

3 Sportphysiologische und -anatomische Grundlagen

Marek Rein, Sebastian Kleiner

Das Herz-Kreislaufsystem verbindet alle Körperorgane zu einer funktionellen Einheit. Seine Hauptaufgaben liegen in der Versorgung der Billionen von Zellen der verschiedenen Körpergewebe mit Nähr- und Wirkstoffen bzw. mit Sauerstoff sowie im Abtransport von Sauerstoffwechselendprodukten.“ (Weineck, 1988)

3.1 Herz-Kreislaufsystem

Das Kreislaufsystem wird in einen großen (Körperkreislauf) und in einen kleinen (Lungenkreislauf) unterteilt.

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

Der Lungenkreislauf dient dem Gasaustausch, er beginnt in der rechten Herzkammer. Kohlendioxidreiches Blut wird über die Lungenarterien zu den Lungen geführt und dort über Diffusionsvorgänge in sauerstoffreiches Blut umgewandelt. Über die Lungenvenen erfolgt die Weiterleitung des sauerstoffgesättigten Blutes in den linken Vorhof.

Bei der Ver- und Entsorgungsfunktion muss sich das Herz- und Gefäßsystem auf die jeweiligen Bedürfnisse des Organismus einstellen. Diese sich verändernden Stoffwechselaktivitäten werden durch eine Änderung der Förderleistung des Herzens sowie einer Umverteilung des Blutes erbracht.

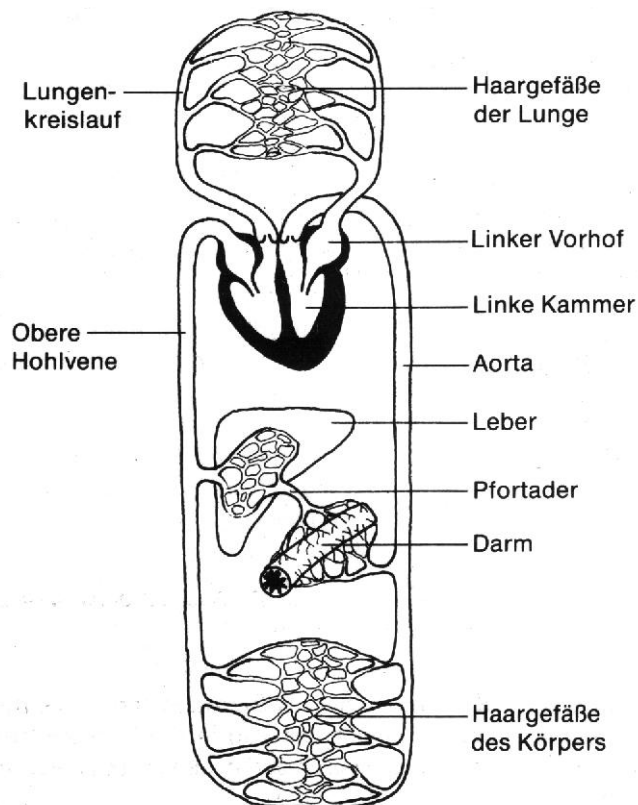


Abb. 1: Kleiner und großer Kreislauf
Weineck, Erlangen 1988; Sportbiologie (S. 78)

3.2 Aufbau und Funktion des Herzens

„Das Herz ist aus zwei nebeneinanderliegenden Einzelpumpen aufgebaut, dem linken und dem rechten Herzen, die durch eine Längsscheidewand (Septum) voneinander getrennt sind. Funktionell bilden linkes und rechtes Herz eine Einheit: Gemeinsam sorgen sie für die Aufrechterhaltung des Blutstromes in den Gefäßen. In Ruhe fördert jede dieser Pumpen ungefähr 7000 l pro Tag, bei Belastung erhöht sich dieser Betrag um ein Mehrfaches. Das Herz untergliedert sich in vier Hohlräume: in die beiden muskelstarken Kammern (Ventrikel) und die beiden muskelschwachen Vorhöfe (Atrien).“ (Weineck, 1988)

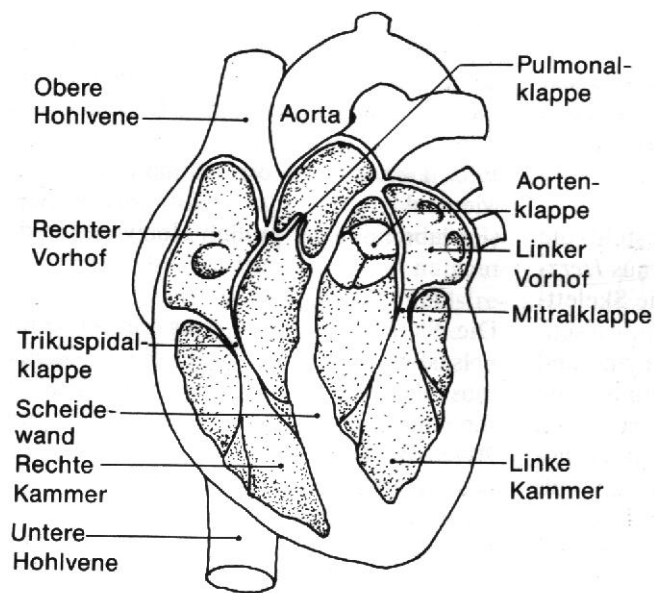


Abb. 2: Das Herz
Weineck, Erlangen 1988; Sportbiologie (S. 79)

„Die Herztätigkeit ist durch eine rhythmische Aufeinanderfolge von Kontraktion (Systole) und Erschlaffung (Diastole) gekennzeichnet. Bei einer Ruhedefrequenz von etwa 70 Schlägen pro Minute wird für einen Herzzyklus – er beinhaltet Systole und Diastole – eine Zeit von etwas weniger als 1 sec benötigt, bei einer Belastungsherzfrequenz von etwa 180–200 verkürzt sich diese Zeit auf etwa 0,3 sec.“ (Weineck, 1988)

Die Herzmuskelzellen enthalten einen hohen Anteil an Mitochondrien, in denen der Stoffwechsel stattfindet. Die linke Herzkammer ist dreimal so dick wie die rechte Herzkammer, da sie mehr Kraft aufbringen muss, um das Blut in den großen Körperkreislauf zu pumpen.

„Die schnelle Anfangsfüllung ist vor allem für die Effektivität der Herzarbeit in höheren Frequenzbereichen von Bedeutung: Die überproportionale Verkürzung der Diastolenzeit bei einer Belastungsfrequenz von etwa 180–200 Schlägen pro Minute wirkt sich somit nicht allzu ungünstig auf das Füllungsvolumen der Kammer und damit auf die Funktionsgrößen *Schlagvolumen* (SV) und *Herzminutenvolumen* (HMV) aus.“ (Weineck, 1988)

3.3 Kenngrößen des Herzens

Unter **Herzfrequenz (HF)** versteht man die Anzahl der Herzschläge pro Minute.

Bei Untrainierten beträgt die HF in Ruhe ungefähr 60–80 Schläge pro Minute. Im Sport kann sich die HF bei Untrainierten um das Dreifache erhöhen und Werte über 200 Schläge pro Minute erreichen. Dieser Wert kann jedoch nur kurzzeitig gehalten werden. Die Herzfrequenz pegelt sich beim Untrainierten bei 120 Schlägen in der Minute ein. (siehe Beispiel; 3.2)

Das **Schlagvolumen (SV)** ist die Menge Blut, die bei jeder Systole (Kontraktionsphase) aus der linken Herzkammer in die Blutbahn geworfen wird. Es beträgt in Ruhe bei Untrainierten etwa 70 ml und erhöht sich je nach Belastung.

Das **Herzminutenvolumen (HMV)** gibt die Menge Blut an, die pro Minute vom Herzen in die Blutbahn befördert wird.

Folgende Gleichung wird aufgestellt:

$$SV \times HF = HMV$$

3.4 Herzkreislaufsystem und sportliches Training

Bei sportlicher Belastung steigt der Sauerstoff- und Nährstoffbedarf im Organismus proportional zur geleisteten Arbeit an.

Bei ausreichender Trainingsintensität, -dauer, -häufigkeit kommt es bei einem Ausdauertraining aufgrund der erhöhten funktionellen Beanspruchung zu adaptiven Veränderungen im Bereich des Herzens und seiner Funktionsgrößen.

Durch sportliches Training kommt es zu morphologischen Veränderungen des Herzens. Weineck schreibt in seinem Buch *Sportbiologie*: „Ausdauertraining führt sowohl zu einer *Hypertrophie* des Herzens, verbunden mit einer Gewichtszunahme, als auch zu einer *Dilatation* (Erweiterung) der Herzhöhlen.“ Man spricht hierbei auch von einem Sportlerherz!

Die trainingsbedingte Vergrößerung des Herzens (Sportlerherz) ist zurückzuführen auf die überwiegend funktionelle Erweiterung (Dilatation) der Herzhöhlen. Die Hauptrolle hierbei spielen der vermehrte Rückstrom venösen Blutes zum Herzen bei intensiver Muskeltätigkeit sowie die regulative Weitstellung des Herzens auf nervalem Weg. Das Sportlerherz verfügt durch seine erweiterten Hohlräume über eine größere Restblutmenge als das Herz eines Untrainierten. Dabei kann die Restblutmenge doppelt so hoch sein wie bei einem Untrainierten.

Die Bedeutung liegt darin, dass die Restblutmenge bei erhöhten Durchblutungsanforderungen in einer Belastung in der Muskulatur sprunghaft ansteigen und als Schlagvolumen dienen kann. Weiterhin stellt das Restblut bei Engpässen im Rückstromvolumen (z. B. bei Pressatmung) ein Sofortdepot dar.

„Das Sportherz ist ein in allen Herzabschnitten harmonisch vergrößertes Herz, das nichts mit der kompensatorischen Herzvergrößerung auf der Grundlage einer Herzmuskelschädigung zu tun hat. Das Sportlerherz ist überdurchschnittlich leistungsstark und bildet sich bei Verringerung des Trainings wieder zurück, ohne dass krankhafte Veränderungen auftreten.“ (Nöcker; Findeisen, Linke, Pickenhain in Weineck, 1988)

Es ist gekennzeichnet durch eine vermehrte Kapillarisation, durch einen gestärkten Herzmuskel, durch die Zunahme des Herzschlagvolumens in Ruhe und Belastung (Absinken des Ruhe- und Belastungspuls), durch eine Senkung des Sauerstoffbedarfs des Herzmuskels in Ruhe, durch eine höhere Belastungsfähigkeit und durch eine geringere Anstrengung auf einer vorgegebenen Belastungsstufe. Das Sportherz bietet gesteigerte Leistungsvoraussetzungen für Ausdauerbelastungen. So kann man feststellen, dass die besten Ausdauersportler in ihrer Disziplin die jeweils größten Herzen haben. (Engelhardt, 1998)

3.4.1 Formveränderung des Herzens

„Die Vergrößerung und damit einhergehende Formveränderung des Sportherzens erfolgt harmonisch und erstreckt sich auf alle 4 Herzkammern.“ (Weineck, 1988)

„Die Größenzunahme der Vorhöfe erfolgt gleichzeitig mit der Erweiterung der Lungenvenen sowie der arteriellen Gefäße.“ (Weineck, 1988)

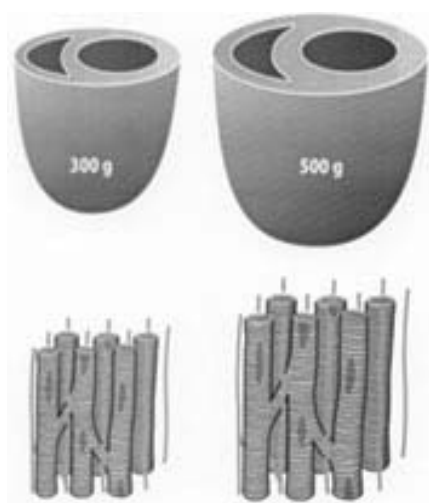


Abb. 3: Sportherz und Herzmuskelfasern
Hollmann, Hettinger, 2000, S. 135

3.4.2 Funktionelle Veränderungen des Herzens

Durch eine Vergrößerung des Herzens und die Verbesserung der kardialen Durchblutung entstehen wesentliche Vorbedingungen für die Erhöhung wichtiger Funktionsgrößen der Leistungsfähigkeit des Herzens und die damit bei Ausdauerbelastungen erforderliche Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme.

„Ein hohes Schlagvolumen ist die Grundlage für eine ökonomische Herzarbeit im submaximalen Bereich – Volumenarbeit ist energetisch günstiger als Frequenzarbeit – und eine Vorbedingung für ein hohes Maximum der Transportleistungsfähigkeit des Herzens bei Höchstbelastungen.“ (Weineck, 1988)

Beispiele für einen Untrainierten:

In Ruhe
 $70 \text{ ml SV} \times 80 \text{ HF} = 5,6 \text{ Liter HMV}$

Unter Belastung
 $120 \text{ ml SV} \times 120 \text{ HF} = 14,4 \text{ Liter HMV}$

Beispiele für einen austrainierten Sportler:

In Ruhe
 $105 \text{ ml SV} \times 45 \text{ HF} = 4,7 \text{ Liter HMV}$

Unter Belastung
 $200 \text{ ml SV} \times 200 \text{ HF} = 40 \text{ Liter HMV}$

Aufgrund des erhöhten Schlagvolumens kann der Trainierte sein Herzminutenvolumen von etwa 5l in Ruhe auf maximale Werte von etwa 40l, um das 9-fache, steigern (s. Beispiel). Der Untrainierte kann dagegen nur einen Wert zwischen 15–20l erreichen, was einer 3 bis 4-fachen Steigerungsrate entspricht. Dabei ist zu beachten, dass der Ausdauertrainierte den Maximalpuls von bis zu 200 Schlägen pro Minute konstant halten kann; der Untrainierte dagegen erreicht nur einen konstanten maximalen Puls zwischen 110–120 Schlägen pro Minute.

„Neben Schlag- und Herzminutenvolumen erhöht sich auch der Sauerstoffpuls. Der Sauerstoffpuls gibt die Menge Sauerstoff an, die pro Herzaktion vom Organismus aufgenommen wird.“ (Weineck, 1988)

Herzgröße, Schlagvolumen, Herzminutenvolumen und Sauerstoffpuls sind eng miteinander verbunden.

„Durch Ausdauertraining kommt es zu einer parallelen Vergrößerung dieser Einzelparameter und damit zu einer Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der Grundvoraussetzung der Ausdauer-Leistungsfähigkeit.“ (Weineck, 1988)

Durch die Steigerung aller genannten Leistungsgrößen kommt es stets zu einer Veränderung der individuellen Wettkampfleistung.

3.5 Der passive Bewegungsapparat

„Während die Muskelmasse eines 70 kg schweren untrainierten Mannes etwa 30,6 kg wiegt und damit etwa 43,5% des Gesamtkörpergewichts ausmacht, wiegt sein Skelett vergleichsweise nur 12,5 kg und macht damit 17,5% des Gesamtkörpergewichts aus.“ (Tittel, 1973)

3.5.1 Wirbelsäule

„Die Wirbelsäule als zentrales Achsenorgan des Körpers stabilisiert einerseits die aufrechte Haltung, andererseits hat sie alle notwendigen Bewegungen wie Beugung und Streckung, Seitenneigung und Rotation zuzulassen.“ (Kempf, 1993)

„Die Wirbelsäule setzt sich aus sieben Halswirbeln (Zervikalwirbeln), zwölf Brustwirbeln (Thorakalwirbeln), fünf Lendenwirbeln (Lumbalwirbeln), fünf Kreuzbein- sowie vier bis fünf Steißbeinwirbeln zusammen.“ (Freiwald, 1995)

Die Beweglichkeit der Wirbelsäule nimmt von oben nach unten ab. Lenden- und Steißbeinwirbel sind unbeweglich. Im Bereich der Lendenwirbelsäule ist keine Drehung zur Seite möglich. Die Belastbarkeit der Wirbelsäule hingegen nimmt von oben nach unten zu.

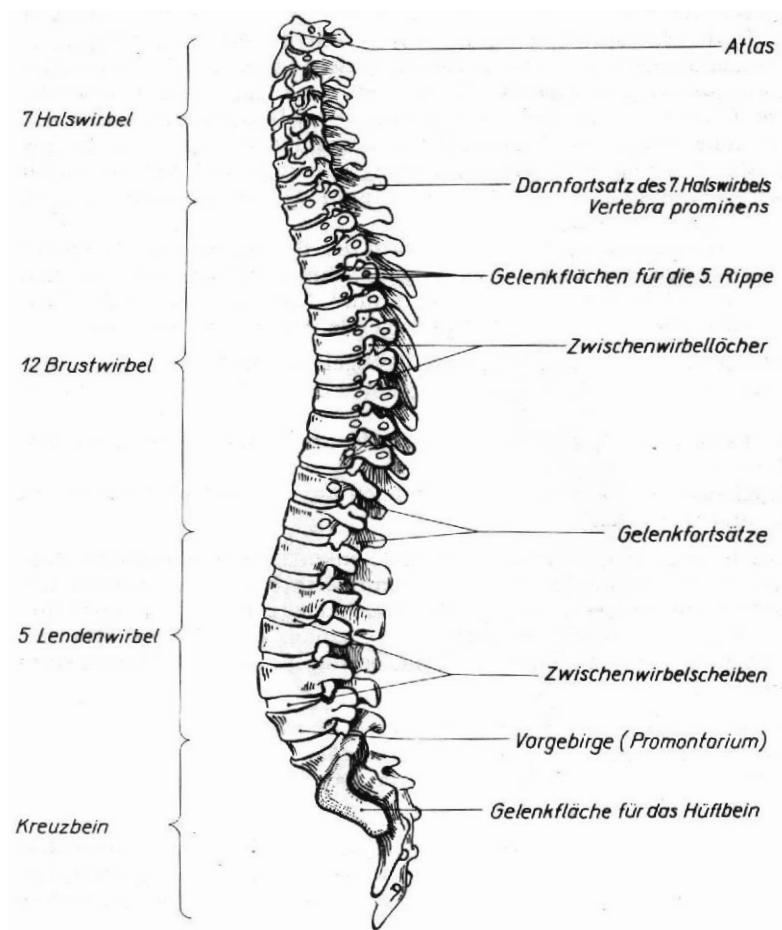


Abb. 3: Die Wirbelsäule
 Schubel, Berlin 1987; Grundriss der Anatomie (S. 46)

Wirbelkörper

Die tragenden Elemente der Wirbelsäule sind die Wirbelkörper. Die 24 oberen und beweglichen Wirbelkörper sind untereinander verbunden durch

- faserknorpelige Zwischenwirbelscheiben
- lange und kurze längsverlaufende Bänder
- Wirbelgelenke
- sowie lange und kurze Muskeln (Tittel, 1963)

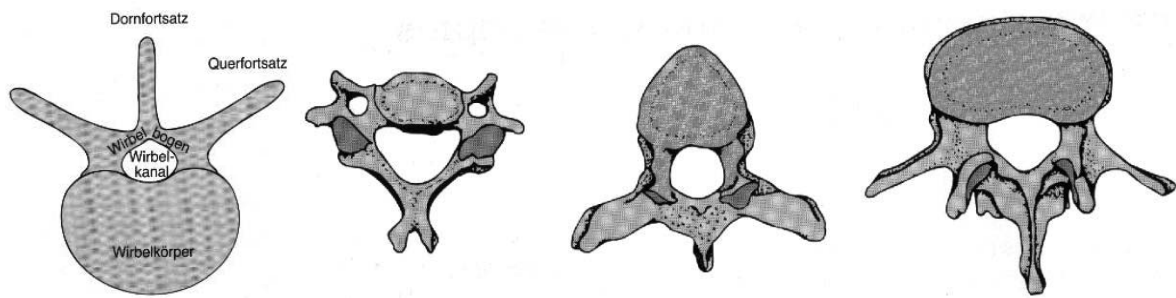


Abb. 4: Wirbelkörper
Weineck, Balingen 2002; Sportanatomie (S. 81/82)

Bandscheiben

Die Zwischenwirbelscheiben, auch Bandscheiben genannt, befinden sich zwischen den 24 präsakralen Wirbelkörpern und haben die Funktion eines Wasserkissens. Sie machen ein Viertel der Gesamtlänge der Wirbelsäule aus.

Die Bandscheibe besteht aus einem Faserring und einem Gallertkern.

Die Funktion der Bandscheiben besteht darin, den Spannkraften der Wirbelsäule (Torsion, Extension, Kompression, Flexion) entgegenzuwirken. Sie dient also als Dämpfung gegenüber auftretenden Kräften.

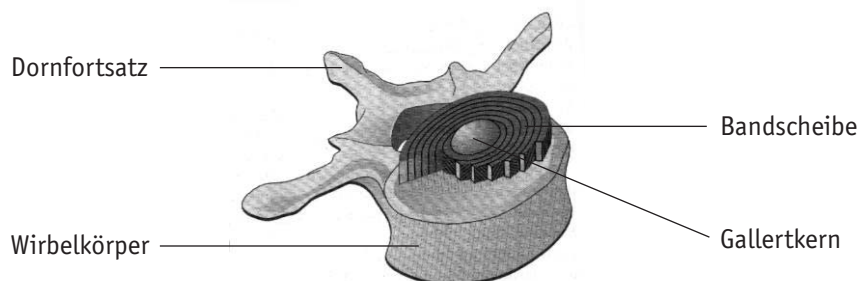


Abb. 5: Wirbelkörper mit Bandscheibe
Weineck, Balingen 2002; Sportanatomie (S. 82)

3.5.2 Die Schulter

Das Schultergelenk ist aufgrund der unterschiedlichen Größenverhältnisse von Gelenkfläche des Schulterblattes und der Größe der Gelenkfläche des Oberarmknochens und wegen der schlaffen Gelenkkapsel und der damit einhergehenden reinen Muskelführung das beweglichste Gelenk des Menschen. Beim Schultergelenk stehen der Kopf des Oberarmes und die Gelenkpfanne des Schulterblattes in gelenkiger Verbindung.

Das Schultergelenk wird auch als „freies“ Kugelgelenk bezeichnet, da es sich in alle Richtungen frei bewegen lässt. „Lediglich durch das Dach der Schulterhöhe erfährt der Oberarm bei der Anteversions- und Abduktionsbewegung eine „Anschlagsperre“ im Bereich der waagerechten Armhaltung, die aber durch eine Drehung des Schulterblattes weitgehend kompensiert werden kann; somit ist ein Heben des Armes bis etwa zur Senkrechten möglich.“ (Weineck, 2002)

Dadurch ist es aber auch das Gelenk des Menschen, welches am luxationsgefährdetsten ist.

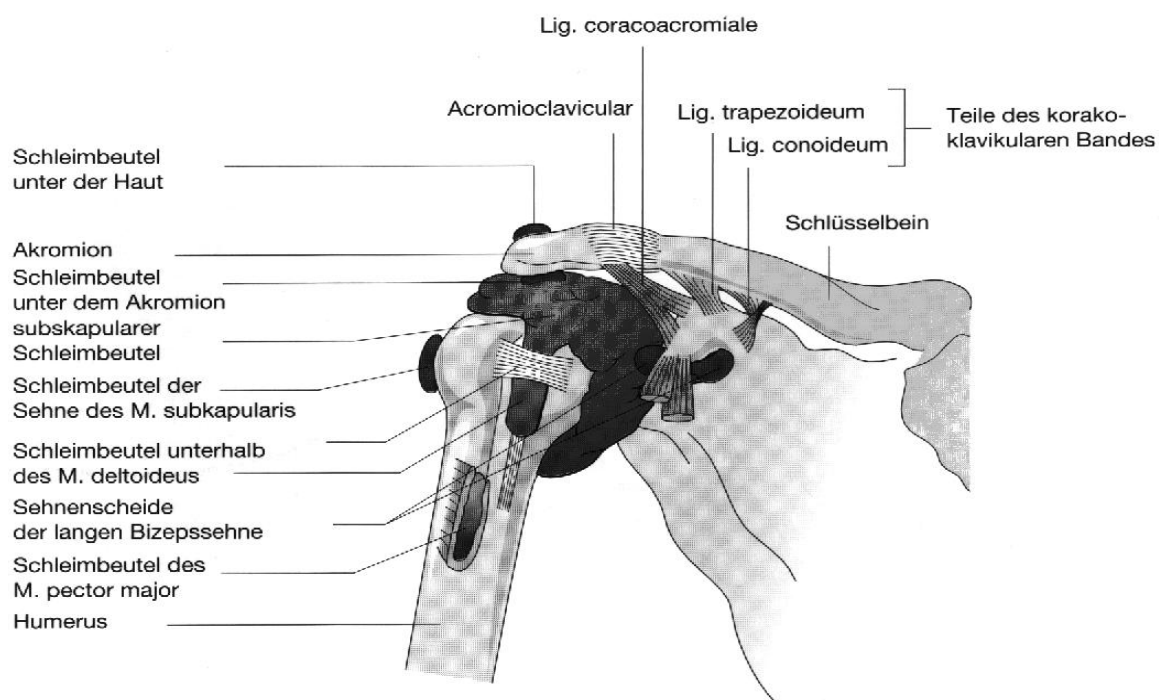


Abb. 6: Das Schultergelenk
Weineck, Balingen 2002; Sportanatomie (S. 123)

3.5.3 Das Knie

Das Kniegelenk ist das größte, zugleich aber auch das empfindlichste Gelenk unseres Körpers. Es artikulieren sich die Gelenkknorren des Oberschenkels mit den beiden Gelenkflächen des Schienbeines. Somit stehen im Gegensatz zum Ellenbogen nicht drei, sondern zwei Knochen in gelenkiger Verbindung. Das Kniegelenk ist ein Drehwinkelgelenk, welches Beuge- und Streck-, sowie Drehbewegungen erlaubt.

„Über das Kniegelenk wird einerseits der Funktionseinheit Oberschenkel-Unterschenkel in der Streckstellung eine feste Sicherung der Tragsäule Bein verliehen, andererseits dem Fuß in der Beugestellung über die Drehbewegung eine Erweiterung seines Bewegungsraumes ermöglicht.“ (Weineck, 2002)

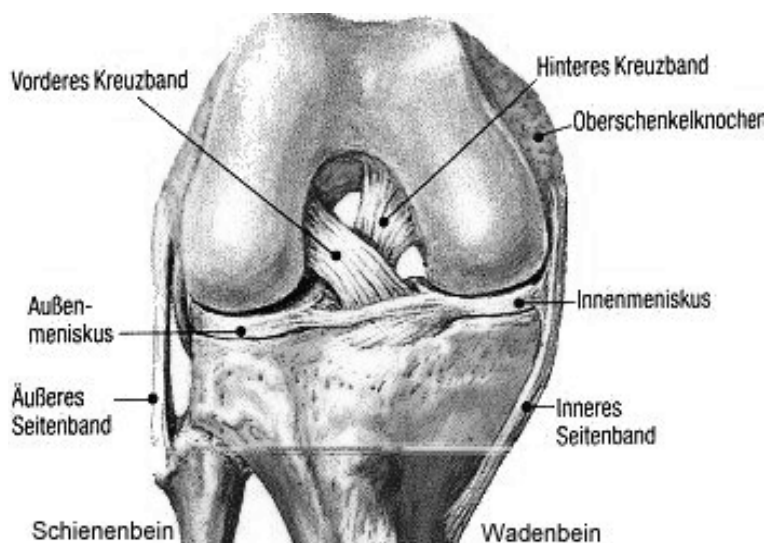


Abb. 7: Das Kniegelenk

<http://www.sportunterricht.de/lksport/baender.html>

Kniescheibe

Die Kniescheibe erfüllt vier wichtige Funktionen:

1. *Führung der Oberschenkelmuskulatur*
dadurch sichert sie die Beuge- und Streckbewegung
2. *Optimierung der Hebelverhältnisse*
ohne Kniescheibe müsste der M. quadriceps femoris etwa 20% mehr Kraft aufbringen
3. *Bremsfunktion*
durch die Übernahme der Kraftübertragung von Quadriceps und Kniebeugesehnen auf den Oberschenkelknochen (Femur), spielt die Kniescheibe eine wichtige Rolle beim Abbremsen von Vorwärtsbewegungen (Weineck, 2002)
4. *Schutzfunktion*
beim Treppensteigen wirken die 3,3-fachen Kräfte des Körpergewichts, was die Notwendigkeit einer Schutzfunktion verständlich macht

Meniskus

„Um die Inkongruenz bzw. den punkthaften Kontakt von Schenkel- und Schienbein auszugleichen, sind zwischen den artikulierenden Gelenkknorren zwei Gelenkscheiben – *der mediale und laterale Meniskus* – eingeschoben, die zusammen mit dem Bandapparat und der Kniescheibe das Kniegelenk zu einem recht stabilen, aber komplizierten Gelenk machen.“ (Weineck, 2002)

Funktionen der Menisken:

- Aufnahme der Gewichtsbelastung– die Menisken nehmen je nach Stellung des Kniegelenkes 50–85% der Kompressionsbelastung auf.
- Stoßaufnahme– die Menisken sind an der Stoßaufnahme beteiligt, da sie den Raum zwischen den Kondylen (Gelenkspalt) ausfüllen.
- Gelenkstabilisierung– die Menisken verbreitern die Gelenkflächen des Tibiaplateaus, die Stabilität wird erhöht und die Last kann sich auf größere Flächen verteilen.
- Rotationsbeitrag– durch die Menisken werden die komplexen Bewegungen des Kniegelenks, besonders die Schlussrotation, ermöglicht.
- Propriozeption– die Menisken sind wichtige Elemente, da sie den Hinter- und Vorderhornbereich mit Nervenenden versorgen.

„Der Innenmeniskus ist zwangsläufig häufiger verletzt als der Außenmeniskus, da er wegen seiner Verwachsung mit der Gelenkkapsel und dem inneren Seitenband traumatischen Einwirkungen weniger gut ausweichen kann.“ (Weineck, 2002)

Bandapparat des Knies

Im Kniegelenk befinden sich 2 Kreuzbänder (hinteres und vorderes Kreuzband), sowie 2 Seitenbänder (inneres und äußeres Seitenband).

Die Kreuzbänder verhindern in der labilen Beugstellung, in der die Seitenbänder erschlaffen, ein Nachvorrutschen (vorderes Kreuzband) und ein Nachhintengleiten (hinteres Kreuzband) des Schienbeinkopfes.

„Die beiden Seitenbänder dienen der Sicherung der Kniegelenkstreckung; sie sind bei der Kniebeugung entspannt, bei der Kniestreckung maximal gespannt.“ (Weineck, 2002)

„Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Knochen- und Bandapparat des Kniegelenks auf eine betonte Sicherung der „Tragsäule Bein“ ausgerichtet ist und ein größeres Bewegungsspiel nur dann ermöglicht, wenn der aufrechte Gang nicht gefährdet ist; dies ist nur bei einer Kniegelenksbeugung, also im entlasteten Zustand der Fall.“ (Weineck, 2002)

3.5.4 Das Sprunggelenk

Das Sprunggelenk (Fuß) ist in Fußwurzel, Mittelfuß und Zehen gegliedert. Die Großzehe bildet einen Hauptpfeiler für das Stützgewölbe Fuß.

Das Sprunggelenk wird in oberes und unteres Sprunggelenk unterteilt.

Das obere Sprunggelenk ist ein reines Scharniergelenk, welches nur Beuge- und Streckbewegungen zulässt, wobei das untere Sprunggelenk begrenzt Drehbewegungen ermöglicht.

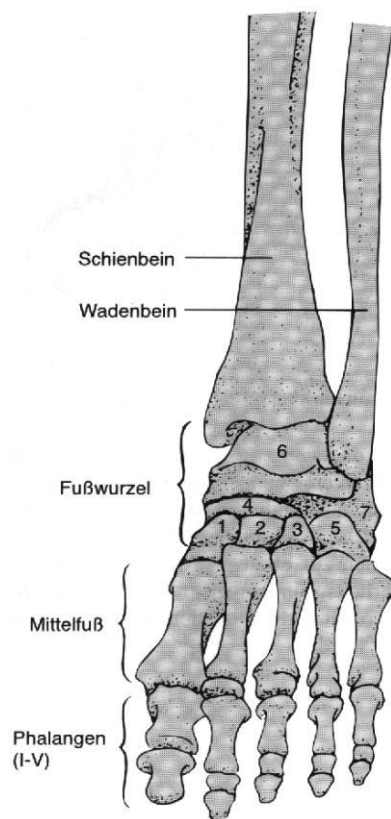


Abb. 8: Das Fußgelenk

Weineck, Balingen 2002; Sportanatomie (S. 180)

Funktionen des Sprunggelenkes:

- Torsionsfunktion– der anatomische Aufbau verhilft dem Vor- und Rückfuß zu einer außergewöhnlichen Verwindungsfähigkeit
- Formbeständigkeitsfunktion– das Sprunggelenk ist in der Lage, sich auf Grund seiner bindegewebigen Begleitstrukturen bedarfsadäquat zu verformen und anschließend wieder die ursprüngliche Form einzunehmen
- Stützfunktion– „aufgrund der hohen Stabilität des knöchernen Fußskelettes und des straffen Bänderapparates kann der Fuß in unnachahmlicher Weise seine Stützfunktion für das gesamte Körpergewicht erfüllen“ (Weineck, 2002)

- Bodenhaftungsfunktion– ein Optimum an Bodenhaftung wird durch die optimale Auflage der Fußoberfläche sowie einer optimalen Anpassung der Fußstellung an die jeweilige Oberfläche garantiert
- Flexibilitätsfunktion– durch die Anordnung der Fußknochen in Verbindung mit den Gelenken, sowie den verschieb- und verformbaren Bindegewebsstrukturen wird dem Fuß ein Höchstmaß an funktioneller Beweglichkeit verliehen
- Stabilitätsfunktion– extreme Supinations- und Pronationsbewegungen werden durch die abgerundete Form des Fußes verhindert; Halt und Stabilität in horizontaler, lateraler und vertikaler Richtung werden dem Fuß durch Bänder, Sehnen und Muskeln gegeben

3.6 Der aktive Bewegungsapparat

Wir unterscheiden zwischen dem Skelett, das die Stützfunktion ausübt, als passivem Bewegungsapparat, und der Muskulatur, die den aktiven Bewegungsapparat darstellt. Die Skelettmuskeln bilden den aktiven Teil des Bewegungsapparates. Durch Muskelkontraktion können wir uns fortbewegen oder auch Bewegungen am Ort durchführen. Die Aufgaben der Skelettmuskulatur hängen mit ihrer Fähigkeit zur Kontraktion und Erschlaffung zusammen. Wir können die Bewegung auch „dosieren“ und z.B. langsam gehen oder schnell rennen. Die Muskeln ermöglichen es uns außerdem, unseren Körper aufrecht zu halten, ohne dass wir uns merklich anstrengen. Das hängt damit zusammen, dass unsere Skelettmuskeln durch das Nervensystem andauernd unter einer leichten Anspannung gehalten werden. Diese Anspannung nennt man Muskeltonus oder Muskelgrundtonus. Sie ist so fein, dass sie keine aktive Bewegung hervorruft. Der Muskelgrundtonus erlaubt uns auch, ohne bewusste Anstrengung zu Sitzen oder zu Stehen.

Leonardo da Vinci sagte einst: „Bewegung ist die Ursache allen Lebens“. Die Körperbewegung und viele lebenswichtigen inneren Körperfunktionen werden durch Muskeln unterschiedlichster Form und Größe ermöglicht. Allein schon das ruhige Stehen erfordert die Aktivität einer großen Anzahl von Muskeln. So ist es nicht verwunderlich, dass im Sport das Thema Muskulatur eine zentrale Rolle spielt.

Jeder der mehr als 600 Muskeln des Körpers wird von Nerven versorgt. Ein Netzwerk von Schaltkreisen, das Muskulatur und Zentralnervensystem verbindet und die erforderlichen Signale (Reize) überträgt. An der Kontraktion eines Muskels sind Milliarden von Eiweißmolekülen beteiligt, die in höchster Übereinstimmung kooperieren.

3.6.1 Aufbau und Funktion der Muskulatur

Man unterscheidet drei Arten von Muskulatur:

- die Skelettmuskulatur
- die Herzmuskulatur, die eine Sonderstellung einnimmt
- die glatte Muskulatur (in Hohlorganen wie Magen, Darm, Auge)

	Passiver Bewegungsapparat	Aktiver Bewegungsapparat
Bestandteile	Knochen, Knorpel, Bindegewebe, Sehnen und Bänder	Skelettmuskulatur, Herzmuskulatur, glatte Muskulatur (Hohlorgane)
Aufgabe	Stützfunktion und Formgebung, Schutzfunktion mancher Organe, Bewegungsapparat, Mineralspeicher und Stätte der Blutbildung	Bewegung des Skeletts durch Kontraktion/Relaxation, Wärmeproduktion/Speicherung, Gewährleistung der Funktion der inneren Organe (Magen, Darm, Blase ...)
Einwirkung des Sports	z. B. Stärkung der Knochen	z. B. bessere Durchblutung

Tab. 2: aktiver und passiver Bewegungsapparat
Eigener Entwurf

Die Skelettmuskulatur

Die Skelettmuskulatur ist das am stärksten ausgebildete Organsystem des Menschen. Die Muskeln haben einen Anteil des Gesamtkörpergewichts von 40–50%. Der Skelettmuskel setzt sich zu 70–80% aus Wasser, zu 15–20% aus Eiweiß, sowie zu 3–4% aus Elektrolyten zusammen. Diese Angaben variieren während der Wachstumsphase und sind von der Ernährungsform abhängig. Je nach Größe, Lokalisation und Funktion sind die Muskeln des Menschen von unterschiedlichster Gestalt. Bei hochausdauertrainierten Sportlern spielen sich unter Belastung ca. 90–95% des gesamten Stoffwechsels in der Muskulatur ab. Der Aufbau ist im Prinzip aber immer gleich:

Muskel – Muskelfaserbündel – Muskelfaser – Myofibrille (Muskelzelle) – Sarkomer

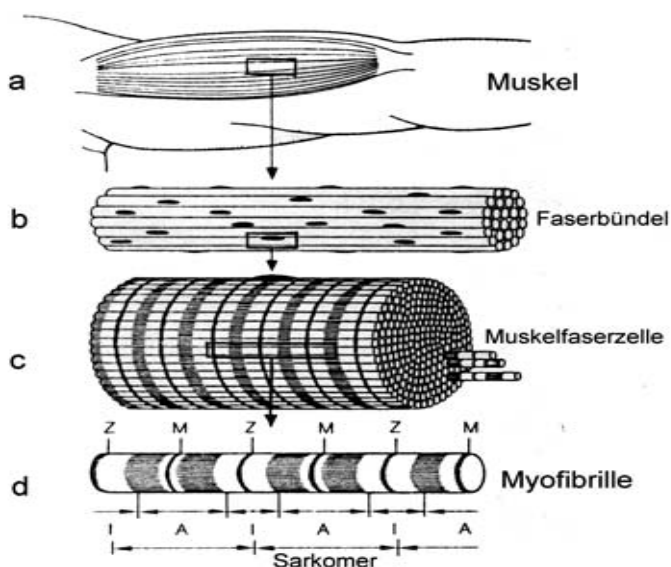


Abb. 9: Schematischer Aufbau des Muskels

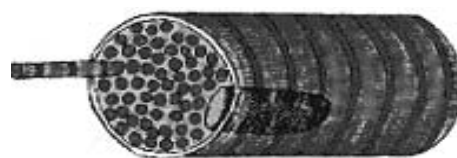


Abb. 10: Muskelfaser (Muskelzelle)



Abb. 11: Vergrößerung Muskelfaser und Sarkomer

Abb. 9–11: De Mares, Köln 1981; Sportphysiologie

Die Muskelkontraktion läuft nach dem sog. „Greif-Loslass-Zyklus“ ab, bei dem sich die Myosinköpfe an den Aktinfilamenten binden und diese durch eine Kippbewegung in Richtung Sarkomermitte ziehen. Ausgelöst wird die Muskelkontraktion durch einen elektrischen Impuls, der die Muskulatur über den dazugehörigen Nerv an der motorischen Endplatte erreicht. (Weineck, 1986)

Eine wichtige Funktion der Skelettmuskeln ist der Umsatz von Energie. Schon wenn wir uns nicht bewegen, verursacht der Muskeltonus etwa ein Viertel des Energieumsatzes unseres Körpers. Werden die Muskeln aktiv bewegt, steigert sich der Energieumsatz ganz erheblich. Als „Abfallprodukt“ der Muskelarbeit wird durch den Energieumsatz auch Körperwärme erzeugt. Diese Wärmeenergie ist für die Kontraktion der Muskeln notwendig und wird dort verbraucht. Aber dabei bleibt über die Hälfte der Wärmeenergie ungenutzt. Die Muskeln selbst verbrauchen nur etwa 45 Prozent. Der „Rest“ der Energie steht dem Körper als Körperwärme zur Verfügung. Diesen Überschuss kann unser Körper auch ganz unwillkürlich anwenden, z.B. dann, wenn wir frieren. Das unwillkürliche Zittern ist eine kurze Kontraktion von Muskeln, die dabei Wärme erzeugen.

Die Entstehung einer Bewegung

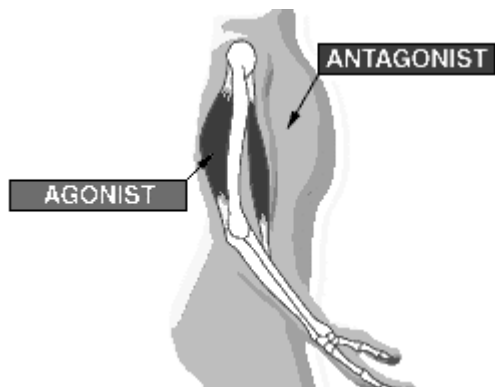


Abb. 12: Muskel (Trizeps, Bizeps)

<http://www.sportunterricht.de/iksport/muskeln/html>

Eine Bewegung entsteht dadurch, dass die Muskulatur bei der Kontraktion Zugkräfte auf die Sehnen ausübt, die ihrerseits wiederum Zugkräfte auf die Knochen ausüben. Meist sind zwei Muskeln beteiligt, die entgegengesetzte Bewegungen ausführen: Agonist (Spieler) und Antagonist (Gegenspieler).

Bei der Beugung des Unterarms kontrahiert der Bizeps am Oberarm. Er ist für die Bewegung verantwortlich und damit Agonist. Der Trizeps dagegen muss sich während dieser Bewegung entspannen. Er ist Antagonist.

Der Herzmuskel

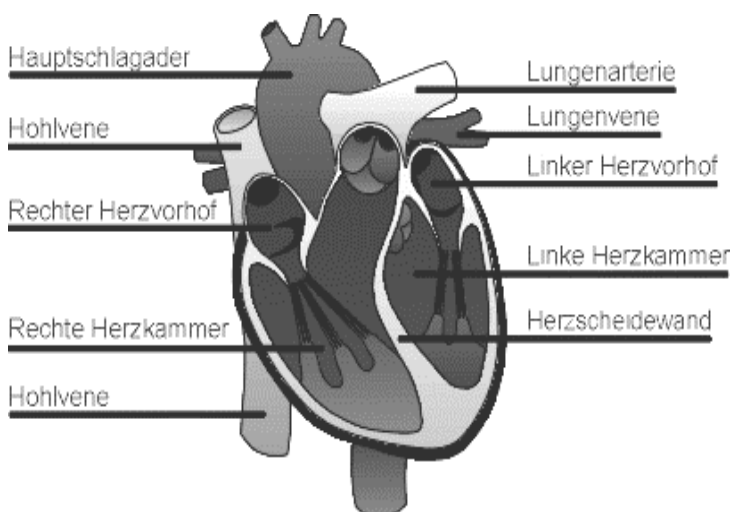


Abb. 13: Querschnitt durch das Herz

http://herz.qualimed.de/Lungen_körperkreislauf.html

Der Herzmuskel ist eine Sonderform der quergestreiften Muskulatur. Er weist die hierfür typische Querstreifung auf. Allerdings befinden sich die Zellkerne in der Mitte wie bei der glatten Muskulatur. So genannte Glanzstreifen bilden die Verbindungen zwischen den einzelnen Zellen. Das Herzmuskelgewebe ist, wie die glatte Muskulatur, nicht dem Willen unterworfen.

Herzmuskelgewebe unterscheidet sich von Skelettmuskulatur in einigen Punkten. Der wesentlichste Unterschied liegt in der so genannten Refraktärzeit, d. h. eine elektrisch erregte Herzmuskelzelle kontrahiert und ist anschließend für einige Millisekunden unerregbar, während Skelettmuskeln durch fortgesetzte Nervenreizung über längere Zeit in einer Dauerkontraktion verweilen können. Das Herz, ein Hohlmuskel, liegt unmittelbar hinter dem Brustbein, die Herzspitze zeigt nach links unten.

Sportart	Herzvolumen in ml	Vergleichszahl
Langstreckenlauf	1000	15,7
Straßenradfahren	1012	14,6
Skilanglauf	927	13,4
Rudern	975	12,4
Skiabfahrt	701	11,3
Zehnkampf	954	11,1
Weitsprung	825	11,0
Gewichtheben	750	11,0
Normalperson	760	10,5

Tab. 1: Herzvolumen von Sportlern
[http://www.kl.unibe.ch/kl/ipsla/2000"01/s1/html](http://www.kl.unibe.ch/kl/ipsla/2000)

Anmerkung: Angaben über Messungen bei männlichen Sportlern (durchschnittliche Herzgrößen von Leistungssportlern): Vergleichszahl: Herzvolumen in ml pro kg Körpergewicht (Engelhardt, 1998)

Pulskontrolle

Die Pulsfrequenz ist das einfachste Mittel, um die Sportler im Trainingsalltag zu kontrollieren. Durch eine Pulskontrolle kann der Trainer die individuelle Belastung des Sportlers überprüfen und steuern. Wichtig ist, dass man unmittelbar nach der Belastung den Puls misst. Eine Pulskontrolle dient zur Intensitätskontrolle, Definierung des Erholungsgrades und zur allgemeinen Trainingskontrolle.

Für ein leistungsorientiertes und professionelles Ausdauertraining ist der Kauf einer Pulsuhr eine sehr gute Investition. Gerade bei jungen Athleten kann man eine bessere Intensitätskontrolle durchführen.

Kapillarisation – Ausbau der Transportwege

Ausdauertraining führt zu einer Erhöhung der Kapillardichte bzw. -oberfläche durch Kapillarneubildung.

Es kann sich hierbei um eine Öffnung von Ruhekapillaren, eine Verlängerung und Erweiterung vorhandener Kapillaren oder um eine echte Kapillarneubildung handeln.

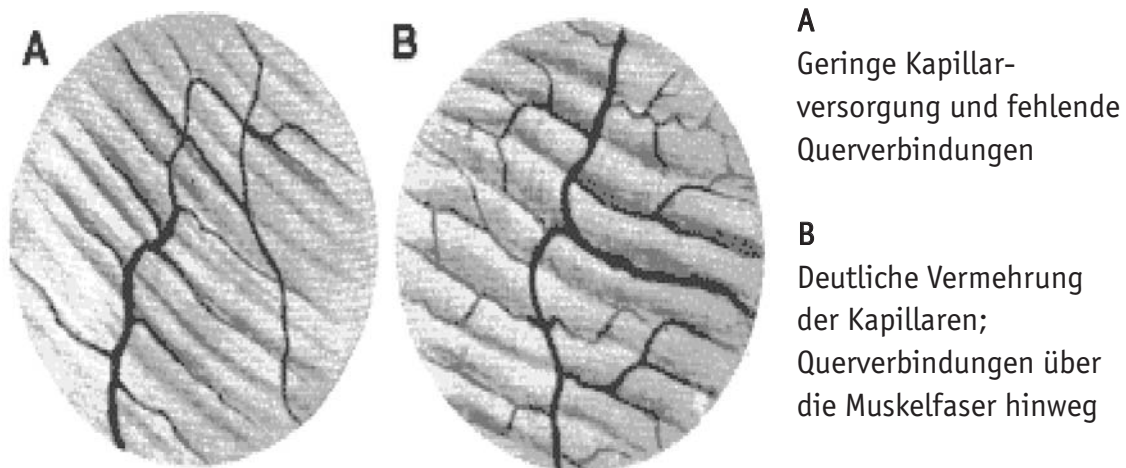


Abb. 14: Kapillarversorgung des untrainierten und des trainierten Muskels (nach Weineck)

„Während in Ruhe nur etwa 3–5% der vorhandenen Kapillaren geöffnet sind, werden bei Ausdauerbelastungen sämtliche Kapillaren geöffnet und zusätzlich erweitert. Die Zahl der offenen Kapillaren steigt auf das 30–50fache an. Die gleichzeitige Kapillarerweiterung vergrößert die Gesamtoberfläche auf etwa das 100-fache.“ (Weineck, 1986)

Die glatte Muskulatur

Die glatte Muskulatur unterscheidet sich deutlicher von der Skelettmuskulatur: Da die Myofilamente (dicke aus Myosin und dünne aus Aktin) nicht so streng periodisch und parallel angeordnet sind, entsteht weder licht- noch elektronenmikroskopisch der Eindruck einer Querstreifung; daher die Bezeichnung „glatte Muskulatur“. Sie unterliegt nicht unserer Willkür. Versorgt und beeinflusst wird sie vom vegetativen Nervensystem. Die Kontraktion verläuft langsam, ausdauernd und wurmartig. Die einzelnen Muskelzellen sind viel kleiner (Länge 20–30 Mikrometer, Dicke 3–10 Mikrometer), spindelförmig und in fischzugartigen Netzwerken angeordnet.

Jede Zelle enthält einen zentral gelegenen Zellkern, der sich bei Kontraktion korkenzieherartig verkrümmt. Glatte Muskulatur kommt in der Wand der Hohlorgane, einschließlich der Atemwege, in der Pupillenmuskulatur des Auges sowie an den Haarwurzeln vor.

3.6.4 Typisierung der Muskulatur

Beim Menschen ist jeder Muskel mosaikartig aus vielen verschiedenen motorischen Einheiten zusammengesetzt, welche anhand ihrer Kontraktionsgeschwindigkeit und Ermüdungsresistenz typisiert werden. Die Faserverteilung ist genetisch vorbestimmt und kann nur leicht durch angepasstes Training verändert werden. Der Muskel ist im Grunde aus zwei verschiedenen Arten von Muskelfasertypen aufgebaut. Es wird hauptsächlich unterschieden zwischen tonischen und phasischen Muskeln:

tonische Muskeln: langsam kontrahierende, ermüdungsresistente Muskeln
Typ 1 Fasern (langsame Zuckungsfasern; slow twitch ST-Fasern)
Beispiel: M. soleus (Schollenmuskel im Wadenbereich)

Diese Muskelfasern, die ihren Energiebedarf vorwiegend aerob bereitstellen, sind relativ dünn und von vielen Kapillaren umgeben, wodurch die Diffusionsstrecke für die Sauerstoffversorgung möglichst kurz ist. Diese Fasern erscheinen durch den hohen Myoglobingehalt (sauerstoffspeichernder Muskelfarbstoff) dunkelfarben, rot („rote“ Muskelfasern) und sind reich an Mitochondrien sowie an Enzymen des oxidativen Stoffwechsels zur aeroben Energiebereitstellung für längerandauernde Belastungen.

Diese Muskelfasern finden wir z.B. in der ausdauertrainierten Muskulatur von Straßenradfahrern, Skilangläufern oder Marathonläufern.

phasische Muskeln: schnell kontrahierende, aber rasch ermüdende Muskeln
Typ 2 Fasern (schnelle Zuckungsfasern; fast twitch FT-Fasern)
Beispiel: M. triceps brachii (Strecker im Ellenbogengelenk)

Die schnellen Muskelfasern überwiegen in Muskeln mit primär zielmotorischen Funktionen und können sich schneller kontrahieren als die roten Muskelfasern. Diese Fasern ermüden allerdings schneller. Schnelle Muskelfasern sind dicker und damit zu größeren Kraftentwicklungen fähig. Aufgrund ihres geringen Myoglobingehaltes sind sie blassfarben und werden deshalb auch als „weiße“ Muskelfasern bezeichnet. Ihren Energiebedarf für die mehr Schnellkraft erfordernden Beanspruchungen stellen sie anerob bereit und sind deshalb reich an Enzymen der Glycolyse.

In der stärker schnellkraftbeanspruchten Muskulatur von z.B. Sprintern, Gewichthebern überwiegt der Typ 2 Fasern (fast twitch).

Durch jahrelanges Ausdauertraining ist es möglich einen Teil der Typ 2 Fasern in Typ 1 Fasern umzuwandeln. Typ 1 Fasern zu Typ 2 Fasern umzutrainieren ist kaum möglich.

Reihenfolge der Muskelkontraktion:

Typ I vor Typ II Faser

leichte Kraftanstrengung = geht zuerst über langsame Muskelfasern Typ I

Steigerung der Kraft = geht in schnelle Fasern über Typ II

maximale Kraft = es werden schnelle Fasern mobilisiert.

Name	Fasertyp	Energiebereitstellung	Aussehen	Mitochondrien	
Slow Twitch	I	Aerob (sauerstoffbindend)	rot	viele	langsame Verkürzung, langandauernde Arbeit
Fast Twitch	II a	Anaerob	weiß	wenig	schnelle Verkürzung, kurze Arbeit
Fast Twitch	II b	Anaerob	weiß		schnelle Verkürzung, kurze Arbeit

Tab. 2: Unterschiede der Fasertypen

<http://www.leader.linkexchange>.

3.7 Die Energiebereitstellung

Energie ist definiert als „die Fähigkeit, Arbeit zu leisten“, wobei sie in verschiedenen Formen auftritt: mechanische, elektrische und chemische Energie. Die unterschiedlichen Energieformen können ineinander umgewandelt werden. Energie existiert als gespeicherte (potentielle) und als aktive (kinetische) Energie. Sie wird in Form von chemischer Energie mit der Nahrung aufgenommen, im menschlichen Körper in die universelle Energiewährung ATP umgesetzt und dort für den Aufbau (Synthese) von neuem Zellmaterial, für aktive Transportvorgänge, für die Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur und für die mechanische Kontraktionsarbeit in der Muskelzelle verwendet.

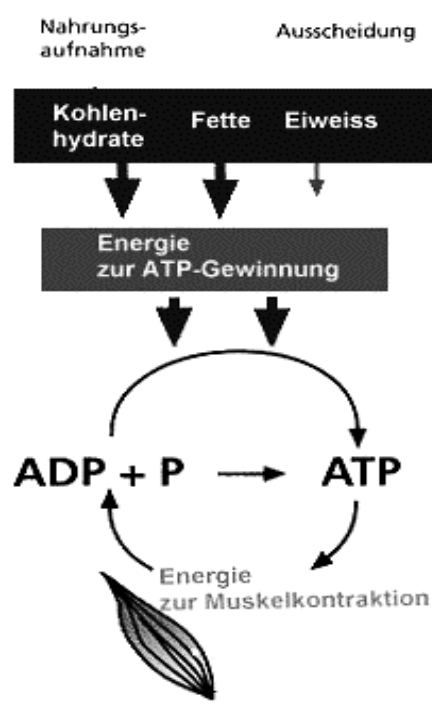


Abb. 15: Schema Energiegewinnungsprozesse
www.sportunterricht.de

Die Energie für sportliche Leistungen wird nicht unmittelbar aus der Nahrung (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) gewonnen. Das in allen Körperzellen gespeicherte Adenosontriphosphat (ATP) liefert die notwendige Energie. Je nach Beanspruchung können dabei unterschiedliche Phasen der Energiebereitstellung durchlaufen werden.

Die Ausdauerleistungsfähigkeit kann durch folgende Schwellenwerte charakterisiert werden:

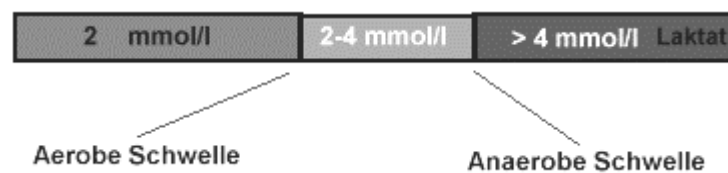


Abb. 16: Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit
www.sportunterricht.de

3.7.1 Aerobe Energiebereitstellung

Bei allen sportlichen Belastungen, die über eine Minute hinausgehen und die von niedriger bis mittlerer Intensität gekennzeichnet sind, nimmt die aerobe Energiebereitstellung, die in sog. Mitochondrien abläuft, eine zunehmend dominante Rolle ein. Bei der oxydativen Verbrennung entstehen: $\text{Glukose} \rightarrow \text{ATP} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Das heißt, die Verbrennung erfolgt mittels Sauerstoff und es werden als Endprodukte Wasser und Kohlendioxid ausgeatmet.

Der Abbau von Glukose und Glykogen kann sowohl über den anaeroben als auch aeroben Stoffwechselweg erfolgen. Aber im Gegensatz zur anaeroben Energiebereitstellung können hier neben Glukose auch Fette (in Form von freien Fettsäuren) und in besonderen Notfällen (Hunger oder extreme Dauerbelastung) auch Eiweiß als Energieträger verbrannt werden. Ein Beispiel dafür ist die gewählte Laufgeschwindigkeit und der aktuelle Trainingszustand. In Ruhe verbrennt der Organismus Kohlenhydrate und Fette zur Energiegewinnung. Der Fettspeicher des Menschen ist fast unerschöpflich, weshalb man auch Belastungen extremer Art (z.B. Triathlon, Marathonlauf) bestreiten kann.

Der Glykogenspeicher im menschlichen Körper reicht für ca. 1 Stunde Belastung aus. Die Wiederauffüllung kann je nach Belastungsart und Trainingszustand mehrere Tage in Anspruch nehmen. Daraus folgt der anaerobe Abbau von Glykogen. Er liefert in der Zeiteinheit mehr Energie als der aerobe, dafür ist das Muskelglykogen aber schneller erschöpft. Der aerobe Abbau des Muskelglykogens ist ökonomischer als der anaerobe.

3.7.2 Anaerobe Energiebereitstellung

Wenn sich der Sportler am Beginn einer körperlichen Belastung höherer Intensität befindet, bei der der Energiebedarf nicht durch aerobe Energiebereitstellung gedeckt werden kann, ist der Muskel gezwungen, die Energie auf anaerobem Weg zu gewinnen. Die anaerobe Energiebereitstellung ist an hohe bzw. höchste Belastungsintensitäten gekoppelt.

Die erste energieliefernde Reaktion ist die Spaltung von ATP, welches in kleinsten Mengen in der Zelle gespeichert ist: $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P} + \text{Energie}$.

Die Energieproduktion erfolgt ohne Sauerstoff.

Da der Vorrat an ATP in der Muskulatur nur für etwa 2–3 Sekunden reicht, muss der Muskel, um weiter arbeiten zu können, durch Spaltung von Kreatinphosphat den Speicher wieder auffüllen.



Nach bisherigem Wissen reicht dieser Speicher der sog. energiereichen Phosphate (ATP + KP) für max. 15–20 Sekunden Energiebereitstellung!
Dieser ist nach wenigen Sekunden wieder aufgefüllt.

Bei dieser Energiebereitstellungsform fällt kein Laktat an, weshalb man diese Phase auch als anaerob-alktazide Energiebereitstellung (ohne Sauerstoff und ohne Laktatproduktion) bezeichnet.

Dauert die hochintensive Belastung länger als eben diese 15–20 Sekunden, so stellt der Organismus um auf die anaerob-laktazide Energiebereitstellung. Als Energielieferant können nur Glucose oder Glykogen herangezogen werden. Auch diese Form ist an hohe bzw. höchste Belastungsintensität gebunden. Die Dauer, über die der Organismus auf diese Art und Weise Energie produzieren kann, liegt bei ca. 40–50 Sekunden.

Die lactazide Phase der anaeroben Energiebereitstellung umfasst die anaerobe Glycolyse:
 $\text{Glucose} > 2\text{ATP} + \text{Laktat}$

Während das Muskelglykogen den Energiebedarf bei der Muskelarbeit abdeckt, sorgt das Leberglykogen für die Aufrechterhaltung des Blutglukosespiegels in Ruhe und auch unter Belastung. Für den Muskel ist der Abbau des intrazellulären Glykogen energetisch ergiebiger als der Stoffwechsel der über die Blutbahn eingeschleusten Glukose.

Das als Endprodukt anfallende Laktat blockiert letztendlich nach der oben angegebenen Zeit die Energieproduktion und der Sportler muss die Belastung einstellen! Bemerkbar macht sich das Laktat durch ein brennendes Gefühl in den entsprechenden Muskeln.

Das Laktat wird durch die Leber (Wiederaufbau zu Glykogen), die Herzmuskulatur und die ruhenden Skeletmuskeln verstoffwechselt, wobei die Normalisierung schneller abläuft, wenn in der Erholungsphase eine leichte Belastung stattfindet.

Die Wiederauffüllung des Speichers dauert je nach Trainingszustand und Belastungsart 30 Minuten bis 1 Stunde.

Das klassische Beispiel für eine anaerob-laktazide Energiebereitstellung ist der 400-Meter-Lauf.

Die höchste Aktivierung des anaeroben Stoffwechsels erfolgt bei Läufen zwischen 45–200 Sekunden Dauer, das entspricht 400 m bis 1500 m Läufen. Die Laktatkonzentration bewegt sich, unabhängig von individuellen Variationen und dem Rennverlauf, überwiegend zwischen 14–18 mmol/l. Bei Läufen unter 45 Sekunden wurden vereinzelt Laktatkonzentrationen über 20 mmol/l gemessen. Mit Zunahme der aeroben Leistungsfähigkeit kann auch bei 400 m Läufern die Laktatbildung bei besserer Laufzeit abnehmen.

Zusammenfassung:

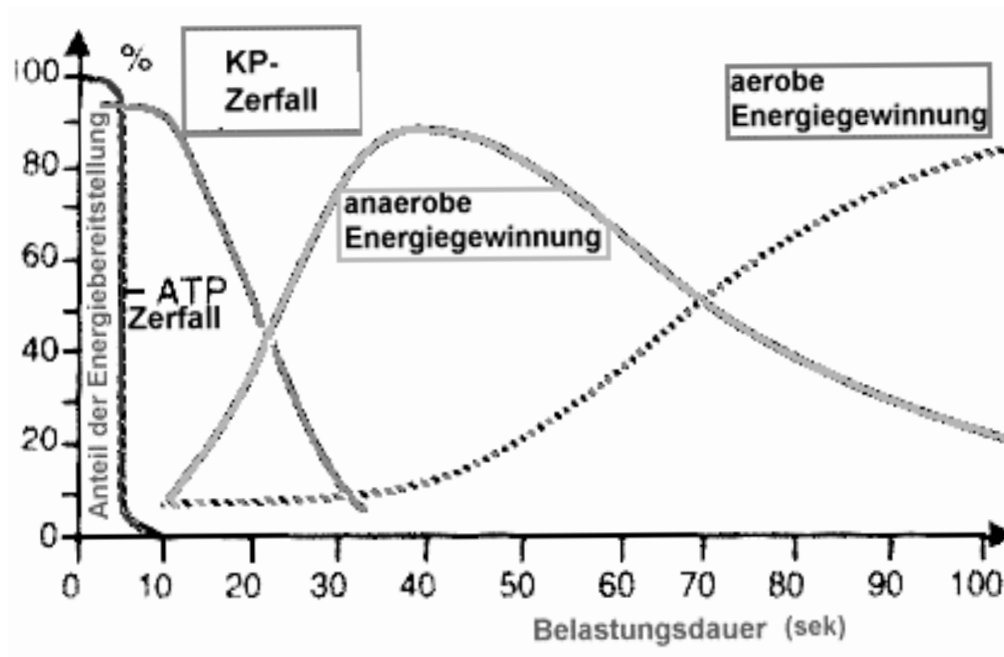


Abb. 17: Energiebereitstellung

Keul (in: Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Heft 7) Köln 1978

Kurve 1+2: (Die anaerob-alaktazide Phase der Energiegewinnung)

Zunächst zerfällt das in den Mitochondrien vorhandene ATP.

Das ATP zerfällt bei der Muskelkontraktion in das Adenosindiphosphat (ADP) und einen Phosphatrest P.

Der Körper muss dann dafür sorgen, dass neues ATP hergestellt wird. Die Energie eines weiteren Phosphats in der Muskelzelle, des Kreatinphosphats (KP), sorgt kurzfristig dafür, dass aus ADP und P wieder ATP entsteht (Resynthese von ATP).

Kurve 3: (anaerob – laktazide Energiegewinnung)

Noch bevor die Vorräte an energiereichen Phosphaten verbraucht sind, ist die nächst schnellere Variante des Energiestoffwechsels aktiv geworden, die anaerob-laktazide Energiebereitstellung durch den Abbau von Glukose.

Kurve 4: (aerobe Energiegewinnung)

Nur wenn genug Sauerstoff zur Verfügung steht, kann die Glucose vollständig abgebaut werden. Dieser Vorgang dauert aber deutlich länger. Die Energieausbeute ist deutlich größer (38 Moleküle ATP aus einem Zuckermolekül). Auf aeroben Weg können zudem auch die Fettsäuren abgebaut werden.