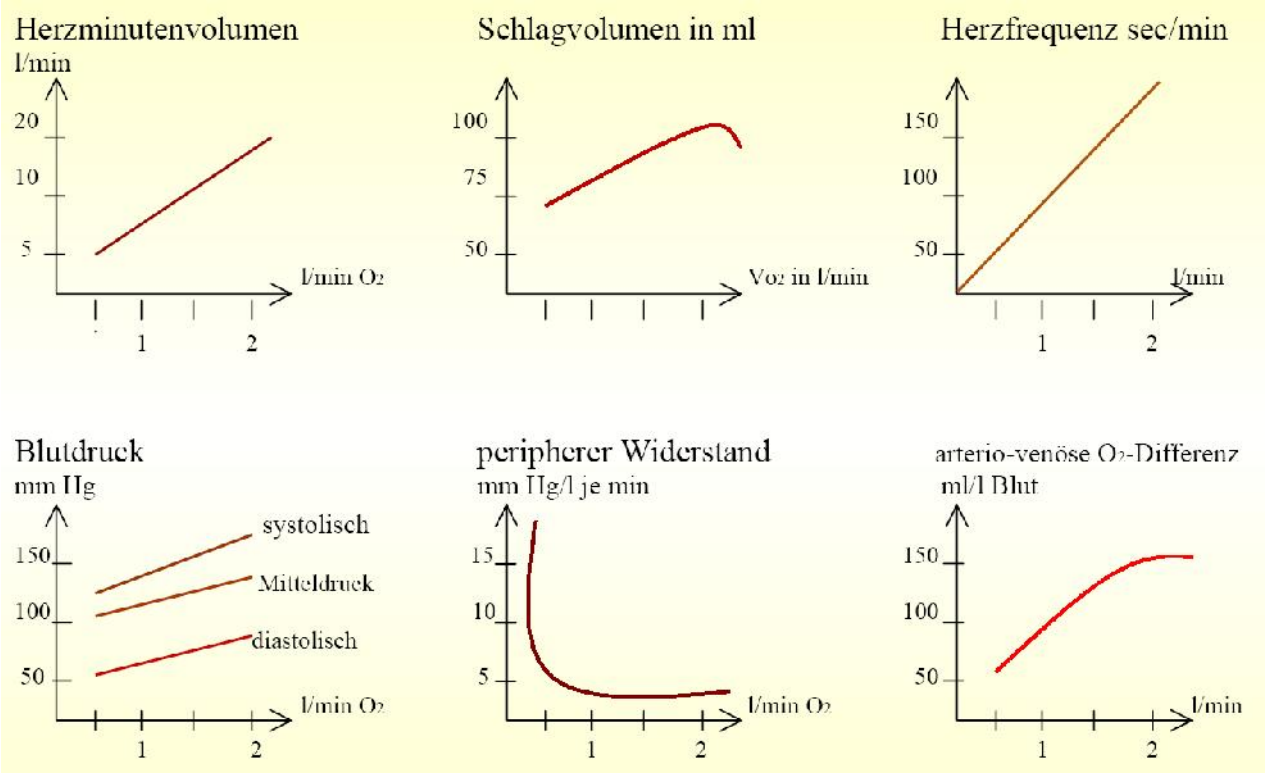
9.12 Eine stärkere Ausschöpfung der menschlichen Ressourcen wird ermöglicht durch:

- die Zunahme der Zahl der durchbluteten Kapillaren,
- die Zunahme des O2-Verbrauchs im Gewebe,
- die Zunahme der Säuerung des Blutes in den Kapillaren,
- die Zunahme der Bluttemperatur in der arbeitenden Muskulatur.

Durch die vermehrte O2-Ausschöpfung vergrößert sich die Differenz zwischen arteriellem und venösen O2-Gehalt (in Ruhe ca. 50 ml O2/l Blut; bei Arbeit ca. 120 ml O2/l Blut).

Wie stehen die Größen im Bezug auf den O2-Verbrauch miteinander in Beziehung?
- Das Schlagvolumen nimmt am Anfang sehr stark zu → dann bleibt es annähernd gleich oder nimmt sogar leicht ab.
- Die Herzfrequenz steigt linear an.
- Das Herzminutenvolumen zeigt einen linearen Anstieg.

Wenn das Schlagvolumen und die Herzfrequenz am Ende wieder abnehmen, so nimmt auch das Herzminuntenvolumen ab.



9.13 Die Kreislaufregulation bei körperlicher Arbeit:

Vor Beginn der körperl. Arbeit:
Vorstartreaktion durch zentrale Mitinnervation
→ Anstieg von Herzfrequenz, Atemfrequenz und Blutdruck

9.13.1 Wirkungen von Ausdauertraining auf das Herz – Kreislauf System:

- Herzfrequenz und Blutdruck sinkt
- Druckanstieg-und Blutauswurfgeschwindigkeit sinkt
- Herzarbeit und myokardialer O2-Verbrauch sinkt

- diastolische Erschlaffungsgeschwindigkeit steigt
- Koronarreserve steigt
- Schlagvolumen steigt
- Schlagvolumen – Herzvolumen – Verhältnis steigt
- aerobe Kapazität, periphere O2-Nutzung steigt

Beginn der körperlichen Arbeit:

Durchblutungszunahme
⇩
Erhöhung des Energiebedarfs
⇩
Erhöhung des Stoffwechsels (aerob, anaerob)
⇩
Häufung von Stoffwechselprodukten (Metaboliten) in der Muskelzelle und im extrazellulären Raum
⇩
Diffusion der Metabolite zu den banchbarten Arteriolen
⇩
Weitstellung der Arteriolen im Gebiet der arbeitenden Muskulatur
⇩
Abnahme des Strömungswiderstandes
⇩
Zunahme der Muskeldurchblutung durch verbesserte Kapillarisierung
⇩
Vergrößerung der Sauerstoffausschöpfung
⇩
nervöse Rückmeldung an die Zentren für Herz-Kreislauf und Atmung im Gehirn über metabolische Rezeptoren.
⇩
Steigerung der Aktivität des Sympathicus
⇩
Anstieg der Herzfrequenz und des Schlagvolumens sowie das arteriellen Mitteldrucks
⇩
Anstieg des Herzminutenvolumens und der Sauerstoffaufnahme
⇩
Erhöhung des Vasokonstriktorentonus führt zur Gefäßengstellung im nicht arbeitenden Gebiet.
Kontraktion der glatten Muskulatur in der Venenwand → Entspeicherung von Blutvolumen → dadurch Erhöhung des Blutrückstroms zum Herzen; unterstützt durch die Tätigkeit der Muskulatur (Muskelpumpe) durch die vertiefte Atmung.

10 Das Blut

10.1 Begriffserläuterungen

Agglutination: Verklumpung (Zusammenkleben) der Erythrozyten.
Anämie: Blutarmut, auf die Erythrozyten, bzw. auf das Hämoglobin bezogen.
Blutmauserung: Ständiges Wechselspiel zwischen Aufbau neuer und Abbau alter Erythrozyten.
Differentialblutbild: Die Leukozyten werden quantitativ und qualitativ ausgezählt. Weiter können bei der Differenzierung die Erythrozyten und die Thrombozyten von der Morphologie her einzeln beurteilt werden.
Erythropoese: Bildung der roten Blutkörperchen, der Erythrozyten.
Hämatokrit: Verhältnis des Erythrozytenvolumens zum Gesamtblutvolumen, im Mittel 44%.
Hämoglobin: An Erythrozyten gebundener eisenhaltiger roter Blutfarbstoff, wichtig für Sauerstofftransport. Normwerte: Mann: 14-18g/100ml, Frau: 12-16g/100ml.
Hämolyse: Zerfall (Auflösung) der Erythrozyten
Hämopoese: Bildung aller Blutbestandteile
Leukämie: Extreme Vermehrung unreifer Leukozyten, im Volksmund Blutkrebs.
Leukopenie: Verminderung der Leukozyten unter 4000 je mm³ Blut, z.B. nach Verabreichung bestimmter Medikamente, nach zu intensiver Röntgenbestrahlung oder auch bei bestimmten Krankeheiten.
Leukozytose: Vermehrung der Leukozyten bei entzündlichen Prozessen, über 9000 je mm³ Blut.
Phagozytose: Fähigkeit von gewissen Zellen (z.B. Leukozyten), Fremdkörper und Bakterien zur Vernichtung „aufzufressen“.
Thrombopenie: Verminderung der Thrombozyten mit Blutungsgefahr.
Thrombozytose: Vermehrung der Thrombozyten mit Gefahr der Thrombosebildung.

10.2 Grundlagen

10.2.1 Blut

Blut ist ein komplex zusammengesetztes „flüssiges Organ“, das im Plasma (Blutflüssigkeit) aufgeschwemmte Zellelemente (Blutkörperchen) enthält und spezifische Aufgaben erfüllt. Das Blut zirkuliert in einem geschlossenen Gefäßsystem, das aus Arterien, Kapillaren und Venen besteht.

10.2.2 Blutmenge

Beträgt ca. 7,6% des Körpergewichtes.
Bsp.: Ein Erwachsener mit 70kg Körpergewicht hat ungefähr 5,6 l Gesamtblutmenge.
Blutmenge von Neugeborenen: 300 – 350 ml.
Blutverluste von 30% sind gefährlich, von 50% letal (tödlich).

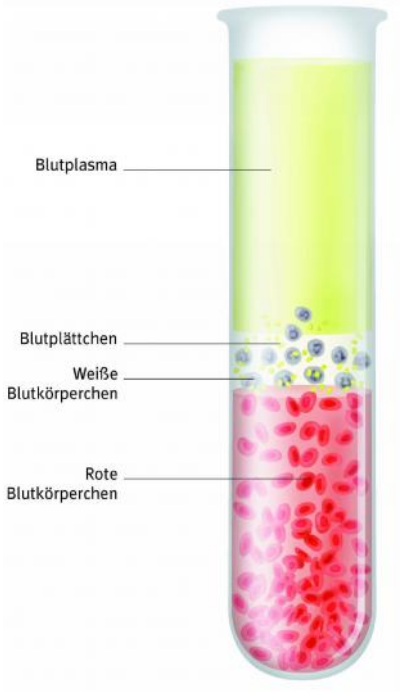
10.3 Eigenschaften des Blutes

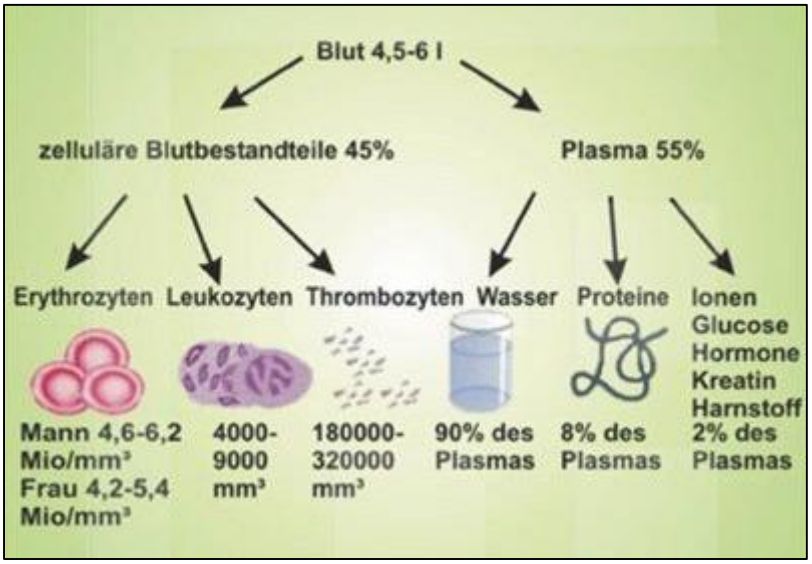
Farbe:	kräftig rot, beruht auf Hämoglobin (= in den Erythrozyten enthaltener Blutfarbstoff) Arterielles Blut: hellrot, sauerstoffreich Venöses Blut: dunkelrot, sauerstoffarm
Spezifisches Gewicht:	1,050 – 1,065; abhängig von der Erythrozytenzahl
PH-Wert:	Blut reagiert schwach alkalisch, mit einem PH-Wert von 7,4. Der PH-Wert schwankt physiologisch zwischen 7,35 – 7,45.
Viskosität	4-5 mal so groß wie Wasser

10.4 Blutbildung (Hämatopoese)

Die Blutkörperchen Erythrozyten (rote Blutkörperchen), Thrombozyten (Blutplättchen) und die Gruppe der Leukozyten (weiße Blutkörperchen), werden im roten Knochenmark gebildet. Sie entstehen aus Abschnürungen der dort gebildeten pluripotenten („alleskönnenden“) Knochenmarksriesenzellen (Megakaryozyten). Die Lymphozyten werden außer im roten Knochenmark auch im Lymphsystem (Lymphkonten, Thymus und Milz) gebildet. Die Monozyten stammen ebenfalls aus dem roten Knochenmark. Gelangen sie in das Bindegewebe, werden sie dort zu den Histiozyten.

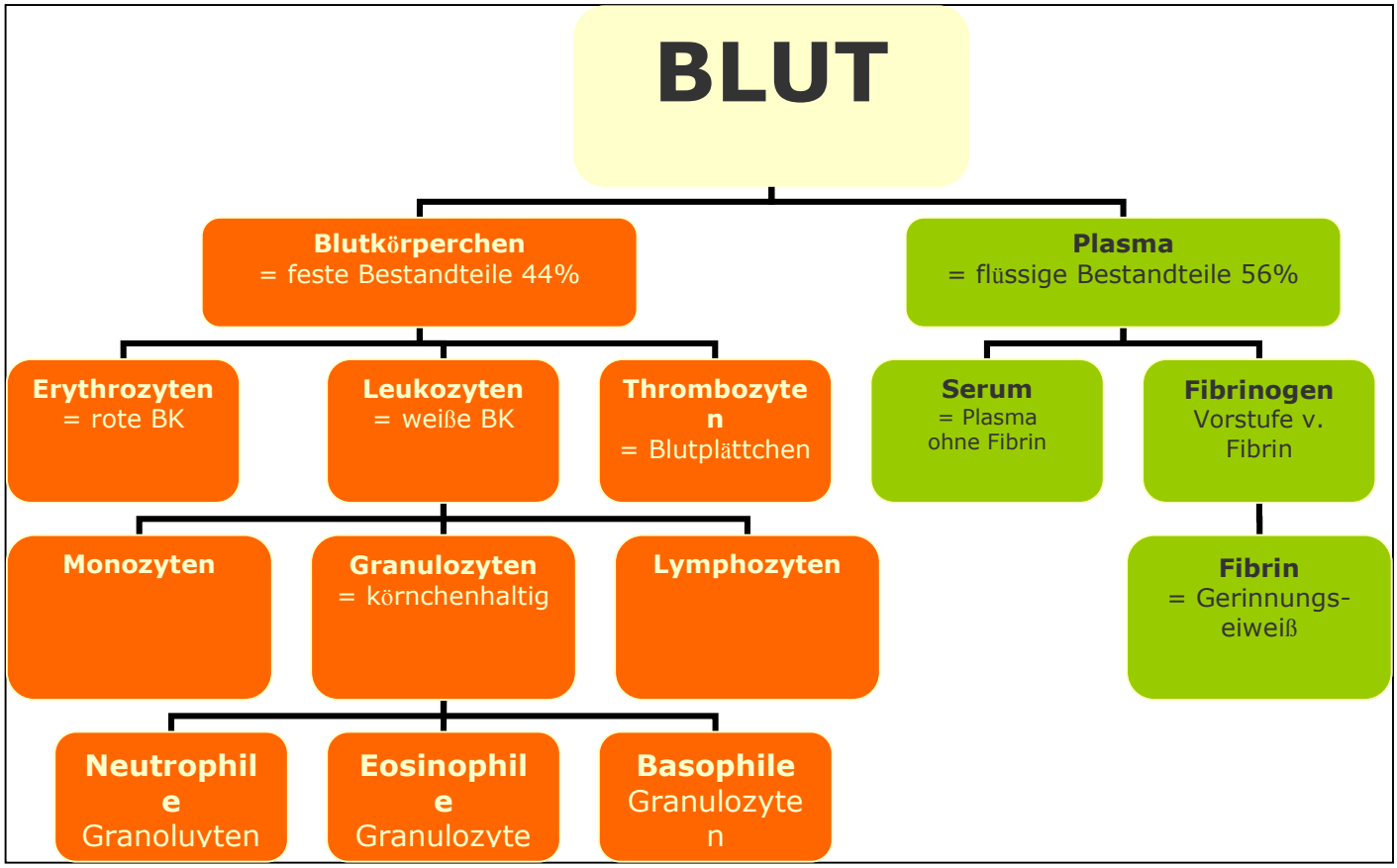
10.5 Zusammensetzung des Blutes





Das Blut ist als Gewebe zu verstehen, dessen Zellen in Flüssigkeit schwimmen. Das Plasma entspricht somit der Interzellularsubstanz. Wir teilen das Blut in feste und flüssige Bestandteile ein:
Blut setzt sich zusammen aus

- festen Bestandteilen (Blutkörperchen, Blutplättchen)
- einem flüssigen Anteil, dem Plasma und den Plasmaeiweißen



In 1l Blut sind beim Mann 0,46 l und bei der Frau 0,41 l Blutkörperchen enthalten. Dieser Wert wird in Prozent (46% bzw. 41%) angegeben und wird als ***Hämatokrit*** bezeichnet.

10.5.1 Die festen Bestandteile

a. Die roten Blutkörperchen (Erythrozyten)

Bildungsort: Rotes Knochenmark
Form: Runde, in der Mitte eingedellte Scheiben
Größe: $7-8\mu m$ $1\mu m = \frac{1}{1000} mm$
Dicke: $2\mu m$
Zusammensetzung:
- 30% Hämoglobin, das aus Eiweiß (95%) und rotem Farbstoff (5%) besteht, welcher das sauerstoffbindende Eisen enthält
- 10% übrige Eiweißbestandteile
- 60% Wasser

Anzahl: 4,5-5 Millionen je mm³ Blut
Lebensdauer: 120 Tage
Abbau: In Milz und Leber

Aufgaben:
- Über das eisenhaltige Hämoglobin wird Sauerstoff von den Lungen zu den Zellen des gesamten Organismus transportiert
- Der Farbstoffanteil gibt dem Blut die rote Farbe.

Besonders: Erythrozyten besitzen nur während der Bildung im roten Knochenmark einen Kern, im peripheren Blutstrom sind sie kernlos.

Sie werden im roten Knochenmark gebildet. Von dort aus schwemmen sie nach der Reifung in den Blutkreislauf. Der Hauptbestandteil der Erythrozyten ist ein rotfarbenes, eisenhaltiges Protein, das Hämoglobin, welches die Fähigkeit besitzt, Sauerstoff zu binden.
Aufgrund ihrer Verformbarkeit können sie den in der Lunge aufgenommenen Sauerstoff in die feinen Haargefäße des Körpers transportieren. Der Sauerstoff wird dort an die Körperzellen abgegeben und somit sauerstoffarmes Blut zur Lunge zurücktransportiert. Da die Erythrozyten weder Zellkern (Nukleus) noch Zellorganellen besitzen, sind sie nicht teilungsfähig.

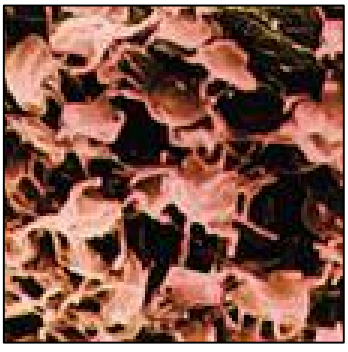
Erythrozyten gehen nach etwa 120 Tagen zugrunde und werden dann in Milz, Leber oder Knochenmark abgebaut. Das Hämoglobin wird in der Leber zu Bilirubin (rotbräunlichem Gallenfarbstoff) abgebaut. Erythrozyten können auch wiederverwertet (z.B. Eisen) oder ausgeschieden werden.
Die Aussonderung und der Abbau gealterter Erythrozyten werden als Blutmauserung bezeichnet.

Die Erythrozytenbildung wird hormonell gesteuert. Bei Sauerstoffmangel wird ein Hormon, das Erythropoetin (EPO), vermehrt in der Niere gebildet. Es stimuliert die Bildung der Erythrozyten im Knochenmark. Nach einer Normalisierung des Sauerstoffangebotes sinkt die Erythropoetinbildung wieder ab. EPO wird wegen seiner Wirkung als Dopingsubstanz verwendet (siehe Blutdoping).

b. Die Blutplättchen (Thrombozyten)

Bildungsort: Rotes Knochenmark
Form: Kernlose scheibenförmige unregelmäßig geformte Zellen
Größe: Durchmesser $2-3{,}5\,\mu m$ Dicke $0{,}5-0{,}75\,\mu m$
Aussehen: Nach Färbung im Labor rötliches Plasma mit dunkelroten Körnchen (Granula)
Anzahl: 200.000-500.000 je mm³ Blut
Lebensdauer: 4-10 Tage
Abbau: In Leber und Milz
Aufgabe: Thrombozyten enthalten ein für die Blutgerinnung wichtiges Enzym, die Thrombokinase. Da Thrombozyten bei geringster Verletzung sehr leicht zerfallen, kann dieses Enzym frei werden und die Blutgerinnung einleiten.
Besonders: Die Zellmembran der Thrombozyten stammt vom endoplasmatischen Retikulum der Megakaryozyten (Knochenmarksriesenzellen)

Die Thrombozyten (Thrombocytus) sind platte, kernlose Zellen mit einem Durchmesser von 1 bis 4 Mikrometern, die im roten Knochenmark gebildet werden. Dort entstehen sie aus Knochenmarksriesenzellen (Megakarozyten) als Zytoplasmaabschnürungen.



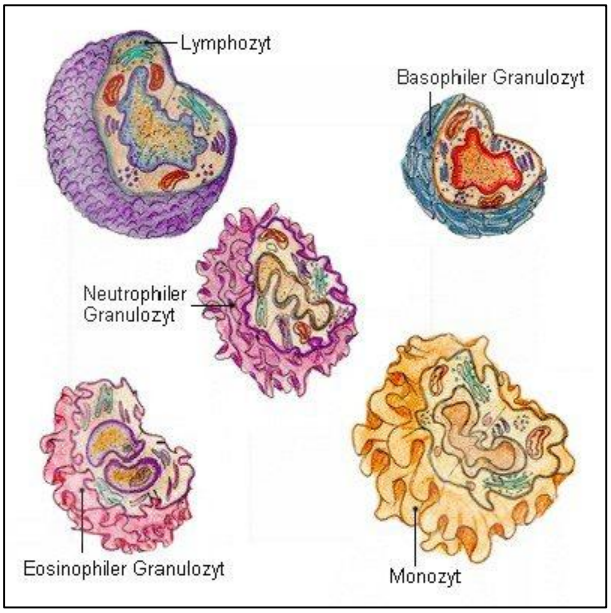
Kommt es infolge einer Verletzung zur Öffnung eines Blutgefäßes, sammeln sich die Thrombozyten an den Gefäßrändern und bilden einen Pfropf, der die Öffnung verschließt (Thrombozytenaggregation).
Handelt es sich um eine größere Verletzung, werden infolge von Lufteinwirkung auf die Zellen Gerinnungsstoffe abgegeben. Diese wandeln im Blutplasma vorkommendes Eiweiß Prothrombin in Thrombin um. Ein zweites Eiweiß, das Fibrinogen, wird mit Hilfe von Thrombin in Fibrin umgewandelt. Dieses Fibrin bildet ein Netz aus dünnen Fäden, in dem sich weitere Thrombozyten und Blutbestandteile verfangen. Durch Zusammenziehen der Fäden wird anschließend die Wunde verschlossen.

c. Die weißen Blutkörperchen (Leukozyten)

Die Leukozyten bilden einen **Teil des** menschlichen **Abwehrsystems** (Immunsystem). Sie haben im Gegensatz zu den roten Blutkörperchen (Erythrozyten) einen Zellkern (Nukleus) und können sich selbstständig fortbewegen, um an die Stellen des Körpers zu gelangen, an denen sie benötigt werden.

Sie sind **sehr beweglich** und können aus der Blutbahn in infiziertes Gewebe einwandern (besonders nach immunologischen Reaktionen = Chemotaxis).
Größtenteils sind sie **im Bindegewebe** zu finden, wo sie ihre Aufgabe, Krankheitserreger oder abgestorbenen Körperzellen zu vernichten, ausführen.

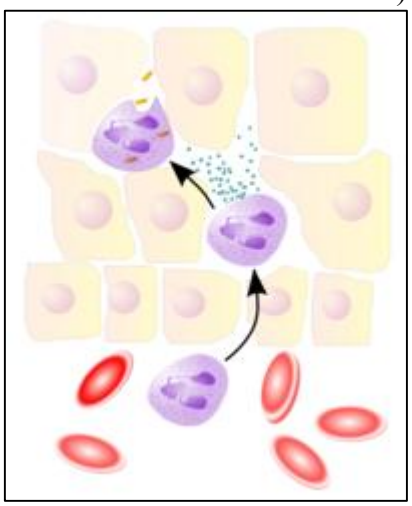
Einteilung:	Monozyten Granulozyten (neutrophil, eosinophil, basophil) Lymphozyten
Bildungsort:	Monozyten und Granulozyten im roten Knochenmark; Lymphozyten im roten Knochenmark und im Lymphsystem
Form:	Kugelform, veränderlich durch amöboide Bewegung
Größe:	Im allgemeinen etwas größer als Erythrozyten
Aussehen:	Im natürlichen Zustand sind die Zellen (wie auch die Thrombozyten) farblos, daher „weiße“ Blutkörperchen. Bei der Besprechung der einzelnen Gruppen wird ihre Farbe angegeben, die sie nach der üblichen Färbung (nach Pappenheim) im Präparat annehmen.
Anzahl:	4.000-8.000 je mm^3 Blut
Lebensdauer:	Je nach Art, Stunden bis Monate, im Blut nur wenige Stunden bis Tage
Abbau:	Leber, Milz und Infektionsherd
Aufgabe:	Hauptsächlich Abwehrfunktion



Die einzelnen Leukozyten

Granulozyten

stellen mit 60% den größten Teil der Leukozyten dar.
Man kann *3 Arten* unterscheiden (alle 3 stammen aus dem Knochenmark):



- neutrophile
- eosinophile
- basophile

Die neutrophilen Granulozyten
Neutrophile Granulozyten werden auch als kleine Fresszellen (Mikrophagen) bezeichnet, da sie Krankheitserreger bzw. feste Substanzen in sich aufnehmen und mit Hilfe von Enzymen in ihrem Zellleib (Zytoplasma) vernichten können. Bei der Ausführung dieses Vorgangs, der als Phagozytose bezeichnet wird, gehen sie selbst zugrunde und bilden den Eiter.

Neutrophiler Granulozyt wandert aus dem Blutgefäß in das Gewebe ein, sezerniert proteolytische Enzyme, um interzelluläre Verbindungen zu lösen (zur Verbesserung seiner Beweglichkeit) und phagozytiert Bakterien. (siehe Abbildung)

Eosinophile (Granulocytus acidophilicus) und **basophile Granulozyten** (Granulocytus basophilicus) sind größtenteils an allergischen Reaktionen im Körper beteiligt oder können Anzeichen für bösartige krankhafte Vorgänge sein.

Die eosinophilen Granulozyten
Sie versuchen allergische Reaktionen einzudämmen, indem sie Substanzen freisetzen, die jene Substanzen inaktivieren, die bei allergischen Reaktionen abgegeben werden => erhöht bei Allergikern

Die basophilen Granulozyten
Sie finden sich in einer sehr kleinen Anzahl im Kreislauf (weniger als 0,2% der Leukozyten) und sind durch intensiv blauviolette Granula charakterisiert.
Sonderform: die Mastzelle (Mastzellen sind bestimmte Zellen der körpereigenen Abwehr, die viele Botenstoffe, unter anderem Histamin und Heparin gespeichert haben.)
Sie kommen in Schleimhäuten und im Bindegewebe vor und spielen eine wichtige Rolle bei Allergien.

Monozyten / Makrophagen
Sie werden als Monozyten im Blut gebildet und wandern nach einer Verweildauer von etwa 2 Tagen vom Blut ins Gewebe, wo sie sich zu Makrophagen differenzieren.

Sie sind keine Endzellen, sondern differenzieren sich je nach Standort zu speziellen Abwehrzellen.

Durch diese funktionelle Adaptierung sind sie imstande einzugreifen, wenn die Abwehr durch die neutrophilen Granulozyten nicht ausreicht.

Die **wichtigste Funktion** der neutrophilen Granulozyten und Monozyten ist die **Phagozytose**
=> Fressen von Bakterien, Viren, Pilzen und anderen schädlichen Substanzen
=> werden auch als Fresszellen bezeichnet
Sie reagieren nicht im Sinne einer spezifischen Abwehr (also nicht exakt auf das sogenannte „Antigen“).
=> Sie sind Zellen der unspezifischen Abwehr

Lymphozyten
Lymphozyten befinden sich nur zu etwa einem Zwanzigstel im Blut. Etwa 70% sind in den Lymphgeweben, 10% im Knochenmark und der Rest in anderen Geweben zu finden.

Sie richten sich spezifisch gegen ein „Antigen“ (man nennt sie daher immunkompetent).
Antigene sind Partikel oder Moleküle, die sogenannte „antigene Determinanten“ enthalten (Bakterien, Viren, Pilze, Krebszellen und andere schädliche Substanzen, wie z.B. körperfremde Proteine).
Sie sind Zellen der spezifischen Abwehr.
Die Lebensdauer von Lymphozyten kann ein paar Stunden bis zu mehreren Jahren betragen. Ihre Aufgabe erfüllen die Lymphozyten auf verschiedene Weise. Sie produzieren Botenstoffe (Zytokine), die andere Immunzellen und auch normale Zellen dazu bringen, potentielle Gefahren, wie Bakterien und Viren, zu bekämpfen. Sie produzieren Antikörper, die diese "Angreifer" als "fremd" markieren, und sie zerstören infizierte Zellen.

Man kann zwei Typen unterscheiden:
- *T-Lymphozyten*
- *B-Lymphozyten*

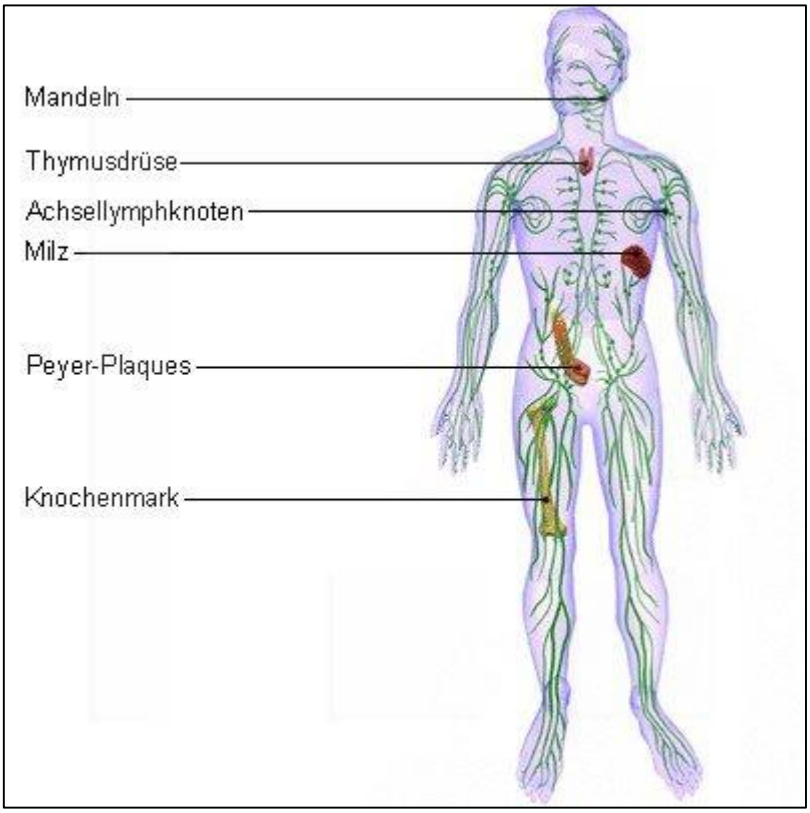
T-Lymphozyten
Die T-Lymphozyten werden als solche bezeichnet, weil sie im Thymus heranreifen.
Sie können Antigene direkt angreifen (zytotoxische T-Lymphozyten).
Diese Form der Immunreaktion nennt man **spezifisch-zellulär**.
Auf diese Weise können sie z.B. in virusinfizierte Zellen eindringen.

Sonderformen:
- *T-Helferzellen:* Die T-Lymphozyten unterstützen die Aufgabe der Fresszellen. Sie heften sich an die Giftstoffe und werden zusammen mit ihnen durch Phagozytose vernichtet.
- *T-Suppressorzellen*
- *„memory-cells":* langlebige T-Lymphozyten, die nach einer Immunreaktion jahrelang im Organismus verbleiben.

In einigen Lymphozyten werden die Merkmale der Giftstoffe gespeichert (Gedächtniszellen), so dass bei einem erneuten Eindringen des Fremdkörpers der gleichen Art schnellst möglichst Antikörper gebildet werden können.
Wenn es zu einem neuerlichen Kontakt mit dem Antigen kommt, folgt eine schnellere Immunantwort als beim ersten Kontakt.
Das Antigen wird eliminiert (Impfung, Kinderkrankheit).

B-Lymphozyten
Sie werden im Knochenmark oder der Milz gebildet.
Sie produzieren Antikörper (Immunglobuline). Antigene enthalten meist mehrere antigen Determinanten.

Organe, die weiße Blutkörperchen bilden



Bei der Immunreaktion differenzieren sich B-Lymphozyten zu Plasmazellen. Diese produzieren Antikörper, die ganz spezifisch gegen diese antigenen Determinanten gerichtet sind.
Sie produzieren ein Antiserum aus einem Gemisch verschiedener Antikörper, die sich spezifisch gegen die jeweilige antigenen Determinanten der zu eliminierenden Struktur richten.
Die Monozyten sind für die Vernichtung von größeren Fremdkörpern durch Phagozytose verantwortlich, daher werden sie auch als große Fresszellen (Makrophagen) bezeichnet. Sie sind außerdem in der Lage, sich an durch Krankheit geschädigten Stellen in neues Gewebe (Granulationsgewebe) umzuwandeln, um damit eine Heilung einzuleiten.

10.5.2 Der flüssige Anteil des Blutes

Das Blutplasma besteht zu 90% aus Wasser.
Im Plasma sind die so genannten Plasmaeiweiße enthalten (65-80g pro l)
Dazu gehören Albumin, Globuline und Fibrinogen

Die Plasmaeiweiße haben vielfältige Funktionen:
In ihrer Gesamtheit tragen sie zum kolloidosmotischen Druck bei und verhindern so eine über das normale Maß hinausgehende Filtration von Flüssigkeit aus der Blutbahn in die Gewebe.

Sinkt der Eiweißgehalt des Blutes, z.B. bei eiweißarmer Ernährung, kommt es zu Wasseransammlungen im Gewebe (sog. Hungerödem)
Fibrinogen ist für die Blutgerinnung verantwortlich.
Wird Fibrinogen aus dem Plasma entfernt >> aus Plasma entsteht Serum.
Unter den anorganischen Bestandteilen des Plasmas haben **Salze** eine wesentliche Bedeutung. Sie bestimmen sie physikalisch-chemischen Eigenschaften des Blutes.
Neben Natriumchlorid, das 75% des Salzgehaltes ausmacht, sind Kalium, Kalzium- und Magnesiumsalze in kleineren Mengen vorhanden.
Als Bikarbonate und Phosphonate halten die Salze den leicht alkalischen pH-Wert des Blutes von 7,4 aufrecht (Pufferwirkung).
Kalium und Kalzium, die nur in geringen Mengen im Blut vorliegen, sind zur Aufrechterhaltung wichtiger Lebensfunktionen, wie der Erregbarkeit von Nerven und der Kontraktion von Muskeln essentiell notwendig.

10.6 Aufgaben des Blutes

Transportfunktion:
Sauerstoff
Kohlendioxid
Elektrolyte
Wasser
Wärme
Hormone
Nährstoffe (Eiweiße, Kohlenhydrate, Fette)

Pufferfunktion:
- Eiweißpuffer (= Hämoglobin, = Ampholyt)
- Karbonatpuffer
- Phosphatpuffer

Der PH-Wert des Blutes beträgt im Mittel 7,4.

Pufferung ist die Widerstandsfähigkeit gegen PH-Wert Änderungen. Für den Organismus ist die Konstanthaltung des Säure-Base-Haushalts (Pufferung) bei diesem pH-Wert besonders wichtig, da Blut-PH-Werte unter 7,0 und über 7,8 mit dem Leben nicht vereinbar sind.

Abwehr Im Blut sind Stoffe enthalten, die der Abwehr von Schädigungen des Organismus z.B. durch Erreger (Immunabwehr) aber auch durch Verletzungen (Gerinnung) dienen.

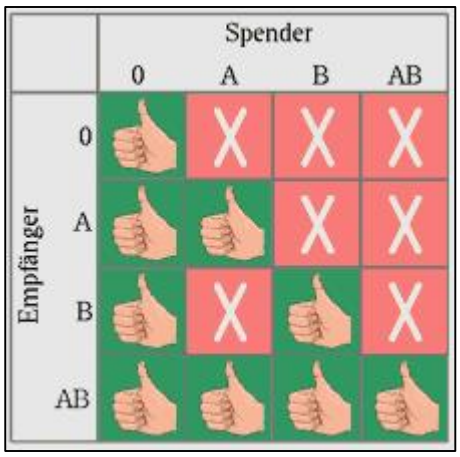
Wärmeregulation Das Blut ist nicht nur in der Lage Stoffe zu transportieren, sonder auch Wärme. Aufgrund seiner großen Wärmespeicherkapazität kommt ihm eine große Bedeutung bei der Aufrechterhaltung der Körpertemperatur zu.

Signalübermittlung Hormone fungieren als Botenstoffe innerhalb des Körpers. Um vom Ort ihrer Bildung zu ihrem Wirkungsort zu gelangen, benutzen sie das Kreislaufsystem.

10.7 Blutgruppen

1901 entdeckte **Karl Landsteiner** die Blutgruppen. Er stellte fest, dass gewisse Menschen auf ihren Erythrozyten eine Eigenschaft haben, die er A nannte. Bei anderen Leuten fand er eine andere Eigenschaft, die er B nannte. Bei einem Teil der Leute fand er auf den Erythrozyten beide Eigenschaften, nämlich A und B und bei den restlichen gar keine. Er bezeichnete die Blutgruppen mit **A**, **B**, **AB** und **0** (Null).

Im Blutserum von Mensch, die die Blutgruppe A, B oder 0 haben, gibt es Eigenschaften, die sich mit anderen Blutgruppen nicht vertragen. Beim Mischen dieser unterschiedlichen Seren kommt es zur Agglutination (Verklumpung). Auf Grund dieser Agglutinierbarkeit kann die Blutgruppe eines Menschen überhaupt bestimmt werden.
Menschen mit der **Blutgruppe A** besitzen in ihrem Blutserum den Faktor Anti-B, welcher sich gegen die Gruppen B und AB richtet. Dies bedeutet, dass Menschen mit der Gruppe A von solchen mit der Gruppe B und AB kein Blut transfundiert bekommen dürfen.
Menschen mit der **Blutgruppe B** besitzen in ihrem Blutserum den Faktor Anti-A, welcher sich gegen die Gruppen A und AB richtet. Dies bedeutet, dass Menschen mit der Gruppe B von solchen mit der Gruppe A und AB kein Blut transfundiert bekommen dürfen.
Menschen mit der **Blutgruppe 0** besitzen in ihrem Blutserum die Faktoren Anti-A und Anti-B, welche sich gegen die Gruppen A, B und AB richten. Dies bedeutet, dass Menschen mit der Gruppe 0 nur von der eigenen Gruppe Blut transfundiert bekommen dürfen.
Menschen mit der **Blutgruppe AB** besitzen in ihrem Blutserum keine Anti-Faktoren, da sich die Anti-Faktoren gegen die eigene Blutgruppe richten würden. Dies bedeutet, dass Menschen mit der Gruppe AB im Notfall von allen anderen Gruppen Blut transfundiert bekommen dürfen.
Bei Bluttransfusionen muss darauf geachtet werden, dass der Spender dieselbe Blutgruppe und Rhesusfaktor besitzt wie der Empfänger.
Um eine Agglutination im Körper zu verhindern, wird vor der Transfusion außerhalb des Körpers, Blut des Spenders mit Blut des Empfängers zusammengebracht.



Nur in äußersten Notfällen wird Blut einer anderen Gruppe transfundiert. Dies muss dann nach dem Spenderschema (siehe Abbildung) geschehen.
Es kommt bei einer Transfusion nie auf die Anti-Faktoren an, sondern auf die Anti-Faktoren des Empfängers Durch die Verdünnung des transfundierten Blutes ist die Konzentration der Antikörper so gering, dass es weder zur Agglutination noch zur Hämolyse kommt, vorausgesetzt, der Empfänger besitzt keine Ani-Faktoren gegen das Spenderblut.
In Mitteleuropa ist die Blutgruppe A mit 42% am häufigsten, gefolgt von Blutgruppe 0 mit 38%, Blutgruppe B mit 13 % und Blutgruppe AB mit 7%

10.7.1 Rhesus-System

Etwa 85% aller weißhäutigen Menschen haben eine weitere Eigenschaft auf ihren Erythrozyten. Diese Eigenschaft wird Rhesusfaktor genannt, ihre Träger werden als Rhesus-positiv (Rh) bezeichnet. Die übrigen 15% besitzen diese Eigenschaft nicht und werden als Rhesus-negativ (rh) bezeichnet.

Spenderschema Rhesusfaktor

Rh spendet Rh:	Keine Reaktion
Rh spendet rh:	Antikörperbildung; im Wiederholungsfall allergische Reaktion
rh spendet rh:	Keine Reaktion
rh spendet Rh:	Keine Reaktion

<u>Unverträglichkeiten zwischen Mutter und Kind</u>
Ist ein Kind einer rhesus-negativen Mutter vom Vater her rhesus-positiv, bildet die Mutter in der Regel kurz nach der Geburt dieses Kindes Rhesus-Antikörper, dadurch Risse in der Plazenta Erythrozyten des Kindes ins mütterliche Blut übertreten. Bei der Mutter regt dies die

Bildung von Rhesus-Antikörpern an. Dem ersten Kind schaden diese Rhesus-Antikörper deshalb meistens noch nicht. Beim zweiten rhesus-positiven Kind, können sich diese Rhesus-Antikörper schon während der Schwangerschaft gegen das Kind richten. In einem solchen Fall muss unmittelbar nach der Geburt das ganze Blut des Neugeborenen ausgetauscht werden um die Bildung von Antikörpern zu verhindern, werden rhesus-negative Mütter mit Immunglobulin Anti D „geimpft“. Ansonsten kann es zu Blutarmut, Vergrößerung von Leber & Milz, Gelbsucht des Neugeborenen, neurologische Schäden bis zu Tod des Kindes führen.

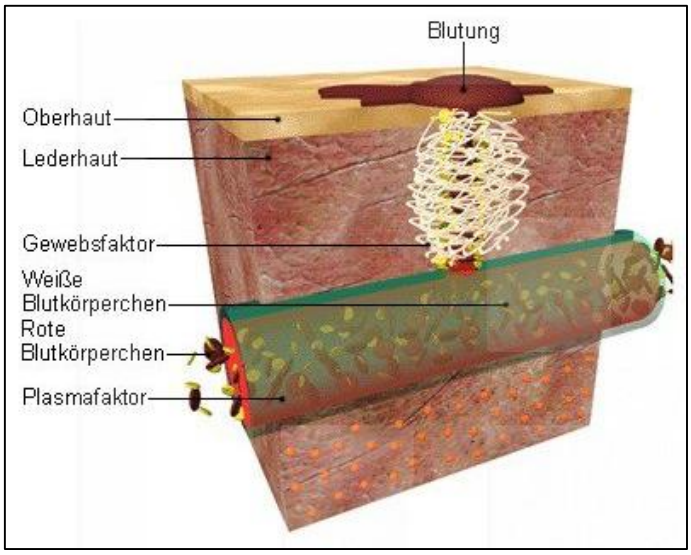
10.7.2 Die Vererbung der Blutgruppen

Blutgruppe Kind	Vererbte Antigen-Merkmale des Vaters	der Mutter	Mögliche Blutgruppe des Vaters	der Mutter
A (reinerbig AA)	**A**	**A**	**A** (AA oder A0) **oder AB**	**A** (AA oder A0) **oder AB**
B (reinerbig BB)	**B**	**B**	**B** (BB oder B0) **oder AB**	**B** (BB oder B0) **oder AB**
0 (reinerbig 00)	**0**	**0**	**A** (A0), **B** (B0) **oder 0** (00)	**A** (A0), **B** (B0) **oder 0** (00)
AB (mischerbig AB)	**A**	**AB**	**A** (AA oder A0) **oder AB**	**B** (BB oder B0) **oder AB**
A (mischerbig A0)	**A**	**0**	**A** (AA oder A0) **oder AB**	**A** (A0), **B** (B0) **oder 0** (00)
B (mischerbig B0)	**B**	**0**	**B** (BB oder B0) **oder AB**	**A** (A0), **B** (B0) **oder 0** (00)
AB (mischerbig AB)	**B**	**A**	**B** (BB oder B0) **oder AB**	**A** (AA oder A0) **oder AB**
A (mischerbig A0)	**0**	**A**	**A** (A0), **B** (B0) **oder 0** (00)	**A** (AA oder A0) **oder AB**
B (mischerbig B0)	**0**	**B**	**A** (A0), **B** (B0) **oder 0** (00)	**B** (BB oder B0) **oder AB**

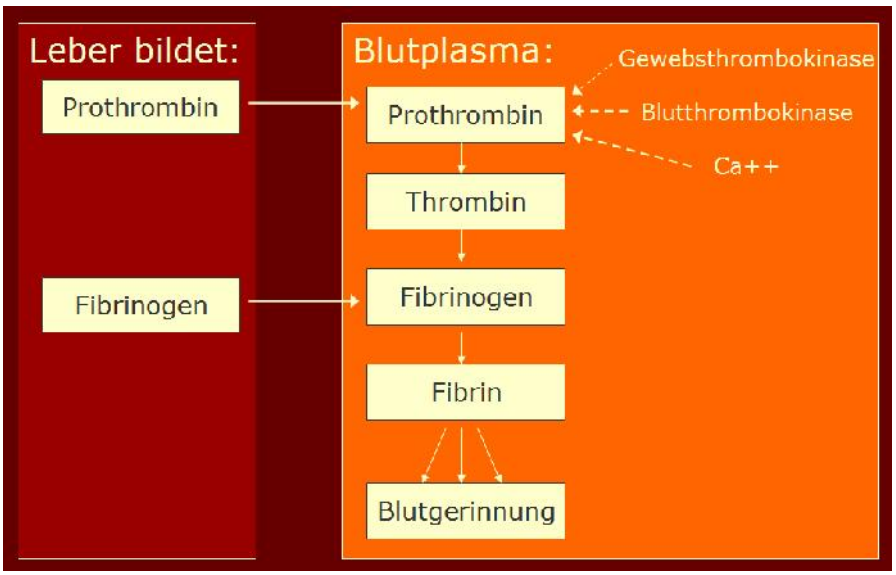
Vererbungsmodus der AB0-Gene:

- A dominiert über 0.
- B dominiert über 0.
- 0 ist rezessiv gegenüber den anderen.
- A ist kombinant mit B.

10.8 Blutstillung und Blutgerinnung



Mit dem Gerinnungssystem hat der Körper eine Schutzeinrichtung, die kleinere Blutungen schnell zum Stillstand bringt. Dieser Vorgang vollzieht sich in verschiedenen Stufen und wird durch Gerinnungsfaktoren gesteuert, die sich im Blutplasma befinden.
Kommt es infolge einer Verletzung zur Öffnung eines Blutgefäßes, sammeln sich die Blutplättchen an den Gefäßrändern und bilden einen Pfropf, der die Öffnung verschließt (Thrombozytenaggregation). Wichtig ist eine ausreichend vorhandene Menge an funktionstüchtigen Thrombozyten. Haben sich diese an der Gefäßwand festgesetzt und aneinander gelegt, bekommen sie eine durchlässige Membran für Stoffe, die ein Zusammenziehen der Gefäße bewirken (Vasokonstriktion). Dieses sind Serotonin, das sich in den Blutplättchen befindet und Adrenalin, ein Hormon des Nebennierenmarks.
In der Regel wird der erste instabile Blutpfropf bald von nachströmendem Blut entfernt, denn erst in der Blutgerinnung entsteht ein stabiler Verschluss der Wunde.
Parallel zu den oben beschriebenen Abläufen setzt die Blutgerinnung ein, in der im Blutplasma vorkommendes Eiweiß Prothrombin in Thrombin umgewandelt wird. Ein zweites Eiweiß, das Fibrinogen, wird mit Hilfe von Thrombin in Fibrin umgewandelt. Dieses Fibrin bildet ein Netz aus dünnen Fäden, in dem sich weitere Thrombozyten und Blutbestandteile verfangen. Durch Zusammenziehen der Fäden wird anschließend die Wunde verschlossen. Insgesamt sind am Blutgerinnungsprozess zahlreiche Einzelreaktionen beteiligt, in denen insgesamt 13 Gerinnungsfaktoren eine Rolle spielen.



Nach Ausbildung eines endgültigen Thrombus zum Wundverschluss muss sich das entstandene Gerinnsel von Fibrin im Laufe der Abheilung wieder auflösen. Dieser Vorgang wird als Fibrinolyse bezeichnet. Er verläuft mit Hilfe eines im Blutplasma befindlichen zunächst inaktiven Enzyms (Plasminogen), das nun durch einen speziellen Aktivator in eine wirksame Form (Plasmin) überführt wird.

10.9 Blutdoping

Beim **Blutdoping** wird dem Sportler eine Blutkonserve mit einem erhöhten Hämatokritwert injiziert. Durch die künstlich erhöhte Konzentration roter Blutzellen (Erythrozyten) kann der Körper mehr Sauerstoff aufnehmen und transportieren. Die Blutkonserve kann entweder Eigenblut (autologe Bluttransfusion) sein oder von einem Spender kommen (homologe Bluttransfusion). Dadurch wird der Sauerstofftransport verbessert und die Leistungsfähigkeit, insbesondere die Ausdauer, gesteigert. Eine Fremdbluttransfusion konnte bisher aber nicht sicher nachgewiesen werden.
Der Körper bildet in höheren Lagen mehr Erythrozyten, damit er den Mangel an Sauerstoff ausgleichen kann. Der Sportler bereitet sich in einem Höhenlager auf einen bevorstehenden Wettbewerb vor. Dort zapft er sich selber an und konserviert das Blut bis zum Wettbewerb. Durch den Blutmangel muss er das Blut im Körper selber aufbauen und kann keine 100-prozentige Leistung in der Vorbereitung abrufen. Blut kann ca. einen Monat lang konserviert werden.

10.9.1 Doping mit EPO

Seit 1983 ist es möglich EPO synthetisch (gentechnologisch) herzustellen.
Eine durch EPO-Einnahme gesteigerte Anzahl an roten Blutzellen verbessert die Sauerstoffaufnahme-Kapazität des Bluts und bewirkt im Endeffekt eine Steigerung der Ausdauer.
Ein ähnliches Dopingmittel ist das Darbepoetin alpha (NESP) (ist dem EPO strukturell sehr ähnlich)
>> führt wie Erythropoetin zu einer Stimulierung der Ery-Synthese im Knochenmark.
Sowohl EPO, als auch NESP können heute nachgewiesen werden.

10.9.2 Autologe Transfusion

Oft wird die Eigenbluttransfusion mit dem Höhentraining kombiniert (Anzahl an Erythrozyten nehmen in der Höhe zu)
>> mehr Erythrozyten >> mehr Sauerstoff >> mehr Ausdauer >> bessere Leistung
>> Man entnimmt vor dem Wettkampf Eigenblut und verabreicht es vor dem Wettkampf (in mindestens 3 Einheiten)
Das Blut wird üblicherweise in einem Kühlschrank (Blutbank +4°C) konserviert. Bei Aufbewahrung in der Blutbank muss das Blut innerhalb von 4-5 Wochen reinfundiert werden, da die Anzahl lebensfähiger Erythrozyten ständig abnimmt.
Bei Anwendung von Glycerin-Gefrierschrank mit -85°C, auch mehrere Jahre Intervall möglich.

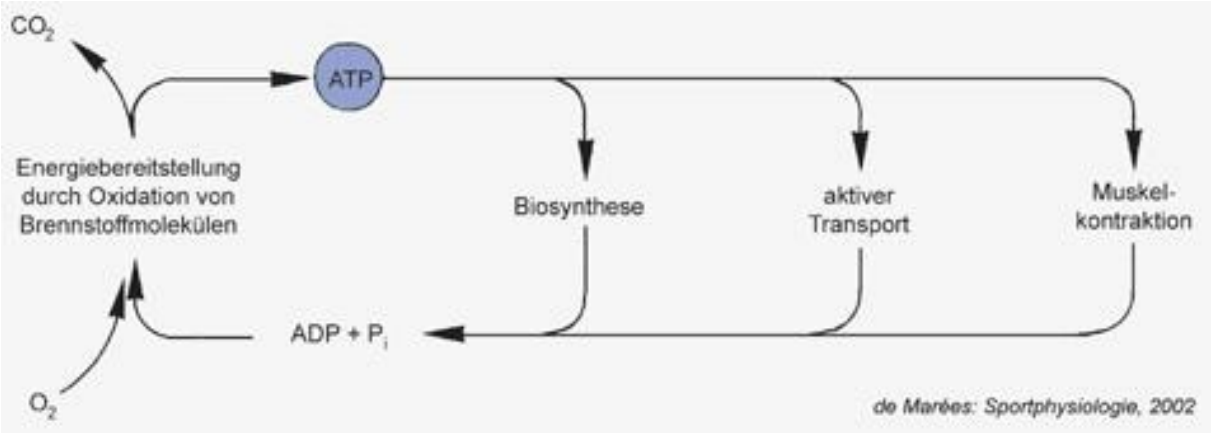
Risiken & Nebenwirkungen
Eine erhöhte Anzahl Erys (erhöhte % an Hämatokrit) kann zur Gefahr einer Thrombose (Verklumpung des Blutes)
>> besonderes Risiko für kardiovaskuläre Zwischenfälle (bis hin zu Kreislaufversagen)

11 Energiebereitstellung

11.1 Allgemein

Die Physiologie der Muskelbewegungen beschäftigt sich mit der Umwandlung von chemisch gebundener Energie in mechanische Energie. Weil auch in einem Automotor chemische Energie in Bewegungsenergie umgewandelt wird, vergleicht man den Muskel gerne mit dem Verbrennungsmotor.

Dazu bedarf es natürlich eines “Treibstoffes“. Dieser heißt ATP (Adenosintriphosphat) und ist ein sog. “energiereiches Phosphat“, welches durch seine Spaltung die Muskelkontraktion (Muskelverkürzung und/oder Muskelspannung) ermöglicht.



Neben der Fortbewegung, wird bei Muskelarbeit auch noch Energie in Form von Wärme erzeugt: Bei körperlicher Aktivität wird uns warm. Interessant dabei, dass nur ein Viertel bis maximal ein Drittel der umgesetzten Energie als mechanische Energie für die Muskelarbeit zur Verfügung gestellt wird und der Großteil des Energieumsatzes in Form von Wärme “verloren“ geht. Betrachtet man den Muskel als Maschine, so ist sein Wirkungsgrad somit relativ gering.

11.2 Energiequellen

Energiereiche Phosphate (ATP, KP)
Kohlenhydrate (anaerob, aerob)
Fette (Fettsäuren)

Wie schon erwähnt, ist in der Muskulatur nur eine sehr kleine Menge ATP gespeichert. Daneben gibt es noch ein zweites "energiereiches Phosphat", das Kreatinphosphat, welches durch Spaltung sofort ATP aus ADP regenerieren kann, aber auch nur in einem kleinen Ausmaß vorhanden ist.
Die eigentlichen Energieträger sind die Nährstoffe Kohlenhydrate und Fette.

Kohlenhydrate sind als Glykogen (Speicherform von Glukose=Traubenzucker) in der Muskulatur und zu einem kleinen Teil auch in der Leber (max. 100 Gramm) gespeichert. In Abhängigkeit von Trainingszustand und Ernährung können bis zu 500 Gramm Glykogen in die Muskelzellen eingelagert werden. Diese Energiequelle ermöglicht intensive Ausdauerbelastungen bis zu etwa eineinhalb Stunden.

Den weitaus größten Energiespeicher stellen die Fette dar, die nicht nur unter der Haut gespeichert sind (Unterhautfettgewebe), sondern auch im Bauchraum um die inneren Organe.

Bei schlanken Menschen beträgt die in den Fettdepots enthaltene Energie - sogar in der Muskulatur selbst ist etwas Fett gespeichert - das 30 - bis 50-fache der in Form von Glykogen gespeicherten Energie (bei dicken Personen entsprechend mehr). Damit sind stundenlange, ja sogar tagelange Ausdauerleistungen (mit allerdings geringerer Intensität) möglich. Auch in Ruhe verbrennen wir in unseren Muskeln so gut wie ausschließlich Fett bzw. Fettsäuren.

In welchem Ausmaß die Energiequellen "angezapft" werden, hängt davon ab, wie schnell, wie viel und wie lange im Muskel Energie bereitgestellt werden soll bzw. kann - mit anderen Worten, wie intensiv und wie lange die körperliche Belastung erfolgt.

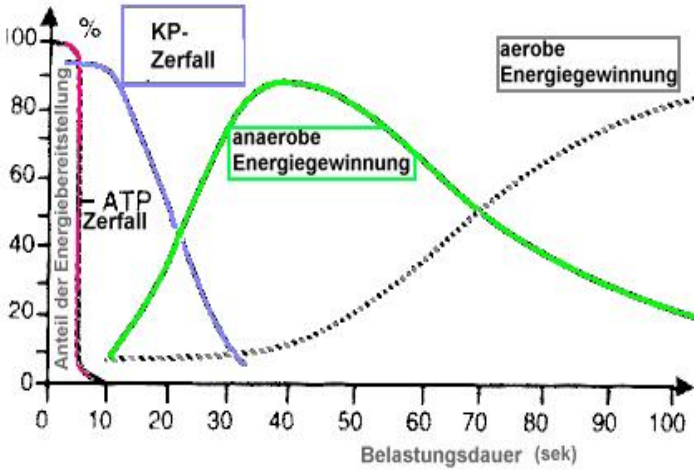
11.3 Energiebereitstellung/Energiestoffwechsel

Der Wiederaufbau (Resynthese) des ATP aus ADP kann auf 3 Wegen erfolgen:

1. Die anaerob-alaktazide Energiebereitstellung
   - Energielieferant: ATP/KP
   - hohe (kurze) Intensität bzw. sehr schnelle Bewegungen
   - Beispiel: 100-m-Sprint, Weitsprung, Anlauf zum Pferd
   - KP-Speicher hält bis max. 10 sec.
   - Ort der anaeroben Energiegewinnung ist das Sakroplasma

2. Die anerob-laktazide Energiebereitstellung:
   - Energielieferant: Glykose (intrazelluläre Speicherform)
   - hohe (relativ lange) Intensität
   - Beispiel: 400-m-Sprint
   - Glykogenspeicher hält bis max. 45 sec.
   - Laktat wird gebildet, Ermüdung und Störung der Koordination
   - 400-m-Sprinter 15-25 mmol Laktat
   - Ort: Sakroplasma

3. Die aerobe Energiebereitstellung
   - Energielieferant: Glykose, Fette (Fettsäuren)
   - geringe Intensität
   - zuerst hauptsächlich Glykose, dann Fette
   - Fettspeicher theoretisch unerschöpflich
   - keine Einschränkung durch Laktat
   - bei extremer Belastung kann auch Eiweiß (Aminosäuren) aufgebaut werden



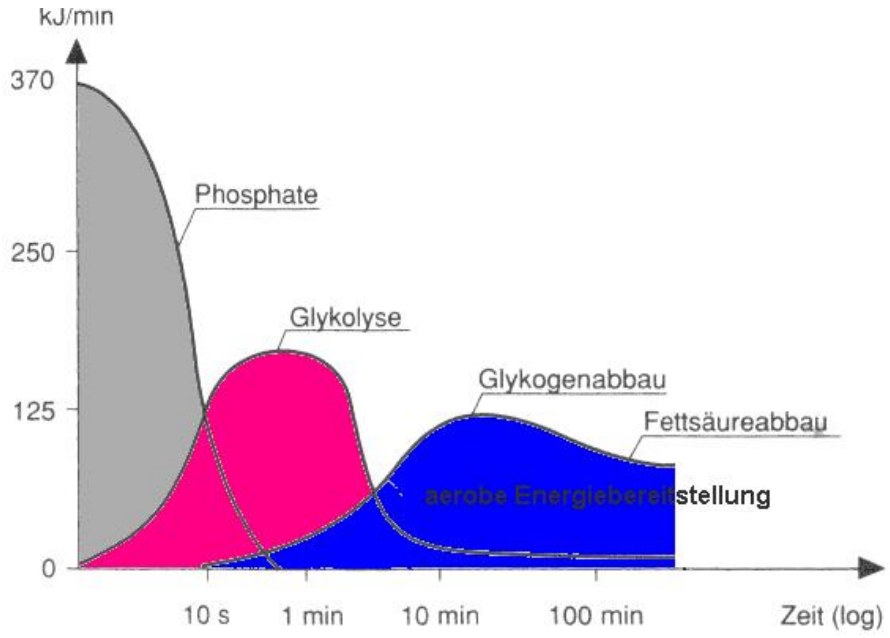
Die anaerobe Energiebereitstellung: Bildung von ATP ohne Verbrauch von Sauerstoff.
Die anaerobe Energiegewinnung erfolgt durch Spaltung der gespeicherten energiereichen Phosphate ATP und Kreatinphosphat
= anaerob - alaktazide Energiebereitstellung
unvollständige Verbrennung von Glukose unter Bildung von Laktat ("Salze der Milchsäure")
= anaerob - laktazide Energiebereitstellung

Die aerobe Energiegewinnung erfolgt durch vollständige Verbrennung (=Oxidation) von a) Kohlenhydraten (genauer: Glukose = Traubenzucker) und b) Fetten (genauer: Fettsäuren) jeweils zu Kohlendioxid und Wasser (CO2 + H2O), wobei die Glukose durch Glykogenabbau (Glykolyse) und die Fettsäuren durch Fettspaltung (Lipolyse) zur Verfügung gestellt werden. Die aerobe Oxidation findet ausschließlich in den Mitochondrien statt. zu diesem Zweck müssen Sauerstoff und Pyruvat in die Mitochondrien transportiert werden. Umgekehrt verlassen das entstandene ATP sowie das gebildete CO_2 und H2O die Mitochondrien wieder.

Somit stehen dem Muskelstoffwechsel 3 bzw. 4 Mechanismen der Energiegewinnung zur Verfügung, die je nach Intensität und Dauer der körperlichen Belastung beansprucht werden. Primär bestimmt das Ausmaß der Belastungsintensität, nicht die Belastungsdauer die entsprechende Energiebereitstellung.

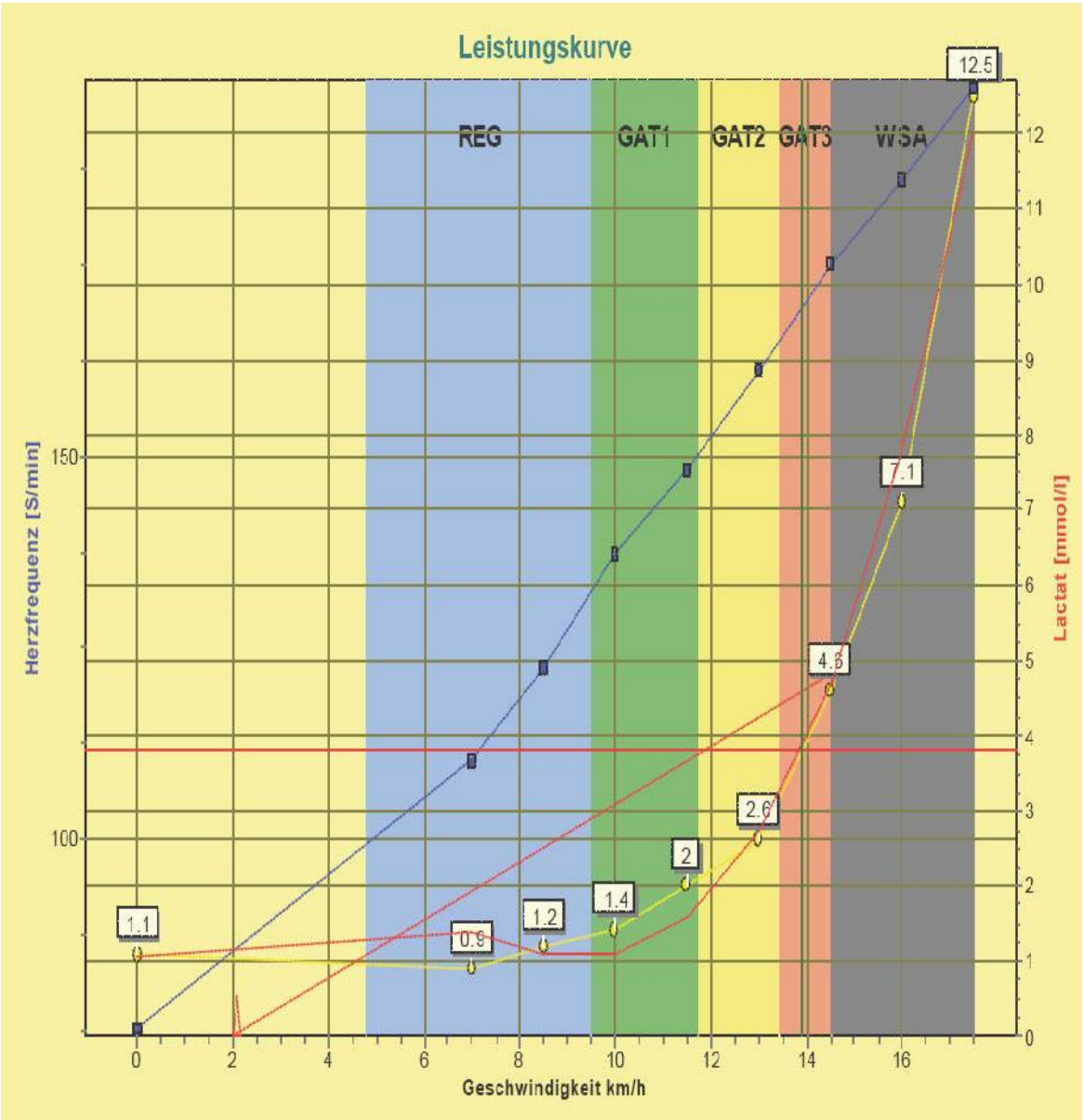
Beispiel Joggen: niedrige Belastungsintensität, das bedeutet aerobe Energiebereitstellung durch vornehmlich Fettverbrennung, egal, ob nur für 5 Minuten oder 2 Stunden. Dies vorweg für alle, die dem weit verbreiteten Irrglauben unterliegen, die Fettverbrennung würde erst nach einer halben Stunde einsetzen!

Es besteht prinzipiell immer ein "Nebeneinander" der einzelnen Mechanismen der Energiebereitstellung mit fließenden Übergängen in Abhängigkeit von der Belastungsintensität und kein "Nacheinander", wie vielfach geglaubt wird.



11.4 Laktatbildung

Früher hätte man gedacht, das Laktat nur dann gebildet wird, wenn nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung steht. Heute weiß man jedoch, dass es bereits in Ruhe zu Laktatwerten von 0,8-1,5 mmol/l im Blut kommen kann. Dass heißt: Laktat wird immer gebildet, aber Laktat wird auch immer abgebaut. Die Elimination erfolgt hauptsächlich in den roten Fasern. Halten sich Sauerstoffverbrennung und Sauerstoffschuld nicht mehr die Waage, kommt es zu einer Übersäuerung des Muskels. Die jeweils aktuelle Laktatkonzentration im Muskel, Blut und in anderen Körperflüssigkeiten ist somit immer das Resultat von Laktatbildung, -diffusion, -transport und –elimination.



Die **aerobe Schwelle** liegt bei ca. 2 mmol Laktat/Liter Blut und entspricht somit einer Belastungsintensität, bei welcher der Laktatspiegel diesen Wert gerade übersteigt.

Mit der Laktatbildung beginnen gleichzeitig auch die Laktatpufferung und die Elimination. Normalerweise sollten sich diese Vorgänge die Waage halten. Ist die Belastung allerdings zu groß, dann verschwindet das Gleichgewicht und die Laktatleistungskurve steigt noch steiler an. **(aerob-anaerobe Übergangsbereich)**

Die **anaerobe Schwelle** liegt etwa bei 4 mmol Laktat/Liter Blut, sie ist jedoch abhängig vom Trainingszustand. Bei Belastungsintensitäten an dieser Schwelle liegt ein maximales Laktatgleichgewicht vor, d.h. Laktatbildung und Laktatabbau stehen gerade noch im Gleichgewicht. Man nennt diesen Zustand auch Steady-state.
Eine höhere Belastungsintensität führt zu einem starken Anstieg des Laktatspiegels. Die Sauerstoffaufnahme reicht nicht mehr aus, den Gesamtenergiebedarf zu decken, es kommt zur schnellen Erschöpfung durch Übersäuerung.

Bereits zu Beginn jeder Belastung entsteht ein Sauerstoffdefizit, weil der Körper mit der nur langsam anlaufenden Sauerstoffaufnahme den plötzlich auftretenden Sauerstoffbedarf nicht decken kann.

Die Laktat-Leistungskurve ist aber auch geeignet, gewisse Auskünfte über die anaerobe Ausdauerleistungsfähigkeit zu geben. So kann im Rahmen einer Ergometrie mit maximaler Ausbelastung eine Abflachung der Laktatleistungskurve oberhalb der anaeroben Schwelle (Dauerleistungsgrenze) bzw. höhere Abbruchlaktatwerte als Verbesserung der **anaeroben Leistungsfähigkeit** gewertet werden. Diese Fähigkeit höhere Belastungsintensitäten trotz zunehmender Übersäuerung des Organismus über einen gewissen Zeitraum aufrecht erhalten zu können, nennt man **Azidosetoleranz (Stehvermögen)**.

11.5 Laktatelimination

Die Laktatelimination erfolgt im Herzmuskel, in der Leber durch Isoenzyme, in der Niere und durch den Schweiß.

Blut: Laktat kommt ins Blut → ins Herz → Herz nimmt Laktat als Brennstoff auf → Verminderung der Laktatkonzentration im Blut.
Leber: wandelt Laktat in Pyruvat zurück und baut Pyruvat zurück in Glykogen. Das geht solange die Leber durchblutet ist.
Niere: selbe Funktion wie Leber aber in geringerem Ausmaß
Haut: Ausscheidung von Laktat (sehr minimal)
Muskulatur: nimmt sich Laktat → Umwandlung in Pyruvat → oxidiert es

Die Durchblutungsgrößen ändern sich mit der Größe der Belastung. Bei einem Dauerlauf mit 10 km/h befindet sich der durchschnittliche Sportstudent im aeroben Bereich bei ca. 40 % der Leistungsfähigkeit. Herz, Leber und Muskulatur sind gut durchblutet → genügend Laktat wird verbrannt.

Bei einem Dauerlauf mit 12–14 km/h braucht man mehr Sauerstoff → andere Zirkulation: die Leber und nicht beteiligte Muskulatur wird zurückgenommen → die Möglichkeit der laktateliminierten Organe wird minimiert und zusätzlich noch mehr Laktat gebildet. → Die Waage zwischen der Bildung und der Elimination des Laktats kann nicht mehr gehalten werden.

11.6 Energieumsatz

Der **Grundumsatz** ist die Energiemenge, die ein Mensch bei Ruhe für die Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Körperfunktionen (Atmung, Herzschlag, Drüsenfunktion) pro Tag benötigt.

Der Grundumsatz ist vor allem abhängig von Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Muskelmasse sowie bestimmten Hormonen. Für einen Erwachsenen beträgt der Grundumsatz im Durchschnitt 1 kcal (Kalorie) pro kg Körpergewicht und Stunde.

Der **Leistungsumsatz** ist die Energiemenge, die unser Körper innerhalb eines Tages benötigt, um Arbeit zu verrichten.

Als Leistungsumsatz wird dabei die Energie bezeichnet, die über den Grundumsatz (Energiebedarf für Organtätigkeiten bei völliger Ruhe) hinausgeht.
Der Leistungsumsatz ist abhängig von körperlicher Aktivität, Wärmeproduktion, Verdauungsarbeit und dem Bedarf für Wachstum, Schwangerschaft und Stillzeit.

Grundumsatz und Leistungsumsatz ergeben zusammen den ***Gesamtumsatz***, d.h. des gesamten Energiebedarf einer Person pro Tag.

Jeder ist in der Lage an diesem Punkt das Gleichgewicht eine bestimmte Zeit zu halten.

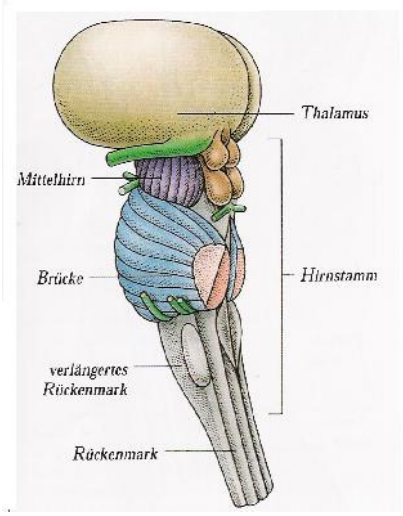
Die Zahlen 2 und 4 stammen von dem starren Konzept. Mann muss sich aber im Klaren darüber sein, dass es individuelle Unterschiede gibt. Bei Ausdauersportlern ist der Kennpunkt bei niedrigeren Laktatwerten (Marathonläufer: 3,2 mmol/l aerobe Schwelle). Bei Sprintern ist der Kennpunkt bei höheren Laktatwerten.

12 Die Sinne

12.1 Informationsverarbeitung

Die Sinnesorgane arbeiten über Nervenbahnen mit dem Nervensystem zusammen. Durch die Sinnesorgane nehmen wir also Eindrücke wahr. Diese nehmen die Reize auf und wandeln sie in elektrische Impulse um, die über die Nervenbahnen ins jeweilige Zentrum des Großhirns geleitet werden.

- Gelangen die Reize ins Rückenmark, dann erfolgt die Antwort als Reflex (z. B. Pupillenreflex,…)
- Gelangen die Reize in den Thalamus des Zwischenhirns, wird dort in einem Filterungsprozess eine Auswahl getroffen. Die Reize werden im Hirnstamm verarbeitet od. gespeichert.
- Werden die Reize als wichtig empfunden, werden sie ans Großhirn weitergeleitet. Hier werden sie als bewusste Empfindungen wahrgenommen. Die Antworten darauf erfolgen willentlich.



12.1.1 Rezeptoren:

= „Fühler“ der Sinnesorgane
Sie gewährleisten, dass die Reizumwandlung stattfinden kann.
Ohne diese Rezeptoren, die man auch als "Fühler" bezeichnen könnte, könnten wir keine Empfindungen aufnehmen. Das Tastkörperchen hat Nervenenden z. B. an den Haarfollikeln. Sobald die Haare nur ganz sanft über einen Gegenstand streifen, registrieren sie die Berührung. Die freien Nervenend
en können Schmerzreize aufnehmen. Sie sind mit 170 pro cm² sehr häufig vertreten.

Mechanorezeptoren → Berührungs-, Druck u. Tastempfindung u. Vibration
Thermorezeptoren → Wärme- u. Kälteempfindung
Photorezeptoren → Sehempfindung
Chemorezeptoren → Riechempfindung, Geschmacksempfindung
Nozizeptoren → Wahrnehmung von Schmerz

12.1.2 Schmerz:

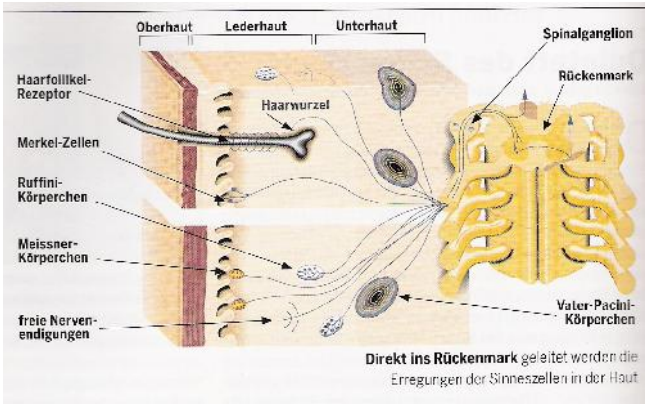
Ist eine unangenehme Empfindung, die durch Reizung feiner Nervenfasern der Haut oder eines Organs, über sensible Nervenfasern ins Hirn geführt und dort wahrgenommen werden. Schmerz ist objektiv schwierig zu messen, da seine Wahrnehmung subjektiv ist. Schmerzen übernehmen eine Schutzfunktion für den Körper.

12.1.3 Sinnesmodalitäten:

Sind Sinnesmodalitäten, die durch bestimmtes Rezeptorsystem vermittelt werden.

- Tasten
- Temperatur- u. Schmerzempfindung
- Sehen
- Hören
- Riechen
- Schmecken

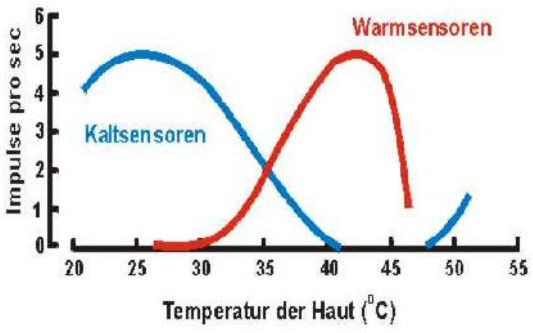
12.2 Haut – Tastsinn



Die Haut ist das größte der klassischen Sinnesorgane. Der Tast- u. Berührungssinn lässt sich nicht unterdrücken und ist selbst im Schlaf aktiv.
Ist bereits in der 7. Schwangerschaftswoche entwickelt. Tasteindrücke bewegen sich mit 40m/sec und brauchen von der Hand zum Gehirn ca. 30 Milisec. Die Sinneszellen sind in Ober-, Leder- und Unterhaut verteilt und kommen in drei Versionen vor.
Der größte Teil dieser Rezeptoren nimmt Reize über freie Nervenendigungen auf, die zwar „frei" im Gewebe zu enden scheinen, aber tatsächlich größtenteils von einer Schutzhülle umgeben sind. Sie führen direkt ins Rückenmark.
Mit den verschiedenen Empfindungskörperchen in der Haut können wir Wärme und Kälte (Thermorezeptoren), Berührung (Tast- u. Druckempfindung), Schmerz (Nozizeptoren) u. Spannung (Mechanorezeptoren) wahrnehmen.

12.2.1 Thermorezeptoren:

Unterteilung in 2 Typen:
<u>Kalt-Rezeptoren</u> treten bei Außentemperaturen von 20 bis etwa 32 Grad Celsius in Funktion,
<u>Warm-Rezeptoren</u> von 32 bis etwa 42 Grad.
Im mittleren Temperaturbereich (zwischen 20 und 40°C) führt eine Abkühlung oder Erwärmung nur vorübergehend zu einer Warm- bzw. Kaltempfindung, danach ist die Empfindung neutral. Dies lässt sich anhand eines warmen Bades leicht überprüfen.



Bei Temperaturen von ca. 45°C (z.B. in zu heißer Badewanne) kommt es zu paradoxen Kälteempfindungen, da es hier nochmals zu einer kurzfristigen Entladung der Kaltsensoren kommt. Sie reagieren dann wie die hitzeempfindlichen **Nozizeptoren**.

Nozizeptoren

Die Schmerzschwelle (Hauttemperatur) liegt bei Kaltrezeptoren bei 16°C und tiefer und bei Warmrezeptoren bei etwa 45°C und höher.
Damit der menschliche Körper Schmerz bemerken kann, verfügt er über ein weit verzweigtes "Meldesystem". Der Schmerzmelder ist ein Fühler, der medizinisch als **Nozizeptor** bezeichnet wird. Der spezialisierte "Schmerzrezeptor", der Nozizeptor, ist das verzweigte Ende einer Nervenfaser, die sich auf Schmerzreize (auch z. B. Hitze- und Druckreize) spezialisiert hat und sie an das Zentrale Nervensystem weiterleitet.

Alle diese Reizmelder sind auf der Haut sehr ungleichmäßig verteil: Während am Rücken der Abstand zwischen den Rezeptoren mehrere Zentimeter beträgt, versammeln sich auf einer Fingerkuppe rund 2000 Sensoren, darunter 80 Merkel-Zellen.

Mechanorezeptoren

- Tast-Rezeptor = Meissner Körperchen
- Druck Rezeptor = Vater-Pacini Körperchen
- Kälte Rezeptor = Krause Körperchen
- Wärme Rezeptor = Ruffini Körperchen

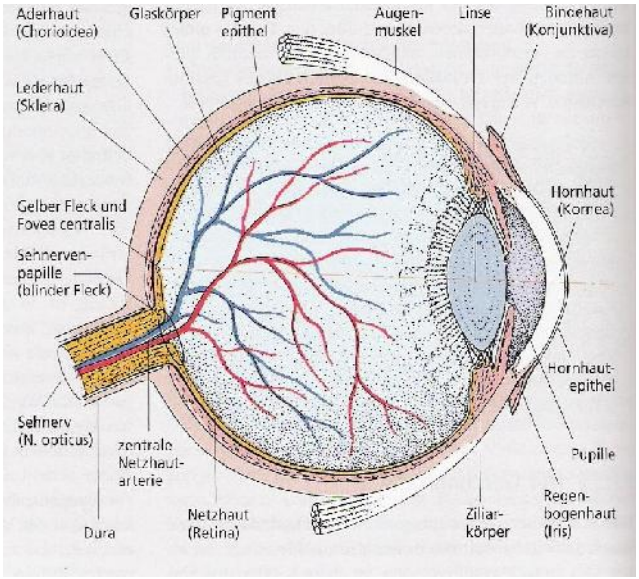
Das **Meissner-Körperchen** reagiert empfindlich auf Berührung. Es ist besonders zahlreich in den Fingerkuppen und in der Zungenspitze. Mit dem Meissner-Körperchen können wir die Oberfläche und die Ausdehnung von Gegenständen wahrnehmen.
Das **Vater-Pacini-Körperchen** reagiert auf Formveränderungen der Haut. Das bedeutet, dass es besonders auf Druck reagiert. Die Vater-Pacini-Körperchen liegen im Übergangsbereich von Lederhaut und Unterhaut.
Das **Krause-Körperchen (Merkel-Zelle)** ist im oberen Bereich der Lederhaut zu finden. Es reagiert auf niedrige Temperaturen und ist deshalb für die Wahrnehmung von Kälte verantwortlich.
Das **Ruffini-Körperchen** reagiert auf Temperaturanstieg. Es hat die Aufgabe, Wärme wahrzunehmen. Normalerweise ist das Ruffini-Körperchen nicht so häufig in der Haut vertreten, wie das Krause-Körperchen. Deshalb empfinden die meisten Menschen Wärme nicht so schnell, wie Kälte. Das Ruffini-Körperchen liegt in der Lederhaut tiefer, als das Krause-Körperchen.

Mechanorezeptor-Arten:

- **langsam adaptierende**: einen Reiz so lange melden, bis er verschwindet z.B. Fuß in heißes Wasser stellen
- **schnell adaptierende:** eine Reiz nur melden, wenn er beginnt, sich ändert oder aufhört z.B. einen spitzen Gegenstand berühren

12.3 Auge – Sehsinn

Der Augapfel ist in der Augenhöhle eingebettet. Die Bewegung des Augapfels erfolgt über 6 Augenmuskeln.
Die Augen registrieren 80 bis 90 % aller Eindrücke aus der Umwelt. Entsprechend groß ist ihr Energiebedarf: Keine andere Zelle des Körpers verbraucht mehr Sauerstoff als jede der etwa 260 Mio. Sehzellen in beiden Netzhäuten.



Der Augapfel besteht aus drei Schichten:

- Hornhaut: ist lichtdurchlässig, gefäßlos und an der Lichtbrechung beteiligt
- Lederhaut: ist undurchsichtig und weiß, gibt dem Augapfel die Form
- Aderhaut: enthält Aderhautgefäße, die die angrenzenden Schichten ernähren

12.3.1 äußere Augenhaut:

Die weiße **Lederhaut** (Sklera) umhüllt den ganzen Augapfel und gibt ihm seine Form. Vorne geht die Lederhaut in die lichtdurchlässige, gefäßlose **Hornhaut** (Kornea) über. Diese weist eine etwas stärkere Wölbung als der übrige Augapfel auf und ist maßgeblich an der Lichtbrechung beteiligt.

12.3.2 mittlere Augenhaut:

Sie wird in ihrem hinteren Abschnitt als **Aderhaut** (Choroidea) bezeichnet. Sie versorgt die Netzhaut mit Nährstoffen.
Im vorderen Bereich geht die Aderhaut in den **Ziliarkörper** über, an dem die Linse aufgehängt ist.
In den gefäßreichen Bindegewebsfortsätzen des Ziliarkörpers wird das **Kammerwasser** gebildet, welches die **vordere und hintere Augenkammer** füllt und für die Ernährung von Hornhaut und Linse sorgt. Der Abfluss des Kammerwassers erfolgt über den **Schlemm-Kanal**.
Weiter vorne liegt die **Regenbogenhaut** (Iris). Diese ist eine kreisrunde Scheibe, die in der Mitte ein Loch, die **Pupille**, aufweist. Sie enthält scherengitterartig angeordnete glatte Muskelfasern, die je nach Lichtverhältnissen die Pupillenweite verändern können. Diese Muskeln werden als **Pupillenverenger** und –**erweiter** bezeichnet; beide

werden vom vegetativen Nervensystem innerviert. So tritt z.B. bei starker Helligkeit, Müdigkeit oder Nahsicht eine Pupillenverengung (**Miosis**) ein; bei Dämmerung, Fernsicht oder Stressreaktionen kommt es hingegen zu einer Erweiterung (**Mydriasis**).

12.3.3innere Augenhaut:

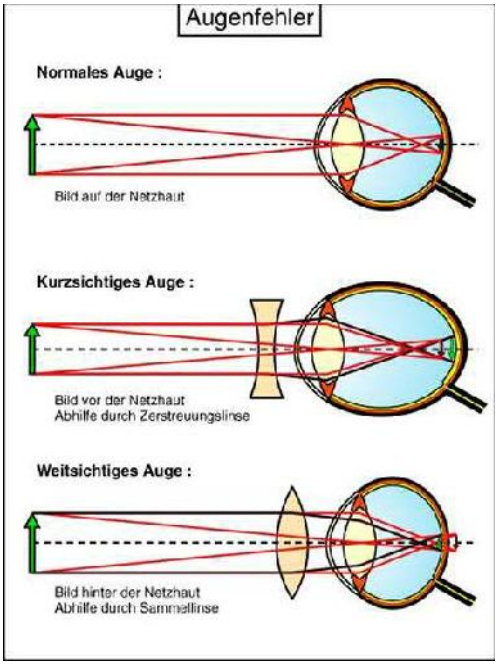
Zur inneren Augenhaut gehören die **Netzhaut** (Retina) mit den bildaufnehmenden **Sinneszellen** und das **Pigmentepithel**.
Die Netzhaut selbst ist aus mehreren Schichten aufgebaut: Ganz außen liegen, als erste Neuronen der Sehbahn, die **Photorezeptorzellen**, die lichtempfindlichen **Stäbchen** und **Zapfen**. Die 7 Mio. Zapfen nehmen Farbunterschiede und genaue Abbildungen wahr; sie sind sozusagen für das Sehen bei Tage zuständig und werden als **gelber Fleck** bezeichnet. Dies ist der Ort des schärfsten Sehens. Die **Stäbchen** erkennen unterschiedliche Helligkeitsstufen und

sind für das Dämmerungssehen geeignet. **Adaption** = Anpassung an Lichtreize unterschiedlicher Intensität – Tag und Nacht.
Nach den Photorezeptoren liegen die **Bipolarzellen**. Die innerste Schicht und das dritte Neuron bilden die **Ganglienzellen**. Ihre *Axone* vereinigen sich im Bereich der Papille zum Sehnerven, der die Sinneseindrücke an die Sehzentren im Gehirn weiterleitet.
An der Stelle, wo der Sehnerv aus dem Auge austritt (**Papille**), gibt es weder Stäbchen noch Zapfen, so dass hier das Sehvermögen völlig fehlt. Diese Stelle wird deshalb als **blinder Fleck** bezeichnet.
Damit die Lichtstrahlen richtig auf die Netzhaut fallen, müssen sie Hornhaut, vordere Augenkammer, Linse und Glaskörper durchdringen. Die Lichtstrahlen werden dabei an der Hornhaut und auf der Linse gebrochen.

Die wichtigste Augenhaut ist die Netzhaut (Retina). In ihr liegen die Sinneszellen (ca. 75-125 Millionen Stäbchenzellen u. ca. 3-6 Millionen Zapfenzellen).
Die Stäbchenzellen sind für die Hell-Dunkel Wahrnehmung zuständig. Sie brauchen nur sehr wenig Licht und sind daher für das Dämmerungssehen zuständig.
Die Zapfenzellen nehmen Farbunterschiede wahr. Hier muss sehr viel Licht vorhanden sein. Sie sind für das Sehen bei Tageslicht verantwortlich.
Die Netzhaut ist von der Pigmentschicht umgeben. Sie enthält Melanin und schützt das Augeninnerer vor störendem Lichteinfall und ernährt die Sinneszellen.
Die Linse ist der wichtigste Teil des lichtbrechenden Apparates. Sie stellt die Sehschärfe der Bilder ein. Wenn der Linsenkern trüb wird spricht man vom Grauen Star (Katarakt).
Die Regenbogenhaut (Iris) schützt vor zu starkem Lichteinfall und ermöglicht bei Dunkelheit einen optimalen Lichteinfall. Ist viel Licht vorhanden, schmälert sich die Regenbogenhaut und die Pupille wird weit.

12.3.4 Störungen der Sehfunktion:

- Weitsichtigkeit
- Kurzsichtigkeit
- Altersweitsichtigkeit



Weitsichtigkeit (Hyperopie): Bei einem zu kurzen Augapfel vereinigen sich die Lichtstrahlen erst hinter und nicht – wie für scharfes Sehen erforderlich – auf der Netzhaut.
Kurzsichtigkeit (Myopie): Meist ist der Augapfel zu lang, so dass sich aus der Ferne parallel einfallende Lichtstrahlen schon vor der Netzhaut vereinigen. Damit können entfernte Gegenstände nicht scharf gesehen werden.
Altersweitsichtigkeit (Presbyopie): Durch die im Alter abnehmende Eigenelastizität der Linse verringert sich die Fähigkeit zur Akkommodation, so das Gegenstände in der Nähe nicht mehr scharf auf der Netzhaut abgebildet werden.

12.3.5 Schutzfunktionen:

Augenbrauen, Augenlieder, Tränendrüse, Tränensack u. Augenmuskeln

Tränenflüssigkeit:

- Spült Fremdkörper aus Auge
- dient als Schmierstoff
- hilft bei Abwehr von Infektionen
- hat Anteil am Stoffwechsel der Hornhaut
- sorgt, dass ein ungehinderter Sauerstofftransport möglich ist

12.4 Ohr – Hör- u. Gleichgewichtsorgan

Die Aufgabe des Hörsinnes ist die Aufnahme von Schallreizen und registriert die Körperlage. Die Sinneszellen des Hörorgans liegen im Corit-Organ. Dieses liegt im Schneckengang, einem schlauchartigen Hohlraum, der von der Knöchernen Schnecke umgeben ist. Dieser spiralig gewundene Knochenraum ist mit Flüssigkeit gefüllt.

Das Ohr gliedert sich in Innenohr, Mittelohr und äußeres Ohr.
Das äußere Ohr besteht aus der Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang.

Das Mittelohr besteht aus dem Trommelfell, dem ovalen und runden Fenster, der eustachischen Röhre und aus den Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel).

Das Innenohr enthält die Sinnesrezeptoren für das Gehör und den Gleichgewichtssinn und liegt in einem komplizierten Hohlraumsystem, dem knöchernen Labyrinth des Felsenbeins (Vorhof, Bogengängen und Schnecke).

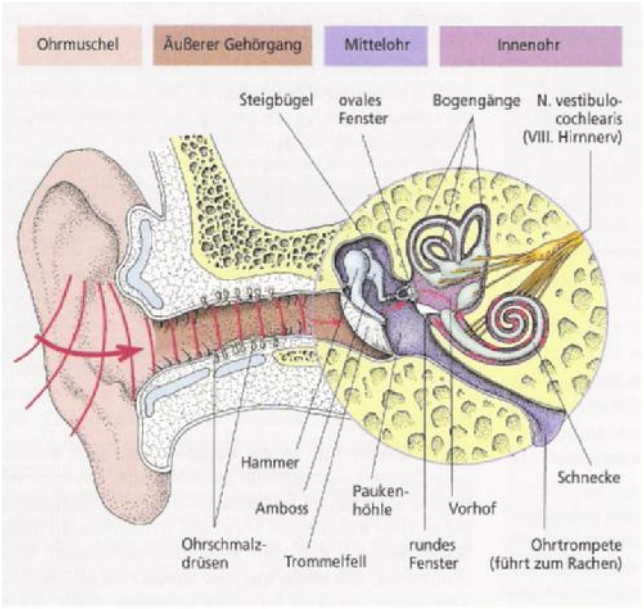


Abb. 12.13: Übersicht über das äußere Ohr, Mittelohr und Innenohr (vergrößert dargestellt). Die

Die Sinneszellen des Gleichgewichtsorgans liegen in den Erweiterungen der drei Bogengänge und in den beiden häutigen Säckchen.

Hörvorgang:

- Schallwellen gelangen durch den Gehörgang aufs Trommelfell.
- Das Trommelfell wird dadurch in Schwingungen versetzt.
- Das Trommelfell überträgt Schwingungen auf den Hammer, dieser auf den Amboss und schließlich gelangen sie auf den Steigbügel.
- Der Steigbügel gibt Druckschwingungen weiter, indem er die Membran des ovalen Fensters in der Schnecke bewegt. Diese ist mit Flüssigkeit gefüllt.
- Die Bewegung der Flüssigkeit versetzt Härchen der Hörzellen in Schwingungen.
- In den Hörzellen werden elektrische Impulse ausgelöst.
- Impulse werden durch Nervenfasern ins Hörzentrum des Großhirns geleitet.

Das menschliche Ohr hört Schall mit einer Frequenz von 16 bis etwas 20.000 Hz. Die obere Hörgrenze sinkt mit zunehmendem Alter bis auf Werte um 5.000 Hz ab. Der Schalldruck, der gerade noch gehört werden kann, die sog. Hörschwelle, ist abhängig von der Frequenz. Am empfindlichsten reagiert unser Ohr auf Frequenzen von 2.000 bis 5.000 Hz. Die Hörschwelle für einen Ton steigt ganz erheblich, wenn gleichzeitig andere Töne erklingen. So können laute Hintergrundgeräusche ein Gespräch maskieren, es nahezu unmöglich machen. Für das Hören spielt neben der Tonhöhe auch die Lautstärke eine wichtige Rolle; unser Ohr ist in der Lage, auf extrem leise, aber auch extrem laute Geräusche zu reagieren. Der Wahrnehmungsbereich ist so umfangreich, dass die Verwendung einer logarithmischen Skala sinnvoll ist. Zur Messung der Lautstärke hat man sich auf die Einheit Dezibel geeinigt; da es sich um eine logarithmische Skala handelt, bedeutet eine Verdoppelung der Schallintensität eine Steigerung um drei Dezibel. Ein Geräusch von 93 Dezibel ist damit doppelt so laut wie ein Geräusch von 90 Dezibel.

12.4.1 Im Inneren des Ohres:

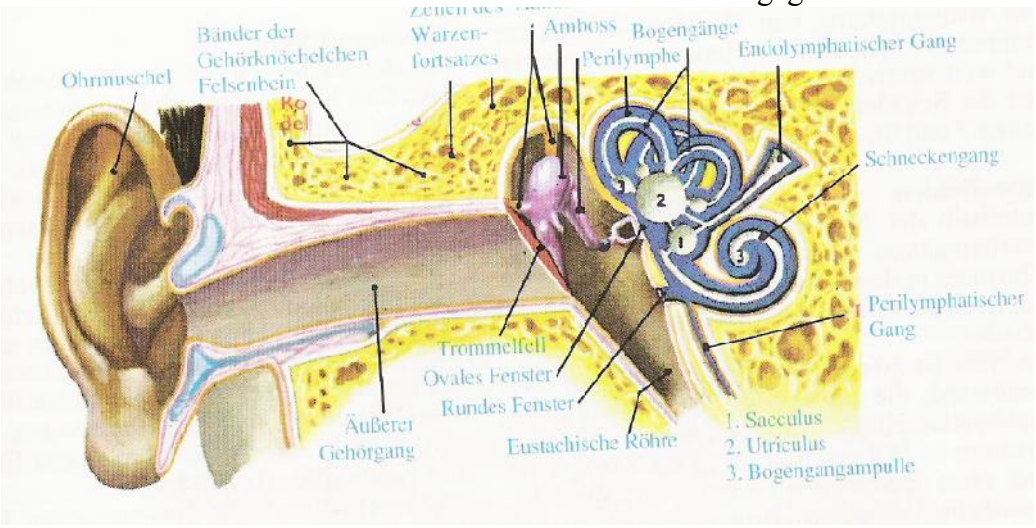
Das Ohr besteht aus drei gut voneinander abgrenzbaren Bereichen: das Außenohr, das Mittelohr und das Innenohr. Jeder Abschnitt hat ganz spezifische Aufgaben.
Das Außenohr besteht aus der Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang. Es dient der Sammlung und Konzentration der Schallwellen sowie der Ortung der Schallquelle. Ohrmuschel und Gehörgang bilden ein aufeinander abgestimmtes System, das im Optimum unserer Hörempfindlichkeit arbeitet. Die Luft in der konsischen Öffnung der Ohrmuschel zum Gehörgang gerät bei 5.000 Hz, die des Gehörgangs bei etwas 2.500 Hz in Schwingung, so dass Schallwellen mit dieser Frequenz hier verstärkt werden.

12.4.2 Im Inneren des Innenohrs:

Außen- und Mittelohr wandeln Druckwellen in mechanische Schwingungen um; ihre Umsetzung in elektrische Nervenimpulse findet im hochkomplizierten Innenohr statt. Dieses Labyrinth besteht aus einem schneckenförmigen Gang im Felsenbereich, in den ein mit sog. Endolymphe gefüllter Schlauch (Schneckengang) eingelagert ist.
Der Schneckengang ist beiderseits von zwei weiteren Flüssigkeitsräumen begleitet – der Vorhoftreppe und der Paukentreppe. Beide Gänge sind mit sog. Perilymphe gefüllt und gehen an der Schneckenspitze ineinander über. Die Paukentreppe beginnt am ovalen Fenster und die Vorhoftreppe endet wieder an der Wand der Paukenhöhle, an der Membran des runden Fensters.
Zum Innenohr zählt auch das in Nähe der Hörschnecke im Felsenbein befindliche Gleichgewichtsorgan, das aus den drei senkrecht zueinander angeordneten Bogengängen, der in ihren Schläuchen enthaltenen Endolymphe und Sinneszellen besteht. Dieses Sinnesorgan hat die Aufgabe, Bewegungen und Beschleunigungen zu messen.

Eustachio – Röhre

Dieser Gang verbindet das Mittelohr mit dem oberen Halsbereich; hier werden Druckunterschiede auf beiden Seiten des Trommelfells ausgeglichen.



12.5 Nase – Riechorgan

Die Sinneszellen des Riechorgans liegen in einem ca. 2 mm² großen Schleimhautfeld oberhalb der Nasenmuschel.
Die Wahrnehmung von Gerüchen erfolgt im Inneren der Nasenhöhle, jenem zweigeteilten und weit verzweigten System von Aushöhlungen der Schädel- und Gesichtsknochen.

Riechvorgang:

- Duftstoff gelangt durch Einatmung auf die Schleimhaut der obersten Nasenmuschel.
- Sinneshärchen werden dadurch erregt und geben den Reiz an die Sinneszellen (Chemorezeptoren) weiter.
- Die Sinneszellen wandeln den Reiz in elektrische Impulse um.
- Die Impulse werden über die ableitenden Nervenfasern durch die Siebbeinplatte in den Riechkolben des Hirns geleitet.
- Meldung des Duftreizes im Riechzentrum des Großhirns. Die Wahrnehmung des Duftes erfolgt jetzt.
- Sekret der Spüldrüsen führt die gelösten Duftstoffe ab, damit neue Duftstoffe aufgenommen werden können.

Unterscheidung von mehr als 10.000 Gerüchen. Wir haben mehr als 20 Millionen Riechzellen im Riecheptil. Die Erneuerung passiert alle 1 bis 3 Monate.

12.5.1 Nasenhöhlen:

- senkrechte Trennwand
- Trennwand ist knorpelig und knöchern
- für Schutz sorgen elastische, biegsame Knorpel
- Härchen verhindern das Eindringen von Fremdkörpern
- bewusste Wahrnehmung von Gerüchen

12.5.2 Nasenmuscheln:

An den Seitenwänden der Nasenhöhle finden sich drei Erhebungen oder Nasenmuscheln, die durch drei Furchen, die Nasengänge, getrennt sind. Die Schleimhaut der Nasenhöhle ist in zwei Regionen unterteilt. Der die untere und mittlere Nasenmuschel bedeckende Teil der Nasenschleimhaut ist rötlich, von zahlreichen Gefäßen durchzogen und hat die Aufgabe, die Atemluft vor dem Erreichen des Kehlkopfes vorzuwärmen.

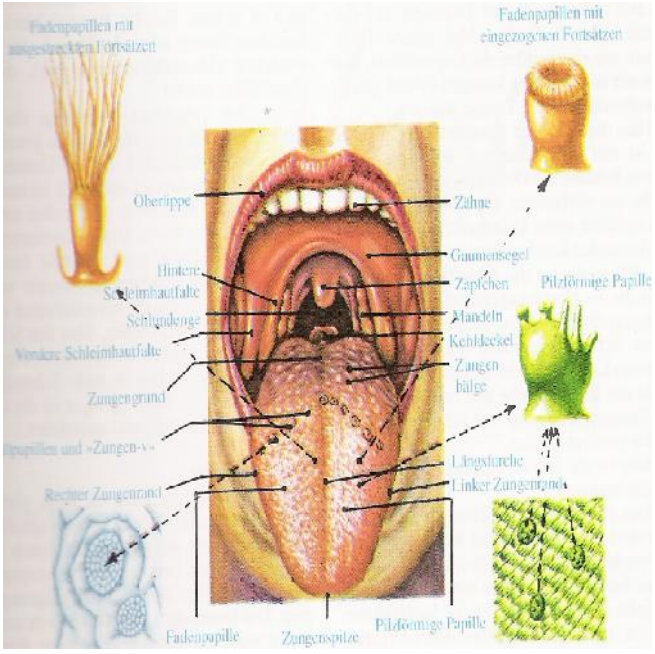
12.5.3 Riechfelder:

Seine Rezeptoren sind **Chemorezeptoren**, die in den Riechfeldern in beiden Nasengängen im oberen Bereich der Nasenscheidewand und an der oberen Nasenmuschel liegen. Die Riechfelder bestehen aus drei verschiedenen Zellarten: **Stützzellen, Basalzellen** und **Riechzellen.**
Die Stützzellen machen den Hauptteil der Zellen aus. Sie werden von den Basalzellen gebildet.
Die Riechzellen haben zwei Engungen. An dem einen Ende befinden sich jeweils 6 –8 feine Riechhärchen, die mit den Geruchsstoffen in der vorbeiströmenden Einatmungsluft reagieren. Am anderen Ende ziehen ihre Axone durch die Löcher der Siebbeinplatte zum Riechkolben.

12.6 Mund – Geschmacksorgan

Unter dem Geschmacksinn (auch Gustatorik, Schmecken oder gustatorischen Wahrnehmung) versteht man die chemischen Sinnesreize, durch die ein großer Teil des Sinneseindrucks Geschmack vermittelt wird.
Die Geschmacksknospen liegen verstreut auf der Zunge, meist in den Wänden der Papillen. Die Papillen sind warzenförmige Erhebungen und werden nach ihrer Form in fadenförmige, pilzförmige, warzenförmige und plattförmige Papillen unterteilt.

12.6.1 Papillen:



Im vorderen Teil der Zunge ist an ihrer Oberfläche deutlich eine mit der Spitze nach hinten gerichtete v- förmige Furche zu sehen. Parallel zu diesem sogenannten Zungen – v liegen die warzenförmigen **Wallpapillen**. Für gewöhnlich beträgt die Anzahl dieser Papillen zwischen 9 und 11, sie sind vorwiegend für bittere Geschmacksrichtungen empfänglich.
Die **Blätterpapillen** gruppieren sich in zwei Reihen an jeder Zungenseite und unmittelbar vor den Wallpapillen. Die **Fadenpapillen** sind über den ganzen Zungenrücken verstreut. Ihre Enden bilden kleine Spitzen, die die Grundlage für den Tastsinn der Zunge bilden.
Einen hervorstehenden Kopf auf einem Stiel, ähnlich einem Pilz, zeigen die **Pilzpapillen**. Sie sind rot und relativ leicht zu erkennen

12.6.2 Geschmacksknospen:

Jede Knospe enthält im Schnitt 50 Rezeptorzellen, die aus fünf für das Überleben wichtigen Geschmacksrichtungen spezialisiert sind:

- Der Salzgeschmack reagiert vor allem auf Kochsalz.
- Der Sauergeschmack warnt vor unreifen Früchten und sauer gewordenen Speisen, regt vermutlich aber auch den Appetit an.
- Der Süßgeschmack dient vor allem der Wahrnehmung kohlenhydrathaltiger Nahrung, also des für den Menschen wichtigsten Energielieferanten.
- Der Bittergeschmack wird von giftigen Pflanzen oder Pilzen aktiviert.
- Umamie signalisiert besonders proteinhaltige Nahrungsmittel. Das Wort aus dem japanischen bedeutet etwas „fleischig“ oder „herzhaft“.

Jede dieser Geschmacksrichtungen verliert mit den Jahren an Kraft. Ein Teenager hat z.B.: 9000 Geschmacksknospen und ein alter Mensch hat nur noch rund 4000. Die Nase ist es aber in Wirklichkeit, die entscheidet, ob uns etwas schmeckt oder nicht. Der Gestank von Verfaultem kann bei Menschen sogar Übelkeit hervorrufen, dies ist das Ergebnis eines klassischen Schutzreflexes.

Die Geschmacksknospen dienen der Geschmackswahrnehmung und der chemischen Kontrolle der Nahrung.

<u>Geschmacksvorgang:</u>

- Ein wasserlöslicher Stoff gibt einen Reiz durch die Geschmackspore auf die Sinneszelle, welche diesen Reiz in elektrische Impulse umwandeln.
- Impulse werden über ableitende Nervenfasern dem Zungen- und Rachennerv ins Großhirn geleitet. Hier wird der Geschmack wahrgenommen.
- Aufgrund längst gespeicherter Geschmackserinnerungen kann ein Geschmack erkannt und einer Geschmacksqualität zugeordnet werden.

13 Das Nervensystem

13.1 Überblick

In Gehirn und Körper laufen ständig elektrische und chemische Signale ab. Für diese unaufhörliche Aktivität sind Neuronen, oder Nervenzellen, und ihre weitverzweigten Fasern zuständig. Die Neuronen von Gehirn und Rückenmark bilden zusammen das Zentralnervensystem, das mit dem übrigen Körper durch periphere Nerven in Verbindung steht.

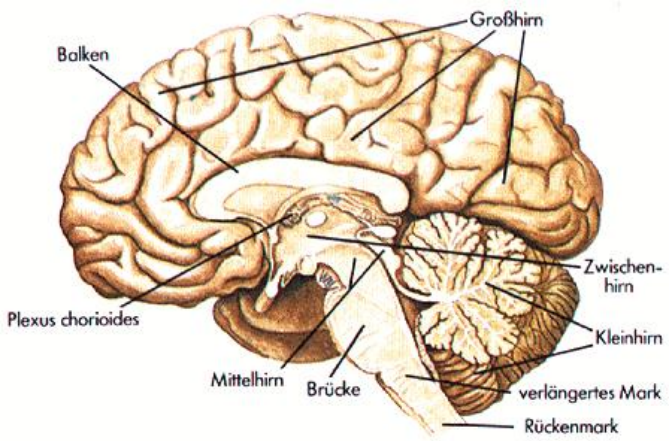
Einteilung des gesamten Nervensystems
Zentrales Nervensystem (ZNS): Gehirn- und Rückenmark
Peripheres Nervensystem (PNS): Hirnnerven, Rückenmarksnerven (Spinalnerven) und periphere Nerven.
Vegetatives oder autonomes Nervensystem (VNS): Sympathikus und Parasympathikus.

Wesentliche Aufgaben des Nervensystems
Das Vegetative Nervensystem steuert in Zusammenarbeit mit dem Hormonsystem alle Funktionsabläufe und Tätigkeiten der Organe
Das ZNS und das sensibel, Periphere Nervensystem sind für die Vermittlung von Sinnesreizen und dem Wahrnehmen von Empfindungen, verantwortlich.
Das motorisch Zentral Nervensystem ist in Verbindung mit dem Peripheren Nervensystem ist, für willkürliche und unwillkürliche Bewegungen der Muskulatur, zuständig.
Das Gehirn dient als Reizverarbeitungssystem und ermöglicht aufgrund organisierender Prozesse das Denken und Lernen sowie das Speichern und Erinnern von Informationen, Wahrnehmungen und Emotionen.

13.2 Das Zentral Nervensystem

Das Gehirn liegt im knöchernen Schädel, zwischen der Schädelbasis und dem Schädeldach und wiegt etwa 1,4 kg. Es überwacht und reguliert zusammen mit dem Rückenmark viele unbewusste Körpervorgänge wie Herzschlag und koordiniert die meisten willkürlichen Bewegungen. Besonders wichtig ist, dass es der Sitz des Bewusstseins und aller intellektuellen Funktionen ist. Das verlängerte Mark tritt durch das Hinterhauptsloch und geht über ins Rückenmark, das im Wirbelkanal liegt.

13.3 Das Gehirn



Das hervorstechendste Merkmal des Großhirns – der größte Teil des Gehirns- ist eine stark zerfurchte Oberfläche mit präzisen Windungen und Furchen, die in jedem normalen menschlichen Gehirn an exakt denselben Stellen liegen, dieselbe Tiefe haben und genau dieselben Verbindungen zu andere Furchen aufweisen. Die Vernetzungskarte dieser Superstruktur, zu der schätzungsweise 10 Billionen Verbindungen gehören – geknüpft zwischen nicht weniger als rund 100 Milliarden Nervenzellen im menschlichen Gehirn - , würde das Internet mühelos in den Schatten stellen.

13.3.1 Einteilung und Zuordnung des Gehirns

Großhirn Aufnehmen von Sinnesempfindungen, Denkvorgängen und Erteilen von Befehlen an die Skelettmuskulatur.

Zwischenhirn Sitz vieler vegetativer Zentren. Hauptverantwortlich für Antrieb und Gefühl (Motivation und Emotion). Steuersystem für viele hormonelle Funktionen und für das vegetative Nervensystem.
Mittelhirn Wichtige Schaltstelle für das optische und akustische System sowie für das extrapyramidale System (Motorische Bahnen)

Kleinhirn Koordination von Körperbewegungen (Feinmotorik) in Zusammenarbeit mit der Extrapyramidalbahn, Stabilisierung des Gleichgewichts.

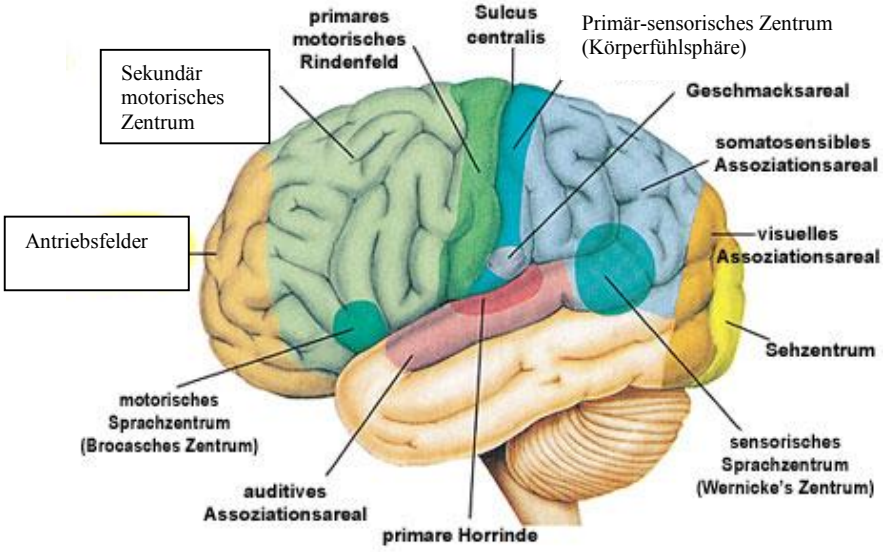
Brücke Verbindung zwischen Groß- und Kleinhirn. Diese Verbindung ist möglich, weil die Fasern der Brücke quer verlaufen.

Verlängertes Mark Sitz wichtiger Zentren wie z.B. Atemzentrum, Kreislaufzentrum Schluckzentrum, Hustenzentrum etc.

13.3.2 Physiologie des Großhirns

Rindenfelder

Das Großhirn nimmt Wahrnehmungen der Sinnesorgane auf und verarbeitet diese. Die Verarbeitung geschieht in bestimmten Rindenfeldern.

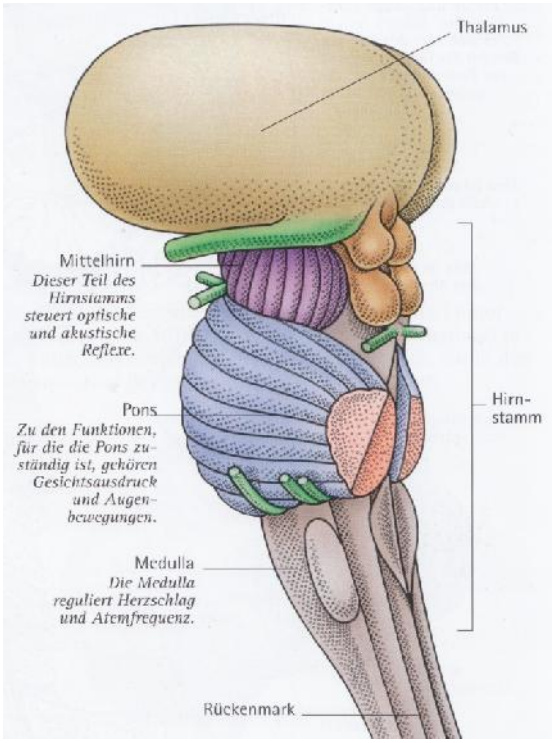


Sensorische Rindenfelder

- Im primär-sensorischen Zentrum werden Hautempfindungen wahrgenommen, die im sekundär-sensorischen Zentrum gespeichert und erinnert werden können.
- Das sekundäre Riechzentrum liegt auf der Innenseite des Schläfenlappens und ist auf dieser Abbildung nicht zu sehen.
- Im primären Hörzentrum werden Töne und Geräusche wahrgenommen, die im sekundären Hörzentrum gespeichert und erinnert werden können.
- Das primäre Sehzentrum liegt auf der Innenseite des Hinterhauptlappens, ebenso ein Teil des sekundären Sehzentrums. Auch hier geht es im primären Zentrum um das Bewusstwerden von etwas Gesehenem, während im sekundären Sehzentrum gespeichert und erinnert werden kann. Entsprechend kann das Gesehene erkannt und verstanden werden.
- Das tertiäre Sehzentrum dient zum Erkennen von Schrift. Wir nennen es deshalb Lesezentrum.
- Das sensorische Sprachzentrum dient zum Sprachenverständnis.
- Das primäre Riechzentrum, stellt eine Verbindung zum limbischen System dar.
- Im primär-motorischen Zentrum werden Bewegungen der gesamten Skelettmuskulatur dirigiert.
- Das sekundär-motorische Zentrum ist für die Koordination der für die Sprache notwendigen Bewegungsabläufe zuständig.
- Die Aufgabe der Antriebszentren ist es, das Verhalten bestimmten Absichten und Plänen unterzuordnen und angeborene Verhaltensweisen zu kontrollieren.

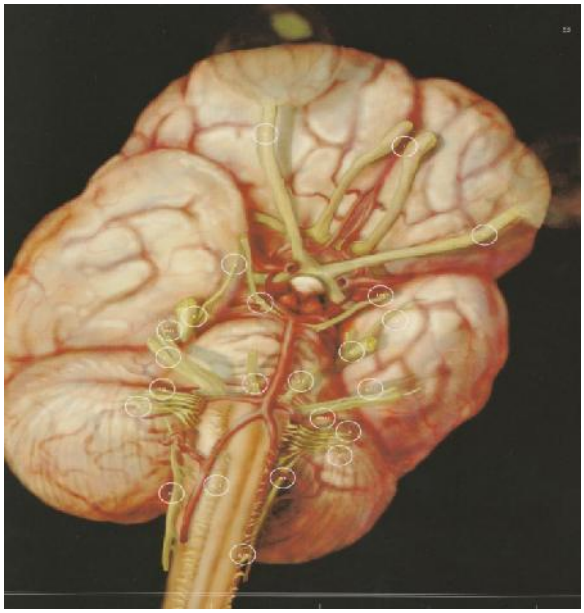
13.3.3 Thalamus

Der Thalamus ist aus grauer Substanz. Er fungiert als Übermittlungs-Station für sensorische Nerven-Signale zwischen Gehirn, Hirnstamm und Rückenmark fungiert. Im Hirnstamm liegen Funktionen wie Herzschlag, Atmung Blutdruck, Verdauung und bestimmte Reflexe, die das Schlucken und Erbrechen steuern.



13.4 Das periphere Nervensystem

13.4.1 Die Gehirnnerven



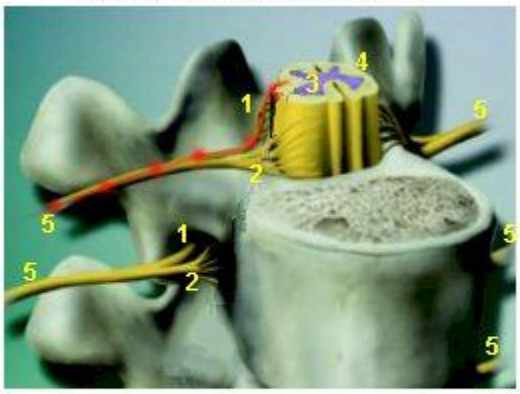
Paarweise gefächert entspringen der Unterseite des Gehirns 12 Hirnnervenstränge. Sie haben überwiegend mit Aktivitäten im Kopf- und Halsbereich zu tun. Jedes Paar koordiniert eine spezifische sensorische und /oder motorische Aktivität und ist am entfernten Ende mit Muskelzellen, Drüsen oder Organen verbunden oder aber mit spezifischen Nervenkonzentrationen, die der Übermittlung und Sammlung von Informationen aus der Außenwelt dienen. Zum Beispiel Geschmacksknospen auf der Zunge und Lichtrezeptoren im Auge.

1. **Riechnerv -**übermittelt Informationen über Gerüche
2. **Sehnerv**- Ein Bündel aus etwa 1 Million Fasern; übermitteln visuelle Signale
3. **Augenmuskelnerven**- Überträger von Reizen für die willkürlichen Bewegungen der Augenmuskeln und Augenlider, Kontrolliert auch die Weitung der Pupille und Linsenanpassungen im Sehvorgang.
4. **Siehe Nerv3**
5. **Drillingsnerv** überträgt sensorische Signale aus Kopf, Gesicht und Zähnen, versorgt motorisch die Kaumuskulatur
6. **Siehe Nerv3**
7. **Gesichtsmuskelnerv**- verzweigt sich in Verbindung zu den Geschmacksknospen, zur Haut des Außenohrs, zu Speichel- und Tränendrüsen; kontrolliert auch die Mimik.
8. **Gehör und Gleichgewichtsnerv**- mit dem Gleichgewichtsorgan im Innenohr verbundene sensorische Nervenfasern, die Klang- mit Gleichgewichtsinformationen verbinden
9. **Zunge-Schlund-Nerv**
10. **Vagus Nerv Hauptnerv** des parasympathischen Systems, verbindet zahlreiche Muskeln, Drüsen und Organe, darunter Herz, Lunge und Magen
11. **Schulter- und Nackenmuskelnerv**- kontrolliert die Muskelbewegungen des Kopfes und bei Tonproduktion im Kehlkopf
12. **Unterzungennerv**- kontrolliert viele mit dem Sprechen verbundene Muskelaktivitäten der Zunge.

13.5 Rückenmark und Spinalnerven

Das Rückenmark sieht aus wie ein dunkler Schmetterling im weißen Mantel.
Das Rückenmark ist ein Teil des zentralen Nervensystems. Es verbindet das Gehirn und die Spinalnerven miteinander. Nachrichten werden mit sehr hoher Geschwindigkeit übermittelt.
Ein Schnittbild des Rückenmarks zeigt eine etwa fingerdicke rundliche Scheibe. Im Inneren befindet sich die graue Substanz, die wie ein Schmetterling geformt ist. Die graue Substanz ist aus eng aneinander liegenden Nervenzellkörpern aufgebaut. Ummantelt ist die graue Substanz von Nervenzellfasern der weißen Substanz.

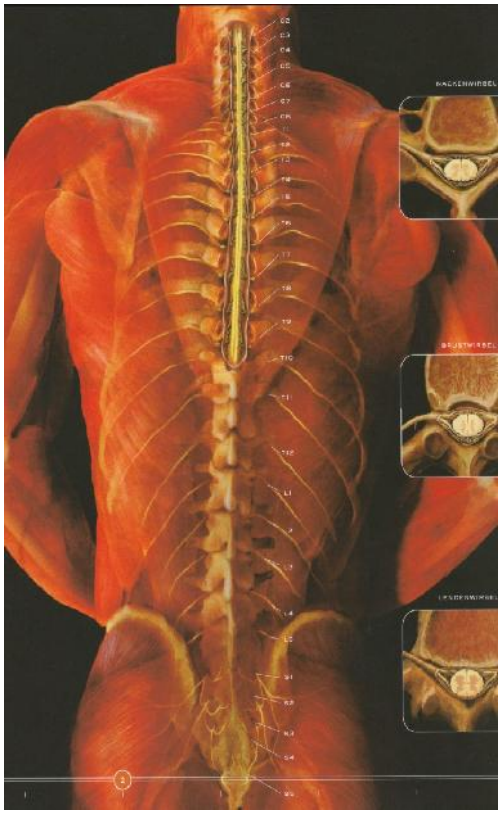
Rückenmark und Spinalnerven



1 hintere Nervenwurzel = sensibles Neuron
2 vordere Nervenwurzel = motorisches Neuron
3 graue Substanz = Nervenzellkörper
4 weiße Substanz = Nervenfasern
5 Spinalnerv

Es gibt 31 Paare von Nervenwurzeln, die jeweils zu einem Rückenmarksegment gehören.

Je nachdem, wie groß ein Mensch ist, kann das Rückenmark etwa 45 Zentimeter lang sein. Es beginnt am verlängerten Mark des Gehirns und verläuft im Wirbelkanal bis zur Höhe des zweiten Lendenwirbels. Dabei verlassen in regelmäßigen Abständen Nervenwurzelpaare rechts und links das Rückenmark. Die hintere Nervenwurzel wird auch als sensibles Neuron bezeichnet. Sie leitet Impulse aus dem Körper zur grauen Substanz des Rückenmarks. Die vordere Nervenwurzel, das motorische Neuron, leitet dann aus dem Rückenmark Impulse an die Muskeln des Körpers.
Wenige Millimeter nachdem die Nervenwurzeln das Rückenmark verlassen haben, vereinigen sie sich zu den Spinalnerven. Die Spinalnerven treten über das Zwischenwirbelloch aus dem Wirbelkanal aus.
Im Pferdeschweif sind Faserbündel aus dem unteren Bereich des Rückenmarks gebündelt. Im Hals- und im Lendenwirbelbereich ist das Rückenmark stark verdickt. An diesen Stellen treten sehr viele Nervenfasern zur Versorgung der Arme und der Beine aus. Obwohl das Rückenmark in Höhe des zweiten Lendenwirbels aufhört, ziehen die Nervenfasern aus den unteren Bereichen des Rückenmarks im Wirbelkanal weiter nach unten. Sie sind zu einem dicken Faserbündel vereinigt, aus dem nach und nach einzelne Nervenfasern über die Zwischenwirbellöcher austreten. Das dicke Faserbündel erinnert im Aussehen an einen Pferdeschweif und wird deshalb lateinisch für Pferdeschweif "Cauda equina" genannt.



13.5.1 Einteilung der Spinalnerven

Der Mensch besitzt 31 Paar **Spinalnerven** (Rückenmarksnerven), die zwischen den einzelnen Wirbeln durch die Zwischenwirbellöcher treten, nämlich (fast) analog zur Rückenmarkseinteilung auf jeder Seite:
8 Halsnerven, (Nervi cervicales)
12 Brustnerven (Nervi thoracales)
5 Lendennerven (Nervi lumbales)
5 Kreuzbeinnerven (Nervi sacrales) und
1 Steißbeinnerv.
Durch diesen gleichmäßigen Aufbau kann der Eindruck einer Segmentierung entstehen, weshalb man auch oft von „**Rückenmarks-Segmenten“** spricht.

13.6 Aufbau des peripheren Nervensystems

Das periphere Nervensystem ist funktional organisiert und an Meridiane angegliedert, die sich kreuz und quer durch den Körper ziehen.
Das periphere Nervensystem besteht aus dem sensorischen, einem motorischen Nervensystem und aus einem Vegetativem System, welches sich wiederum in das Sympathische und das Parasympathische System unterteilen lässt.
Das motorisch sensorische Nervensystem übermittelt Sinnesinformationen und stimuliert die willkürliche Muskulatur.
Das Vegetative System übermittelt Anweisungen an Organe und Drüsen und dient zur Steuerung lebenswichtiger Organfunktionen z.B.: Atmung, Kreislauf, Stoffwechsel und Wasserhaushalt. Sie läuft unbewusst ab und ist durch den Willen kaum beeinflussbar.
Letzteres, das vegetative Nervensystem, ist nochmals in zwei deutlich unterschiedliche Systeme gegliedert, das Sympathische und das Parasympathische System. Die sympathischen Nerven steuern das „Kampf oder Fluchtverhalten“: In Stresssituationen beginnen wir unwillkürlich zu schwitzen, während unser Herz rast. Die parasympathischen Nerven beruhigen den Körper und wir sparen Energie, wenn alles wieder in Ordnung ist.

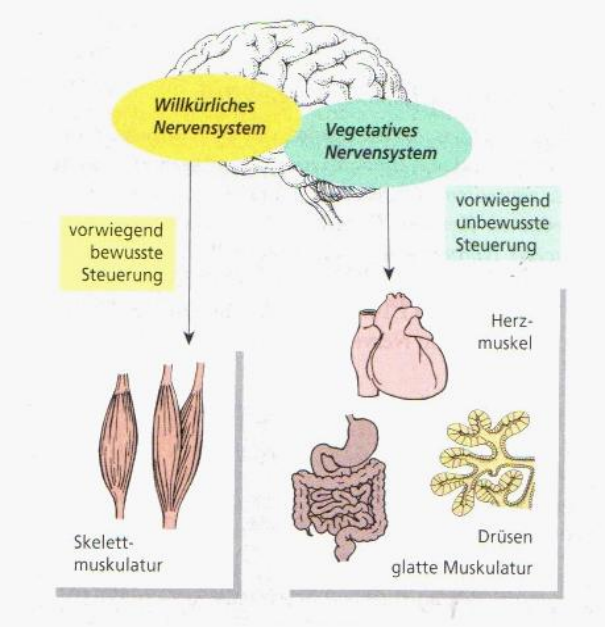


Abb. 10.3: Willkürliches und vegetatives Nervensystem im Vergleich. Während über das willkürliche Nervensystem die Skelettmuskulatur gesteuert wird, beeinflusst das vegetative Nervensystem Herzmuskel, glatte Muskulatur und Drüsen.

13.6.1 Unterscheidungsmerkmale und Auswirkungen von Sympathikus und Parasympathikus

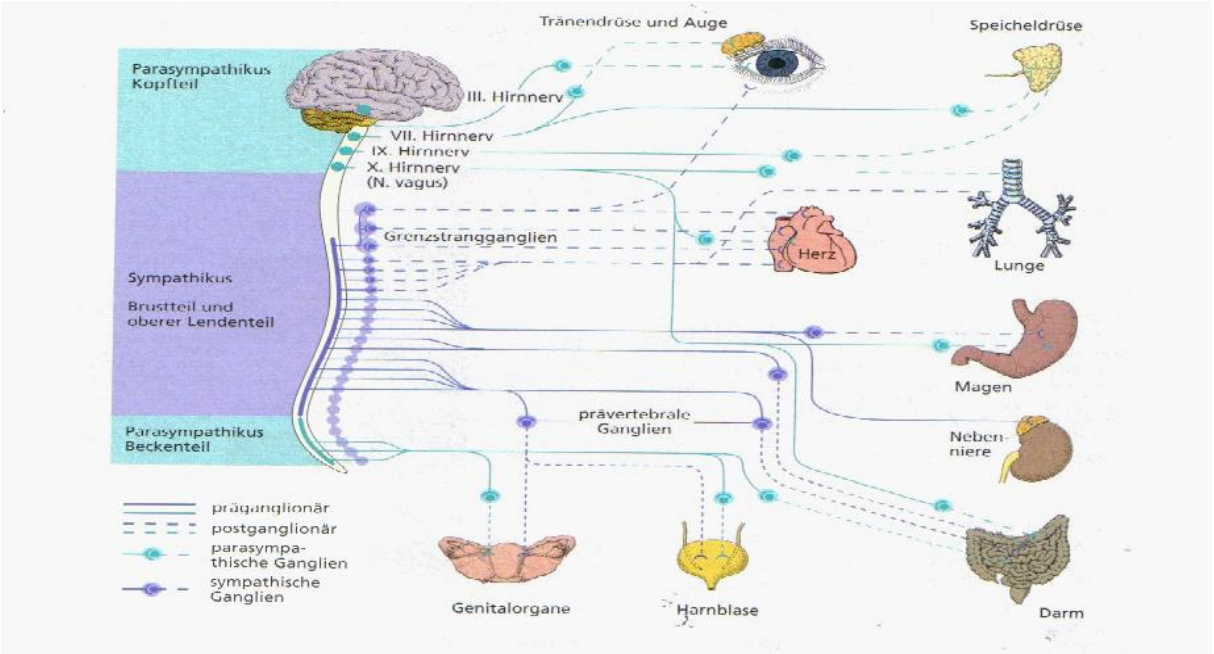
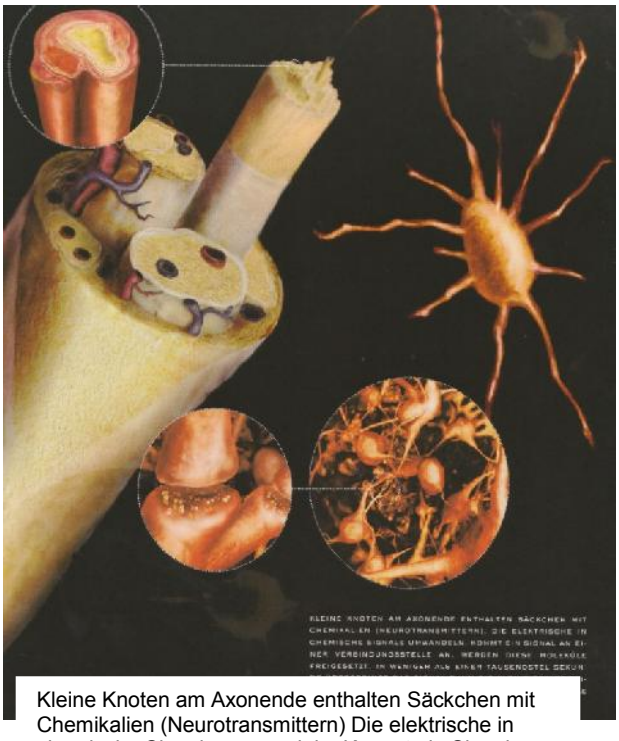


Abb. 11.24: Übersicht über das vegetative Nervensystem.
Die Fasern des Parasympathikus ziehen über die Hirnnerven III, VII, IX und X sowie aus dem Sakralmark zu den Organen.
Die Fasern des Sympathikus entstammen dem unteren Halsmark, dem Brust- und oberen Lendenmark und ziehen nach Umschaltung im Grenzstrang bzw. in den prävertebralen Ganglien zu den Organen.

13.7 Nervensystem: Aufbau und Funktion

13.7.1 Nervenfasern (lebendige Kabel)

Nerven sind Bündel von lebendigen Kabeln. Die Basiseinheit ist die mit Fortsätzen versehene geißelähnliche Nervenzelle (das Neuron). Sie ist natürlich sehr viel mehr als nur ein Kabel. Wie andere Zellen sind auch Neuronen so entworfen, dass sie miteinander interagieren können. Das Wesen, das Ausmaß, die Unterschiedlichkeit und die Entfernungen, die bei solchen Interaktionen im Spiel sind, bedingen eine spezialisierte, hydraähnliche Form – wie ein Tintenfisch mit zwei verschiedenen Tentakelarten. Neuronen senden kollektive Stromstöße. Sie sind so gestaltet, dass sie an einer Reihe von faserigen Zellfortsätzen elektrische Botschaften senden und empfangen können.



Kleine Knoten am Axonende enthalten Säckchen mit Chemikalien (Neurotransmittern) Die elektrische in chemische Signale umwandeln. Kommt ein Signal an einer Verbindungstelle an. Werden Diese Moleküle freigesetzt. In weniger als einer Tausendstel Sekunde überspringt das Signal dann die kleine Spalte zwischen zwei Neuronen und Ruft in der nächsten Zelle eine Reaktion hervor.

13.7.2 Aufbau im Detail

Das NS besteht aus:
Neuronen (Nervenzellen)
Gliazellen **(Stützzellen)**
dienen dazu Neurone zu **stützen,** zu **ernähren** und zu **schützen.**
z.B.: Astrozyten = Schutzfunktion
Oligodendrozyten = Stützfunktion

Das Neuron
dient zur Erregungsbildung und Erregungsleitung, kann sich jedoch nicht selbst stützen und ernähren (diese Aufgaben übernimmt die Gliazelle).

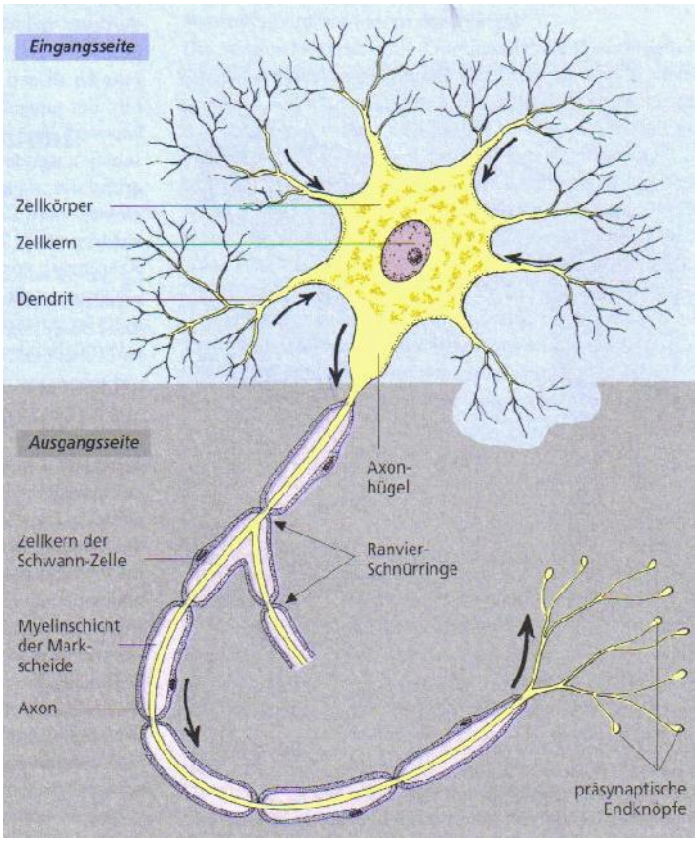


Abb. 10.5 (rechts): Aufbau eines Neurons. Die obere, hellblau unterlegte Bildhälfte stellt die „Eingangsseite" des Neurons dar, wo Informationen aufgenommen werden; die untere, grau hinterlegte Bildhälfte die „Ausgangsseite", die Informationen fortleitet – zu anderen Nerven-, Drüsen- oder Muskelzellen. Die Pfeile geben die Richtung der Erregungsleitung von den Dendriten über den Zellkörper zum Axon an.

Fakten:

Reife Neurone können sich nicht mehr teilen
Neurone haben besondere Zellfortsätze **(Dendriten** und **Axone)**
Neurone können elektrische Signale erzeugen und empfangen

Unterscheidung (je nach Richtung der Signalleitung):

in **afferente Neurone** = die Impulse werden **zum ZNS hingeleitet.**
in **efferente Neurone** = die Impulse werde **vom ZNS weggeleitet.**

Aufbau:

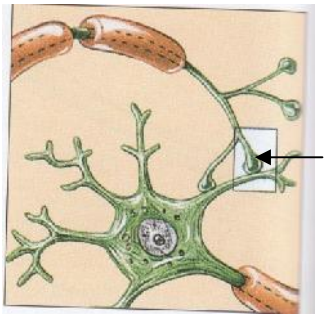
Zellkörper
besteht aus Zellkern und dem Zytoplasma

Zellfortsätze (2 Arten)
Dendriten: kurze, baumartige verzweigte Ausstülpungen des Zytoplasma. Sie nehmen Impulse benachbarter Zellen auf und leiten sie zum Zellkörper weiter. **=hinführende Fortsätze**
Axone (Neuriten): längliche Ausstülpungen des Zytoplasma. Entspringen aus dem **Axonhügel** (=Verbindungsstelle zum Zellkörper) und ziehen sich als dünne kabelartige Fortsätze weiter. Am Ende teilen sie sich in viele Endverzweigungen auf und bilden knopfförmige sog. **präsynaptische Endknöpfe**. Axone leiten Impulse weiter. **=wegführende Fortsätze** (wenige mm bis zu 1 Meter).

Myelinscheide: Diese von Stützzellen gebildeten, konzentrischen Schichten bestehen aus einer weißen, fetthaltingen Substanz, isolieren bzw. schützen die Axone vieler Neuronen und beschleunigen die Übertragung der Nervenimpulse.

Ranvier –Schürringe: Die Lücken in der Myelinscheide, helfen bei der Übertragung von Nervenimpulsen. Wegen dieser Lücke spricht man auch von einer sprunghaften **Erregungsleitung.**
Diese sprunghafte Erregungsleitung bewirkt eine höhere **Leitungsgeschwindigkeit**! Bis zu 100m/s!

Synapse



Diese Kontaktstelle für die Erregungsübertragung zwischen den Neuronen bildet das synaptische Endköpfchen, den Synapsenspalt und den Zielort.

Synaptisches Endknöpfchen

Jedes Knöpfchen am Ende einer Axonenendfaser liegt nahe dem Neuronenzelleib, seiner Axone oder Dentriten, einem anderen Endköpfchen oder einer Muskelfaser.

13.7.3 Übertragung eines Reizes im Detail.

Neuronen benötigen einen Reiz, um Nervenimpulse in Form von Wellen elektrischer Ladung zu produzieren, die sich entlang der Nervenfasern fortbewegen. Sobald das Neuron einen Reiz empfängt, ändert sich die elektrische Ladung auf der Innenseite der Zellmembran von negativ auf positiv. Ein Nervenimpuls wandert die Fasern entlang bis zu einer Synapse und bewirkt dadurch die Freisetzung chemischer Substanzen (Neurotransmitter), die den Raum zwischen Neuron und Targezelle durchqueren und dort eine Reaktion hervorrufen.). In diesem Bereich erfolgt die Weiterleitung des Aktionspotential (des Reizes) chemisch. => **chemischer Reiz!**
Der Reiz gelangt an die Synapse und bewirkt dort eine Verschmelzung der Vesikel (kleine Bläschen) mit der Zellmembran (Zellwand). Dabei werden die Neurotransmitter (chemischer Stoff = Überträgerstoff – ähnlich wie ein Hormon) in den synaptischen Spalt freigesetzt. Die Neurotransmitter bindet sich an bestimmte Kanäle an der Membran (Zellwand) an. Die Kanäle öffnen sich und dadurch können die Ionen in die nächste Zelle, wo sie an den Rezeptoren der Synaptischen Membran, das nächste Aktionspotential auslösen. (chemisch gesteuert)

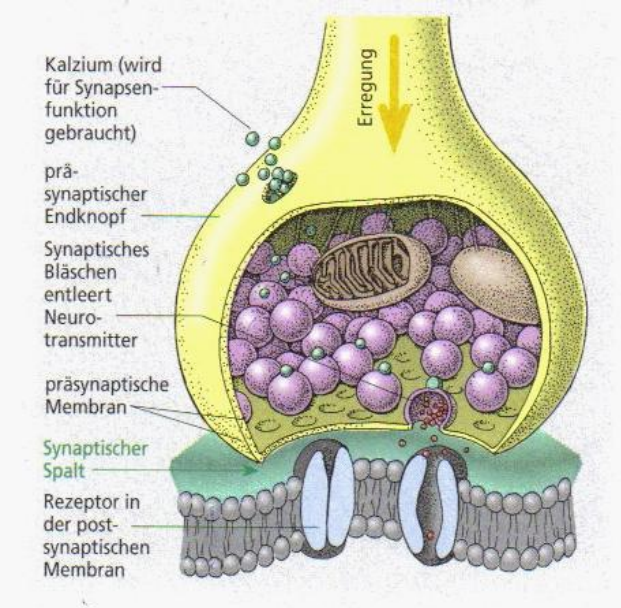
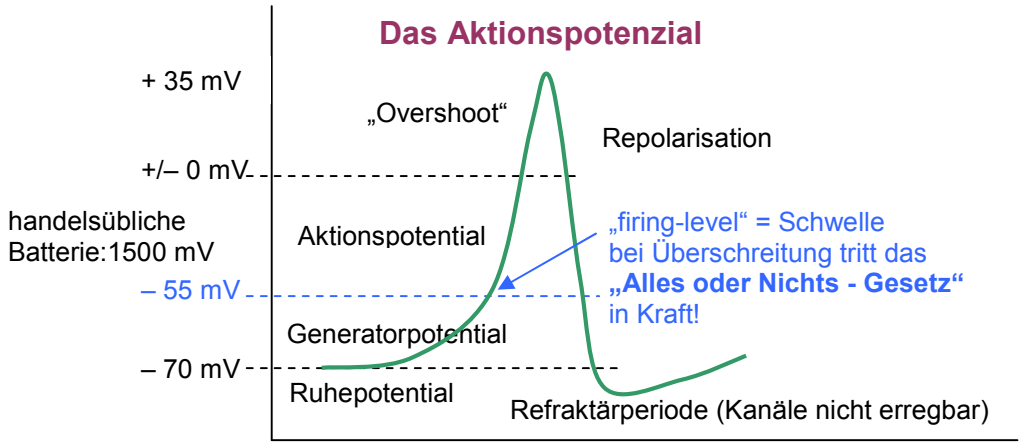


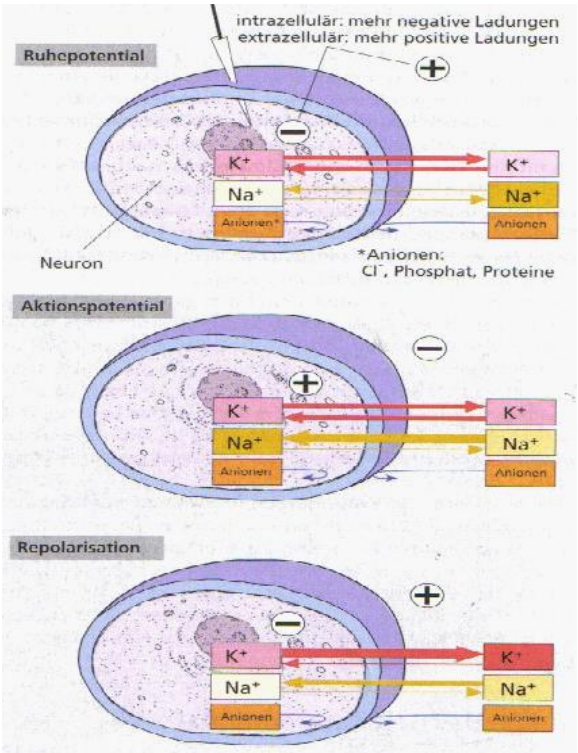
Abb. 10.10: Aufbau einer Synapse. Bei Erregung werden die in den synaptischen Bläschen gespeicherten Neurotransmitter in den synaptischen Spalt freigesetzt. Auf der postsynaptischen Membran befinden sich Rezeptoren, an die sich der Transmitter anheftet.

Eine Übertragung geschieht, wenn das Aktionspotential erreicht wird, nach dem „Alles oder Nichts Gesetz“. **Refrakträrperiode** = unmittelbar nach dem Ablauf eines Aktionspotentials. Das Neuron ist in dieser Zeit nicht mehr erregbar. Es kann kein weiteres Aktionspotential ausgelöst werden. Die Refrakträrphase schützt das Neuron vor einer Dauererregung, da es Erregungen nur in gewissen Zeitabständen zulässt.
z.B.: Muskelfaser: Sie entweder maximal oder gar nicht kontrahiert! Wenn nun ein Reiz kommt der imstande ist die Polarisation auszulösen, dann kontrahiert die Muskelfaser voll!!!



13.7.4 Chemischer Ablauf im Detail

Vor der Reizeinwirkung befindet sich die Nervenzelle (Rezeptor = spez. NZ) in einem Ruhezustand („Aus“) = **Ruhepotential.** Die Zelle ist im Ruhepotential innen negativ und außen positiv geladen. Trifft der Reiz nun ein, so öffnen sich kleine feine Kanäle in der Zellwand. Dadurch können positive Ionen in die Zelle strömen. Die Zelle wird daher innen positiv und außen negativ.
Diesen Vorgang bezeichnen wir als Aktionszustand („Ein“) = **Aktionspotential.**
Ist der Reiz vorüber, werden Positive Ionen wieder aus der Zelle gepumpt, bis das Ruhepotential wieder hergestellt ist. => **elektrischer Reiz!** (Strom gesteuert)



13.7.5 Die Erregung im Detail

Der Reiz gelangt so ins Gehirn (primär sensorische Rindenfeld) und wird dort verarbeitet.
Es kommt nun zu einer Reaktion des Gehirns, das über das primär motorische Rindenfeld die Bewegung initiiert.

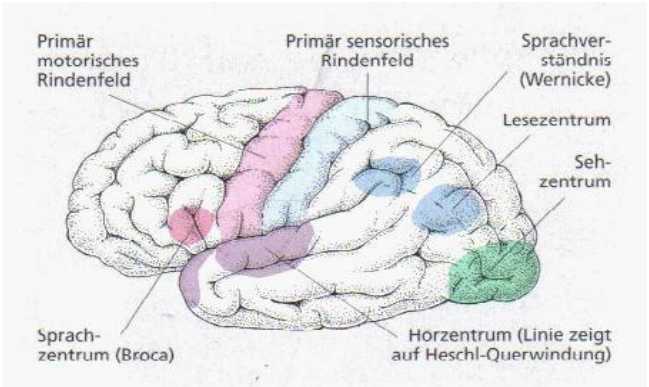


Abb. 11.5: der in der

Der Reiz gelangt über **die Pyramidenbahn** ins Rückenmark von dort in die peripheren Nerven zum Endorgan (in unserem Fall zum Muskel)

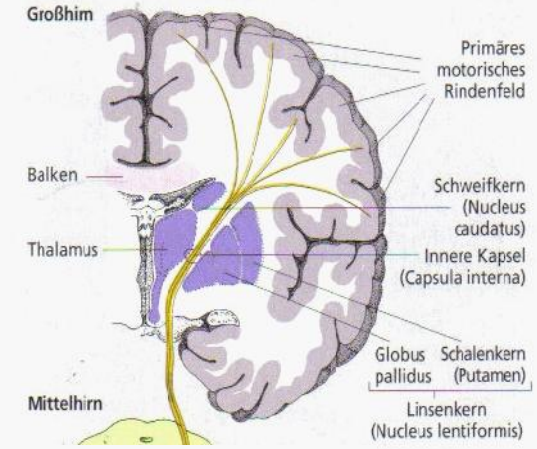


Abb. 11.7: Verlauf der Pyramidenbahn. Ausgehend vom primären motorischen Rindenfeld durchläuft die Pyramidenbahn die Innere Kapsel und zieht weiter durch den Hirnstamm. Unterhalb des Hirnstamms kreuzt die Mehrheit der Fasern zur Gegenseite (nicht kreuzende Fasern sind nicht dargestellt).

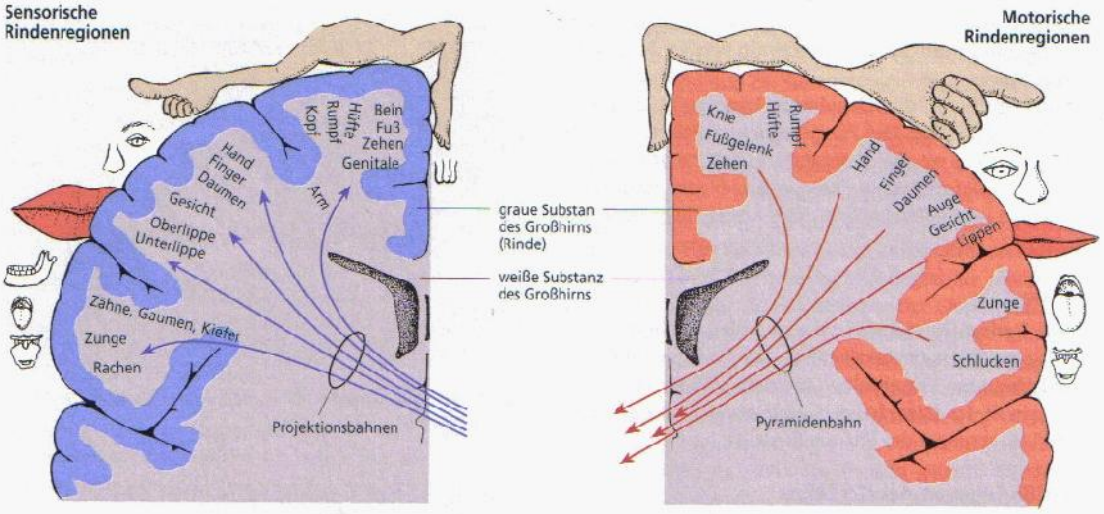
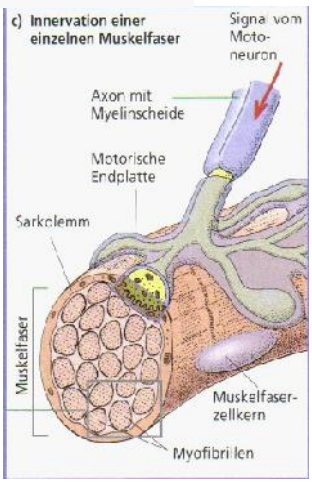


Abb. 11.6: Homunkulus im Bereich des primären sensorischen (links) und primären motorischen Rindenfeldes (rechts). In beiden Fällen steht das Körperschema „auf dem Kopf".

Wie gelangt nun der Reiz vom Nerv auf den Muskel?



Es funktioniert analog wie bei der Synapse.
Der Reiz gelangt an die Synapse und bewirkt dort eine Verschmelzung der Vesikel (kleine Bläschen) mit der Zellmembran (Zellwand). Dabei werden die Neurotransmitter (ACH = Acetylcholin) in den synaptischen Spalt freigesetzt. Dieser Trägerstoff bindet sich an bestimmte Kanäle an der Membran (Zellwand) an.
Die Kanäle öffnen sich und dadurch können die Ionen in die nächste Zelle, wo wiederum das nächste Aktionspotential ausgelöst wird. (chemisch gesteuert)

Anmerkung: In diesem Fall wird durch einen elektrischen Reiz ein chemischer Reiz ausgelöst, der wiederum einen elektrischen Reiz im Muskel auslöst.

Beispiel : Temperatur - Griff auf die heiße Herdplatte

Der Rezeptor (= spezielle Nervenzelle) wird von einem bestimmten Reiz (z.B.: Sinne: hören, sehen, riechen, schmecken, tasten; oder auch der Blutdruck (Spockgriff), …) **Wärme** (Hitze - Tastsinn) stimuliert. Der Reiz wird nun von einer Nervenzelle zur Anderen (**afferenten** = hinführenden **Nervenbahnen**) bis ins Gehirn (**12 Hirnnerven**) und/oder Rückenmark (**31 Spinalnerven**) weitergeleitet.
Je nach Reizintensität schenkt nun unser Körper dem Reiz eine gewisse Aufmerksamkeit. Halten wir nun die Hand über die Herdplatte ohne sie zu berühren, verspüren wir zwar die Wärme, aber wir schenken ihm (dem Reiz) keine erhöhte Aufmerksamkeit, wir sprechen von einem „**unterschwelligem Reiz".** Greifen wir jedoch auf die Herdplatte so verspüren wir eine starke Reizintensität (der Reiz wird wahrgenommen), wir sprechen nun von einem „**überschwelligem Reiz".** Durch die Wahrnehmung sendet nun das Gehirn und das Rückenmark (**efferenten** = wegführenden **Nervenbahnen**) eine **Erregung** (ein Signal) aus, mit dem Ziel die Muskulatur zu aktivieren. **Reaktion** => Bewegungsausführung => Hand zieht zurück

14 Verletzungen

Als Verletzungen werden bezeichnet:

- jede von außen einwirkende körperliche Verwundung - *Läsion*
- eine Verwundung der seelisch-psychischen Integrität - *Kränkung*

14.1 Läsion

Als eine **Läsion** (von lateinisch *laesio* Verletzung) wird eine Schädigung, Verletzung oder Störung einer anatomischen Struktur oder physiologischen Funktion bezeichnet.
Verletzung im eigentlichen Sinne ist jede von außen einwirkende Verwundung der körperlichen Integrität, also ein Trauma (etwa als Folge eines Unfalls). Treten dabei mehrfache Schäden auf, wird auch von einer Mehrfachverletzung oder einem Polytrauma gesprochen.
Als Studenten an der KPHVIE Campus Krems und als zukünftige BSp Lehrer gehen wir in diesem Seminarbeitrag besonders auf die Sportverletzungen ein.

14.2 Sportverletzungen

Sportverletzungen sind Verletzungen, die sich Freizeit – und Leistungssportler bei der Ausübung ihres Sportes zuziehen.

Allgemein unterscheidet man zwischen **endogenen** und **exogenen** Verletzungen.

Endogene Verletzungen: Verletzungen, die sich der Sportler ohne äußere Einwirkung zuzieht, zum Beispiel durch fehlerhaftes Training oder Überanstrengung im Wettkampf.

Exogene Verletzungen: Verletzungen, die dem Sportler zum Beispiel in der sportlichen Auseinandersetzung vom Gegner her zugefügt werden.

14.2.1 Verhaltensmuster

Je nach Sportart gibt es verschiedene Verletzungsmuster, hierzu einige Beispiele:

Beim Rollschuhfahren stehen Verletzungen der oberen Extremitäten im Vordergrund, beim Radfahrsport Verletzungen der unteren Extremitäten und des Kopfes, falls er nicht durch einen Helm geschützt wird. Bei einem Reitunfall sind die Schulterregion, die oberen Extremitäten und die Wirbelsäule besonders gefährdet. Unfälle beim Skilaufen und beim Fußballspielen führen meistens zu Verletzungen der unteren Extremitäten.

Inlineskater, Skateboarder und Miniskooter – Fahrer erleiden in erster Linie Unterarm – oder Handgelenksbrüche (lt. Kuratorium für Verkehrssicherheit mehr als 50 % der Verletzten) sowie Knieverletzungen und Abschürfungen. Es kann auch zu Kopfverletzungen kommen, speziell dann, wenn kein Schutzhelm getragen wird. Je nach Unfallhergang kann es zu Verletzungen des Beckens und der Wirbelsäule kommen.

14.2.2 Verletzungsarten

Bei **Verletzungen** an den **Gliedmaßen** unterscheidet man folgende **Verletzungsarten**:

- Quetschungen, Muskelrisse, Prellungen
- Meniskusverletzungen
- Sehnenzerrungen, Sehnenrisse
- Bänderzerrungen und Bänderrisse
- Gelenksverletzungen: ***Verstauchungen***, ***Verrenkungen***, Bandverletzungen
- Knochenbrüche (offen, geschlossen) mit und ohne Formveränderung

Verstauchung
Eine Verstauchung entsteht, wenn die gelenkbildenden Knochen durch Gewalteinwirkung kurz gegeneinander verschoben oder verdreht werden, sofort aber wieder in die ursprüngliche Stellung zurückkehren.

Verrenkung
Eine Verrenkung entsteht, wenn die gelenkbildenden Knochen durch Gewalteinwirkung ihren Zusammenhalt verlieren, also etwa der Gelenkskopf aus der Pfanne herausgerissen bzw. hinausgestoßen wird und in der abnormen Stellung bleibt.
Gelenkspfanne ist leer → Gelenk ist nicht mehr funktionstüchtig → eine Bewegung ist nicht mehr möglich.

Das PECH - Schema

Eine empfohlene Vorgehensweise bei Verletzungen der Extremitäten bzw. Sportverletzungen ist das so genannte **PECH** – Schema:

P steht für **Pause** – das Training wird sofort abgebrochen, der verletzte oder schmerzende Körperteil wird ruhig gestellt.

E steht für **Eis** – sofern keine offene Wunde besteht, wird die betroffene Stelle umgehend gekühlt. Geeignet sind kalte Umschläge (z.B. Kühlpackungen, ein in kaltem Wasser getränktes Tuch) oder eine mit Eisstücken gefüllte Plastiktüte. Eissprays sind weniger empfehlenswert, da sie manchmal zu lokalen Erfrierungen führen. Aus dem gleichen Grund ist es wichtig, die Kältepackung nicht direkt auf die Haut zu legen, sondern die Stelle erst mit einem Tuch abzudecken. Die Kälteanwendung zielt darauf ab, die lokale Blutzirkulation zu verringern, die Entzündungsreaktion zu mindern und der Bildung eines Blutergusses entgegenzuwirken. Außerdem lindert sie Schmerzen und reduziert Schwellungen. Die Kühlung wirkt am besten, wenn sie innerhalb der ersten 15 Minuten nach der Verletzung beginnt und mindestens 20 Minuten andauert.

C steht für **Compression (Kompression)**: Um große Blutergüsse zu vermeiden, empfiehlt sich die Anlage eines elastischen Druckverbands (Kompressionsverband), möglichst mit leichter Spannung unter Einschluss des kalten Umschlags. Bei Verwendung eines prall gefüllten Kältebeutels ist es allerdings oft zweckmäßiger, den Druckverband darunter anzulegen. Der Kältebeutel wird dann mit einem weiteren Verband fixiert.

H steht für **Hochlagerung** – diese Maßnahme dient vor allem dazu, Schwellung und Einblutungen zu verringern.

14.3 Sportverletzungen im Bereich Beine & Füße

14.3.1 Außenknöchelbruch

Der Bruch des Außenknöchels ist der zweithäufigste Knochenbruch beim Menschen. Ursache ist ein Umknicken des Fußes. Dabei bricht die untere Spitze des Wadenbeins ab. Die Verletzung tritt bei älteren Menschen häufiger auf als bei Jugendlichen. Bei Kindern stehen Verletzungen der Wachstumsfuge im Vordergrund.

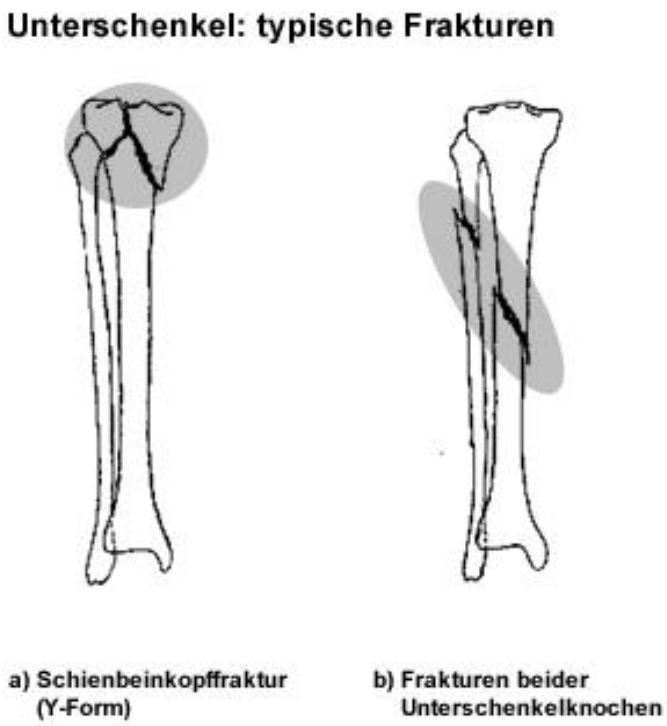
Besonders gefährdet sind Menschen, die Sportarten betreiben, bei denen es auf kurze Sprints und Stoppbewegungen ankommt, z. B. Fußball, Tennis oder Volleyball.

Anzeichen:
Hervorstechendstes Merkmal ist eine sofort einsetzende, massive Schwellung durch einen Bluterguss, der durch den Bruch entsteht. Schmerzen und Belastungsunfähigkeit sind weitere Symptome. Das verletzte Bein muss sofort entlastet, hoch gelagert, geschient und mit Eis gekühlt werden.

Vorbeugung:
Richtiges Schuhwerk ist entscheidend, um ein Umknicken des Fußes zu verhindern
Entsprechendes Koordinationstraining und Reflextraining

14.3.2 Unterschenkelbruch

Unter einem Unterschenkelbruch versteht man einen Bruch beider Unterschenkelknochen - des Schienbeins (Tibia) und des Wadenbeins (Fibula).
Diese Verletzungen im Bereich des Knochenschafts entstehen durch erhebliche Krafteinwirkung. Unterschenkelbrüche kommen deshalb häufig bei Verkehrsunfällen vor, offene Unterschenkelbrüche sind eine klassische Verletzung bei Motorrad-Fahrern.
Man unterscheidet Schaftbrüche und körperferne Unterschenkelbrüche. Hier ist der Knochen weicher und bricht leichter.
Hebelkräfte, die beispielsweise am Rand eine Skischuhs wirken, verursachen häufig Brüche der Unterschenkelknochen (Schuhrandbrüche).



Anzeichen:
Der Verletzte hat starke Schmerzen und kann das Bein nicht mehr belasten. Da das Schienbein direkt unter der Haut verläuft entstehen häufig offene Brüche.

Sofortmaßnahmen umfassen die Schienung, Hochlagerung und Kühlung des Beins durch Eisauflagen.

14.4 Sportverletzungen im Bereich Knie

14.4.1 Kniegelenksverletzung (Knie-Binnentrauma)

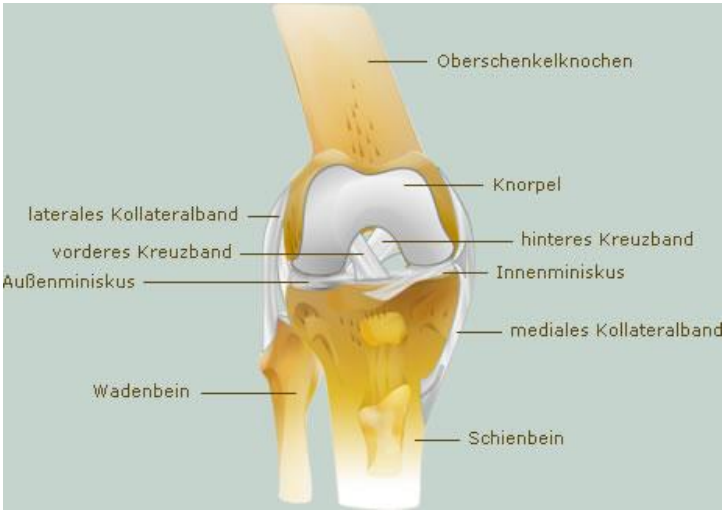
Der Begriff Knie-Binnentrauma - er entstammt der klinischen Alltagssprache - umfasst mehrere Verletzungen des Kniegelenks. Er wurde geprägt, da Kniegelenksverletzungen nicht immer einfach voneinander abzugrenzen sind. Nach den Schäden am Sprunggelenk sind sie die häufigsten Sportverletzungen. Die Verletzungen betreffen den Gelenk-Innenraum.

Entstehung:
Der typische Auslöser für eine Kniegelenksverletzung ist ein Sturz, wobei das gestreckte oder gebeugte Kniegelenk verdreht wird. Besonders gefährlich ist der alpine Skisport, da durch den Hebel des Skis größere Kräfte wirken. Auch Fußball, Ringen oder Judo - allesamt Sportarten mit hohem körperlichen Einsatz - bergen ein erhebliches Risiko für derartige Verletzungen.

Folgende Verletzungen werden als Knie-Binnentrauma bezeichnet:

- Riss des vorderen Kreuzbandes
- Riss des hinteren Kreuzbandes
- Riss des inneren (medialen) Seitenbandes
- Riss des äußeren (lateralen) Seitenbandes
- Verletzungen der Menisken
- Absprengung eines Knorpel – Knochenstücks

Oft treten diese Verletzungen in Kombination auf (Komplex – Verletzung).



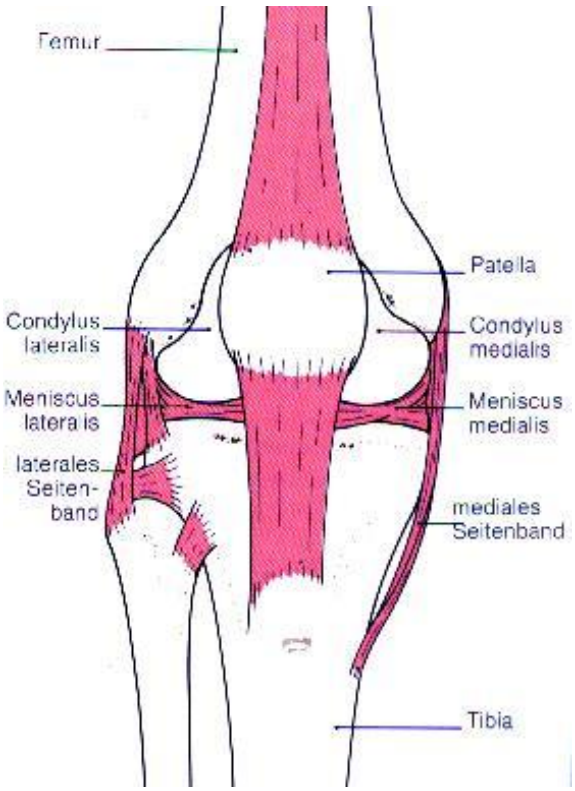
14.4.2 Seitenbandriss am Knie

Am Kniegelenk gibt es zwei wichtige Seitenbänder, die reißen können: das innere (mediale) und das äußere (laterale). Sie stabilisieren das Kniegelenk bei seitlich einwirkenden Kräften.

Entstehung:
Verletzungen des inneren (medialen) Seitenbands entstehen durch Kräfte, die den Unterschenkel nach außen drücken und ihn gleichzeitig verdrehen. Häufig entstehen dadurch Verletzungen der Kreuzbänder und der Menisken.

Das äußere (laterale) Seitenband reißt, wenn der Unterschenkel nach innen verdreht wird. Diese Verletzung ist aber wesentlich seltener als ein Riss des inneren Seitenbands.

Anzeichen:
Bei der ärztlichen Untersuchung fällt auf, dass das Kniegelenk "aufklappbar" ist. Es lässt sich auf Grund der fehlenden Bandfunktion entweder nach innen (Riss des medialen Seitenbands) oder nach außen (Riss des lateralen Seitenbands) aufklappen. Der Verletzte hat subjektiv ein Gefühl der Instabilität. Außerdem treten Schwellung, Schmerzen und eventuell ein Gelenkserguss auf.



14.4.3 Meniskusverletzungen

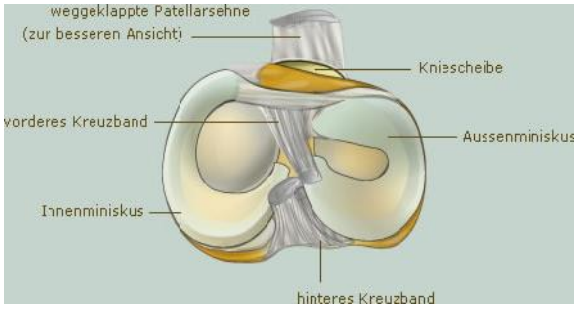
Der Meniskus ist ein halbmondförmiges, knorpeliges Gebilde. In jedem Kniegelenk befindet sich innen und außen jeweils ein Meniskus. Die Menisken verteilen und übertragen die Last, stabilisieren das Gelenk und schmieren und ernähren den Gelenkknorpel.

Entstehung:
Verletzungen treten bei einer Kombination von Druckbelastung und Drehbewegung auf. Viele Meniskusschäden entstehen auf Grund von Verschleißerkrankungen.
Meniskusschäden werden eingeteilt nach:

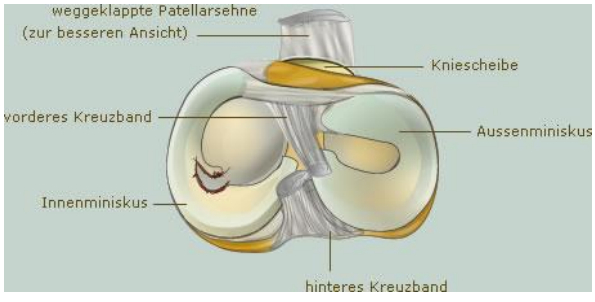
- Lokalisation (vorderes, mittleres, hinteres Drittel)
- Rissform (senkrecht, waagrecht, quer, korbhenkelartig, lappenförmig)

Anzeichen:
Neben den genannten allgemeinen Zeichen eines Knie-Binnentraumas fallen oft mechanische Blockaden, ein Schnappen oder Knacksen auf.
Die Schmerzen sind, je nach verletztem Meniskus, innen oder außen am Kniegelenk lokalisiert. Weitere Anzeichen einer Meniskusverletzung können ein Gefühl der Instabilität, Schwellung und ein Gelenkerguss sein.

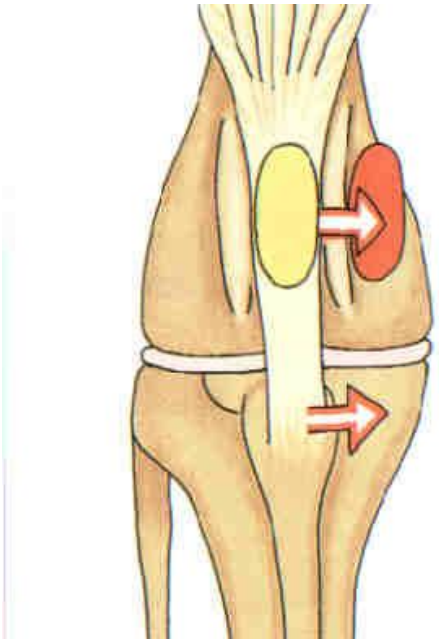
Unverletzter Meniskus:



Verletzter Meniskus: (Lappenriss)



14.4.4 Verrenkung der Kniescheibe



Die Kniescheibe ist Teil des Streckapparats am Knie. Sie verhindert, dass die Sehne der Oberschenkel-Streckmuskulatur direkt auf dem Kniegelenk reibt. Die Rückseite der Kniescheibe ist leicht V-förmig, so dass sie in einer entsprechenden Rinne des Oberschenkel-Knochens sicher gleiten kann. Seitlich stabilisieren Bänder die Kniescheibe in ihrer Führung.

Entstehung:
Bei einem Sturz auf das Knie kann die Kniescheibe seitlich aus der Führung springen. Die Verletzung tritt bei männlichen Jugendlichen besonders häufig auf. Manche Personen haben eine erblich bedingte Asymmetrie der Kniescheibe, die diese Verletzung begünstigt. Die Asymmetrie verringert die Stabilität in der Führung und erleichtert das seitliche Herausspringen.

Anzeichen:
Die Fehlstellung der Kniescheibe ist sofort zu erkennen. Das Knie ist angeschwollen und wird gestreckt oder leicht gebeugt gehalten. Die verletzte Person hat starke Schmerzen und kann das Knie nicht mehr bewegen.

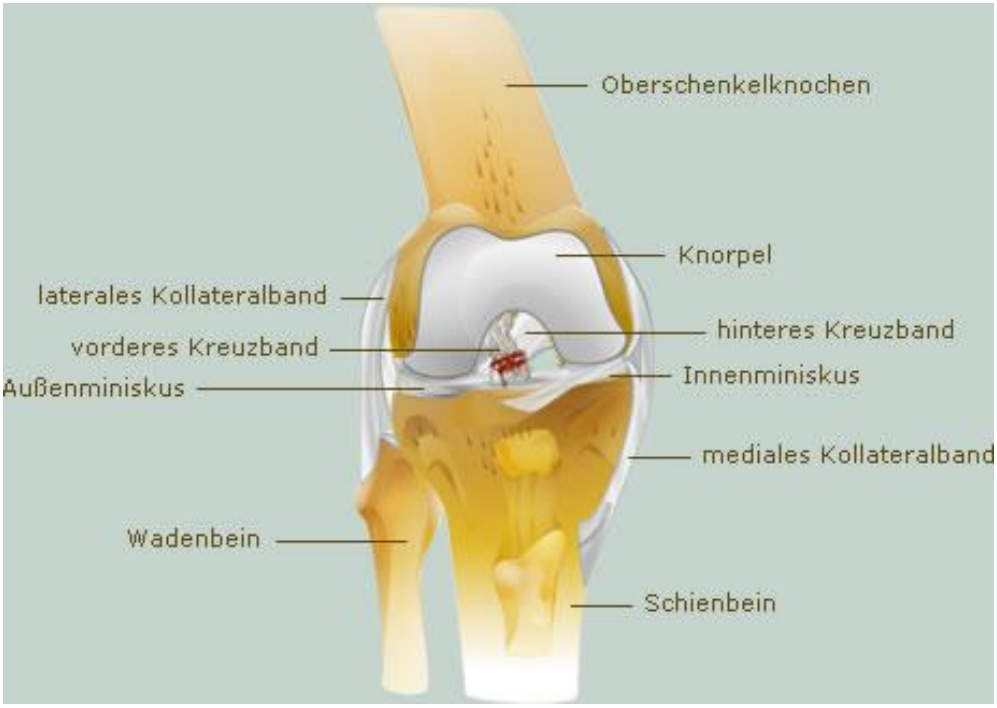
14.4.5 Kreuzbandriss: Riss des vorderen Kreuzbandes

Das vordere Kreuzband verbindet im Kniegelenk den Oberschenkelknochen (Femur) mit dem Schienbein (Tibia). Es ist maßgeblich an der richtigen Bewegung des Kniegelenks beteiligt. Außerdem verhindert es, dass der Oberschenkelknochen nach hinten gleitet, wenn das Kniegelenk gebeugt wird.

Entstehung:
Das vordere Kreuzband kann reißen, wenn das Knie überstreckt wird oder das Kniegelenk bei angespannten Oberschenkelmuskeln gewaltsam gebeugt wird.

Oft treten Komplexverletzungen auf, wobei zusätzlich der Innenmeniskus, das Innenband oder beides geschädigt wird. Sind sogar alle drei genannten Strukturen betroffen, spricht man von einer "unhappy triade".

Anzeichen:
Neben den allgemeinen Zeichen eines Knie-Binnentraumas fällt ein schnell nachlaufender, blutiger Erguss des Kniegelenks auf. Bei gebeugtem Knie lässt sich das Schienbein gegenüber dem Oberschenkel nach vorne verschieben (vorderes Schubladen-Zeichen). Oft besteht ein ausgeprägtes Instabilitätsgefühl (Giving Way).

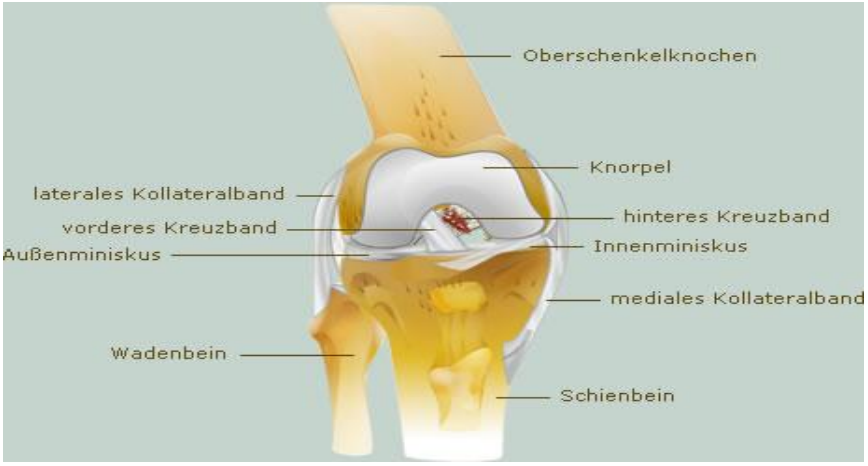


14.4.6 Kreuzbandriss: Riss des hinteren Kreuzbandes

Das hintere Kreuzband im Kniegelenk verbindet den Oberschenkelknochen (Femur) mit dem Schienbein (Tibia). Es verläuft hinter dem vorderen Kreuzband.

Entstehung:
Das hintere Kreuzband kann durch direkte Gewalteinwirkung auf das gebeugte Kniegelenk oder gewaltsame Überstreckung reißen. Es reißt aber viel seltener als das vordere Kreuzband.

Anzeichen:
Das Kniegelenk schwillt an und verursacht Schmerzen. Manche Verletzte haben auch einen Gelenkerguss. Auffällig ist, dass das Schienbein gegenüber dem Oberschenkel nach hinten verschoben ist. Die Analyse der Gangbilds zeigt, dass das Bein beim Gehen nicht vollkommen gestreckt werden kann.



14.5 Verletzungen im Bereich Kopf und Rumpf

14.5.1 Die Gehirnerschütterung

Eine Gehirnerschütterung (Commotio cerebri), auch leichtes Schädel-Hirn-Trauma genannt, ist eine Prellung der Nervenzellen im Gehirn nach einem Schlag gegen den Kopf. Dies führt dazu, dass die Funktion der Nervenzellen vorübergehend gestört ist. Außer zeitlich begrenzten Symptomen entsteht im Normalfall kein bleibender Schaden.
Es kommt zu einer kurzfristigen, wenige Sekunden bis Minuten dauernden Bewusstlosigkeit, Kopfschmerzen und Gedächtnisverlust (Amnesie). Außerdem können Übelkeit, Erbrechen, Schwindel und vorübergehende Orientierungsstörungen auftreten.

Anzeichen:
Man sollte unbedingt einen Arzt konsultieren, wenn:

- wenn die Bewusstlosigkeit mehr als ein paar Minuten gedauert hat.
- wenn der Patient, nachdem er aufgewacht ist, wieder schläfrig wird.
- wenn kein Kontakt mit dem Patienten aufgenommen werden kann.
- wenn der Patient Übelkeit verspürt.
- wenn er über längere Zeit verwirrt ist.
- wenn die Symptome erst längere Zeit nach einem Sturz auftreten (sechs bis zwölf Stunden nach dem Unfall). Besonders häufig tritt diese Zeitverzögerung bei Kleinkindern auf.

14.5.2 Verletzungen im Bereich Rippen

Die Rippen (Costae) bilden zusammen mit dem Brustbein (Sternum) das Skelett des Brustkorbs (Thorax). Die Verbindung zwischen dem Brustbein und den Rippen besteht aus Knorpel, der Übergang zwischen den Rippen und der Wirbelsäule ist knöchern.
Die Rippen brechen typischerweise beim Sturz auf eine Kante, z. B. beim Ausrutschen im Badezimmer und Sturz auf das Waschbecken oder die Badewanne. Zudem kann Gewalteinwirkung jeglicher Art zu Rippenbrüchen führen.
Sind nur einzelne Rippen gebrochen, ist im Gegensatz zu einer Rippen-Serien-Fraktur (mehrere Rippen sind gebrochen) die Atem-Mechanik nicht gestört. Ganz selten verletzen gebrochene Rippen das Rippenfell und führen zu einem Pneumothorax (Luftbrust).

Anzeichen:
Schmerzen im Brustbereich sowie ein knirschendes Geräusch oder Krachen beim Atmen weisen auf einen Rippenbruch hin. Bei Atemnot oder Kreislaufproblemen muss umgehend gehandelt werden, da Komplikationen auftreten können.

14.5.3 Prellung

Eine Prellung entsteht durch einen Schlag oder Stoß, wobei keine Verletzungen des Gewebes sichtbar sind. Es bildet sich ein unterschiedlich stark ausgeprägter Bluterguss und die betroffene Stelle schwillt an. Eine Prellung ist sehr schmerzhaft.
Eine Zerrung ist eine Überdehnung der Kapsel-Bandanteile eines Gelenks. Die Bänder behalten aber ihre führende und stabilisierende Funktion. Auch hier kommt es zu einer Schwellung, einem Bluterguss und Schmerzen.

Anzeichen:
Zu einer Zerrung oder Verstauchung kommt es leicht, zum Beispiel wenn man mit dem Fuß umknickt, sich das Kniegelenk verdreht oder auf die Hand fällt. Beim Sport passieren solche Unfälle häufig, aber auch anlagebedingt schwache oder durch häufige Verletzungen "ausgeleierte" Bänder können ein Grund für die mangelnde Stabilität eines Gelenks sein.

14.6 Verletzungen im Bereich Schulter und Arme

14.6.1 Fingerbruch

Das Skelett eines Fingers besteht aus drei Knochen, den Fingergliedern (Phalangen). Der Daumen besitzt lediglich zwei Glieder. Brüche entstehen häufig beim Sport durch Sturz auf die Hand, Anprall eines Balles oder Kontakt mit einem Gegenspieler. Neben den einfachen Brüchen gibt es verschobene (dislozierte) Brüche und Trümmerbrüche.

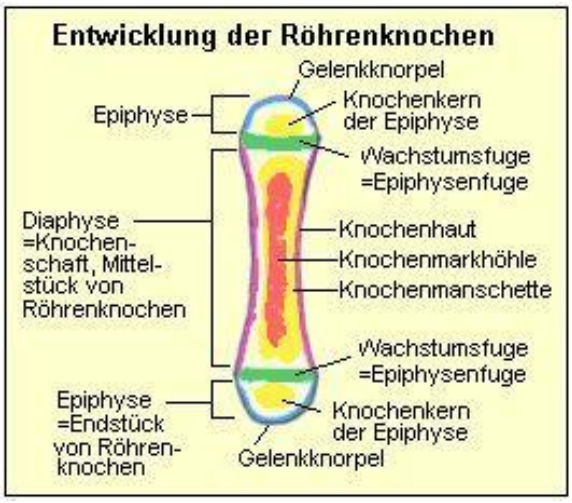
Anzeichen:
Der Bruch eines Fingers ist sehr schmerzhaft. Außerdem schwillt der Finger an, ist möglicherweise fehlgestellt und gebrauchsunfähig. Sofortmaßnahmen sind Schonung, Schienung und Eisauflagen.

14.6.2 Schlüsselbeinbruch

Das Schlüsselbein (Clavicula) ist die einzige knöcherne Verbindung zwischen Arm- und Rumpfskelett. Es verläuft zwischen dem Brustbein (Sternum) und einem Fortsatz des Schulterblatts (Akromion). Bei einem Sturz auf den Arm oder direkter Gewalteinwirkung kann das Schlüsselbein brechen. Besonders bei Kindern und Jugendlichen tritt dieser Bruch häufig auf, er stellt aber den harmlosesten Knochenbruch beim Menschen dar.

Anzeichen:
Anzeichen sind Schmerzen, eine Schwellung im Verlauf des Schlüsselbeins und die Unfähigkeit, den Arm zu benutzen. Im Vergleich zur anderen Körperseite ist die Kontur des Schlüsselbeins verändert.

14.7 Wachstumsfuge



Die Wachstumsfuge (Epiphysenfuge) bezeichnet die Fuge zwischen dem Endstück und dem Mittelstück (Diaphyse) der Röhrenknochen, und besteht aus hyalinem Knorpel. In der Epiphysenfuge findet das Längenwachstum der Röhrenknochen statt. Der knöcherne Teil der Epiphyse wird nach distal verschoben, der lange Röhrenknochen wird knorpelig präformiert. Es wandern dann Knochenzellen in den Knorpel ein, die Diaphyse wird länger. Ist ein Mensch ausgewachsen, schließen sich die Epiphysenfugen.
Für die Epiphysenfugen am Handskelett gibt es spezielle Atlanten, mit denen das chronologische Alter eines Kindes mit dem aktuellen Skelettalter verglichen werden kann. Damit können, zusammen mit aktuellen Längenmessungen, also Körpergröße, Sitzgröße, Beinlänge etc. Aussagen über das noch zu erwartende Gesamtwachstum des Kindes oder des Jugendlichen gemacht werden. Die Epiphysenfugen schließen sich beim Menschen durchschnittlich ab dem neunzehnten Lebensjahr.

14.7.1 Epiphysiolyse

Epiphysiolyse eine Verletzung des noch nicht ausgewachsenen Knochens (ein Knochenbruch im weitesten Sinne). Es handelt sich um eine Ablösung der Epiphyse (Knochenendstück) im Sinne eines Zerreißens der Epiphysenfuge (Wachstumsfuge) oder eines Risses *durch* die Epiphysenfuge.

Zur Epiphysiolyse kann es nur kommen, solange der betroffene Knochen noch nicht ausgewachsen ist und noch eine Epiphysenfuge aufweist.
Wie auch bei den anderen Formen können traumatische Epiphysiolysen zur Einschränkung des Längenwachstums oder zu späteren Achsfehlstellungen führen. Bei besonders ungünstigen Verletzungen der Epiphysenfuge klemmt ein Stück der Knochenhaut im entstandenen Verletzungsspalt, auch hier ist eine operative Revision erforderlich.

15 Literatur

HUCH Renate, Jürgens Klaus D. (Hrsg.): Mensch-Körper-Krankheit. Urban und Fischer Verlag. München 2007 (5. Auflage)

BAGGALEY, Ann: Anatomie Atlas. Dorling Kindersley Verlag. München 2002P. KUHN (2009): „Kindgemäße Bewegungserziehung“, Klinkhardt

JECKLIN, Erica (Hrsg.): Arbeitbuch Anatomie und Physiologie. Urban & Fischer Verlag. München 2004.

BAGGALEY, Ann: Anatomie Atlas. Dorling Kindersley Verlag. München 2002. S. 58 – 79

BENNER, Klaus Ulrich (Hrsg.): Der Körper des Menschen. Weltbild Verlag. Augsburg 1996. S. 27 – 35

FIRBAS, Wilhelm (Hrsg.): Allgemeine Anatomie. Eigenverlag. Wien 2003. S. 14 – 19

HERBST, Manfred: Anatomie des Menschen. Neuer Kaiser Verlag. Klagenfurt 2001. S. 6 – 19

JECKLIN, Erica (Hrsg.): Arbeitsbuch Anatomie und Physiologie. Urban & Fischer Verlag. München 2004. S. 39 - 42

MENCHE, Nicole (Hrsg.): Biologie Anatomie Physiologie. Urban & Fischer Verlag. München 2003. S. 85 - 91, S. 101 – 103

JECKLIN, Erica (Hrsg.): Arbeitsbuch Anatomie und Physiologie. Urban & Fischer Verlag. München 2003. S. 60 – 74

NETTER, Frank (2001): *NETTERs Orthopädie.* Stuttgart: Thieme.

FALLER, Adolf, SCHÜNKE, Michael (2008): *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion* (15., komplett überarbeitete Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

FRANK, Astrid, KOLSTER, Bernard: *Gutes für jeden Rücken.* Königswinter: Tandem Verlag GmbH.

GROVE, Claudia (1999): *Wie geht´s? Wie steht´s? Körpererfahrung im Alltag.* Stuttgart: Ernst Klett Verlag.

SKRIPTUM „*Rückenschule für MitarbeiterInnen der Caritas St. Pölten“* von Eva Bohaczek (2003).

Mappe: Ausbildung Rettungssanitäter, Version 2008, Österreichisches Rotes Kreuz

Engelhardt M., Hintermann B., Segesser B. (1997): GOTS-Manual Sporttraumatologie. Hans Huber, Bern 1997.

Hassenplug, J. (2007): Handbuch Sportorthopädie, -traumatologie. Schorndorf 2007.

http://www.netdoktor.at/health_center/sportverletzungen/index.shtml Stand: 07.12.09

http://de.wikipedia.org/wiki/Epiphysiolyse Stand: 22.01.2010

http://dgu-online.de/pdf Stand: 07.12.09

http://www.gesund.co.at/GESUND/Lunge.htm
(Zugriff am 10.11.2009)

http://www.netdoktor.de/Krankheiten/Anatomie/Lunge-Aufbau-und-Funktion-3512.html
(Zugriff am 10.11.2009)

http://www.onmeda.de/lexika/anatomie/lunge_anatomie-weitere-informationen-1395-9.html
(Zugriff am 11.11.2009)