

G1

SPORTMEDIZINISCHE GRUNDLAGEN

MODUL BAS-MED2

Q-Fitness Academy

Verfasser: Win Silvester

Fotos: Creative Commons

Seien Sie vorsichtig mit Gesundheitsbüchern –

Sie könnten an einem Druckfehler sterben.

(Mark Twain)

Hinweis:

Die Aussagen, Hinweise und Ratschläge in diesem Manual sind sorgfältig erarbeitet worden, dennoch kann eine Garantie nicht übernommen werden. Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr. Eine Haftung der Verfasser für Personen-, Sach- und Vermögensschäden, die aus den im Manual gemachten Hinweisen und Ratschlägen resultieren, ist ausgeschlossen.

| | |
|--|---|
| 1. DIE ZELLE | 5 |
| 1.1. AUFBAU DER ZELLE | 5 |
| 1.2. DIE MUSKELZELLE | 7 |
| 1.3. DIE MUSKELZELLE | 8 |
| 1.3.1. EXKURS: MUSKELKATER | 12 |
| 1.3.2. ENERGIEBEREITSTELLUNG/ ATP | 13 |
| 2. MUSKULATUR | 13 |
| 2.1. GLEIT-FILAMENT-THEORIE (HUXLEY) | 14 |
| 2.2. MUSKELFASERTYPEN | 16 |
| 2.2.1. EXKURS: MUSKELKRAMPF | 20 |
| 2.2.2. SYNERGISTEN – ANTAGONISTEN | 20 |
| 2.2.3. URSPRUNG – ANSATZ | 20 |
| 2.2.4. SEHNEN | 20 |
| 2.2.5. SCHLEIMBEUTEL UND SEHNENSCHIEDEN | FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. |
| 3. NERVEN | 21 |
| 3.1. NERVENSYSTEME | 21 |
| 3.1.1. DAS ZENTRALE NERVENSYSTEM (ZNS) | 21 |
| 3.1.2. DAS ZEREBROSPINALE NERVENSYSTEM | 23 |
| 3.1.3. DAS VEGETATIVE NERVENSYSTEM | FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. |
| 3.1.4. AUFBAU EINER NERVENZELLE | 24 |
| 4. MOTORISCHES LERNEN | 25 |
| 5. DAS HERZ-KREISLAUF-SYSTEM | 27 |
| 5.1. DAS HERZ | 28 |
| 5.1.1. AUFBAU UND FUNKTION | 28 |
| 5.1.2. SYSTOLE / DIASTOLE | 29 |
| 5.1.3. SCHLAGVOLUMEN / HERZFREQUENZ / HERZZEITVOLUMEN | 29 |
| 5.1.4. AUSWIRKUNGEN VON AUSDAUERTRAINING AUF DAS HERZ | FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. |
| 5.1.5. NÄHRSTOFFVERBRAUCH DES HERZENS | 30 |
| 5.1.6. AUFBAU DER GEFÄßWÄNDE | 30 |
| 5.1.7. BLUTGEFÄßE | 31 |
| 5.1.8. BLUTDRUCK | 31 |
| 5.1.9. WINDKESSELFUNKTION | 31 |
| 5.1.10. RICHTWERTE | 32 |
| 5.1.11. DAS BLUT | 32 |
| 6. LUNGE | 33 |
| 6.1. AUFBAU DER ATEMWEGE | FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. |
| 6.2. GASAUSTAUSCH IN DER LUNGE | FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. |
| 6.3. WELCHEN NUTZEN HAT ES FÜR MICH ALS TRAINER DIESE DINGE ZU WISSEN? | 35 |
| 6.4. EXKURS: BLUTGESCHMACK UND BRENNEN IN DER LUNGE | FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. |

| | |
|--|----------------|
| 7. KNOCHEN | 36 |
| 7.1. KNOCHENZUSAMMENSETZUNG UND -STRUKTUR | 36 |
| 7.2. KNOCHENAUFBAU | 36 |
| 7.3. KNORPEL | 37 |
| 7.4. EXKURS: OSTEOPOROSE | 38 |
| 7.4.1. TRAININGSAUSWIRKUNGEN AUF DEN PASSIVEN BEWEGUNGSAPPARAT | 39 |
| 7.5. EXKURS: ARTHROSE | 39 |
| 8. DAS SKELETT | 40 |
| 8.1.1. WIRBELSÄULE | 40 |
| 8.1.2. DIE BANDSCHEIBEN | 41 |
| 8.1.3. EXKURS: BANDSCHEIBENVORFALL | 41 |
| 8.1.4. BEWEGUNGEN DER WIRBELSÄULE | 42 |
| 9. GELENKE | 43 |
| 10. BÄNDER | 45 |
| 11. ENERGIEBEREITSTELLUNG | 46 |
| 11.1. ENERGIEVERSORGUNG FÜR DIE MUSKELKONTRAKTION | 46 |
| 11.1.1. ANAEROBE SYSTEM | 46 |
| 11.1.2. DIE AEROBE ENERGIEGEWINNUNG | 48 |
| 11.2. ENERGIEGEWINNUNG (ÜBERBLICK) | 49 |
| 11.3. LEISTUNGSBESTIMMENDE FAKTOREN DER ENERGIEGEWINNUNG | 49 |
| 11.3.1. ENERGIESPEICHER | 49 |
| 11.3.2. AEROBE STOFFWECHSELKAPAZITÄT DER MITOCHONDRIEN | FEHLER! |
| TEXTMARKE NICHT DEFINIERT. | |
| 11.3.3. SAUERSTOFF | 50 |
| 11.3.4. LAKTAT | 50 |
| 11.4. ENERGIEBEREITSTELLUNG UND ERNÄHRUNG | 51 |
| 11.4.1. KREATIN | 51 |
| 11.4.2. KOHLENHYDRATE | 51 |
| 11.4.3. FETT | 52 |
| 11.4.4. WASSER | 53 |

1. Die Zelle

Alle Lebewesen sind aus einzelnen Zellen aufgebaut. Die Zelle ist die kleinste, lebende Einheit. Bakterien z. B. sind Einzeller, d.h. sie bestehen aus einer Zelle. Pflanzen, Tiere und Menschen bestehen aus Billionen einzelner Zellen. Zellen können sich durch Teilung vermehren. Auf diese Weise werden komplexe Organismen entwickelt. Die Zelle ist also der Basisbaustein des Lebens. Aber was unterscheidet eine lebende Zelle von toter Materie? In der Naturwissenschaft werden verschiedene Faktoren aufgezählt, die in ihrer Summe „Leben“ ausmachen:

Zelle: kleinste, lebende Einheit

Definition: Leben

- Stoffwechsel
- Energie-Austausch
- Fortpflanzung / Wachstum
- Kommunikation, Reaktionsfähigkeit

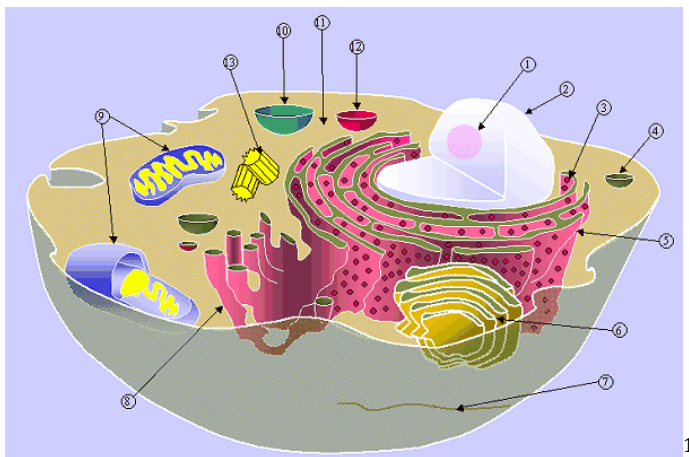
1.1. Aufbau der Zelle

Eine Zelle ist im Grunde genauso aufgebaut wie eine kleine Stadt: Es gibt eine Stadtmauer, Straßen, die hinein und hinaus führen, es gibt regen Handel und Kommunikation innerhalb der Stadt und mit umliegenden Städten. Im Stadthaus werden die Baupläne für die verschiedenen Stadtteile verwaltet. Kraftwerke sorgen für Energie. Fabriken sorgen für die Herstellung aller wichtigen Baustoffe. Transporter bringen Bau- und Abfallstoffe hinein und heraus.

für uns weniger wichtige Komponenten im Überblick:

1. Nucleolus (Hier werden Eiweiß-Fabriken gebaut)

4. Vesikel (kleine Bläschen mit verschiedenen Inhalten)



Organisation einer typischen Tierzelle:

2. Zellkern (Nukleus): die Stadtverwaltung, alle Baupläne werden hier verwaltet (die Gene) Der **Zellkern** enthält das genetische Material der Zelle und steuert alle Stoffwechselprozesse.

3. Ribosomen: hier werden Eiweiße hergestellt.

¹ Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Zelle_\(Biologie\)#/media/File:Biological_cell.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Zelle_(Biologie)#/media/File:Biological_cell.svg)
Autoren: MesserWoland und Szczepan1990

Ein anderes Wort für Eiweiß ist Protein. Proteine gehören zu den Grundbausteinen aller Zellen. Sie werden auf vielfältige Weise im Körper benötigt. Sie dienen als Bausubstanz in den Zellen und für

- Hormone
- Transporter
- Enzyme
- Muskeln
- Immunsystem
-

Für den Sauerstofftransport im Blut z.B. ist das Hämoglobin zuständig. Dieses besteht zu

- 1% aus Eisen (hier dockt der Sauerstoff an)
- 99% aus Eiweiß

Wenig Eiweiß heißt also:

→ wenig Sauerstofftransporter → weniger Sauerstoff in den Muskeln → weniger Fettverbrennung

5. Raues Endoplasmatisches Reticulum

Das endoplasmatische Retikulum ist teilweise von kugelförmigen Partikeln, den **Ribosomen** besetzt. Diese sind u. a. für die Proteinsynthese zuständig.

6. Golgi-Apparat

Der Golgi-Apparat erfüllt vielfältige Aufgaben der Umwandlung, Sortierung, Lagerung und Konzentration von Stoffen. Man kann sich den Golgi-Apparat ähnlich wie ein Postamt vorstellen (die Pakete werden aufgenommen, sortiert und an die betreffenden Stellen weitergeleitet). Bei Bedarf werden Stoffe, vor allem Proteine, in Golgi-Vesikeln zu anderen Organellen oder zur Ausschüttung aus der Zelle zur Zellmembran transportiert.

zur Abgrenzung:

In Vogeleiern wird das Eiklar umgangssprachlich auch oft als Eiweiß bezeichnet.

Das Wort *Protein* wurde von dem griechischen Wort „*proteuo*“ = „ich nehme den ersten Platz ein“ und von *protos* = „erstes“, „wichtigstes“ abgeleitet. Dies soll die Bedeutung der Proteine für das Leben unterstreichen.

lat. endo = innerhalb

lat. Plasma = Flüssigkeit

lat. Retikulum = Netz

→ ein „Transport“-Netz in der Zellflüssigkeit

weitere Komponenten im Überblick:

7. Mikrotubuli

kleine Röhrensysteme innerhalb der Zelle

8. Das endoplasmatische Retikulum (in der Muskelzelle das sarko-plasmatische Retikulum) ist ein intrazelluläres Transportsystem (Kanalsystem). In der Muskelzelle spielt es bei der Erregungsübertragung von der Oberfläche zu den kontraktilelementen eine wichtige Rolle.

10. Lysosom

Sie enthalten Verdauungs-Enzyme und sorgen für die Abfallentsorgung.

11. Zytoplasma

Die Flüssigkeit in einer Zelle wird als Zytoplasma bezeichnet.
Die Zelle selbst besteht zu etwa 70% aus Plasma = Flüssigkeit.
Im Zytoplasma finden verschiedene Prozesse statt:

- Die anaerobe Energiegewinnung (Glykolyse)
- Die Glykogensynthese
- Der Glykogenabbau
- Die Fettsäuresynthese.

anaerob = ohne Sauerstoff

Glykogen = Speicherform von Zucker (Glucose) im Muskel

Glykolyse = Spaltung von Zucker

Synthese = „Zusammensetzen“

Im Zytoplasma werden gleichzeitig Energieträger wie Glykogen und Fettsäuren gespeichert.

Zellmembran

Jede Zelle ist von einer Zellmembran umgeben: diese heißt bei der Muskelfaser nicht einfach Zellmembran sondern **Sarkolemm**.

lat. membrana = Haut

gr. sarco = Fleisch

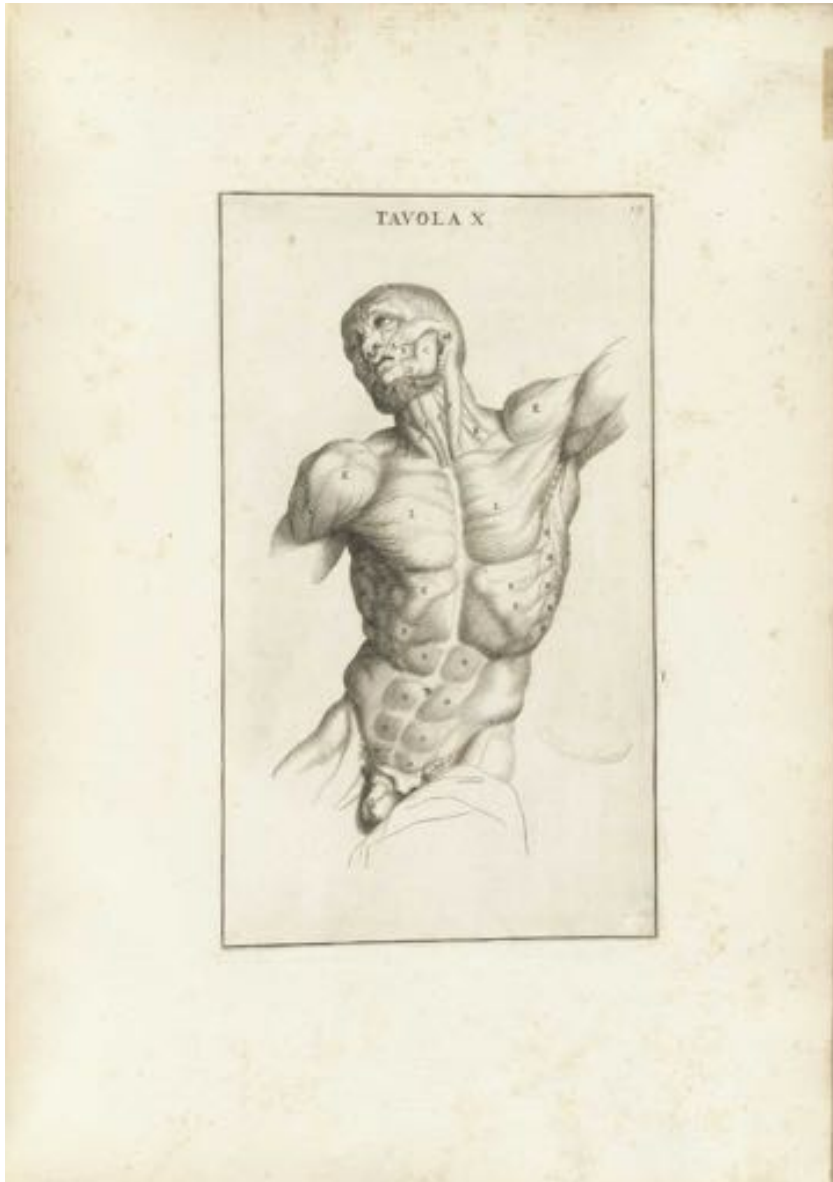
vgl. Sarkasmus = wörtl. „zerfleischen“

Mitochondrien

Die Mitochondrien sind die Kraftwerke der Zelle. Hier finden alle oxidativen Prozesse statt. Mitochondrien sind langgestreckte Zellbestandteile im Größenbereich von Bakterien. In ihrem Inneren sind die Enzyme für die Zellatmung untergebracht. Hier findet die ATP-Resynthese statt. Mitochondrien enthalten u. a. auch eigene DNA, sie sind daher in der Lage, sich durch Teilung zu vermehren. Unter dem Einfluß eines aeroben Ausdauertrainings kommt es zu einer Zunahme der Zahl, der Größe und der Oberfläche der Mitochondrien auf das 2 – 3 fache. Es werden auch mehr Enzyme aufgebaut, die an den Verbrennungsvorgängen beteiligt sind.

Mitochondrien

1.2. Die Muskelzelle



Jede Muskelzelle ist von einer Bindegewebshülle umgeben (Endomysium). Jeweils 10 bis 50 Muskelzellen sind wiederum zu Muskelfaserbündeln zusammengefasst (im Perimysium). Der komplette Muskel befindet sich ebenfalls in einer Hülle, der Muskelfaszie.

Eine Muskelzelle wird auch als **Muskelfaser** bezeichnet. Eine Muskelfaser besteht aus mehreren 100 bis mehreren 1000 parallel verlaufenden Fibrillen, den sog. **Myofibrillen**. Diese Myofibrillen wiederum setzen sich aus Tausenden von sog. Muskelfilamenten zusammen.

Muskelfaser = Muskelzelle
Muskelfaserbündel
Muskel (mit Muskelfaszie)
Faszie: = Bindegewebshülle

² By Bernardino Genga (1620–1690) = [Public domain], via Wikimedia Commons: Genga: Anatomia per uso et intelligenza del disegno ricercata non solo su gl'ossi, e muscoli del corpo humano

Das sind Eiweißstrukturen, die eingeteilt werden in (dünne) **Aktinfilamente** und (dicke) **Myosinfilamente**. Aktin- und Myosinfilamente liegen parallel angeordnet nebeneinander. Eine Einheit von ihnen – begrenzt durch die **Z-Linie** – wird als **Sarkomer** bezeichnet.

Sarkomer

Aktin und Myosin

Das Sarkomer ist die kleinste kontraktile Einheit.

Aktin und Myosin bilden eine funktionelle Einheit. Das Myosin besitzt ein „Köpfchen“, das sich bei der Kontraktion an das Aktin heftet, und diese Richtung Sarkomermitte zieht.

Die Muskelkontraktion wird durch einen elektrischen Impuls ausgelöst. Dieser erreicht die Muskelfaser an der **motorischen Endplatte** – der Verbindungsstelle zwischen Nerv und Muskelfaser.

Motorische Endplatte

Ein Nerv kann mehrere Muskelfasern gleichzeitig ansprechen. Die Gesamtheit aller von einer Nervenzelle innervierten Muskelfasern wird als **motorische Einheit** bezeichnet.

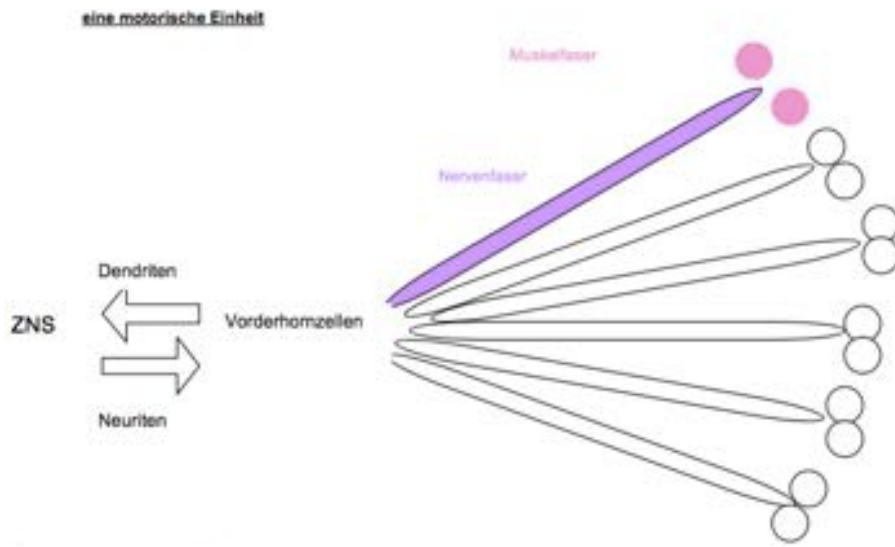
Motorische Einheit

Dabei gilt:

- Je differenzierter die Arbeit eines Muskels ist, desto mehr motorische Einheiten besitzt er (z.B. Augenmuskulatur ↔ Bizeps)
- Je grobmotorischer ein Muskel ist, desto mehr Muskelfasern werden gleichzeitig angesprochen.

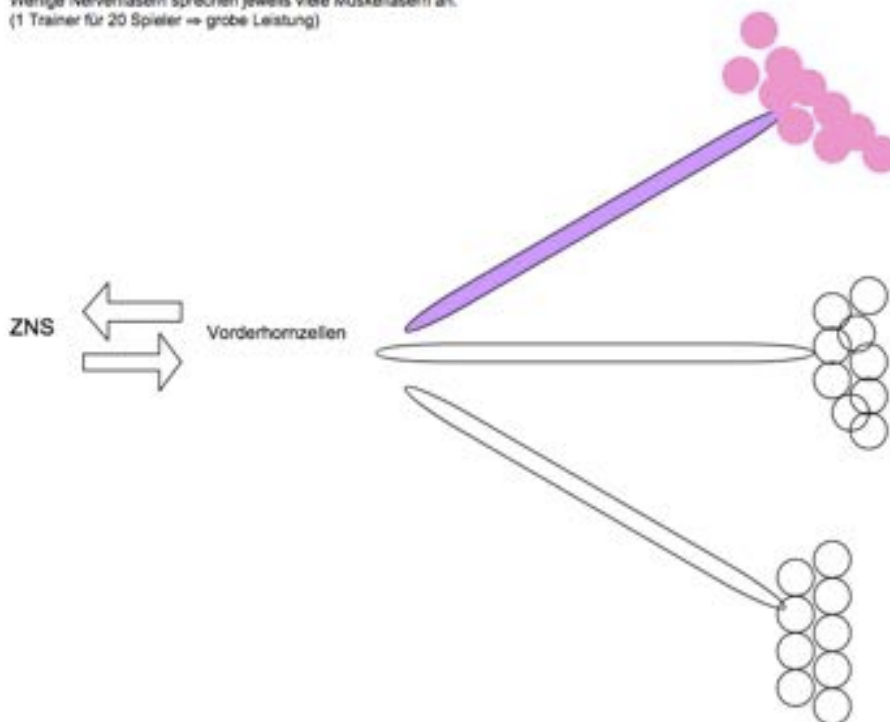
Feinmotorischer Muskel

Viele Nervenfasern sprechen jeweils wenige Muskelfasern an.
(10 Trainer für zwei Spieler → detaillierte Arbeit)



Grobmotorischer Muskel

Wenige Nervenfasern sprechen jeweils viele Muskelfasern an.
(1 Trainer für 20 Spieler → grobe Leistung)



Alles oder nichts – Gesetz

Alles-oder-nichts-Gesetz

Für jeden Reiz gibt es hinsichtlich seiner Stärke einen Schwellenwert, der zunächst überschritten werden muss, damit der elektrische Reiz vom Muskel mit einer Kontraktion beantwortet wird. Ist der Reiz unerschwellig, reagiert die Muskelfaser überhaupt nicht, ist der Reiz überschwellig, reagiert sie maximal, d.h. die Kontraktionskraft lässt sich durch Verstärkung des Reizes nicht weiter steigern. Die Muskelfaser reagiert also nach dem Alles-oder-nichts-Gesetz.

Rekrutierung und Frequenzierung

Der Muskel in seiner Gesamtheit hingegen reagiert auf zunehmende Reize auch mit einer entsprechend stärkeren Kontraktion. Mit steigender Reizstärke werden immer mehr motorische Einheiten innerviert, bis schließlich die Erregung alle Fasern erfasst hat (auch weiter vom Reizort entfernte und solche, die eine höhere Reizschwelle haben). Dieser Vorgang wird **Rekrutierung** genannt. Das ZNS steuert den Einsatz der motorischen Einheiten so, dass bei geringem Kraftbedarf zunächst die kleinen ermüdungsresistenten motorischen Einheiten aktiviert werden. Bei steigendem Kraftbedarf gesellen sich die größeren Einheiten hinzu, die zwar mehr Kraft entwickeln können, aber auch schneller ermüden. Wird noch mehr Kraft benötigt, erhöht sich die Erregungsfrequenz der Motoneurone (**Frequenzierung**).

Rekrutierung

Frequenzierung

Training ermöglicht es, mehr motorische Einheiten eines Muskels gleichzeitig zu aktivieren, d.h. die intramuskuläre Koordination und damit die Kraft verbessern sich.

Summation / Superposition

Die Zuckung der Muskelfaser oder des Muskels beim maximalen Reiz ist noch nicht die größtmögliche Verkürzung. Eine maximale Verkürzung wird erst durch Überlagerung rasch aufeinanderfolgender Kontraktionswellen erreicht. Man nennt die Überlagerung Summation oder Superposition der Kontraktion. Die folgende Erregung trifft auf eine noch nicht völlig erschlaffte Muskelfaser. Auf diesen Kontraktionsrückstand lagert sich die nächste Kontraktion auf usw. (Tautziehprinzip). Diese Superposition ist dadurch möglich, dass die Kontraktion selbst 10mal langsamer abläuft als die vorausgegangene Erregung.

Summation

Titinfilamente

Neben den Aktin- und Myosinfilamenten gibt es weitere Filamente. Im Rahmen dieses Manuals soll aber nur noch auf die **Titinfilamente** eingegangen werden: Sie haben die Funktion von Federn und ziehen die Sarkomere nach Dehnung wieder in ihre Ausgangslänge zurück. Sie sind für die Ruhespannung des Muskels verantwortlich. Mit dem Wachstum des Muskels (**Hypertrophie**) erhöht sich auch die Anzahl der Titinfilamente und damit die Ruhespannung des Muskels.

Aktin, Myosin und Titin

1.2.1. Exkurs: Muskelkater

Die Entstehung eines Muskelkaters hängt mit der Intensität und der Dauer einer Belastung zusammen. Intensive Belastungen führen eher zu Muskelkater als länger andauernde. Negativ dynamische (exzentrische) Arbeit führt eher zu Muskelkater als positive Arbeit. Der Muskelkater entsteht durch eine Traumatisierung des muskulären Bindegewebes. Die Z-Streifen, die schwächste Stelle innerhalb eines Sarkomers, werden auseinandergerissen. Dies führt zum Austritt von schmerzauslösenden Substanzen in den Raum zwischen den Muskelfasern. Dadurch kommt es zu einer reflektorischen Verspannung des Muskels.

Für die notwendigen Reparaturen wird vorübergehend der Stoffwechsel erhöht. Wasser ist wesentlich an der Eiweiß-Produktion beteiligt. Durch das Wasser werden die Muskeln „aufgebläht“, sie dehnen das umliegende Bindegewebe, der Muskel wird „hart“. Das umliegende Gewebe reagiert auf diese Dehnung mit Schmerz.

Praktische Hinweise

Sinnvoll ist in jedem Fall, die Muskulatur gründlich aufzuwärmen. Dadurch wird die Durchblutung gesteigert und die Koordination verbessert.

Die beste Vorbeugung gegen Muskelkater ist, ihn für eine bestimmte Bewegungsform bereits erlitten zu haben.³

Als Therapie haben sich bewährt:

- kraft-reduziertes, sehr sanftes Training
- Wärmeanwendungen (z. B. Sauna, heißes Bad)

Zu vermeiden sind

- intensives Dehnen
- hartes Training
- Massagen

³ Böning, Dt. Zeitschrift für Sportmedizin, Jahrgang 51, Nr. 2 (2000)

1.2.2. Energiebereitstellung/ ATP

Als universeller Transport- und Speicherstoff für Energie dient in den Zellen aller Lebewesen das **Adenosintri-phosphat (ATP)**. Es besteht aus einer Molekülverbindung (Adenosin), und drei (-tri-) angehängten Phosphatgruppen; daher der komplizierte Name Adenosin – tri – phosphat. Hauptaufgabe des ATP ist es, Energie zwischenzuspeichern und im Bedarfsfall wieder abzugeben. Es funktioniert wie eine Art „Akku“ der Zelle.

Adenosintri-phosphat

Diese Phosphatgruppen sind die eigentlichen Energieträger des ATP. Unter Mitwirkung eines Enzyms (ATPase) kann die letzte der drei Phosphatgruppen abgespalten werden, wodurch Adenosindiphosphat (ADP) entsteht (di = zwei). Dabei wird Energie freigesetzt.

Diese Energie kann nun für energie-verbrauchende Reaktionen genutzt werden. Eine solche ist zum Beispiel die Muskelkontraktion.

2. Muskulatur

Muskulatur

Der Anteil der Muskulatur am Gesamtkörpergewicht liegt bei 40 – 50 %. Nur knapp 30% der Muskelarbeit wird in mechanische Energie (Bewegung) umgewandelt. Die Muskeln produzieren einen großen Teil der Körperwärme.

In Ruhe verbrauchen sie etwa 20% der Gesamtenergie des Körpers. Je nach sportlicher Betätigung kann dieser Anteil auf bis zu 90% ansteigen.

Es werden drei Arten des Muskelgewebes unterschieden:

drei Arten Muskelgewebe

1. Glatte Muskulatur

- vor allem in den inneren Organen (in den Wänden der Blutgefäße, im Magen-Darm-Trakt) zu finden
- kontrahiert langsam
- nicht willentlich gesteuert

2. Skelettmuskulatur

- in der Lage, schnell zu kontrahieren
- ermüdet bei intensiver Belastung
- lässt sich willentlich steuern

3. Herzmuskulatur

- ermüdungsresistent
- fähig, schnell zu kontrahieren
- willentlich kaum steuerbar

2.1. Gleit-Filament-Theorie (Huxley)

Wenn die Muskelzelle durch einen Nervenimpuls zur Kontraktion angeregt wird, geschieht beinahe gleichzeitig in allen Sarkomeren der Muskelzelle das gleiche: die dicken Filamente ziehen die dünnen Filamente von beiden Seiten aus in die Mitte des Sarkomers. Dabei entsteht mechanische Spannung.

Auf der folgenden Seite ist der Mechanismus ausführlich dargestellt⁴:

1. Ein Nervenimpuls tritt auf die Muskelzelle und wird zu den Sarkomeren weitergeleitet. Calcium dockt am Troponin an, welches sich daraufhin „wegdreht“. Troponin ist so etwas wie eine „Wegfahrsperr“.
2. Jetzt ist der Weg frei für das Myosin-Köpfchen, um am Aktin anzudocken.
3. Unter Energieverbrauch kippt das Köpfchen und zieht das Aktin in Richtung Sarkomer-Mitte. Wenn jetzt keine weitere Energie zugeführt wird, bleibt die Verbindung weiter bestehen (→ Totenstarre). Wenn erneut Energie zugeführt wird,
4. kann sich das Myosinköpfchen wieder lösen.
5. Das Troponin dreht zurück und gibt das Calcium wieder ab.

Praktische Hinweise:

Kalzium

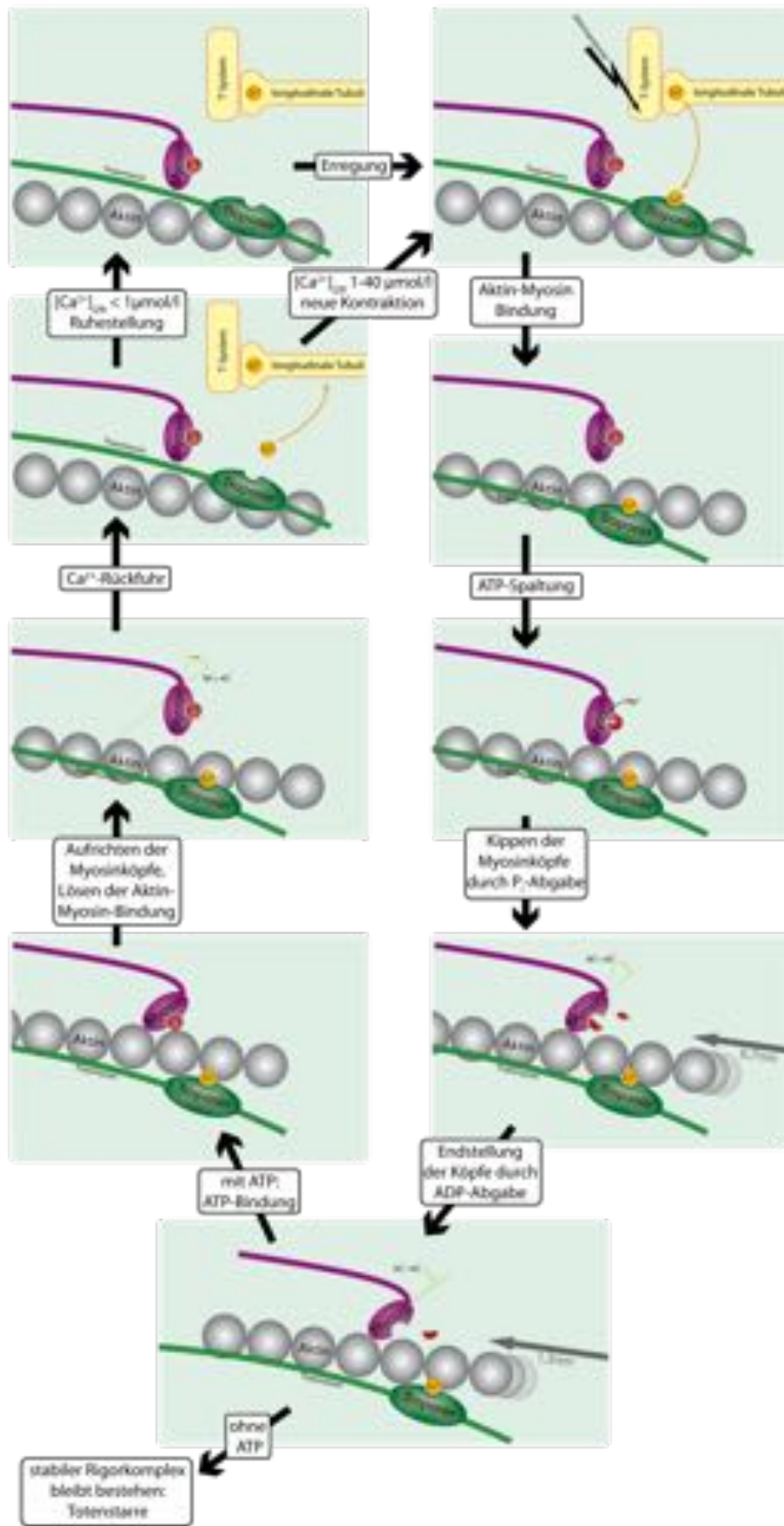
Kalzium ist wesentlich an diesem Prozeß beteiligt. Daher ist es bei Sport besonders wichtig, den Körper ausreichend damit zu versorgen. Krämpfe beim Sport / während Belastungen lassen sich oft auf Kalzium-Mangel zurückführen.

Magnesium

Krämpfe in Ruhe (z. B. der nächtliche Wadenkrampf) werden hingegen auf Magnesium-Mangel zurückgeführt. Magnesium wird auch als das Salz der inneren Ruhe bezeichnet. Magnesiummangel löst beim Menschen Ruhelosigkeit, Nervosität, Reizbarkeit, Kopfschmerzen, Konzentrationsmangel, Müdigkeit, allgemeines Schwächegefühl, Herzrhythmusstörungen und (siehe oben) Muskelkrämpfe aus.

⁴ Wikipedia: „Kontraktiler Mechanismus“, 31.01.2008

Molekulare Mechanismen der Muskelfunktion



5

2.2. Muskelfasertypen

Muskeln sind aus verschiedenen Muskelfasern zusammengesetzt, die sich in Kontraktionsgeschwindigkeit und Ermüdungsresistenz unterscheiden. Es gibt grob zwei Haupttypen:

- Schnellzuckende Fasern, sog. FT-Fasern (FT steht für „**fast twitch**“)
- Langsamzuckende Fasern, sog. ST-Fasern (ST steht für „**slow twitch**“).

FT-Fasern sind eher weiß. Sie werden vor allem bei intensiven oder „schnellen“ Belastungen beansprucht.

ST-Fasern sind eher bei geringeren, langandauernden Belastungen gefragt. Sie sind rot. Diese werden auch als Typ-I-Fasern bezeichnet.

Die Typ-II-Fasern werden weiter unterteilt in Ila, I Ib und I Ic-Fasern.

Alle Muskelzellen einer motorischen Einheit gehören immer zum selben Zelltyp. Allerdings besitzt der Mensch keine Muskeln, in denen nur schnelle oder nur langsame Fasern vorkommen. Die Verteilung von schnellen und langsamen Fasern innerhalb eines bestimmten Muskels ist unterschiedlich. In den Muskeln der Haltemuskulatur z.B. ist der Anteil der langsamen Fasern deutlich höher. Die Verteilung scheint nicht bei jedem Menschen gleich zu sein: beim Sprinter überwiegen die FT-Fasern, beim Marathonläufer die ST-Fasern.

Die Fasern im Vergleich

| Typ-I-Fasern (slow twitch) | Typ-II-Fasern (fast twitch) |
|--|--|
| rot | weiß |
| tonisch | phasisch |
| Viel Glykogen | Viel Glykogen |
| Viele Enzyme der aeroben Energiegewinnung | Viele Enzyme der anaeroben Energiegewinnung |
| Viele Mitochondrien | Wenig Mitochondrien |
| Viel Myoglobin | Wenig Myoglobin |
| Werden langsam und kontinuierlich innerviert | Werden schnell und diskontinuierlich enerviert |
| dichteres Kapillarnetz um die Muskelfasern | |

Die Motorik des menschlichen Körpers umfasst Stützmotorik und Zielmotorik. Dementsprechend unterscheiden wir überwiegend phasische und überwiegend tonische Muskulatur:

Die tonische Muskulatur hat Haltefunktion (Stützmotorik). Die phasische Muskulatur dagegen ist für die Bewegung zuständig, hat also eine sogenannte Bewegungsfunktion (Zielmotorik).

Übersicht: tonische und phasische Muskulatur

eher tonische Muskulatur

Bizeps brachii

Pectoralis major

Trapezius pars descendens

Levator scapulae

Erector spinae (HWS und LWS)

Ischiocrurales

rectus femoris

iliopsoas

adduktoren

tensor fasciae latae

piriformis

gastrocnemius / soleus

eher phasische Muskulatur

triceps brachii

trapezius pars horizontalis

Trapezius pars ascendens

Rhomboidei

Erector spinae (BWS)

Abdominis

glutaeus maximus, medius,
minimus

vastus medialis, vastus lateralis

tibialis anterior

tonische Muskeln:

→ eher dehnen

phasische Muskeln:

→ eher kräftigen

Tonische und phasische Muskulatur

Tonisch (ST > FT)

Phasisch (St < FT)

Funktion

Haltung

Bewegung

Innervation

Niedrige Reizschwelle

Hohe Reizschwelle

Ermüdung

Spät

Früh

...neigt zu:

Verkürzung

Abschwächung

Unser Körper besteht jedoch vor allem aus gemischten Muskelfasern, welche sowie Halte- als auch Bewegungsarbeit erfüllen. Das bedeutet, dass tonische und phasische Muskelfasern zwar nicht in reiner Form vorkommen, aber vorwiegend tonisch, phasisch oder indifferent (gemischte Muskulatur) reagieren.

Überwiegend tonisch reagierende Muskulatur weist nun beispielsweise der Brustmuskel und der Hüftbeuger auf, der Rückenstrecker der Brustwirbelsäule und die gesamte Bauchmuskulatur bestehen dagegen aus hauptsächlich phasischer Muskulatur, neigen dementsprechend bei Fehlbelastungen zu Abschwächung.

Das Konzept der tonischen / phasischen Muskulatur ist in der modernen Sportwissenschaft sehr umstritten. Unserer Meinung nach ist es jedoch immer noch ein praktikables Modell zur Muskuläre Dysbalance. Unter einer muskulären Dysbalance versteht man das erwähnte muskuläre Ungleichgewicht, welches einerseits durch eine übermäßige Kraftentwicklung und Verkürzung der "Leistungsmuskulatur", andererseits durch die Abschwächung nicht ausreichend mittrainierter Muskeln entsteht.

Auch neigen gewisse Muskelgruppen wie beispielsweise die Bauchmuskulatur (phasische Bewegungsmuskulatur) von Haus aus zu Abschwächung, müssen also unbedingt stets gefördert werden. Die Brustmuskulatur (tonische Haltemuskulatur) dagegen hat die Tendenz zu einer Verkürzung, welche nur durch ständiges Stretching verhindert werden kann.

Es gilt eine muskuläre Dysbalance unbedingt zu vermeiden, denn sie setzt die Belastbarkeit des Bewegungsapparates entscheidend herab und man verliert dadurch einen großen Teil der Leistungsfähigkeit. Der erhöhte Tonus der verkürzten Muskulatur führt außerdem zu einer größeren Verletzungsanfälligkeit der Muskeln und Sehnen. Auch die Gelenke und Wirbelsäulenabschnitte werden vermehrt belastet und reagieren mit Reizzuständen.

Gründe für eine muskuläre Dysbalance sind teilweise Fehlbelastungen des Bewegungsapparates, wie übertriebene oder einseitige Belastungen der Muskeln oder stereotype, eintönige Bewegungen sowie falsches, monotones Krafttraining. Auch auf Grund einer Verletzung, den durch die Schmerzen ausgelösten Ausweichbewegungen und der folgenden längeren Erholungspause werden Muskeln abgeschwächt und verkürzt, was zu einem Ungleichgewicht führt. Durch die Vernachlässigung des Beweglichkeitstrainings, schlechtes Aufwärmen und fehlendes oder zu kurzes Stretching, fehlende Erholungsphasen sowie zu wenig Schlaf, aber auch durch mangelhafte Sportausrüstung können die Fehl- oder Überbelastungen zudem entstehen.

Normalerweise bilden die Muskeln ein harmonisches Gleichgewicht, das heißt, dass jeder Muskel mit seinem Gegenmuskel zusammenspielt, wie beispielsweise der vordere Oberschenkel mit dem hinteren. Eine Verletzung kann nun aber zu einer Störung dieses Zusammenspiels führen, was das ganze Gleichgewicht durcheinanderbringt und den Teufelskreis der muskulären Dysbalance aktiviert. Von einem Teufelskreis wird gesprochen, da das durch die Verletzung entstandene Muskelungleichgewicht jetzt wiederum die Verletzungsanfälligkeit erhöht.

Irgendwie muss man den Teufelskreis stoppen, hierzu gibt es einige notwendige Maßnahmen, um dies zu erreichen.

Die allgemeingültige Regel lautet dabei: zuerst dehnen, dann kräftigen!

Das bedeutet, dass um die Muskulatur wieder ins Gleichgewicht zu bringen, vorerst die verkürzte, tonische Muskulatur gedehnt werden muss. Diese ist nicht nur kurz, sondern auch schwach. Sie verhindert durch ihre Verkürzung jedoch, dass der Gegenmuskel gestärkt

werden kann, so dass ein Kraftaufbau anfangs nur kontraproduktiv wäre, da dafür der Gegenmuskel schwach bleiben würde.

Nach zwei bis vier Wochen Dehnen können nun die Abschwächungen gekräftigt werden und zwar über die selbe Zeitspanne, wonach schlussendlich auch die anfangs aufgedehnte Muskulatur gekräftigt werden soll.

2.3. Für die Praxis:

In unseren Trainings gilt es nun, folgendes Prinzip zu verfolgen:

1. Prioritäten setzen:

Habe ich wenig Zeit für Kräftigung (z.B. in einer gemischten Stunde, also nach einem Aerobic- oder Stepteil)? Dann sollte ich in jedem Fall physische Muskelgruppen kräftigen!

1. Bauch
2. Gesäß
3. Oberer Rücken (Brustwirbelsäule)
4. Abduktoren

2. Wenn ich einen tonischen Muskel kräftige, so kräftige ich den Antagonisten im Verhältnis 1:2 oder sogar 1:3!!!

2.3.1. Exkurs: Muskelkrampf

Muskelkrampf

Während oder nach intensiven sportlichen Belastungen kommt es manchmal zu Muskelkrämpfen, vor allem in den unteren Extremitäten. Häufigste Ursache dafür sind (beim Sport) Elektrolytstörungen. Durch den Schweiß gehen auch Mineralstoffe verloren, die für das Funktionieren der Muskulatur von entscheidender Bedeutung sind, vor allem Salz, Kalzium, Magnesium und Kalium. Die Verluste sollten also ausgeglichen werden. Kalzium und Magnesium benutzen auf dem Weg in den Körper dasselbe Transport“schiffchen“, deshalb ist es sinnvoll, sie zeitlich versetzt zu sich zu nehmen.

Ausflug ins griechische Drama:

2.3.2. Synergisten – Antagonisten

Der Muskel, der hauptsächlich an einer Gelenkbewegung beteiligt ist, wird als **Agonist** bezeichnet. Bei der Ausführung einer Bewegung arbeitet ein Muskel aber oft nicht allein, sondern mit anderen zusammen. Diese Mitspieler werden **Synergisten** genannt. Die Muskeln, die an der Gegenbewegung beteiligt sind, heißen **Antagonisten**.

Agonos = der Handelnde

Synergos = der Mit-handelnde

Antagonos = der Gegen-
Handelnde

Ursprung und Ansatz

2.3.3. Ursprung – Ansatz

Die Befestigung des Muskels an dem beweglicheren Knochen heißt Ansatz, die Befestigung am relativ unbeweglicheren (fixierten) Knochen heißt Ursprung. Der Ursprung liegt normalerweise eher **proximal**, der Ansatz eher **distal**.

2.3.4. Sehnen und Schleimbeutel

Durch die Sehnen wird die Zugkraft des Muskels auf die Knochen übertragen. Die Sehnen bestehen aus sehr straffen Bindegewebsfasern von einer außerordentlich hohen Zugfestigkeit. Die Dehnfähigkeit von Sehnen liegt bei nur etwa 5% Flächenhaft angelegte Sehnen heißen Sehnenplatten (Aponeurosen)

Sehnen

Wegen der hohen Empfindlichkeit von Sehnen gegen Reibung und Druck, weisen die Sehnen an bestimmten Stellen Sehnenscheiden, Schleimbeutel und Sesambeine auf (z.B. Kniescheibe). Sehnen sind regenerationsfähig.

Sehnenscheiden

Die Sehnenscheiden sind flüssigkeitsgefüllte Bindegewebsschläuche, in denen die Sehnen überall dort gleiten, wo sie abgewinkelt über Knochenvorsprünge oder Bänder laufen.

Sehnenscheiden

Die Schleimbeutel sind kleine flüssigkeitsgefüllte Bindegewebsäckchen, die sich überall dort befinden, wo Muskeln und Sehnen über Knochenvorsprünge gleiten. Sie wirken wie Wasserkissen, die die Reibung vermindern.

Schleimbeutel

3. Nerven

3.1. Nervensysteme

Das zentrale Nervensystem (ZNS)

ZNS

Das ZNS besteht aus Gehirn und Rückenmark. Das **Rückenmark** ist ein 1 cm dickes und 40 bis 45 cm langes Nervenbündel, das den knöchernen Wirbelkanal vom Hinterhauptsloch bis zum ersten Lendenwirbel durchzieht.

Über **afferente (zuführende) Nervenfasern** werden Informationen an das ZNS geleitet.

afferente Fasern zum ZNS

Merksatz: Der Affe rent den Baum hinauf.

Über **efferente (ableitende) Nervenfasern** werden Befehle an die Organe des Körpers weitergeleitet.

Ein Querschnitt durch das Rückenmark zeigt eine dunklere, schmetterlingsförmige Figur in der Mitte, die sogenannte graue Substanz. Sie enthält in ihrem Vorderhorn hauptsächlich efferente Nerven, insbesondere die **motorischen Vorderhornzellen**, die zur Muskulatur ziehen.

Das ZNS ist für die Planung und Umsetzung von Bewegung zuständig.

Das willkürliche und das unwillkürliche Nervensystem

Das animale oder zerebrospinale Nervensystem ist im wesentlichen der Willkür unterworfen und reagiert auf Sinneseindrücke der Umwelt meist wieder mit einer Antwort nach außen. Die Reaktion auf wechselnde Umgebungsbedingungen besteht meistens in einer Aktivierung der Skelettmuskulatur. Dementsprechend unterscheidet man innerhalb des animalen Nervensystems das sensorische System, das die Signale der Sinnesorgane aufnimmt und verarbeitet, und das motorische System, das daraufhin die willkürliche Muskeltätigkeit steuert.

lat. cerebrum = das Gehirn

lat. spina = der Dorn, der Wirbel

Das zerebro-spinale System ist also das Nervensystem im Gehirn und im Rücken

lat. anima = die Seele

lat. motor → movere = bewegen

lat. vegetare = beleben

Das autonome, unwillkürliche oder vegetative Nervensystem passt die Funktionen des Körpers den Anforderungen der Außenwelt an. Es regelt die Atmung, den Kreislauf, die Verdauung, den Stoffwechsel, die Körpertemperatur und die Fortpflanzung. Es besteht aus zwei Teilen, die als Gegenspieler arbeiten:

Das autonome, unwillkürliche oder vegetative Nervensystem passt die Funktionen des Körpers den Anforderungen der Außenwelt an. Es regelt die Atmung, den Kreislauf, die Verdauung, den Stoffwechsel, die Körpertemperatur und die Fortpflanzung. Es besteht aus zwei Teilen, die als Gegenspieler arbeiten:

Der sympathische Teil regt die Herztätigkeit an, erweitert die Atemwege, sorgt für die Kontraktion der Arterien und hemmt den Verdauungsapparat; auf diese Weise bereitet er den Organismus auf körperliche Anstrengung vor.

Sympathikus

Die umgekehrte Wirkung hat das parasympathische System. Es stellt den Körper auf Nahrungsaufnahme, Verdauung und Ruhe ein. Durch regelmäßiges sportliches Training kommt es zu einer zunehmenden Dominanz des Parasympathikus mit einer Umschaltung auf Erholung, allgemeine Stoffwechsel-ökonomisierung und psychische Dämpfung im Sinne einer erhöhten „inneren Ruhe“ und Ausgeglichenheit. Parallel dazu stimuliert der Sympathikus verschiedene Organsysteme zu erhöhter Leistungsfähigkeit.

Parasympathikus

Durch Übertraining kommt es zu einer Dominanz des Sympathikus unter Ruhebedingungen. Typische Symptome sind dabei Übererregtheit, Aggressivität, Schlaflosigkeit, erhöhte Herzfrequenz.

Bewegungskoordination

Für die Bewegungskoordination von besonderer Bedeutung sind die **propriozeptiven Reflexe**.

lat. proprio = selbst

Propriozeptive Reflexe

lat. -zeption = Wahrnehmung

Bei den **Propriozeptoren** handelt es sich um Rezeptoren in den Muskeln, Sehnen und Gelenken, die dem Nervensystem Stellung und Lage des Körpers bzw. der Extremitäten im Raum mitteilen.

Muskelspindeln

→ Dehnreflex

Der für die motorische Steuerung wichtigste Reflex ist der **Muskeldehnungsreflex**, dessen Rezeptoren die **Muskelspindeln**⁶ sind. Das sind Muskelfasern, die nur in ihren Endabschnitten kontraktionsfähig sind. In ihrem mittleren Abschnitt besitzen sie einen Dehnungsrezeptor (Dilatorezeptor), der bei Muskeldehnung gedehnt, bei Muskelkontraktion entspannt wird.

Sehnenspindeln

→ Hemmreflex

Wird ein Muskel gedehnt, melden dies die Muskelspindeln und veranlassen reflektorisch eine Kontraktion. Sie verhindern damit eine zu starke muskuläre Überdehnung.

Entgegengesetzt arbeiten die **Sehnenspindeln** (sog. **Golgi-Organ**): wird durch eine zu starke Muskelkontraktion die Sehne zu stark gedehnt, reagieren die Sehnenspindeln und sorgen dafür, daß die Kontraktion reduziert wird.

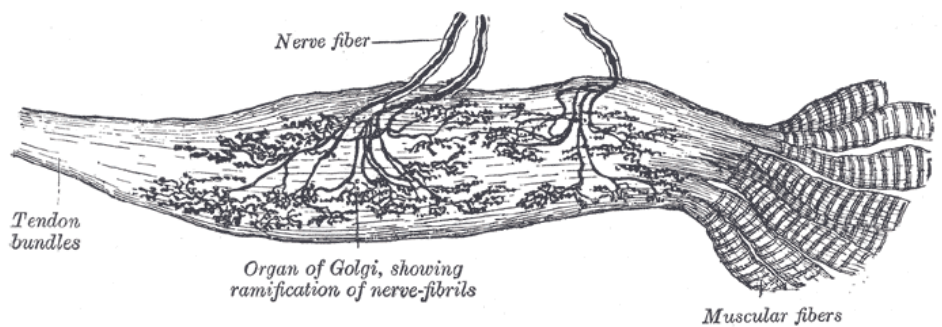
⁶ intrafusale Muskelfasern (lat. Fusus = Spindel), die von einer spindelförmigen © Q-Fitness Academy

Dehnungsreflexe bremsen überschießende Bewegungen rasch ab und bilden somit die Voraussetzung für flüssige Bewegungsfolgen. Durch Training wird die Feinabstimmung aller reflektorischen Mechanismen optimiert. Der durch mangelndes Training eintretende Übungsverlust ist u.a. auf die abnehmende Einstellschärfe der reflektorischen Regulationsmechanismen zurückzuführen.

Schutzreflexe

| | Auslöser | Wirkung = Reflex |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Muskelspindel = Dehnreflex | Dehnung der Muskulatur | Kontraktion der Muskulatur |
| Sehnenspindel = Hemmreflex | Spannung auf der Sehne | Hemmung der Muskelkontraktion |

Beim Stretching versucht man also, den Dehnreflex zu umgehen und den Hemmreflex auszunützen. Muskel- und Sehnenspindeln regulieren auch den Muskeltonus (Grundspannung).



Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) *Anatomy of the Human Body*⁷

⁷ Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Gray938.png> (gemeinfrei)

3.1.1. Aufbau einer Nervenzelle⁸

Die Grundeinheit des Zentralnervensystems (ZNS) bildet die **Nervenzelle (= Neuron)**. Diese setzt sich zusammen aus

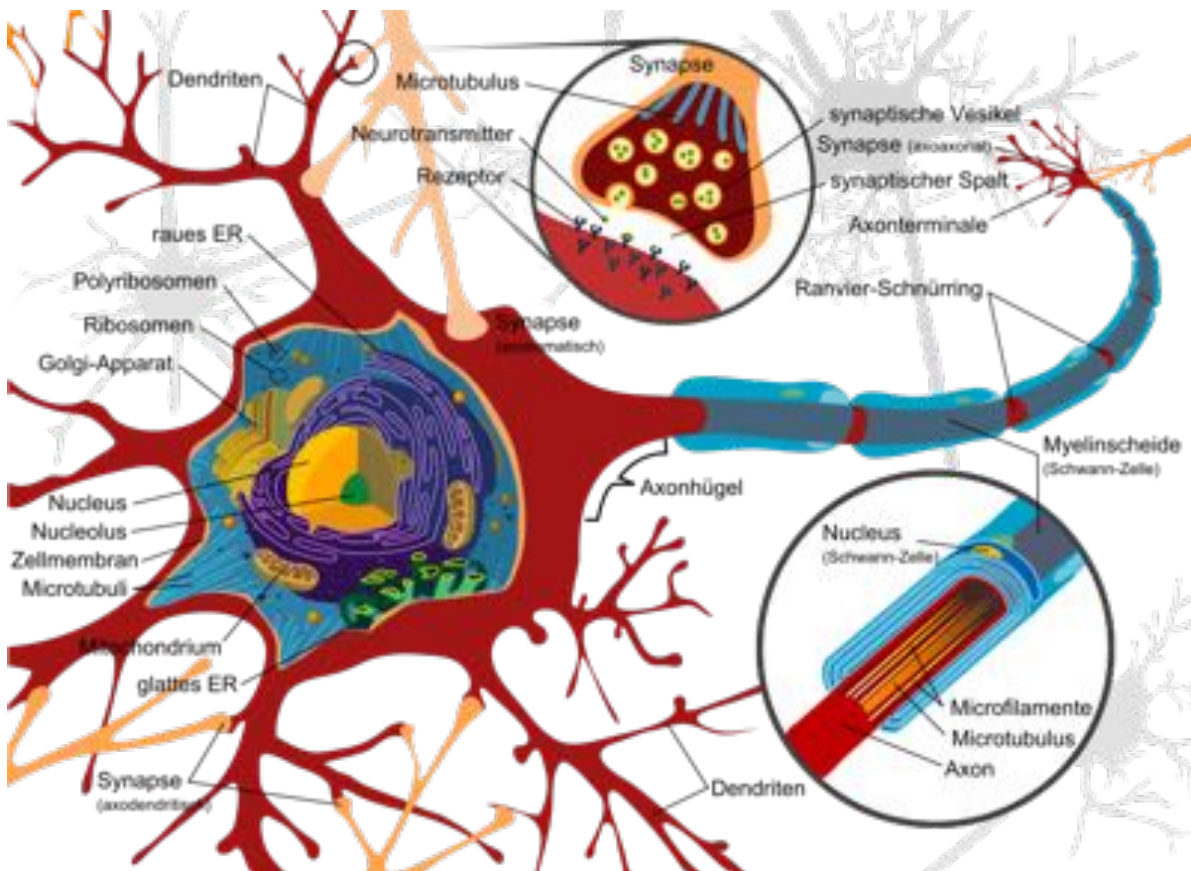
- dem Zellkörper,
- kurzen Zellfortsätzen (den Dendriten) und
- einem langen Zellfortsatz (Neurit oder Axon).
-

Die Dendriten dienen der Informationsaufnahme, der Neurit der Informationsweiterleitung. Mehrere Neuriten zusammen ergeben einen Nerv. Das ganze ist so ähnlich aufgebaut wie bei den Muskeln:

Muskelfaser → Muskelfaserbündel → Muskel.

Nervenzelle → Nervenfaserbündel → Nerv

Der motorische Nerv, der für die Muskelkontraktion verantwortlich ist, teilt sich bei der Ankunft am Muskel in viele Nervenfaser auf, die jeweils über eine motorische Endplatte eine bestimmte Anzahl von Muskelfasern innervieren. Die Gesamtheit der von einer motorischen Nervenzelle innervierten Muskelfasern wird als motorische Einheit bezeichnet.



⁸ Grafik aus wikipedia „Neuron“, 31.01.2008, gemeinfrei

4. Motorisches Lernen

An der Bewegungssteuerung sind zahlreiche verschiedene Systeme beteiligt. Die Optimierung der Zusammenarbeit dieser Systeme ist Teil des motorischen Lernprozesses. Das Zusammenspiel der verschiedenen Steuerungsebenen wird verbessert; Bewegungen, die anfangs höchste Konzentration und bewusste Kontrolle erfordern, werden zunehmend automatisiert und das Großhirn damit entlastet. Am Anfang des Lernprozesses steht die Grobform einer Bewegung. Typisch dafür sind die besonders beim Anfänger zu beobachtenden überschüssigen und räumlich-zeitlich schlecht koordinierten Mitbewegungen. Im Laufe der Zeit jedoch werden die Bewegungen immer sauberer und koordinierter. Am Ende des Lernprozesses steht dann die Fein- und Feinstform einer Bewegung.

Die vier Phasen des Bewegungslernens

Prämotorische Phase

Die Zielübung wird erklärt oder demonstriert; es werden erste Vorstellungen vom Gesamtbewegungsablauf vermittelt. Die vermittelten Informationen (visuell, auditiv) lassen erste grobe Assoziationskreise entstehen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von Bewegungsschleifen. In der prämotorischen Phase entsteht schon eine solche verschwommene und unscharfe Bewegungsschleife.

4 Phasen des
Bewegungslernens

lat.prä- = vorher

lat. motor- = Bewegen

Phase der Grobkoordination

Die eigentliche Bewegung wird von vielen überflüssigen Aktionen begleitet. Der Bewegungsablauf ist räumlich-zeitlich schlecht gegliedert, die Mitaktivierung der Antagonisten hemmt die Bewegung. Es wird insgesamt mehr Muskulatur aktiviert, als erforderlich wäre. In dieser Phase ist die Bewegungskoordination mit sehr viel Energie und Konzentration verbunden. Der Bewegungsablauf festigt sich in seinen Grundstrukturen.

Phase der Feinkoordination

Die Abläufe im Körper werden auf die bewegungsrelevanten Hirnareale und Muskeln konzentriert. Das führt zu einer zunehmenden Ökonomisierung der Bewegung. Visuelle und verbale Informationen werden differenzierter aufgenommen und verarbeitet. Zunehmend wird auf kinästhetische Rückmeldungen aus dem Körper zurückgegriffen. Auch vorherige Bewegungserfahrungen werden miteinbezogen. Die Bewegungen erhalten ihre Feinstruktur.

Phase der Automatie

Die Koordination der Bewegung wird so automatisiert, daß sich die Bewegung auch ohne bewußte Aufmerksamkeit realisieren läßt. Der Bewegungsablauf ist in einer festen Bewegungsschleife verankert.

Visuelle und auditive Informationen treten zugunsten kinästhetischer Wahrnehmungen immer mehr in den Hintergrund.

Wichtige Voraussetzungen für das Bewegungslernen sind die Wahrnehmung und die Gedächtnisbildung. Die Wahrnehmung kann **visuell, auditiv oder kinästhetisch**⁹ erfolgen. Zu Beginn eines psychomotorischen Lernprozesses dominieren die visuellen und auditiven Informationsanteile, in der Folge spielen die kinästhetischen Informationen eine zunehmend bedeutende Rolle.

Offenbar kann man einzelne Teilabschnitte eines hochkoordinierten Bewegungsablaufs gesondert voneinander behalten und im Bedarfsfall in anderer Reihenfolge wieder zusammensetzen.

Besonders in der Phase der Grobkoordination können sich emotionale Reaktionen wie Angst oder Unsicherheit erschwerend auf den Lernprozess auswirken. Der Lehrer oder Trainer kann dem nur entgegenwirken, wenn er in der Lage ist, von Anfang an eine völlig stressfreie Lernatmosphäre zu schaffen und den komplizierten Bewegungsablauf in harmlose Einzelteile zu zerlegen, die ohne Unsicherheit nacheinander eingeübt werden.

⁹ Kinästhesie: der Bewegungs- u. Lagesinn (Muskelsinn); die Fähigkeit zur Empfindung der Richtung u. Geschwindigkeit der Bewegungen der Gliedmaßen gegeneinander

5. Das Herz-Kreislauf-System¹⁰

Das Herz-Kreislauf-System hat zwei Hauptaufgaben: einerseits die Versorgung des Körpers mit Nähr- und Wirkstoffen, sowie mit Sauerstoff, andererseits den Abtransport von Stoffwechselprodukten.

Es werden zwei große Kreislaufsysteme unterschieden: der (große) Körperkreislauf und der (kleine) Lungenkreislauf.

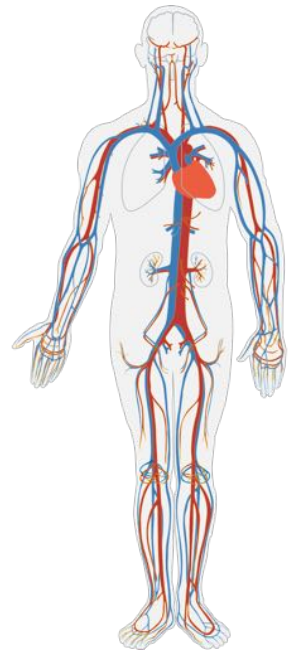
Der Körperkreislauf versorgt alle Organe des Körpers. Er beginnt in der linken Herzkammer und endet im rechten Vorhof des Herzens.

Der Lungenkreislauf dient dem Gasaustausch: kohlendioxidreiches Blut wird in der Lunge in sauerstoffreiches Blut „umgewandelt“. Der Lungenkreislauf beginnt mit der rechten Herzkammer und endet im linken Vorhof.

Gefäße, in denen das Blut vom Herzen wegtransportiert wird, heißen Arterien,

Gefäße, in denen das Blut zum Herzen hin transportiert wird, heißen Venen.

Aus der linken Herzkammer gelangt das sauerstoffreiche Blut über die Hauptschlagader (Aorta) in den Körperkreislauf. Im Körper wird das Blut in immer kleineren Kanälen (Arterien → Arteriolen) verteilt, bis schließlich in den Kapillaren der Nährstoff-Austausch stattfindet. Das Blut gibt den Sauerstoff ab und nimmt dafür Kohlenstoffdioxid auf (CO₂). Dieses sauerstoffarme Blut gelangt über die Venen zurück zum Herzen, genauer: in den rechten Vorhof und wird von dort direkt in die Lunge geschickt. Hier findet wieder ein Gas-Austausch statt. Das frische, sauerstoffreiche Blut gelangt über die Lungenvene zurück zum linken Vorhof. Über die linke Herzkammer geht es wieder in den Körper.



¹⁰ Grafik aus Wikipedia, „Herz-Kreislauf-System“, 31.01.2008

5.1. Das Herz

5.1.1. Aufbau und Funktion

Die Größe des Herzens entspricht in der Regel der Faust seines Trägers. Beim Untrainierten beträgt das Herzgewicht etwa 250 – 300 g (Frau) bzw. 300 – 350 g (Mann).

Das Herz ist aus zwei nebeneinanderliegenden Einzelpumpen aufgebaut (Druck-Saug-Pumpe). Das Herz untergliedert sich in vier Hohlräume: die beiden muskelstarken Kammern (Ventrikel) und die beiden muskelschwachen Vorhöfe (Atrien).

Aus der linken Kammer wird das sauerstoffreiche Blut in die große Körperschlagader (Aorta) gepumpt. Zwischen der Kammer und der Aorta liegt eine Taschenklappe (Aortenklappe), die ein zurückfließen des Blutes verhindert und so dafür sorgt, daß das Blut nur in eine Richtung fließen kann. Von der Aorta geht es über verschiedene Arterien und Arteriolen bis zu den Kapillaren, wo die Versorgung der verschiedenen Körpergewebe stattfindet.

Die Arteriolen können sich aktiv eng oder weit stellen und so die Blutverteilung regulieren. Über die Venolen und Venen gelangt das sauerstoffarme und kohlendioxidreiche Blut über zwei Hohlvenen in den rechten Vorhof. Das rechte Herz saugt das Blut aus den Hohlvenen und pumpt es über die rechte Kammer weiter in die Lungenarterie (Arteria pulmonalis). Auch zwischen Vorhof und Kammer gibt es Klappen (sogenannte Segelklappen), die einen Rückfluss des Blutes verhindern sollen. Zwischen rechter Kammer und Lungenarterie liegt entsprechend ebenfalls eine Taschenklappe (Pulmonalklappe). Das Blut gelangt über die Lungenarterie in die Lunge, wo der Gasaustausch stattfindet. Über die Lungenvene wird das sauerstoffreiche Blut zurück zum Herzen geleitet. Es gelangt in den linken Vorhof und von dort weiter in die linke Kammer. Hier beginnt wieder der Körperkreislauf. Das Herz selbst wird über die Herzkranzgefäße versorgt. Es verbraucht etwa 5-8% der ausgestoßenen Blutmenge.

Das Herz regelt unter normalen Bedingungen seine Tätigkeit selbst. Bei Belastung kommt es unter Einfluss des Sympathikus zu einer Steigerung der Herzfrequenz; auch die Kraft der Herzmuskelkontraktionen wird erhöht. Unter Einfluss des Parasympathikus kommt es zu einer Drosselung der Herztätigkeit.

Herz

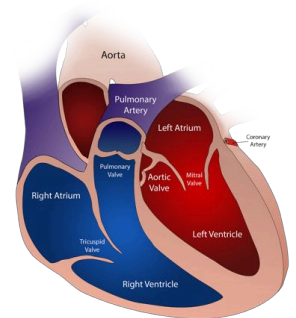
Druck-Saug-Pumpe mit vier Hohlräumen

lat. ventrikulus = kleiner Bauch

lat. Atrium = der Vorhof

lat. capillus = das Haar

→ haarfeine, hauchdünne Gefäße



11

Das Herz ist ein selbstregulierender Muskel. Es wird von Sympathikus und vom Parasympathikus beeinflusst.

¹¹ Quelle: <https://pixabay.com/de/herz-ventil-kreislauf-menschliche-2222964/>

5.1.2. Systole / Diastole

Die Herztätigkeit ist durch den Wechsel von Kontraktion (**Systole**) und Erschlaffung (**Diastole**) gekennzeichnet. Je nach Bedarf muß das Herz eine mehr oder weniger große Auswurfleistung erbringen.

Blutdruck:

gr. sys- = zusammen

gr. stole- = „stellen“

gr. dia = weit

systole = zusammenziehen

diastole = weit stellen

5.1.3. Schlagvolumen / Herzfrequenz / Herzzeitvolumen

Das **Schlagvolumen** ist die Menge Blut, die pro Kontraktion aus der Herzkammer in die Blutbahn ausgeworfen wird. Es beträgt in Ruhe 70 – 100 ml Blut. Es steigt bei Belastung nur wenig, bis etwa 120 ml.

Die **Herzfrequenz** gibt die Anzahl der Herzschläge pro Minute an. Sie beträgt in Ruhe 60 – 90 S/min. Bei körperlichen Belastungen kann die Herzfrequenz beim Untrainierten etwa um das Dreifache ansteigen und Werte über 200 Schläge pro Minute erreichen.

Schlagvolumen

Kinder und Jugendliche haben aufgrund ihrer kleineren Herzen eine höhere Herzfrequenz. Frequenzen bis zu 240 Schläge unter Belastung sind möglich.

Herzfrequenz

Die pro Zeiteinheit beförderte Blutmenge wird als **Herzzeitvolumen** bezeichnet. Das Produkt aus Schlagvolumen und Herzfrequenz ergibt das Herzzeitvolumen. Das Herzzeitvolumen wird normalerweise als Herzminutenvolumen angegeben (Herzminutenvolumen).

Der Ruhewert beträgt 5-7 l/min, der sich unter Belastung auf 20-25 l/min steigern kann. Es gibt zwei Möglichkeiten, das Herzminutenvolumen zu steigern: zum einen durch eine Steigerung der Herzfrequenz, zum anderen durch eine Zunahme des Schlagvolumens. Untrainierte steigern das HMV vorwiegend durch Herzfrequenzzunahme. Bei Trainierten steigt dagegen das Schlagvolumen. Die Schlagvolumenzunahme ist energetisch günstiger für den Körper: es wird weniger Sauerstoff benötigt als bei der Frequenzzunahme.

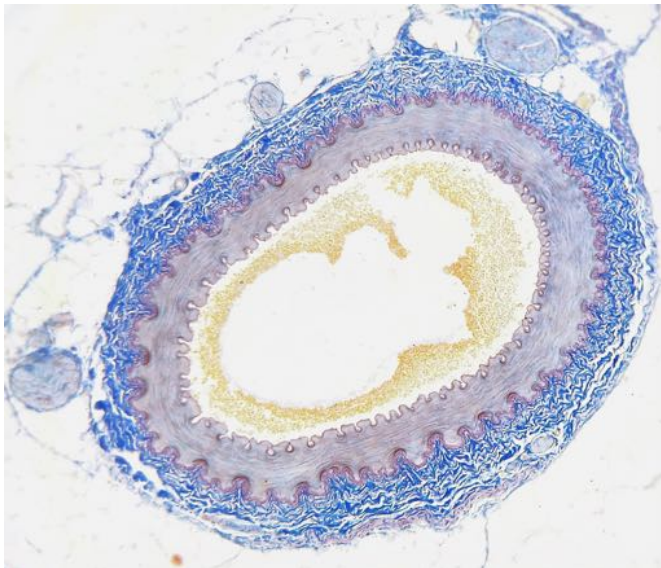
Ausdauertraining führt zu einer Hypertrophie des Herzens, verbunden mit einer Erweiterung (Dilatation) der Herzhöhlen. Dadurch wird die Herzarbeit wesentlich ökonomisiert: Es muss für die gleiche Auswurfmenge weniger arbeiten. Durch ein erhöhtes Schlagvolumen reduziert sich auch die Herzfrequenz. Des Weiteren wird die Versorgung des Herzens selbst verbessert.

5.1.4. Nährstoffverbrauch des Herzens

Der Energiebedarf des Herzens wird auf aerobem Wege bereitgestellt. Das Herz ist in der Lage, neben Glucose auch freie Fettsäuren und Laktat aus dem Blut aufzunehmen und zu verwerten („Allesfresser“). Während diese drei Brennstoffe in Körperruhe zu etwa gleichen Anteilen energieliefernd eingesetzt werden, steigt bei körperlicher Belastung die Verwertung des energiereichen Laktats auf über 60% des Brennstoffgemischs an. Entsprechend hoch ist mit bis zu 30 ml O₂/min der Sauerstoffverbrauch des Herzens (ca. 10% des gesamten Ruhesauerstoffverbrauchs), obwohl die Herzmasse nur 0,5% der Körpermasse beträgt.

5.1.5. Aufbau der Gefäßwände

Die Wände der Arterien und der Venen sind ähnlich aufgebaut. Eine innere Schicht (Intima) bildet eine glatte Oberfläche, an der sich das Blut normalerweise nicht ablagern kann. Die äußere Schicht (Adventitia) besteht aus Bindegewebsmaterial. Die mittlere Schicht (Media) besteht aus einer Lage von ringförmig angeordneten Fasern glatter Muskulatur. Durch diese Muskelschicht können sich die Gefäße aktiv weit oder eng stellen.



12

¹² Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/Artery.png> (gemeinfrei)

5.1.6. Blutgefäße

Man unterscheidet Arterien, Arteriolen, Kapillaren und Venen. Ausschließlich in den Kapillaren findet die Versorgung der Körpergewebe mit Nährstoffen etc. statt. Die übrigen Gefäße dienen nur dem Transport.

Da die Gesamtmenge des Blutes nicht ausreicht, um alle Organbezirke gleichzeitig optimal mit Sauerstoff zu versorgen, wird die Anzahl der durchbluteten Kapillaren nach dem Bedarf der Gewebe reguliert. **Bei körperlicher Ruhe sind z.B. 3/4 aller Muskelkapillaren verschlossen.** Dafür werden andere Gewebe besser durchblutet. Da die Verdauungsorgane nach dem Essen besonders stark durchblutet werden, ist es ungünstig, größere Muskelgruppen und damit den Gesamtorganismus unmittelbar nach der Einnahme einer Mahlzeit intensiv zu belasten. Außerdem kommt es zu einer verminderten Hirndurchblutung und der nach dem Essen auftretenden Müdigkeit.

Bei körperlicher Betätigung wird die Skelettmuskulatur mehr mit Blut versorgt, die Verdauungsorgane weniger. Sämtliche Kapillaren werden geöffnet und zusätzlich noch erweitert. Durch regelmäßiges Ausdauertraining kommt es sogar zur Kapillarneubildung.

5.1.7. Blutdruck

Die treibende Kraft für die Zirkulation des Blutes ist der arterielle Blutdruck. Er wird durch die Pumpleistung des Herzens erzeugt und schwankt zwischen systolischem (ca. 120 mm Hg) und diastolischem Blutdruck (ca. 80 mm Hg). Der systolische Blutdruck entspricht dem Druck, den das Herz in seiner Kontraktionsphase erzeugt. Der diastolische Blutdruck wird durch die Windkesselfunktion der großen Gefäßstämme, insbesondere der Aorta, hervorgebracht, und in starkem Maße vom peripheren Widerstand, vor allem der Arteriolen beeinflusst.

5.1.8. Windkesselfunktion

Die herznahen Arterien, insbesondere die Aorta, dehnen sich durch das vom Herzen ruckartig ausgeworfene Blut kurz auf. Während sich der Herzmuskel in der Diastole entspannt, zieht sich die Gefäßwand wieder zusammen und schiebt so dass in ihr gespeicherte Blut weiter. So kommt es zu einem kontinuierlichen Blutstrom.

5.1.9. Richtwerte

Nach der Definition der WHO gelten folgende Richtwerte:

Richtwerte: „120 zu 80“

| | Systolisch | Diastolisch |
|---------------|------------|-------------|
| Normalwert | Bis 139 | Bis 89 |
| Grenzbereich | 149 – 159 | 90 – 94 |
| Bluthochdruck | > 160 | > 95 |

In mm Hg

Nichtmedikamentöse Behandlungsmöglichkeiten bei Bluthochdruck:

- Übergewicht abbauen
- Salzkonsum auf ca. 6g/Tag senken
- Rauchen einstellen
- Alkoholkonsum stark verringern bzw. völlig einstellen

5.1.10. Das Blut

Das Blut hat verschiedene Funktionen im Körper:

- **Atemfunktion**
 - Es transportiert Sauerstoff zu den Körperzellen und Kohlendioxid von ihnen weg
- **Nährfunktion**
 - Es versorgt die Körperzellen mit allen wichtigen Nährstoffen, darüber hinaus transportiert es Stoffwechselprodukte ab. Auch Wasser, Hormone und andere Wirkstoffe (z.B. Elektrolyte, Vitamine) werden über das Blut transportiert
- **Wärmetransportfunktion**
 - Über das Blut wird Wärme im ganzen Körper verteilt. Überschüssige Wärme wird an die Körperoberfläche geleitet.

Sauerstoff- und Kohlendioxidträger im Blut ist das **Hämoglobin** in den roten Blutkörperchen (Erythrozyten)

6. Lunge

Luftröhre (Trachea)

Über die äußeren Atemwege (Mund und Nase) gelangt die Luft durch den Rachen in die Luftröhre. Die Luftröhre ist die wichtigste Sauerstoffleitung des Körpers und wird durch starken Knorpel gegen Schäden gesichert.

Bronchien

Die Luftröhre führt bis runter in den Brustkorb, wo sie sich in eine linke und rechte Hälfte aufteilt. Auch linker und rechter Ast genannt. Diese beiden Äste verzweigen sich weiter in die Lungenflügel. Die Lungenflügel verzweigen sich wiederum weiter in die Bronchien und Bronchiolen.

Die Bronchien funktionieren in der Lunge wie ein Filter. Sie filtern Fremdkörper und Krankheitserreger aus der Luft heraus. Das geschieht über die spezielle Schleimhaut der Bronchien. In dieser Schleimhaut befinden sich die kleinen Flimmerhärchen, die die Fremdkörper und Krankheitserreger dann wieder aus der Lunge befördern.

Schleim und Dreck können ausgehustet oder unwillkürlich verschluckt werden.

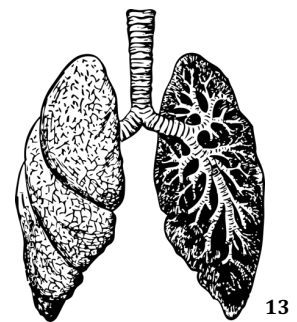
Lungenflügel

Die Lunge nimmt im Brustkorb fast den kompletten Platz ein und teilt sich in den linken und rechten Lungenflügel auf. Die Form der Lungenflügel gleicht etwa der eines Kegels.

Die Lungenflügel reichen von der unteren Basis am Zwerchfell bis hoch zu den jeweiligen Schlüsselbeinen. Das Zwerchfell (Diaphragma) ist der wichtigste Atemmuskel und trennt den Bauchraum von der Brusthöhle.

Lungenbläschen (Alveolen)

In den Lungenflügeln befinden sich die Lungenläppchen und in den Lungenläppchen finden wir die Lungenbläschen. Diese sind mit Luft gefüllt und übernehmen die Aufgabe des Gasaustauschs mit dem Blut. Die Lungenläppchen nehmen den Sauerstoff aus der Luft auf und geben das Kohlendioxid an die Bläschen ab.



¹³ Quelle: <https://pixabay.com/de/lunge-orgel-diagramm-menschliche-37825/> (gemeinfrei)

Mechanik der Atmung

Obwohl die Lunge fast den gesamten Brustkorb ausfüllt, ist sie nicht fest mit dem Brustkorb verbunden. Die Lunge wird vom Lungenfell umgeben und der Brustkorb von innen vom Rippenfell bedeckt. Zwischen diesen beiden „Häuten“ liegt ein dünner Flüssigkeitsfilm. Das führt dazu, dass die Lunge jede Bewegung des Brustkorbs mitmacht. Trotzdem sind beide gegeneinander verschiebbar.

Die Atmung ist ein Zusammenspiel aus aktiver und passiver Muskelbewegung. Beim Einatmen werden die wichtigsten Atemmuskeln kontrahiert. Dazu zählen die Zwischenrippenmuskeln und das Zwerchfell. Diese Muskeln nennt man auch „Atempumpe“.¹⁴

Die Zusammenarbeit der Atem- und der Atemhilfsmuskeln ermöglicht, dass der Brustkorb sich weiten kann was gleichzeitig dazu führt, dass die Lunge sich ebenfalls weitet. So entsteht ein Unterdruck der die Luft in die Lunge saugt.

Das Ausatmen funktioniert genau auf umgekehrte Weise. Die Atem- und Atemhilfsmuskeln entspannen sich, der Brustkorb, und somit auch die Lunge, verengt sich und presst die Luft wieder aus der Lunge heraus.

6.1. Gasaustausch in der Lunge

Das sauerstoffentsättigte Blut fließt aus dem Körper zum rechten Herzen zurück und wird von dort auf beide Lungenflügel verteilt. Es landet also in den Lungenkapillaren.

Das Netz der Lungenkapillaren ist so dicht, dass jedes Lungenbläschen von einem dichten Lungenkapillarenetz umgeben ist. Hier tritt der Sauerstoff aus den Lungenbläschen in das Kapillarblut und das Kohlendioxid aus dem Kapillarblut in die Lungenbläschen über.

Aus dem dunkelroten venösen Blut wird hellrotes arterielles Blut, das über die Lungenvene zum linken Herzen gelangt. Von dort gelangt es wieder in den großen Kreislauf.

Der Transport des Sauerstoffs und des Kohlendioxyds zwischen den luftgefüllten Lungenbläschen und den flüssigkeitsgefüllten Lungenkapillaren geschieht durch Diffusion. Diffusion bedeutet, dass zwei Stoffe sich vollständig miteinander mischen ohne äußere Einflüsse. Als Beispiel kann man sich vorstellen, dass man in einen Behälter mit Wasser einen Tropfen Tinte gibt. Nach und nach mischen sich Tinte und Wasser ohne, dass man aktiv etwas tun muss.

¹⁴ Neben den Atemmuskeln gibt es noch die Atemhilfsmuskeln wie z.B. den M. serratus anterior (Sägemuskel)

Welchen Nutzen hat es für mich als Trainer diese Dinge zu wissen?

- Lungenfunktion kann wie die Muskulatur trainiert werden
- Bei Ausdauerleistungssportarten sind oft nicht die Muskulatur oder das Herzkreislaufsystem der limitierende Faktor sondern die Lunge.
- Bei einigen Kursformaten (z. B. Pilates) ist eine besondere Atmung gefragt. Hier ist es wichtig zu wissen, welche Muskulatur wie angesteuert werden soll.

6.2. Exkurs: Blutgeschmack und Brennen in der Lunge

Wie auch die Muskulatur, wird die Lunge bei sportlicher Belastung stärker als normal durchblutet. Das heißt also, dass auch die Schleimhaut der Bronchien erheblich mehr zu tun hat als unter normalen Bedingungen.

Unter diesen Umständen kann es dann dazu kommen, dass geringe Mengen Blut auf der Bronchialschleimhaut hängen bleiben und über die feinen Flimmerhärchen in den Mundraum gelangen. Dort schmecken wir dann das Blut.

Diese geringen Mengen sind aber völlig unbedenklich.

Der gesamte Vorgang ist vergleichbar mit dem Reiben auf der Haut. Die Haut ist daraufhin gereizt und wird rot. Die intensive sportliche Belastung reizt nun die Lunge, die wird allerdings nicht rot sondern die Reizung macht sich durch den eben genannten Prozess in den Bronchien und das brennende Gefühl in der Lunge bemerkbar. Es kann zu Husten kommen.

7. Knochen

7.1. Knochenzusammensetzung und -struktur

Knochen: **fest**, aber auch **elastisch**

Zusammensetzung:

2/3 **anorganisch** (Mineralien)

1/3 **organisch** (Knochenzellen, Blutgefäße)

Bei einem Neugeborenen ist das Verhältnis zwischen anorganischen und organischen Verbindungen 1:1, während es bei einem 60-70jährigen Menschen 7:1 beträgt. Das erklärt die Elastizität des Skeletts in jungen Jahren und seine Sprödigkeit im hohen Alter. Die Knochen befinden sich in ständigem Auf- und Abbau. Die Stoffwechselrate von Knochen ist sehr niedrig, daher passen sie sich nur langsam an Belastungen an.

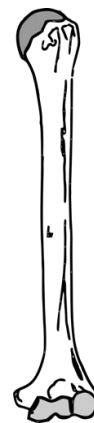
Knochenaufbau

1. Knochenhaut (**Periost**)
Sie ernährt den Knochen. Von ihr aus dringen Blutgefäße in den Knochen ein.
2. Knochenrinde (**Kompakta**)
Die Knochenrinde ist sehr fest, deswegen heißt sie Kompakta.
3. Knochenbälkchen (**Spongiosa**), die sich langfristig den Druckbelastungen anpassen.
Es sieht ein bisschen aus wie ein Schwamm (= lat. Spongi). Bei Röhrenknochen befinden sich Knochenbälkchen nur in den Endabschnitten; die Hohlräume sind mit **Knochenmark** gefüllt (Blutbildung)

Knochen sind in „Leichtbauweise“ konstruiert:

**Minimum an Material
Maximum an Festigkeit**

Knochen: fest und elastisch



15

gr. peri- = um, herum;

gr. os.. = Knochen.

Periost heißt also wörtlich „um den Knochen herum“ = Knochenhaut

¹⁵ Quelle: <https://pixabay.com/de/anatomie-knochen-menschliche-2025077/> (gemeinfrei)

Länglich geformte Knochen werden als **Röhrenknochen** bezeichnet.

In der Mitte befindet sich die **Diaphyse**. Die beiden äußeren Teile werden **Epiphysen** genannt.¹⁶ Dazwischen befindet sich die Epiphysenfuge, dies ist die Längenwachstumszone.

Röhrenknochen

In der Diaphyse ist eher kompakter Knochen anzutreffen, in den Epiphysen eher spongiöser Knochen.

gr. dia = weit, dazwischen

Die anorganischen Bestandteile, die Mineralien und der Knochenkalk, verleihen dem Knochen seine Härte und die organischen Bestandteile, die Bindegewebsfasern, die Elastizität. Dies ist vergleichbar mit dem im Gebäudebau verwendeten Stahlbeton: während die Eisenstäbe die Biegsamkeit und damit die Widerstandsfähigkeit gegen Zugkräfte ermöglichen, sorgt der Beton für die Härte und somit die Widerstandsfähigkeit gegen Druckkräfte.

gr. phyein = wachsen

gr. epi - = auf

Es gibt verschiedene Knochenformen.



siehe dazu **Sportanatomie, S.18, 19**

7.2.Knorpel

An den Enden geht der Knochen oft in Knorpel über. Dieser ist besonders druckfest und widersteht gut mechanischen Beanspruchungen. Da er nicht von Blutgefäßen durchzogen wird, muss er allein durch Diffusion von Nährstoffen und Sauerstoff aus den umgebenden Geweben versorgt werden. Knorpel gehört zu den sog. bradytrophen Geweben, mit niedriger Stoffwechselaktivität. Seine Regenerationsfähigkeit ist gering, weshalb Verletzungen der Gelenkknorpel oder der ebenfalls aus Knorpelgewebe bestehenden Menisken schlecht heilen.

Knorpel

gr. **bradys** = langsam

gr. **trophikos** = Nahrung

→ bradytroph: verlangsamter, herabgesetzter Stoffwechsel



siehe dazu **Sportanatomie, S.26 - 29**

¹⁶ gr. epi = auf

7.3.Exkurs: Osteoporose

Knochen kann nur kräftig werden bzw. bleiben, wenn er regelmäßig und langfristig äußerliche Reize zum Wachstum erhält. Werden dem Knochen aufgrund des heute vielfach verbreiteten chronischen Bewegungsmangels die notwendigen Reize zum Erhalt bzw. der Steigerung seiner Belastbarkeit nicht gegeben, kommt es zur Entwicklung einer Osteoporose, auch Knochenschwund genannt.

Die Abnahme der Knochendichte kann bereits im Kindes- und Jugendalter erfolgen, wenn sich die Kinder bzw. Jugendlichen nicht genügend bewegen. Normalerweise werden etwa 98% der späteren Knochenspitzenmasse in diesem Zeitraum durch entsprechende Bewegungsaktivitäten aufgebaut. Der natürliche Bewegungsdrang der Kinder war bislang ein Garant für diese Basisarbeit. Durch das tägliche Herumtollen, Springen, Klettern, und „fangen“ spielen, wurde auf natürliche Art und Weise dafür gesorgt, daß das Knochenskelett ausreichende Trainingsreize zu seiner Entwicklung erhielt. Heute ist das vielfach nicht mehr der Fall (Fernseher, Computer, Schule).

Für das Entstehen einer Osteoporose gibt es eine Vielzahl von sogenannten Risikofaktoren. Sie tritt gehäuft bei Frauen nach der Menopause auf. Trotzdem gilt: Bewegungsmangel ist zu jedem Zeitpunkt im Leben der entscheidende Faktor für die Entwicklung einer Osteoporose. Alle übrigen Faktoren sind nur zusätzliche Komponenten, die den Knochenabbau bei bestehendem Bewegungsmangel beschleunigen. Wer lebensbegleitend ein adäquates Krafttraining betreibt, hat keine Osteoporose.

Risikofaktoren für die Osteoporoseentwicklung (nach Weineck):

- Genetische Disposition
- Östrogenmangel
- Schlanker Habitus, helle dünne Haut, blonder Typ, graziler Skelettbau
- Sitzende Tätigkeit, kein Sport
- Starkes Rauchen, Alkohol, Koffein

Nicht Alter schwächt die Knochen, sondern Inaktivität!

7.3.1. Trainingsauswirkungen auf den passiven

Bewegungsapparat

- Knochen wird kräftiger, stabiler, belastbarer
- Auch Knorpel reagiert auf Belastung. Bei kurzzeitigen Belastungen kommt es zu einer zeitlich begrenzten Flüssigkeitsaufnahme. Dadurch wird er resistenter gegen erhöhte Druck- und Scherkräfte und die Fähigkeit zur Stoßdämpfung verbessert sich. Bei längerzeitigem Training kommt es zu einer Hypertrophie des Knorpels.
- Durch Training wird der Sehnenquerschnitt, sowie die Zug- und Reißfestigkeit der Sehnen erhöht. Dasselbe gilt für Bänder.

Insgesamt lässt sich feststellen: Mehrbelastung ohne Überlastung führt zu einer Kräftigung, Minderbelastung zu einer Schwächung von Knochen, Knorpel, Sehnen und Bändern.

7.4.Exkurs: Arthrose

Die Arthrose ist eine Gelenkverschleißerkrankung. Sie greift vom Knorpel aus auf den angrenzenden Knochen und die Gelenkkapsel über. Häufige Extrem- und Fehlbelastungen der Gelenke, die zu Knorpelverletzungen führen, können arthrose-auslösend wirken. Durch Über- und Fehlbelastungen können Risse in der Knorpeloberfläche entstehen. Knorpelzellen werden zerstört, kollagene Faserstrukturen werden freigelegt. Dadurch vermindert sich die Elastizität des Knorpels. Bei weiterer Belastung wird so nach und nach der gesamte Knorpel abgebaut, der Knochen selbst bildet irgendwann die Gelenkoberfläche und wird ebenfalls degenerativ verändert.

Arthrose

gr. arthron = das Gelenk

Symptome:

- schmerzhaft funktionseinschränkungen
- Schwellungen im Gelenkbereich
- Morgensteifigkeit, schnelle Ermüdbarkeit des Gelenks
- Atrophie der das Gelenk bewegenden Muskeln.

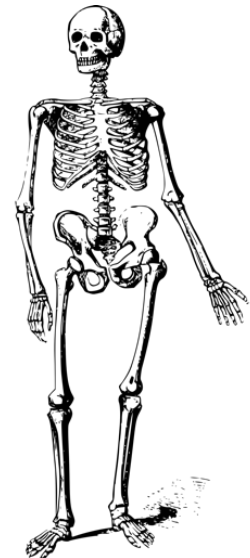
Unfunktionales Training kann Arthrose fördern.

Funktionales Training kann Arthrose unter Umständen und je nach Stadium aufhalten oder sogar umkehren!

8. Das Skelett

Das Skelett übernimmt im Körper wichtige Funktionen:

- Stütze des gesamten Körpers
- Ansatzpunkt für Muskeln zur Kraftübertragung
- Schutz für Organe vor Verletzungen
- Ort der Blutzellbildung
- Speicher für Mineralsalze



18

8.1.1. Wirbelsäule

Normalerweise hat der Mensch 24 bewegliche Wirbel:

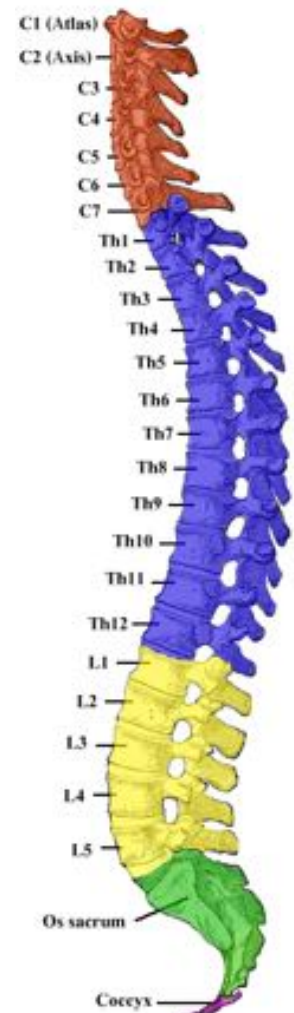
- **7 Halswirbel (Halsteil – pars cervicalis)**
- **12 Brustwirbel (Brustteil – pars thoracalis)**
- **5 Lendenwirbel (Lendenteil – pars lumbalis)**

Das Kreuzbein ist eine Verschmelzung von ursprünglich 5 Wirbeln.
Das Steißbein besteht aus 4-5 Wirbeln.

Die Wirbelsäule hat eine **Doppel-S-Form**. Eine Krümmung nach vorne wird als **Lordose** bezeichnet, eine Krümmung nach hinten als **Kyphose**.¹⁷

Krümmung der Wirbelsäule

- **Halslordose**
- **Brustkyphose**
- **Lendenlordose**
- **Sakralkyphose (Kreuzbein)**



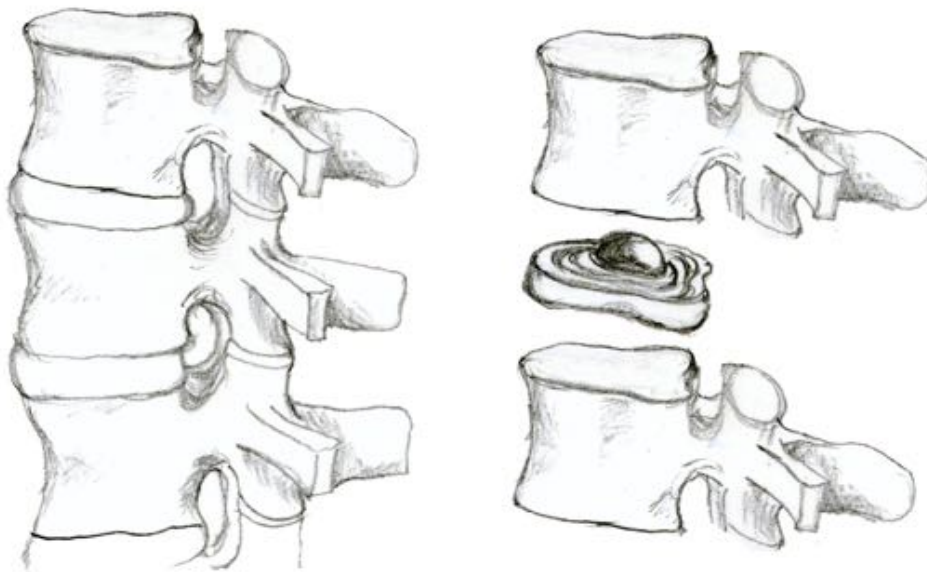
Quelle:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Gray_111_-_Vertebral_column-coloured.png

¹⁷ griech.: **lordos** = zurückgebogen, **kyphos** = Buckel

¹⁸ Quelle: <https://pixabay.com/de/knochen-begraben-toten-skelett-1297457/>

8.1.2. Die Bandscheiben

Zwischen den Wirbelkörpern liegen die Band- oder Zwischenwirbelscheiben. Sie bestehen aus einem äußeren Ring von straffen Bindegewebsfasern, der als Faserring bezeichnet wird (Anulus fibrosus). Der innere Teil des Faserrings besteht aus Faserknorpel. Im Zentrum der Bandscheibe befindet sich der Gallertkern (nucleus pulposus). Er besitzt die Fähigkeit, viel Wasser zu binden, und wirkt wie ein Stoßdämpfer und verteilt wie ein Wasserkissen die Belastung gleichmäßig auf die gesamte Bandscheibe. Die Bandscheibe wird ernährt, indem sie bei Entlastung wie ein Schwamm Flüssigkeit aufnimmt und bei Belastung wieder abgibt. Langes Sitzen oder Stehen führt zu einem Ernährungsmangel der Bandscheiben.



8.1.3. Exkurs: Bandscheibenvorfall

Durch Fehlbelastungen der Bandscheibe (asymmetrische oder übermäßige Belastung) können Einrisse im Faserknorpelring entstehen. Dann besteht die Möglichkeit, dass der Gallertkern in diese Gebiete eindringt, es kommt zum Bandscheibenvorfall.

Bandscheibenvorfall nach vorn: meist klinisch stumm.

Bandscheibenvorfall nach hinten (in den Wirbelkanal): er entsteht bei Bewegung unter Belastung, z.B. beim Heben schwerer Lasten mit rundem Rücken. Es kommt zu heftigen, sehr plötzlich einsetzenden Schmerzen im LWS-Bereich.

Bandscheibenvorfall nach hinten seitlich: Durch den Druck auf die Nerven im LWS-Bereich kommt es zur Ischialgie, d.h. Taubheitsgefühl und Schmerzen in der Beinrückseite.

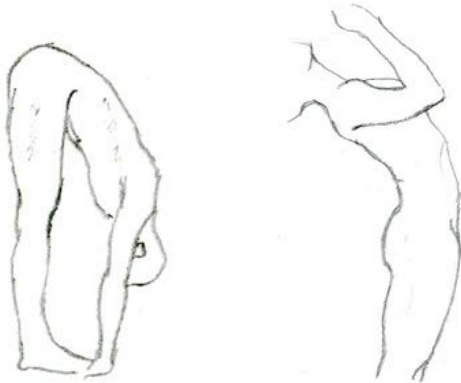
Prophylaxe: Kräftigung der Rückenmuskulatur (Krafttraining, Schwimmen)

8.1.4. Bewegungen der Wirbelsäule¹⁹

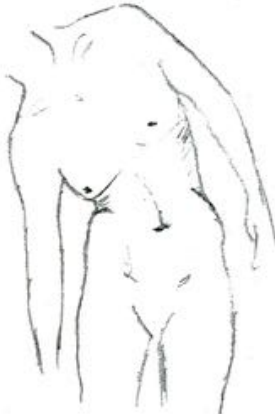
Zwei benachbarte Wirbel sind infolge der Bandverbindungen zwischen ihnen nur eingeschränkt beweglich. Die Summierung dieser Bewegungen führt zu einer relativ großen Beweglichkeit.

Hauptbewegungen:

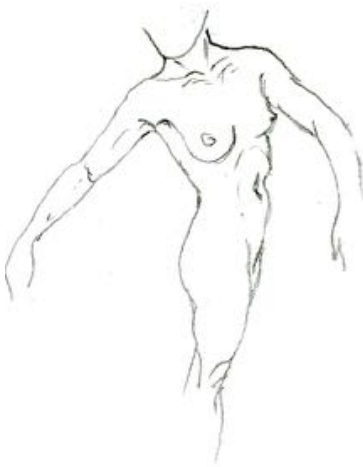
Beugung und Streckung in der Sagittalebene



Seitliche Neigung in der Frontalebene



Drehung um die Längsachse



¹⁹ Zeichnungen unserer Teilnehmerin Bea Koller-Alan. Vielen Dank!
© Q-Fitness Academy

9. Gelenke

Um Bewegungen zu ermöglichen, müssen die verschiedenen Teile des Körpers miteinander verbunden und gegeneinander verschiebbar sein. Diese Verbindungen stellen die Gelenke her.²⁰

Bestandteile eines Gelenks:

- Zwei mit Knorpel überzogene **Knochenenden** (Gelenkkopf und Gelenkpfanne ergeben zusammen den Gelenkkörper)
- **Gelenkspalt** (Der Spielraum zwischen Gelenkkopf und Gelenkpfanne)
- **Gelenkkapsel**
Sie umschließt doppelschichtig Gelenkkopf und Gelenkpfanne. Die äußere Schicht ist eine feste Bindegewebshaut (teilweise durch Bänder verstärkt), die innere Schicht sondert die Synovia ab. Die Gelenkkapsel wird oft von Bändern verstärkt.
 - **Gelenkschmiere (Synovia)**
Sie vermindert die Reibung und ernährt den Knorpel.
 - **Gelenkscheiben (Menisken, Disken)**
In den Gelenkspalt können Scheiben eingelagert sein, die eine Inkongruenz zwischen Gelenkkopf und Gelenkpfanne ausgleichen.
 - **Schleimbeutel**
Sie befinden sich dort, wo Muskeln und Sehnen direkt mit Knochen in Berührung kommen und vermindern die Reibung.
 - **Verstärkungsbänder**
Stabilisieren zusätzlich das Gelenk.

Zur Reibungsminderung sind die Knochen-Enden mit Knorpel überzogen. Da Knorpelgewebe generell nicht durchblutet ist, erhält der Gelenkknorpel seine Nahrung vor allem aus der Gelenkflüssigkeit, die sich im Gelenkspalt befindet. Es bedarf auch hier einer dosierten Be- und Entlastung, damit der Knorpel optimal versorgt wird. Dadurch verdickt er und gewährleistet einen besseren Schutz vor Gelenkschäden, die durch starke oder einseitige Belastungen hervorgerufen werden können.

Ein Gelenk, das nicht belastet wird, reagiert entsprechend: das Knorpelgewebe schwindet. Übermäßige Bewegung nutzt das Knorpelgewebe schneller ab, als es sich regenerieren kann.

²⁰ daneben gibt es noch die Haften (Eugen) oder Fugen, hier sind die Bewegungsmöglichkeiten sehr begrenzt.

Die Gelenkflächen passen mehr oder weniger gut zusammen. Man bezeichnet dies als Kongruenz.

Kongruenz

Das Hüftgelenk besitzt eine starke Kongruenz.

Das Schultergelenk weist eine schwache Kongruenz auf.

Hüftgelenk:



Das Schultergelenk ist das beweglichste, aber auch am wenigsten gesicherte Gelenk des menschlichen Körpers.

Nicht alle Gelenke sind gleich beweglich. Man unterscheidet bewegliche und unbewegliche Verbindungen. Die meisten Gelenke, mit denen wir es im Sport zu tun haben, sind

Diarthrosen = bewegliche Gelenke.

Schultergelenk:



Diarthrosen

Als Gelenktypen werden unterschieden:

- Kugelgelenk (z.B. das Hüftgelenk)
- Eigelenk (z.B. das Handgelenk)
- Scharniergelenk (z.B. das Kniegelenk)
- Sattelgelenk (z.B. das Daumengelenk)
- Zapfendrehgelenk (z.B. das Ellbogengelenk)

Zapfendrehgelenk:



Die Gelenkart bestimmt die Bewegungsmöglichkeiten eines Gelenks. Das ist wichtig zu wissen, um beurteilen zu können, welche Bewegungen funktional sind und welche nicht.

Eine Übersicht über die verschiedenen Gelenkarten findest Du in Gehrke, Sportanatomie: S. 32 ff. (bitte anschauen.)

Das Ellbogengelenk ist ein zusammengesetztes Gelenk, bestehend aus zwei Scharnier- und einem Zapfendrehgelenk. Der Oberarm setzt einmal an der Elle und einmal an der Speiche an (jeweils Scharniergelenk). Die Verbindung von Elle und Speiche ist das Zapfendrehgelenk (siehe Zeichnung)

Zeichnung: Bea Koller-Alan

Synarthrosen

Diese Verbindungen lassen kaum Bewegungen zu. Sie sind über Bänder, Knorpel oder enge Fugen sehr fest verbunden.

Bsp.: Schambeinfuge, Ilio-Sakral-Gelenk.

10. Bänder

Bänder verbinden Knochen miteinander und verleihen einem Gelenk Stabilität, sie schränken die Bewegungsmöglichkeiten ein (**Führungs- und Hemmfunktion** der Bänder).

Bänder bestehen aus **kollagenen Fasern**. Sie sind nur wenig elastisch. Nach starker Überdehnung kann keine optimale Gelenkführung mehr gewährleistet werden, es ist eine längere Ruhepause nötig, bevor das betroffene Gelenk wieder belastet werden kann.

Die **Zwischenscheiben** wirken als Puffer zwischen Gelenkkopf und Gelenkpfanne. Als **Diskern** (Bandscheibe) trennen sie den Gelenkspalt vollständig. Dringen sie nur teilweise in den Gelenkspalt ein, spricht man von **Menisken**.

Sie sind elastisch verformbar und stellen eine Art verschiebbare Gelenkfläche dar. Sie gleichen Inkongruenzen der beiden Knochenenden aus und vergrößern ihre Auflagefläche.

Der Bewegungsumfang eines Gelenks hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- **Knochenhemmung**
- **Bandhemmung**
- **Muskelhemmung**

Beim Beweglichkeitstraining wird in erster Linie die Dehnfähigkeit der Gelenkmuskulatur verbessert. Ein schlaffes Band- und Muskelkorsett führt zu überbeweglichen, verletzungsanfälligen Gelenken.

Gerade bei einer großen Beweglichkeit ist ein kräftiges Muskelkorsett sehr wichtig, um den Bewegungsumfang auch kontrolliert nutzen zu können.

11. Energiebereitstellung

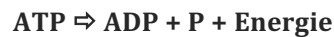
Energiebereitstellung

11.1. Energieversorgung für die Muskelkontraktion

11.1.1. Anaerobe System

11.1.1.1. ATP

Die erste energieliefernde Reaktion zur Muskelkontraktion ist also die Spaltung von ATP:



ATP

Die freiwerdende Energie von etwa 30 kJ pro Mol kann jetzt zum Betreiben von Reaktionen – wir bleiben bei der Muskelkontraktion – verbraucht werden.

Wie lange das bereits vorhandene ATP ausreicht, wird in der Literatur unterschiedlich beurteilt. Die Einschätzungen reichen von Sekundenbruchteilen bei maximalen Muskelkontraktionen bis zu 1 – 4 Sekunden.²¹

Diese Reaktion läuft anaerob ab, d.h. es wird noch kein Sauerstoff verbraucht. Die bei dieser Reaktion gebildeten Zerfallsprodukte ADP und Phosphat stimulieren jedoch die Atmung und sorgen so für die Aktivierung weiterer am Muskelstoffwechsel beteiligter Funktionssysteme und damit auch für eine erhöhte Versorgung der Muskelzelle mit Sauerstoff.

an-aerob = ohne Sauerstoff

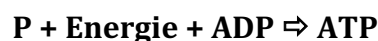
Die Zelle ist auf ATP als Energielieferanten angewiesen. Es muss also ständig wieder neu aufgebaut werden. Zur Aufrechterhaltung des intrazellulären ATP-Vorrates bedient sich die Muskelfaser verschiedener Wege der ATP-Resynthese.

11.1.1.1. Kreatinphosphat (KP)

Um weitere Muskelarbeit zu ermöglichen, wird das ATP durch die Spaltung von Kreatinphosphat resynthetisiert:



Die hier entstehende Energie wird genutzt, um wieder ATP herzustellen:



Dieses System – **Phosphagensystem** genannt – ermöglicht eine Gesamtarbeitszeit von etwa 5 – 7 bzw. 4 – 20 Sekunden, bei maximalen Belastungen auch weniger. Die Muskelzelle ist daher auf weitere Systeme angewiesen.

²¹ Siehe hierzu Weineck, S.44

11.1.1.2. Anaerobe Glykolyse

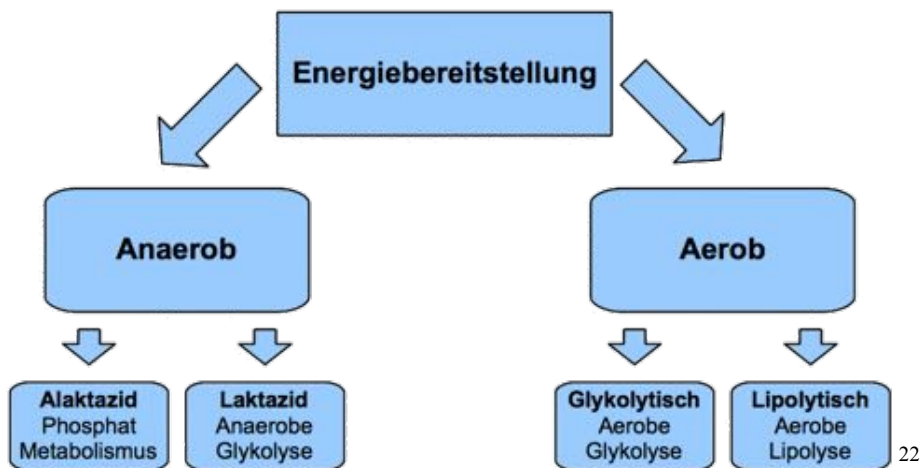
Im intrazellulären Raum ist Glykogen gespeichert. Dieses wird als „nächster“ Energielieferant herangezogen. Im weiteren Verlauf kommt Glucose hinzu, die allerdings erst noch über den Blutweg herantransportiert werden muss. Die Glykolyse läuft zunächst ebenfalls anaerob ab. Insgesamt bleibt bei der Glykolyse für die Zelle ein Nettogewinn an Energie von zwei Molekülen ATP pro Molekül Glucose. Allerdings entsteht auch Laktat oder Milchsäure:

Glucose \Rightarrow anaerobe Glykolyse \Rightarrow 2 ATP + Milchsäure

Das Laktat wirkt sich bei intensiven muskulären Belastungen sehr stark auf das Stoffwechselgeschehen in der Zelle und im Körper allgemein aus. Durch die starke Übersäuerung werden Enzyme gehemmt, die an der Glykolyse beteiligt sind. Folge: Die Glykolyse kommt zum Erliegen. Die Arbeit muß abgebrochen oder so weit reduziert werden, bis das Laktat abtransportiert bzw. direkt wieder zu Glykogen umgebaut werden kann. Der Belastung wird zwischen 45 bis 90 Sekunden widerstanden.

Alle bisher dargestellten Systeme laufen anaerob ab. Das hängt damit zusammen, daß der Körper durch die Belastung aus seinem Gleichgewicht gebracht wird und zunächst eine Sauerstoffschuld eingeht; er braucht etwas Zeit, um sich an die veränderte Situation anzupassen und den erhöhten Bedarf an Sauerstoff zu decken. Wie bereits erwähnt, dienen ADP und P als „Signale“, die Sauerstoffaufnahme zu erhöhen. Dadurch wird der Körper in die Lage versetzt, weitere Energiebereitstellungssysteme zu nutzen.

anaerobe Glykolyse



²² Quelle:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Formen_der_Energiebereitstellung.gif
(gemeinfrei)

11.1.2. Die aerobe Energiegewinnung

11.1.2.1. *aerobe Glykolyse*

Bei einer Belastungsdauer von über einer Minute setzt der Körper verstärkt auf die aerobe Energiegewinnung.

Bei der oxidativen Verbrennung von Glucose entsteht:



Dabei wird Glucose vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut.

Im Gegensatz zu anaeroben Energiebereitstellungssystemen können hier neben Glucose auch Fette und in besonderen Extremsituationen auch Proteine als Energieträger verbrannt werden. Bei der aeroben Glykolyse entstehen ca. 38 Mol ATP.

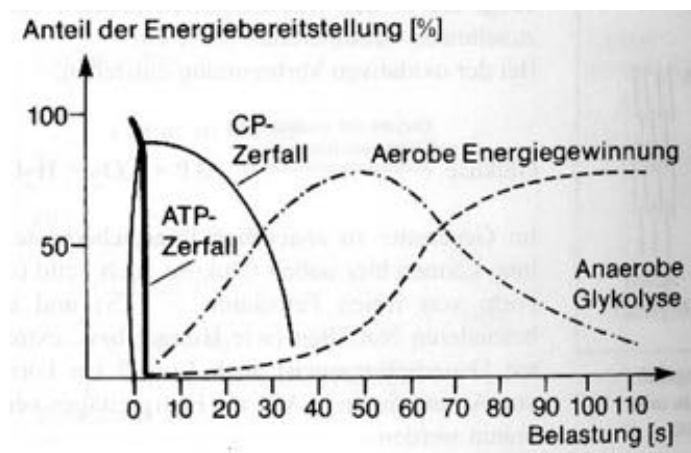
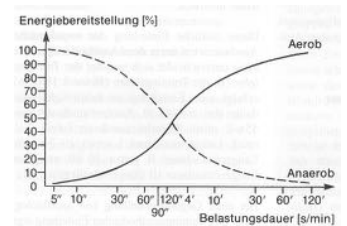
11.1.2.1. *Lipolyse*

Fette werden im Zytoplasma von Fettzellen gespeichert.

Insgesamt hat Fett, bezogen auf gleiche Gewichtsmengen, mehr als den doppelten Energiegehalt von Glucose. Bei der Verbrennung von 1 mol Fettsäure entstehen 129 mol ATP.

Bei einer submaximalen Belastung von über einer Stunde erfolgt die Energiebereitstellung vorwiegend über Fettsäuren.

Alle genannten Systeme laufen nicht strikt voneinander getrennt hintereinander ab, sondern überlappen sich und haben je nach Belastung unterschiedlich Anteil an der Energieversorgung:



11.2. Energiegewinnung (Überblick)

| | Anaerob | Aerob |
|--------------------------|----------------------------------|--|
| Ort der Energiegewinnung | Zellplasma | Mitochondrien |
| Vorteile: | Schneller Wirkungseintritt | Lange Wirkdauer |
| | Maximale Muskelbelastung möglich | Unproblematische Stoffwechselendprodukte |
| | | Hoher Wirkungsgrad |
| | | Fett als Brennstoff nutzbar |
| Nachteile: | Kurze Wirkdauer | Verzögerter Wirkungseintritt |
| | Muskelübersäuerung / Laktat | Nur leichte bis mittlere Intensität möglich |
| | Fett nicht verwendbar | |
| ATP - Ausbeute | Glucoseabbau: 3 ATP | Glucoseabbau: 39 ATP Fettabbau: 129 ATP |

11.3. Leistungsbestimmende Faktoren der Energiegewinnung

Energiespeicher

Der intramuskuläre Glykogengehalt beeinflusst maßgeblich die Intensität und Dauer der lokalen Ausdauerleistungsfähigkeit. Je höher die muskulären Glykogendepots bei Belastungsbeginn sind, desto länger kann die lokale aerobe dynamische Ausdauerleistungsfähigkeit auf einem hohen Intensitätsniveau gehalten werden. Dasselbe gilt für die Fettspeicher.

Mitochondrien

Die oxidative Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten ist abhängig von der Stoffwechselkapazität und der Anzahl der Mitochondrien.

Sauerstoff

Alle oxidativen und damit aeroben Vorgänge sind abhängig vom Sauerstoff. Die arbeitende Muskulatur muss ausreichend versorgt sein, um optimal arbeiten zu können. In den Muskeln speichert und transportiert das **Myoglobin** den Sauerstoff.

Weitere Faktoren wie Herzarbeit, Sauerstoffbindungskapazität, Kapillarisation, Anzahl der Mitochondrien und Menge an Schlüsselenzymen bestimmen die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2 max.) mit.

Laktat

Bei einer zu starken Übersäuerung des Muskels kommt es lokal zum Erliegen der glykolytischen Stoffwechselprozesse durch Enzymhemmung. Der größte Teil des Laktats, das bei maximaler kurzdauernder Belastung durch Glykolyse entsteht, wird in der Muskelzelle nach Abbruch der Belastung wieder zu Glykogen aufgebaut. Der Rest wird ins Blut abgegeben, welches dieses Stoffwechsel-zwischenprodukt zur Leber, zum Herzen, zur Niere und zur nicht arbeitenden Skelettmuskulatur transportiert, wo es wieder „umgebaut“ wird.

Leistungsbestimmend für verschiedenen Formen der Ausdauer sind daher die Faktoren:

- Laktatbildungsfähigkeit
- Laktatpufferfähigkeit
- Laktattoleranz
- Laktatelimination

Als Anhaltspunkte für die Leistungsfähigkeit werden sogenannte Laktatschwellen definiert. In Ruhe liegt die Laktatkonzentration im Blut bei etwa 1 – 1,78 mmol/l Laktat. Die aerobe Schwelle liegt bei ca. 2 mmol/l Laktat. Solange nicht mehr Laktat entsteht, wird es direkt im arbeitenden Muskel verstoffwechselt. Steigt die Belastungsintensität, steigt auch der Laktatspiegel; gleichzeitig wird der anaerobe Anteil der Energiebereitstellung immer größer. Bis zu einer Grenze von etwa 2 – 4 mmol/l Laktat (aerob-anaerobe Schwelle) wird das Laktat noch gut abgebaut. Erhöht sich die Intensität weiter, d.h. wird noch mehr Laktat produziert, überwiegt irgendwann die Laktatproduktion die Elimination, die Belastung muss dann bei Übersäuerung abgebrochen werden.

Hochtrainierte können oft mehr als 5 – 6 mmol/l Laktat tolerieren; ihre aerobe-anaerobe Schwelle wurde durch intensives Training hochgesetzt.²³ Durch eine niedrig dosierte Belastung nach einem intensiven Training kann die Laktateliminierungsrate erheblich verbessert werden:

²³ Weineck, S.46

Auswirkungen von Laktat: *Es macht*

Auswirkungen von Laktat

| | | |
|---------------------|---|-----------------|
| ZNS | ⇒ | dumm |
| VNS | ⇒ | Stress |
| Immunsystem | ⇒ | krank |
| Hormonsystem | ⇒ | impotent |

11.4. Energiebereitstellung und Ernährung

Energie und Ernährung

Die Energiebereitstellung für die Synthese von ATP erfolgt über drei Hauptverbindungen:

1. **Kreatinphosphat**
2. **Glucose**
3. **Fettsäuren**

11.4.1. Kreatin

Kreatin ist eine körpereigene Substanz die z.T. im Körper selber gebildet oder über die Nahrung, vor allem mit Fleisch und Fisch, aufgenommen wird. Im Körper einer Person von 70 kg sind ungefähr 100-120 Gramm dieser Substanz vorhanden, vorwiegend in den Skelettmuskeln, im Herzmuskel und im Gehirn. Der tägliche Bedarf beträgt ca. 2-4 Gramm. Etwa die Hälfte dieses Betrages wird vom Körper selbst produziert. Der Rest wird über die Nahrung aufgenommen.

Kreatin

11.1. Kohlenhydrate

Kohlenhydrate

Die Kohlenhydrate sind die wichtigste Energiequelle des Körpers. Etwa 45 - 50% des Tagesbedarfs an Kalorien sollten durch Kohlenhydrate abgedeckt werden. Diese nehmen wir in unterschiedlichen Formen zu uns (Mono-, Di- Oligo- und Polysaccharide). Die Resorption der Kohlenhydrate erfolgt ausschließlich in Form von Monosacchariden, alle anderen Formen werden erst zu dieser kleinsten Form zerlegt, bevor sie für die Energiegewinnung nutzbar sind.

Kohlenhydrate sind das eigentliche „Muskelbenzin“; die Energiebereitstellung ist nämlich aus Kohlenhydraten am schnellsten möglich, d.h. Leistungsspitzen werden immer durch Energiegewinnung aus dieser Nährstoffgruppe bestritten. Dabei kommt dem in der Muskulatur und in der Leber gespeicherten Reservekohlenhydrat Glykogen zentrale Bedeutung zu. Kohlenhydratreiche Kost erhöht den Glykogengehalt im Muskel und damit die Belastbarkeit im Ausdauerstest.

Sind die verfügbaren Kohlenhydratvorräte weitgehend aufgebraucht, kann quasi nur mit „halber Kraft“ weitergearbeitet werden, da der nun verstärkt einsetzende Fettabbau in der gleichen Zeit weniger Energie bereitstellt. Häufig wiederkehrende Belastungen bei ungenügender Kohlenhydrataufnahme führen zu einer schleichenden Glykogenverarmung und damit zum Zustand des „Übertrainings“. Bei körperlicher Inaktivität allerdings führt kohlenhydratreiche Kost zu einem Energieüberschuß, der zu meist ungewollten Fettpolstern führt.²⁴

11.1.1. Fett

Fett stellt das größte Energiedepot des menschlichen Körpers dar. Der Mensch besteht aus einer fettfreien Körpermasse (Magermasse) und Körperfett; diese Zusammensetzung nennt man Körperkomposition. Das Körperfett beträgt bei einem normal ernährten Mann ca. 11 – 20%, bei einer Frau ca. 15 – 25% des Körpergewichts. Bei trainierten Sportlern kann der Fettanteil je nach Sportart niedriger sein. Ausdauertrainierte verbessern dabei im besonderen Maße die Fähigkeit, Fette als zweite Energiequelle zu nutzen.

Bei einer ausgewogenen Ernährung sollte der Fettanteil um ca. 30% liegen. Eine allzu fettreiche Kost mindert die vorteilhafte Glykogenspeicherung und das Leistungsvermögen.²⁵ Je höher die Belastungsintensität ist, desto größer ist der Kohlenhydratanteil an der Energiebereitstellung und desto geringer die anteilige Energiegewinnung aus Fettsäuren: Dafür gibt es folgende Gründe:

1. Fette werden langsamer verstoffwechselt. Die sog. energetische Flußrate (= die Schnelligkeit der Energiefreisetzung pro Zeiteinheit) ist beim Abbau von Fetten nur halb so hoch wie bei Kohlenhydraten.
2. Fette benötigen im Energiegewinnungsprozeß mehr Sauerstoff als Kohlenhydrate. Die Energieausbeute, d.h. der ATP-Gewinn ist, bezogen auf den verbrauchten Sauerstoff, beim Abbau von Fetten geringer als bei Kohlenhydraten.
3. Kohlenhydrate können zur Not auch ohne Sauerstoff kurzfristig Energie liefern.

11.1.1.1. Voraussetzungen für eine hohe Fettverbrennung

- viele Mitochondrien
- HKS – Aktivität
- Bereitstellung von Sauerstoff
- Aerobe Energiebereitstellung
- Konstanter, normaler Blutzuckerspiegel vor der Belastung
- unterstützende Stresshormone

²⁴ Ernährung sportiv, S.22
© Q-Fitness Academy

11.1.2. Wasser

Der Mensch besteht zum größten Teil aus Wasser. Allerdings scheidet er über den Tag verteilt auch viel davon wieder aus. Auch über die Atmung und Schweiß verlieren wir Flüssigkeit. Entsprechend hoch ist der Bedarf: wir benötigen ca. 3 Liter Wasser pro Tag. Ca. Ein Liter wird bereits über die feste Nahrung aufgenommen. So bleiben noch 1,5 – 2 Liter, die getrunken werden sollten. Sinnvoll sind:

- Wasser (möglichst warm oder heiß!)
- Apfelschorle
- Isotonische Getränke
- Tee (kein Schwarztee!)

Schwarzer Tee und Kaffee entziehen dem Körper Wasser! Inzwischen gibt es Studiee, die aussagen, dass Kaffee dem Körper kein Wasser entziehe. Zumindest sei bei trainierten Kaffeetrinkern der Harndrang nicht höher als bei anderen Getränken. Diese Studie sagt aber nichts darüber aus, ob nicht doch innerhalb des Körpers das Wasser bestimmten Systemen entzogen und anderen (z.B. der Blase) zugeführt wird.

Stark zuckerhaltige Getränke sind ebenfalls nicht geeignet, da sie den Stoffwechsel übermäßig belasten (Blutzuckerspiegel)

Bei Hitze und / oder schweißtreibendem Sport kann der Bedarf sich massiv erhöhen. Grundsätzlich wird empfohlen, alle 10 – 15 min. eine Trinkpause einzulegen. Trainer sollten mit gutem Beispiel vorangehen.