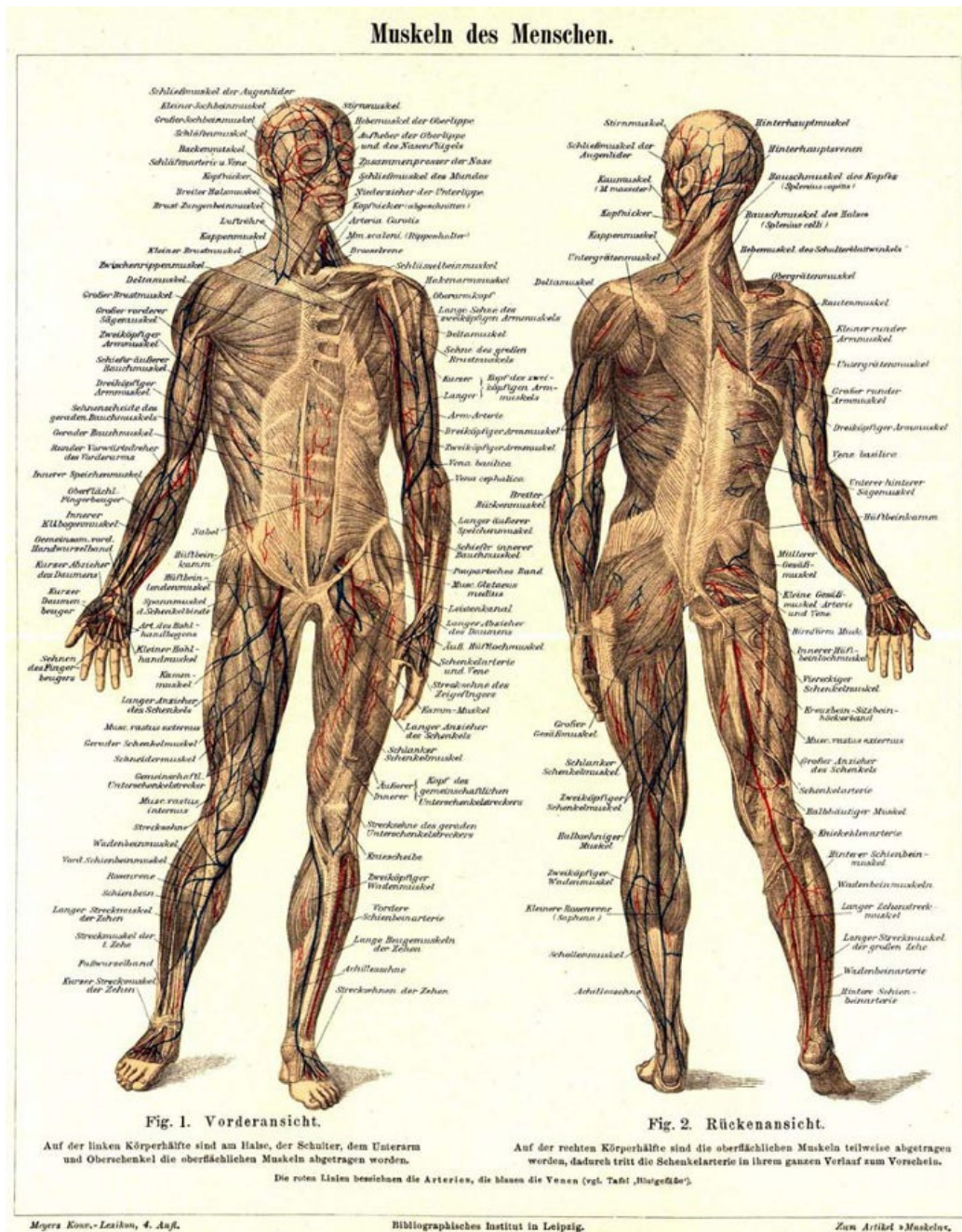


Kapitel 05.11: Muskeln & Muskelphysiologie



Quelle Bild: Public domain/ Gemeinfrei aus dem 11. Buch der 4. Auflage des Meyers Konversationslexikons (1885-90).
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meyers_b11_s0936a.jpg

Freies Lehrbuch der anorganischen Chemie von H. Hoffmeister und C. Ziegler
 (unter GNU Free Documentation License, Version 1.2 (GPL)).
 Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter: <https://hoffmeister.it/index.php/biologiebuch>

Inhalt

Kapitel 05.11: Muskeln & Muskelphysiologie.....	1
Inhalt.....	2
Die Muskulatur.....	3
Oberkörpermuskulatur und Waschbrettbauch.....	4
Die Muskulatur.....	5
Der Aufbau eines Muskels:.....	6
Hinweise:.....	6
Aktin und Myosin:.....	7
Der Muskel besteht aus Muskelfaserbündeln.....	8
Kontraktion im Detail:.....	8
Zusammenfassung:.....	9
Vergleich der Muskeltypen.....	10
Mechanismus der Muskelkontraktion.....	11
Gleitfilament-Theorie der Muskelkontraktion:.....	11
Mechanismus der Muskelkontraktion:.....	12
Energiebeteiligung bei der Muskelkontraktion:.....	14
Die verschiedenen Muskeltypen.....	15
Diagramm einer Muskelanregung.....	16
Sehnen, Bänder, Muskeln.....	17

Die Muskulatur

Das Bewegungssystem des Menschen besteht aus Knochen, Muskeln, Sehnen und Bändern. Damit man besser die Funktionsweise der Muskulatur versteht, muss kurz erklärt werden, was Bänder und Sehnen sind und wie sie sich unterscheiden.

Bänder sind recht fest und kaum dehbare Stränge aus Bindegewebe und sind durch das Protein Kollagen gehärtet. Sie verbinden Knochen untereinander und schränken die Beweglichkeit der Gelenke so ein, dass die Gelenke nicht überdehnen oder Schaden nehmen. Passiert dennoch eine Dehnung eines Bandes über das übliche Maß hinaus, kann es reißen oder das Gelenk beschädigt werden.

=> **Bänder verbinden Knochen mit Knochen**

Sehnen: Der Muskel ist umhüllt von Muskelhaut, welche in die Sehnen übergeht, die von einer Sehnenscheide umgeben sind. Die Sehnenscheide schützt die Sehne und verringert die Reibung, da sie mit einer Flüssigkeit gefüllt ist

=> **Sehnen sind elastischer und verbinden Muskeln mit Knochen.**

Oberkörpermuskulatur und Waschbrettbauch



Jeder Mensch verfügt über eine stark ausgebildete Bauchmuskulatur. Sie hilft nicht nur bei Bewegungen, sondern hält den Oberkörper aufrecht. Darüber liegt bei vielen Menschen ein Polster aus einer Fettschicht, so dass die Muskeln nicht sichtbar sind.

Um einen sogenannten Waschbrettbauch (oder auf Englisch „Sixpack“) zu zeigen, muss also neben gutem Muskeltraining auch eine fettarme und kalorienarme Ernährung berücksichtigt werden.

Typischerweise sieht man den Waschbrettbauch also bei guten Sportlern wie z.B. Ausdauersportlern (Läufern!), da diese immer viel Fett durch das Laufen verbrennen!

Die Muskulatur

Überlege einmal, was ein Mensch, der keine Muskeln hätte, alles nicht machen könnte:

Lachen, gehen, essen, Kopf nicken, greifen, laufen, atmen usw.

Ohne Muskeln, wäre unser Leben nicht möglich. Immerhin sind 40% unseres Körpergewichts Muskeln. Aber wie funktionieren Muskeln eigentlich?

Schauen wir uns zuerst einmal den Aufbau an:

Muskeln befinden sich an Knochen und sind von dünnen Muskelhäuten umgeben. Die Muskelhäute verjüngen sich zu ihrem Ende hin und gehen in die Sehnen über. Die Sehnen sind dann mit dem zu bewegendem Knochen verbunden.

Zieht sich also ein Muskel zusammen, wird der entsprechende Knochen zu ihm gezogen. Damit also eine vollständige Bewegung möglich ist, muss ein Knochen immer mit zwei Muskeln (Beuger und Strecker) verbunden sein. zieht sich ein Muskel zusammen (=Kontraktion), so muss sein Gegenspieler entspannen. Die entsprechende Gegenbewegung ist dann möglich, wenn die Muskeln nun umgekehrt entspannen und anspannen. Aktive Streckung von Muskeln ist übrigens nicht möglich. Muskeln können aber (passiv) gedehnt werden.

Verkürzt sich der Muskel, so kommt es zu einer Spannung der Sehne, welche den Knochen näher heranzieht. Diese Bewegung der Knochen durch Muskeln erfolgt hebelartig. Dabei gilt, dass die meisten Muskeln, am kürzeren Hebelarm ansetzen. Dies bedeutet zwar einen höheren Kraftaufwand, aber auch einen kürzeren Weg und ermöglicht so eine schnellere Bewegung.

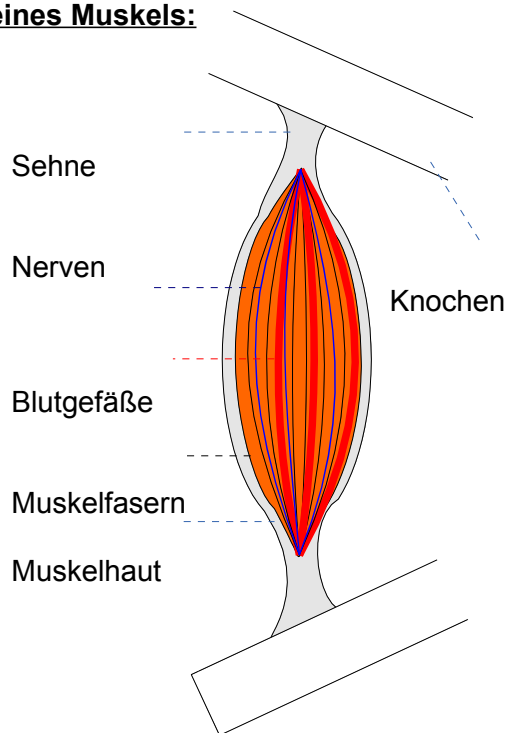
Zur Bewegung der Gliedmaßen sind an jedem Gelenk immer mindestens zwei Muskeln nötig, welche gegeneinander arbeiten. Sie werden Beuger und Strecker genannt. Man spricht auch in diesem Zusammenhang von Spieler (=Agonist) und Gegenspieler (=Antagonist).

Ein kleiner Versuch:

V: Lege deine rechte Hand auf den linken Bizeps und hebe mit dem linken Arm einen Stuhl vom Boden auf. Beachte dabei die Änderung der Form, der Lage, der Dicke und der Härte Deines Muskels. Nun entspanne den Muskel wieder. Vergleiche?

B: Der Muskel verkürzt sich bei Anspannung und wird dabei dicker und fester. Bei Entspannung wird der Muskel lockerer und weicher.

S: Die Bewegung eines Gelenkes benötigt zwei Muskeln - Beuger und Strecker. Da beide gegeneinander wirken, werden sie auch als Gegenspieler bezeichnet. Sie verrichten ihre Arbeit, indem sie sich zusammenziehen und entsprechend entspannen. Da sie gegeneinander wirken, werden sie auch als Spieler (=Agonist) und Gegenspieler (=Antagonist) bezeichnet.

Der Aufbau eines Muskels:

Bei allen Bewegungen des Menschen müssen Knochen, Gelenke, Muskeln und Sehnen zusammenwirken. Eine genaue Abstimmung ist dazu erforderlich. Das ist der Grund, warum der Mensch jede Bewegung erst erlernen muss.

Hinweise:

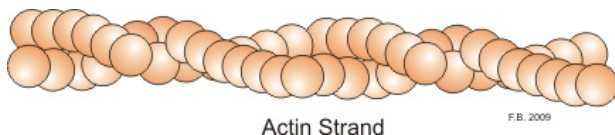
- Muskelfasern haben einen Durchmesser von ca. 0,1 mm
- Muskelfasern haben tiefe Einstülpungen, welche Quertubuli genannt werden
- Muskelfasern enthalten zwei Eiweißtypen Aktin und Myosin
- Aktin und Myosin sind zu Fäden (=Filamenten) zusammengelagert

Aktin und Myosin:

Aktin und Myosin sind Eiweiße (Proteine), welche in fast jeder Zelle des Menschen zu finden sind. Sie haben wichtige Aufgaben beim Aufbau des Zellskeletts, bei Zellbewegungen und auch bei der Verteilung der Chromosomen bei der Zellteilung (Mitose).

In Muskelzellen haben Aktin und Myosin jedoch besondere Aufgaben. Sie sind für die eigentliche Kontraktion der Muskel zuständig.

Aktin ist von kugelförmiger Gestalt. Es bildet sogenannte **Aktinfilamente**, welche aus zwei schraubenförmig umeinander gewundenen Fäden bestehen, um die viele kugelförmige Aktinmoleküle angeordnet sind. (Außerdem findet man auch noch regulatorische Proteine (wie Tropomyosin) in den Aktinfilamenten).



Quelle Bild: GNU GNU Free Documentation License, Version 1.2 & Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported by wikicommonsuser Boumphreyfr - Merci; http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Actin_strand.png; <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>; http://en.wikipedia.org/wiki/en:GNU_Free_Documentation_License

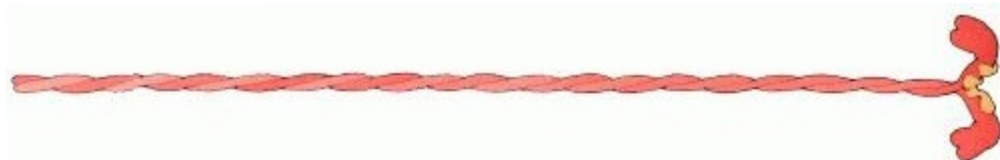
Myosin ist ein Protein, welches sich in zwei Teile unterteilt:

1. Schaft und Halsbereich
2. ein kugelförmiger Köpfchen

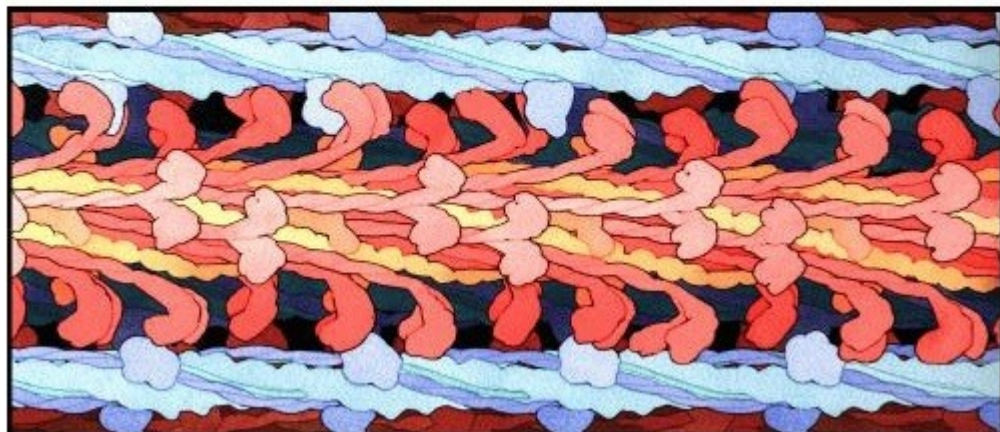
Von dieser Struktur lagern sich viele benachbarte Moleküle parallel an und bilden so ein Myosinfilamente. Aus diesem Filament ragen die beweglichen Halsabschnitte und Köpfchen heraus.

Die Myosinfilamente sind an beiden Enden (durch einen Titinfaden) an sogenannten Z-Scheiben befestigt. Jedes Myosinfilament ist in der Regel von 6 Aktinfilamenten umgeben.

Myosin



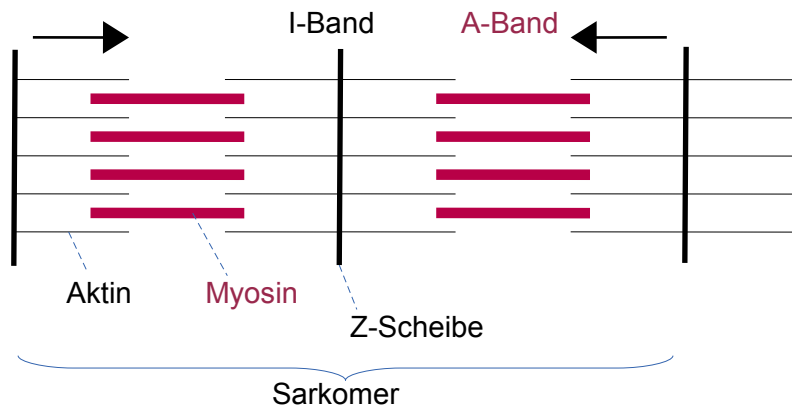
Myosinfilament



Quelle Bild: Public domain by United States Federal Government & Wikicommonsuser Abdulrahman112 - Thank you; <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Myosin-painting-rotated.jpg>

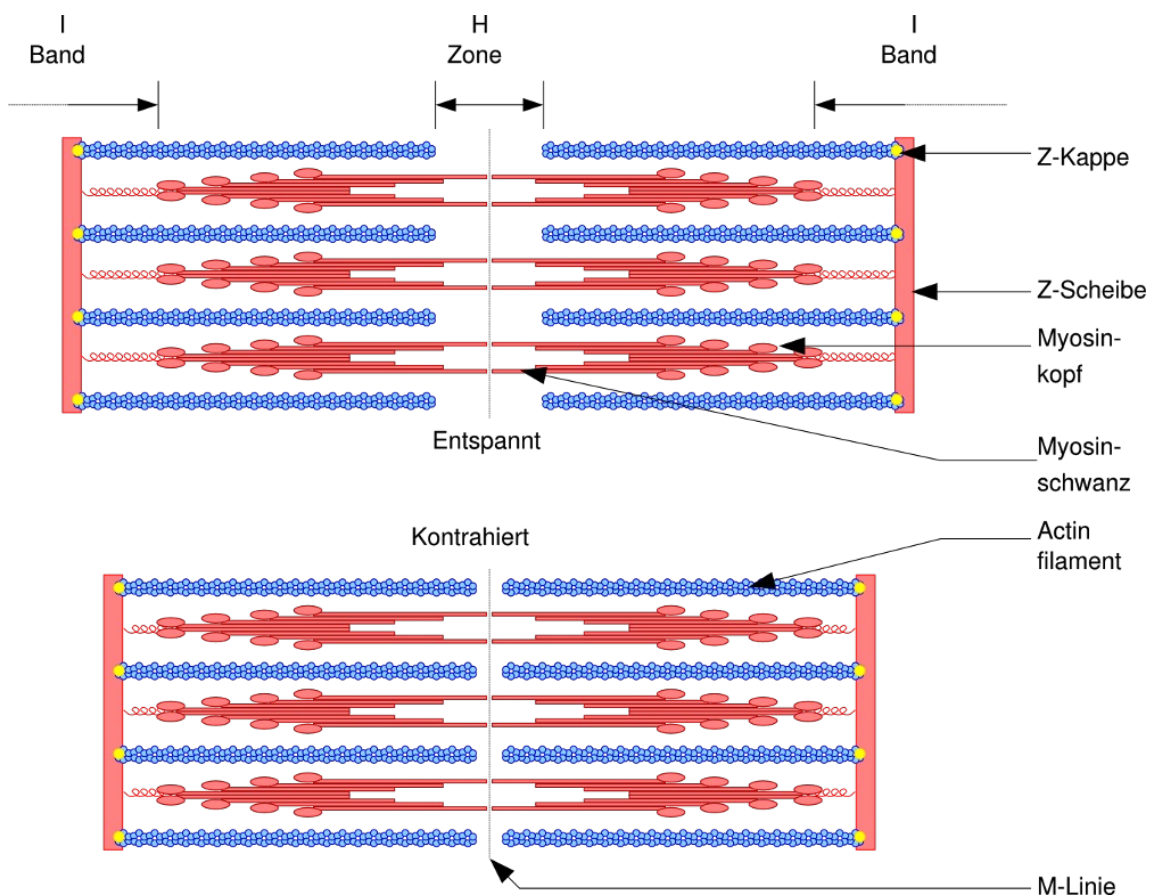
Der Muskel besteht aus Muskelfaserbündeln

Muskeln bestehen aus vielen Muskelfaserbündeln, welche jeweils ca. 1000 Muskelfasern enthalten. Jede Muskelfaser besteht aus Eiweißen (so genannten Muskelfibrillen). Man unterscheidet dabei zwei Typen: Aktin- und Myosinfibrillen.



Das Myosinfilament ist an beiden Enden durch einen Titinfaden an den Z-Scheiben festgemacht und wird so in der Mittelposition gehalten. Jedes Myosinfilament ist i.d.R. von 6 Aktinfilamenten umgeben.

Kontraktion im Detail:



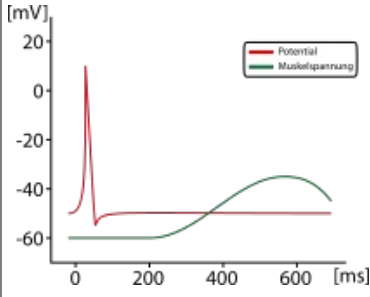
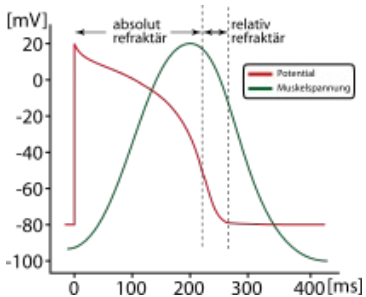
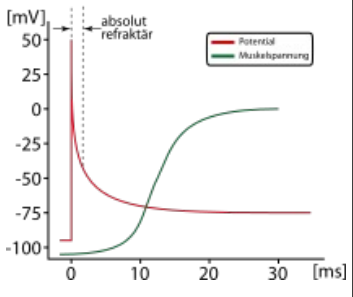
Quelle Grafik: GNU Free Documentation License, Version 1,2 & r Creative Commons „Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Unported by Wikicomonsuser David Richfield (Slashme) - Thank you; <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sarcomere.svg>; <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de>; http://de.wikipedia.org/wiki/GNU_Free_Documentation_License

Der Sarkomer ist die kleinste funktionelle Einheit einer Myofibrille!

Zusammenfassung:

Quergestreifte Muskelfasern (bis 30 cm, $\varnothing = 0,01-0,1$ mm, mehrere hunderte Zellkerne) sind zusammengefasst zu Muskelfaserbündeln mit Bindegewebshülle (mit Blutgefäßen und Nervenfasern). Mehr als Tausend solcher Faserbündeln bilden den Muskel.

Vergleich der Muskeltypen

	Glatte Muskulatur	Herzmuskulatur	Skelettmuskulatur
Aufbau:			
motorische Endplatte	keine	keine	ja
Fasern	fusiform, kurz (<0,4mm)	verzweigt	zylindrisch, lang (<15cm)
Mitochondrien	wenige	viele	wenige bis viele (je nach Muskeltyp)
Zellkerne/Faser	1	1	viele
Sarkomere	keine	ja, max. Länge 2,6µm	ja, max. Länge 3,7µm
Synzytium	nein (Einzelzellen)	nein (aber funktionelles Synzytium)	ja
Sarkoplasma-tisches Retikulum	wenig entwickelt	mäßig entwickelt	stark entwickelt
ATPase	wenig	mittel	viel
Funktion:			
Schrittmacher	spontan aktiv (langsam)	ja (schnell)	nein (benötigt Nervenreiz)
Reizantwort	abgestuft	„Alles-oder-Nichts“	„Alles-oder-Nichts“
tetanisierbar	ja	nein	ja
Arbeitsbereich	Kraft/Längen-Kurve ist variabel	im Anstieg der Kraft/Längen-Kurve	am Maximum der Kraft/Längen-Kurve
Reizantwort			

Quelle Tabelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Muskel>

Quelle Grafiken: Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic license by Wikicommonsuser Hank van Helvete, Thank You!;

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muskelreiz-glatt.svg>; <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muskelreiz-herz.svg>;

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muskelreiz-skelett.svg>

Mechanismus der Muskelkontraktion

An den Myosinfilamenten sitzen viele kleine Myosinköpfe. Ist der Muskel entspannt, sind diese Myosinköpfe gestreckt und haben keinen Kontakt zu den Aktinfilamenten.

Man kann beobachten, wie sich bei der Muskelkontraktion die Z-Scheiben aufeinander zu bewegen. Die Aktin- und Myosinfilamente werden dabei aber nicht verkürzt!

**Spannt der Muskel an, so lagern sich die Myosinköpfe an die Aktinfilamente und klappen dabei um. Die Folge ist ein aufeinander zu bewegen der Z-Scheiben
=> der Muskel verkürzt sich.**

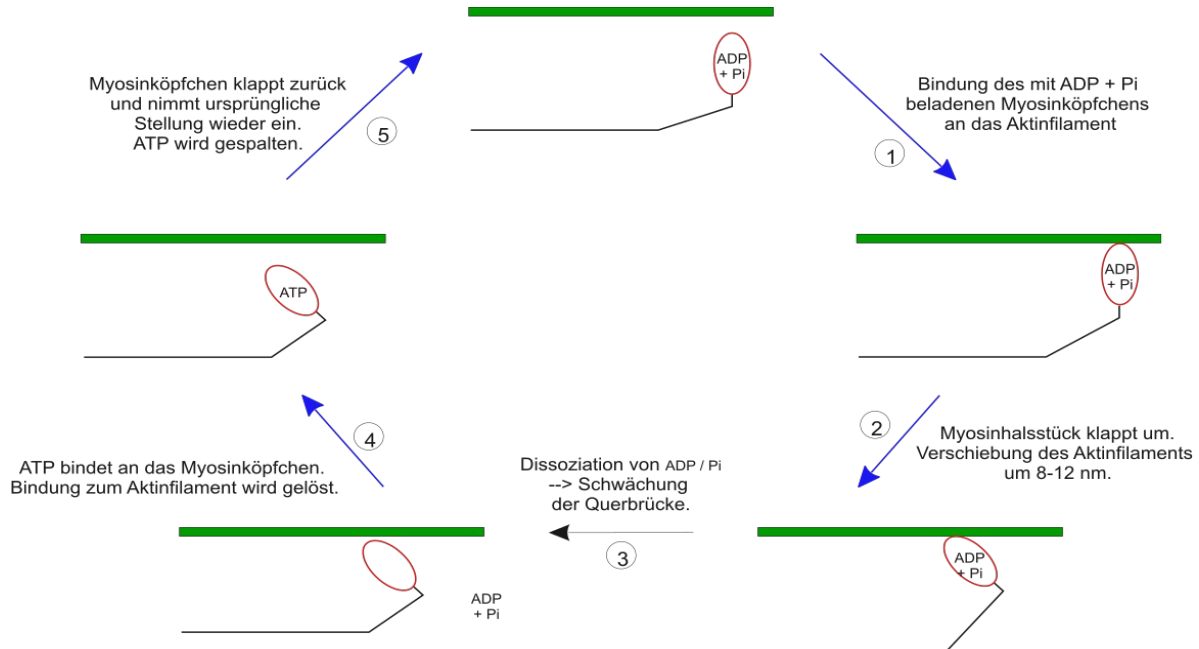
Gleitfilament-Theorie der Muskelkontraktion:

Wenn man mit dem Elektronenmikroskop nun Muskeln untersucht, sieht man, dass die Myosinfilamente zwischen die Aktinfilamente wandern. Damit dies geschieht, muss ATP vorhanden sein und eine Ca^{2+} -Ionenkonzentration von über 10^{-7} mol/l.

1. Der Auslöser einer Kontraktion sind elektrische Signale, welche von motorischen Nervenfasern an den Muskel geleitet werden. Diese haben ihren Ursprung im Rückenmark oder dem Gehirn. Man nennt diese elektrischen Impulse auch Muskel-AP oder einfach Aktionspotential (=AP).
Bei Kontraktion der Muskelfaser findet eine Erhöhung der Ca^{2+} -Konzentration auf das 1000-fache im Sarkoplasma statt. Das sarkoplasmatische Retikulum ist ein Depot für Ca^{2+} -Ionen.
2. Die Muskel-AP's breiten sich über die Muskelfaseroberfläche aus und erreichen über die Quertubuli auch die tieferliegenden Muskelfasern. Sie bewirken eine Ausschüttung von Ca^{2+} -Ionen aus dem eng benachbarten sarkoplasmatischen Retikulum. (Ca^{2+} -Konzentrationsänderung von 10^{-8} mol/l => 10^{-5} mol/l)
3. Bei Anwesenheit von ATP stehen die Myosinköpfe frei den Aktinfäden gegenüber. Die Myosinbindungsstellen des Aktins freigegeben werden. Myosin ist nun frei und ungebunden.
4. Die durch das Aktionspotential einströmenden Ca^{2+} -Ionen binden an die regulatorischen Proteine der Aktinfilamente (an die so genannten Tropomyosinfäden) und verändern so deren Raumgestalt. ATP wird gleichzeitig gespalten und ADP und Phosphat werden freigesetzt. Diese ATP-Spaltung führt zu einer Vorspannung der Myosinköpfe, vergleichbar mit dem Spannen einer Feder, durch sein Abklappen von etwa 45 auf etwa 90 Grad. Die Raumgestaltänderung und das Freiwerden der Bindungsstelle durch ATP-Spaltung sorgen dafür, dass nun Myosinköpfe an Aktin binden.
5. Das Abgehen des ADPs bewirkt die Umsetzung der gespannten Köpchen in mechanische Energie und Bewegung! Die Myosinköpfe kippen dabei wieder in ihre Ausgangsstellung zurück und ziehen so die Aktinfilamente von rechts und links zur Sarkomermitte. Es bindet zuerst das Myosinköpfchen (welche vier Bindungsstellen für Aktin haben!) mit der energiereichsten Bindungsstelle am Aktin. Nacheinander binden nun in schneller Folge die immer energieärmeren Bindungen 2 bis 4. Der Ruderschlag der Myosinköpfe sorgt für eine Verkürzung der Sarkomere
6. Bei dieser weiteren Bindung müssen sich die Myosinköpfe jeweils optimal auf die Bindungsstelle ausrichten. Es wird um ein „Gelenk“ im Halsabschnitt gedreht.
=> Myosin wird weiter Richtung Z-Scheibe geschoben (8-10 nm pro Zyklus)
=> das Aktinfilament wird in vielen kleinen Schritten zur Mitte des Sarkomers bewegt. Die Z-Scheiben wandern aufeinander zu!
7. Für die Ablösung der Myosinköpfe ist Mg^{2+} -ATP nötig! (=> Erklärung für Krämpfe bei Magnesiummangel!) => ATP macht den Muskel „weich“.

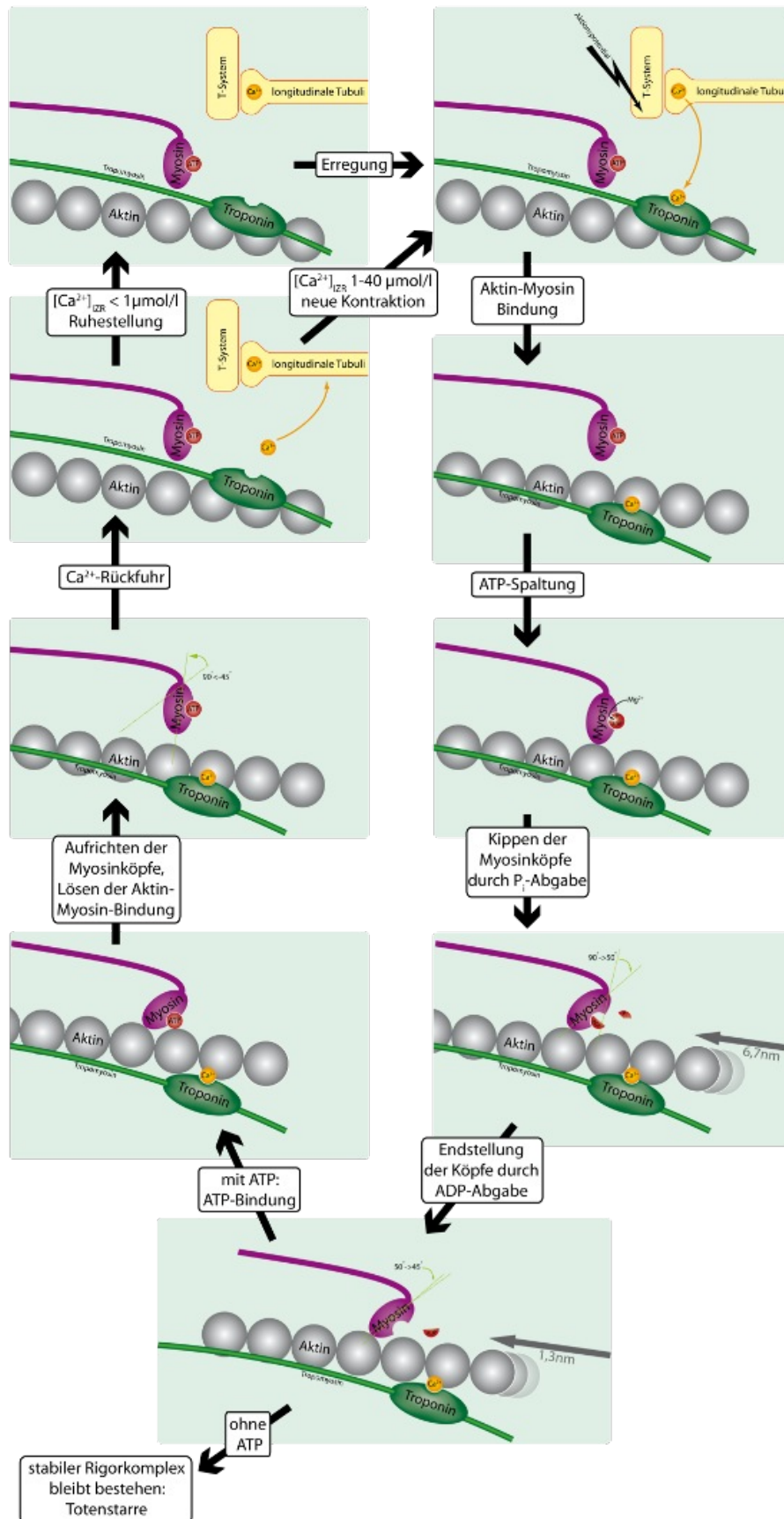
Der ganze Vorgang findet solange statt, wie Aktionspotentiale vorliegen. Liege diese nicht mehr vor (keine weitere Ca^{2+} -Ausschüttung!), findet keine weitere Kontraktion statt. Der Muskel entspannt. Die nun freien Ca^{2+} -Ionen werden durch Ionenpumpen in die Innenräume des ER zurück transportiert. Ein Querbrücken-Zyklus dauert ca. 10-100 ms.

Mechanismus der Muskelkontraktion:



=> ATP als „**Weichmacher**“

Molekulare Mechanismen der Muskelfunktion



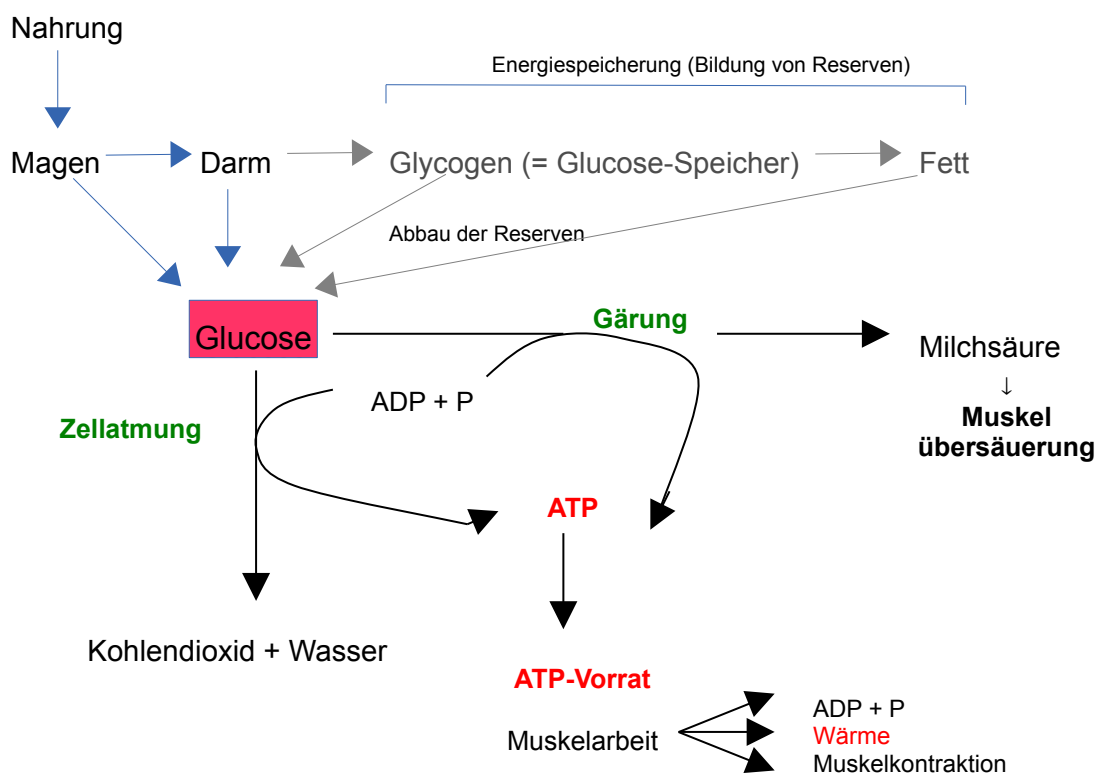
Quelle Bild: cc-by-sa - Creative Commons-Lizenz Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.5 US-amerikanisch (nicht portiert) by Wikicommonsuser Hank van Helvete <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muskel-molekular.png>; <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/deed.de>

Zusatzinformationen:

- Das Lösen der Myosinköpfe benötigt Energie. Sie wird in Form des Energieträgers ATP bereitgestellt.
- Die Totenstarre von Säugetieren tritt übrigens ein, wenn kein ATP mehr nachgeliefert wird und dadurch die Myosinköpfchen sich nicht mehr lösen können => Muskeln bleiben angespannt.
- ATP ist so etwas wie ein „Weichmacher“ der Muskelfaser, da seine Gegenwart, die Anspannung löst.
- Im Skelettmuskel der Wirbeltiere bilden sich bei Ca^{2+} -Ionenkonzentrationen unter 10^{-7} mol/l keine Querbrücken mehr, der Muskel ruht trotz Anwesenheit von ATP (Ruhekonzentration ca 10^{-8} mol/l) => Ca^{2+} -Ionen sind unbedingt erforderlich.
- Die maximale Verkürzung der Sarkomere liegt nach ca. 50 Zyklen /Ruderbewegungen vor

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gleitfilamenttheorie>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Muskel>

Energiebeteiligung bei der Muskelkontraktion:

Adenosin**d**riphosphat = **ADP**

Adenosin**t**riphosphat = **ATP**

Die verschiedenen Muskeltypen

Skelettmuskulatur	Eingeweidemuskulatur	Herzmuskel
schnelle und rasche Bewegung	langsame Bewegung	recht schnelle Bewegung
wenig ausdauernd => schnelle Ermüdung	sehr ausdauernd => keine Ermüdung	ausdauernd, => keine schnelle Ermüdung
Dem Willen unterworfen. Kann bewusst angespannt werden. => Willkürmotorik	arbeitet (meist) ohne unseren Willen. Kann beim Schließmuskel bewusst entspannt werden.	arbeitet ohne unseren Willen
Besonderheit: Kann bei Verletzungen schnell regeneriert werden arbeitet rasch und leistungsfähig benötigt Ruhepausen	Besonderheit: Beim langen und starken Anspannungsphasen und folgenden Entspannungsphasen entstehen Schmerzen (Bauchschmerzen durch Krämpfe). Diese kommen meist in Wellen. Ebenso bei den Wehen.	Besonderheit: Von mehreren Schrittmachern gesteuert. Einer davon sitzt im Herzen!
quergestreifte Muskelfasern => quergestreifte Muskulatur	glatte, langgestreckte Muskelzellen => glatte Muskulatur	netzförmig miteinander verbundene, quergestreifte Muskelzellen. => spezielle quergestreifte Muskulatur mit einigen Eigenschaften der glatten Muskulatur

Die Muskelfaser des Skelettmuskels besteht u.a. aus vielen

Deren kleinste Arbeitseinheiten sind die Bei der Muskelkontraktion verkürzen sich die, indem

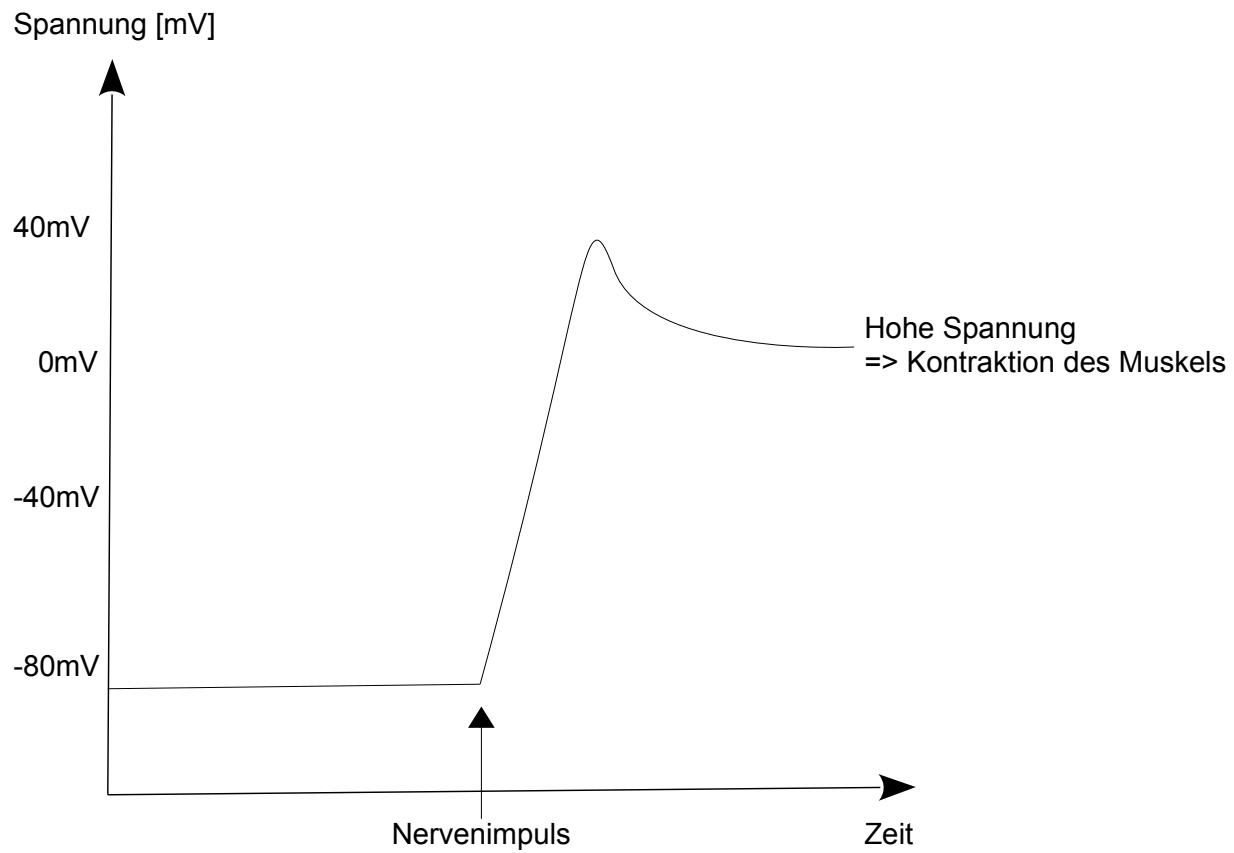
zwischen die gleiten.

Der Muskel erzeugt Arbeit und benötigt dazu

Energie in Form von Dieses wird aus gewonnen.

Ohne Beteiligung von Sauerstoff wird Energie gewonnen, wobei als Produkt entsteht.

Diagramm einer Muskelanregung

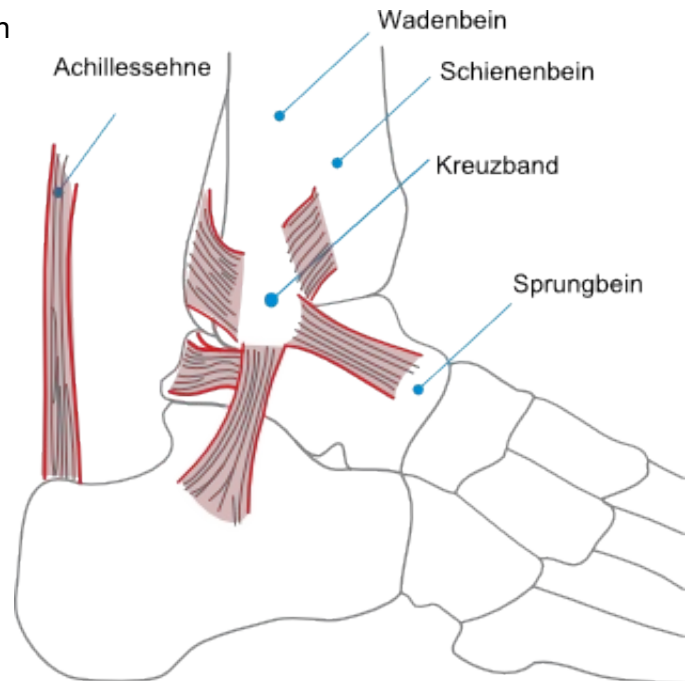


Sehnen, Bänder, Muskeln

Der Mensch hat Bänder, welche Knochen mit Knochen verbinden und Sehnen. Sehnen sind Verbindungen zwischen Knochen und Muskeln.

Die Bänder bestehen vor allem aus Collagen. Sie sind dehnbar, aber nicht so sehr wie Sehnen. Werden sie also zu stark gedehnt, z.B. wenn man mit dem Fuß umknickt, so kommt es zur schmerzhaften Bänderdehnung. Im Extremfall kann ein Band auch reißen. Dies nennt man dann Bänderriss.

Sehnen hingegen sind dehnbarer und haben je nach Position im Körper sehr unterschiedliche Längen. Lange Sehnen hat der Mensch z.B. an den langen Fingermuskeln. Die stärkste Sehne im menschlichen Körper ist die mit dem Wadenmuskel verbundene Achillessehne. Sie kann theoretisch bis zu 1000kg Gewicht tragen. Viele Sehnen verlaufen in Schutzhüllen, den so genannten Sehnenscheiden.



Sehnen bestehen vor allem aus Binde- und Stützgewebe, welches auch Kollagen enthält. Das Kollagen verleiht der Sehne ihre Festigkeit.

In den Sehnen sind wenige Nerven und Blutgefäße vorhanden, deshalb kann eine Sehnendehnung auch schmerzhaft sein. Verletzungen heilen durch die schlechte Durchblutung nur langsam.

Quelle Bild: Public domain by wikicomonsuser Jak - thank you; http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ankle_en.svg

<http://de.wikipedia.org/wiki/Muskelanheftung>

http://de.wikipedia.org/wiki/Sehne_%28Anatomie%29

http://de.wikipedia.org/wiki/Band_%28Anatomie%29