

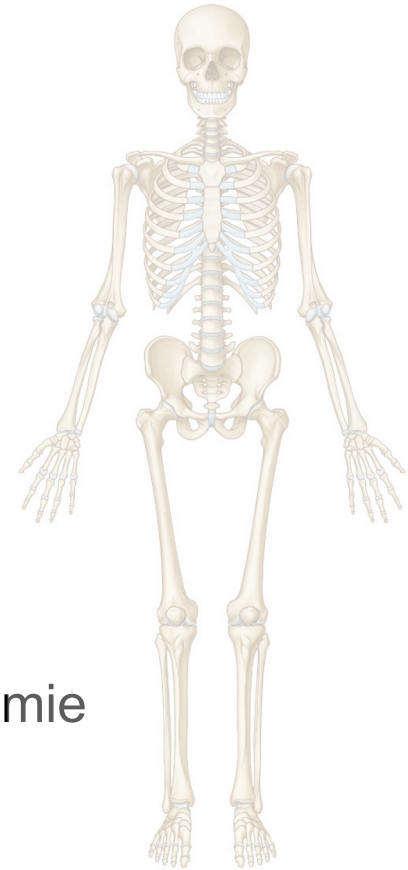
Modul Medizinische Grundlagen 1

Propädeutikum Anatomie
WiSe 2024 /25 09.10.2024

UE2: Aktiver Bewegungsapparat, Muskelfunktion

Erstellt von PD Dr. Martina Vockerodt, Zentrum Anatomie

e-mail: Martina.Vockerodt@med.uni-goettingen.de



Sobotta – Atlas der Anatomie des Menschen,
23. A. 2010, © Elsevier GmbH, München

Lernziele UE2

- Benennung der Anteile des **passiven** und **aktiven** Bewegungsapparats
- Beschreibung der Eigenschaften der **quergestreiften Skelettmuskulatur**
- Beschreibung des **Aufbaus eines Skelettmuskels**
- Benennung der verschiedenen **Muskelformen** (mehrköpfig, mehrbäuchig etc)
- Verständnis des Hebelprinzips bei der Gelenkmechanik
- Beschreibung und Verständnis der Grundlagen der Muskelkontraktion

Bewegungs- und Stützapparat:

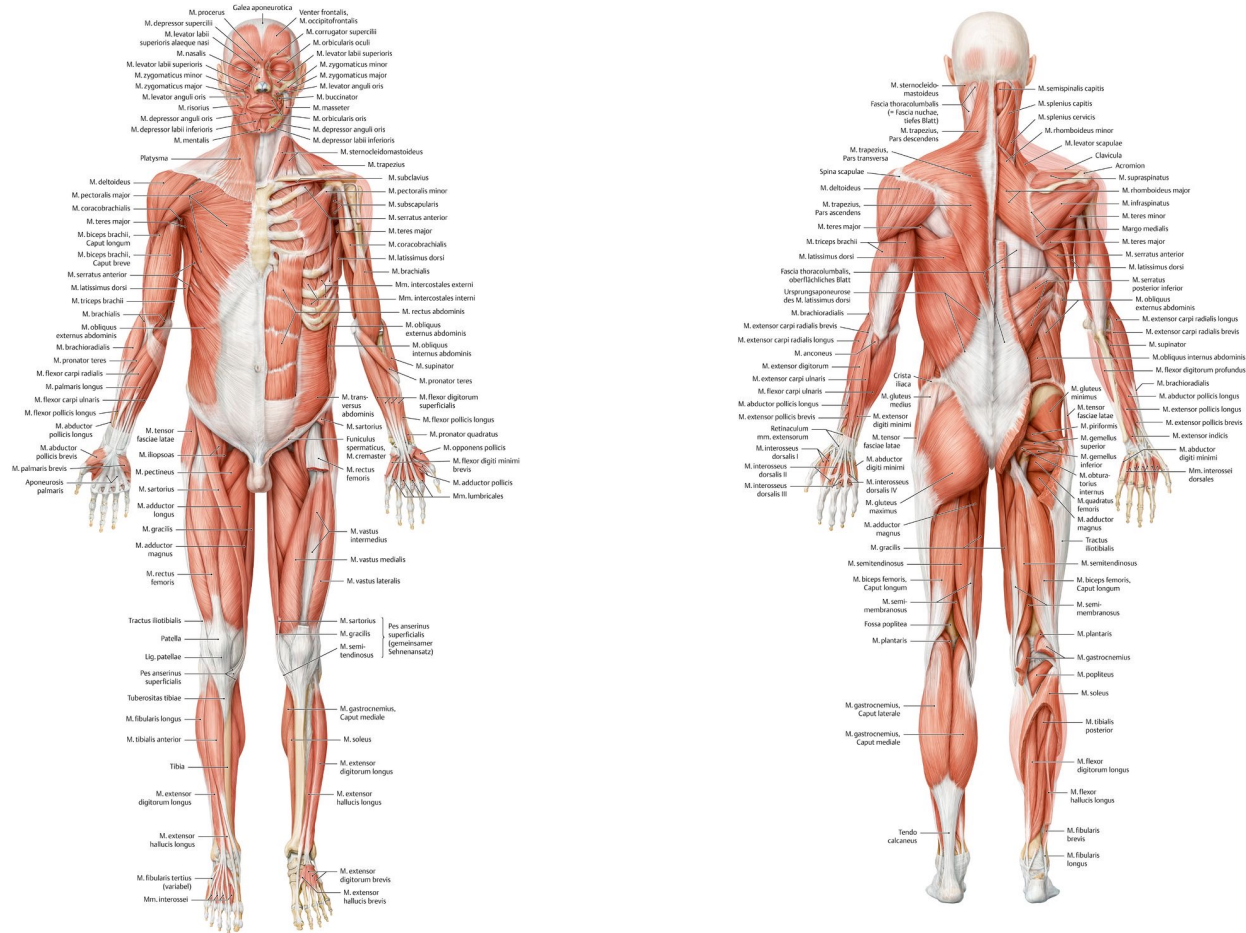
Passiver Bewegungsapparat

- Knochen, Gelenke und Bänder
- Skelett gibt Körper seine Form, Körperhaltung
- Dient Muskeln als Ansatzpunkt
- Gelenke verbinden die Knochen beweglich miteinander
- Formt die Körperhöhlen, in denen die Eingeweide geschützt liegen

Aktiver Bewegungsapparat

- Besteht aus den Skelettmuskeln, die die Knochen in den Gelenken bewegen können
- Willkürliche Steuerung

Quergestreifte Skelettmuskulatur im Überblick



Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al. 5. Muskeln. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643](#)

Quergestreifte Skelettmuskulatur

Eigenschaften der quergestreiften Skelettmuskelzellen:

- Erregbar → reagieren auf Nervenreize
- Kontraktile → können sich verkürzen
- Dehnbar → lassen sich auseinanderziehen
- Elastisch → kehren immer in die ursprüngliche Ruhelage zurück

Aufgaben der Skelettmuskulatur:

- Aktive Bewegung des Körpers
- Aufrechte Körperhaltung
- Wärmeproduktion → 85% der Körperwärme werden durch Muskeln erzeugt

Quergestreifte Skelettmuskulatur

- besteht aus etwa **220 Einzelmuskeln**
- überwiegender Teil ist Muskulatur des aktiven Bewegungssystems – **Arbeitsmuskulatur**
- Unterscheidung von **Halte- und Bewegungsmuskeln**
 - Aufrechterhaltung des Körpers (= Haltemuskulatur)
 - im Schwerfeld der Erdanziehung (= Antigravitationsmuskulatur)
 - der Fortbewegung (Lokomotion = Bewegungsmuskulatur)
- Auch zur Arbeitsmuskulatur zählen:
 - mimische Muskulatur im Gesicht, Kaumuskulatur
 - Muskulatur der Zunge, des Rachens, des Kehlkopfs, des Auges und des Mittelohrs
- ❖ Je nach Geschlecht, Alter und Trainingszustand macht die Skelettmuskulatur durchschnittlich 40 % des Gesamtgewichtes des Menschen aus

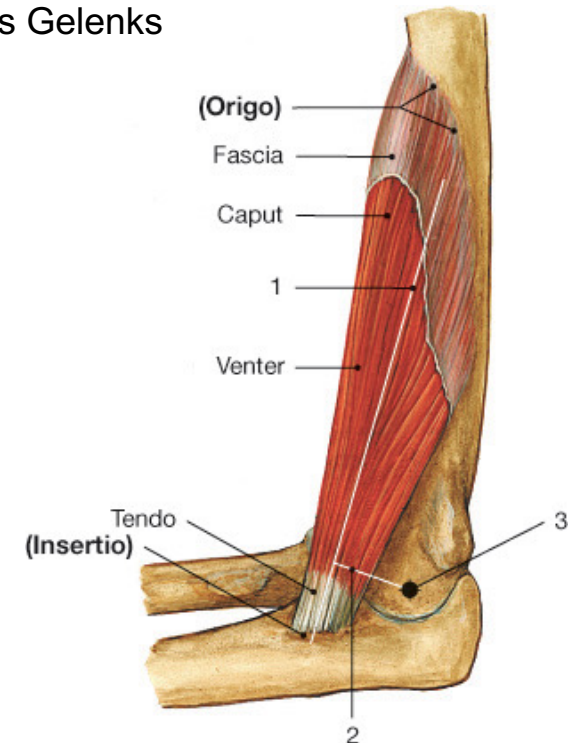
Aufbau eines Skelettmuskels:

- **Ursprung (Origo)**
 - **Fixer** Haftpunkt
 - In der Regel der **kranial** (kopfwärts) befestigte Teil des Muskels
 - An Armen oder Beinen der **proximal** (rumpfwärts) befestigte Teil des Muskels
- **Ansatz (Insertio)**
 - **Beweglicher** Haftpunkt
 - Die kaudal bzw distal davon liegende Befestigung
- **Muskelbauch**
 - Zwischen Ansatz und Ursprung liegender Teil des Muskels
- **Sehnen**
 - Verbinden Muskel mit dem Knochen

Gelenkmechanik

- 1: Wirkungslinie des Muskels
- 2: virtueller Hebelarm
- 3: Drehachse des Gelenks

- Wie viel Kraft ein Muskel auf ein Gelenk übertragen kann, hängt von der Länge des jeweiligen **Hebelarms** ab
 - senkrechter Abstand der Wirkungslinie des Muskels zur Drehachse des Gelenks = **Kraftarm**
- Der Hebelarm ist, je nach Gelenkstellung, unterschiedlich lang und wird als virtueller Hebelarm bezeichnet



Sobotta – Atlas der Anatomie des Menschen,
23. A. 2010, © Elsevier GmbH, München

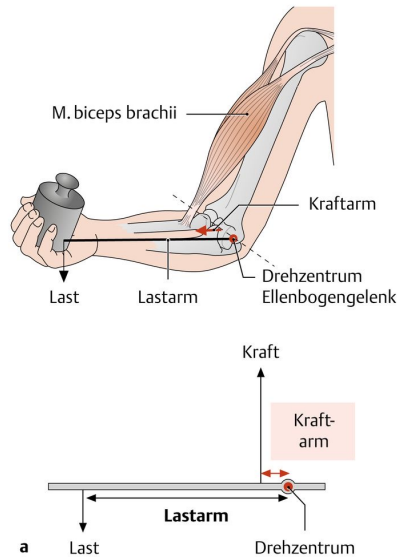
Gelenkmechanik

- funktioniert nach den Hebelgesetzen
- **Kraftarm:**
 - senkrechter Abstand vom Muskel bzw. seiner Sehne zum Drehzentrum
- **Lastarm:**
 - im Falle des Ellenbogengelenks der Abstand von der Gelenkachse (Drehzentrum) bis zur Last
- Größe der jeweils einwirkenden Kraft / Drehmoment :
 - Produkt aus Kraft \times Kraftarm bzw. Last \times Lastarm
- Wenn beide Drehmomente identisch sind, befindet sich das Gelenk in Ruhestellung

Gelenkmechanik

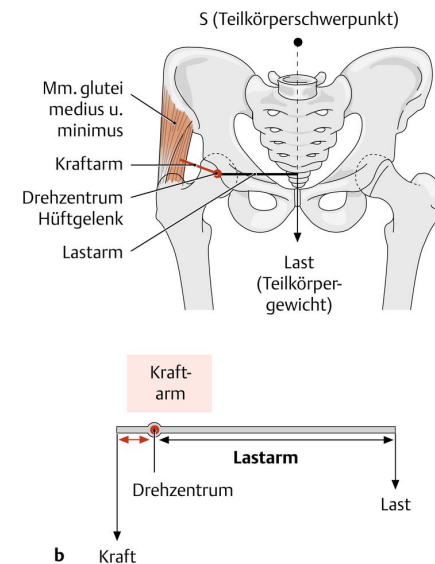
Einarmiger Hebel, Ellenbogengelenk

- Muskelkraft und Last auf der selben Seite des Drehzentrums



Zweiarmiger Hebel, Hüftgelenk

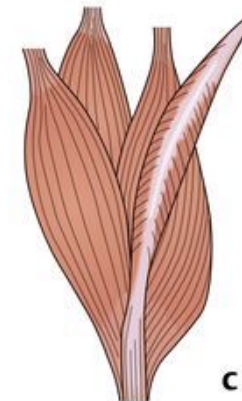
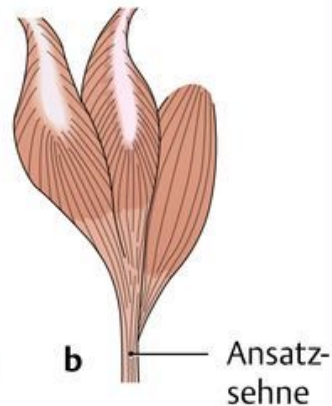
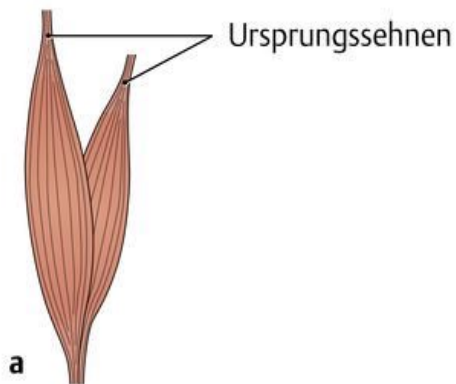
- Muskelkraft links vom Drehzentrum und die Kraft des Körpergewichts rechts vom Drehzentrum



Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al. 4. Knochen und Knochenverbindungen.](#) In: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.](#) 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643

Muskelformen

- a: zweiköpfiger Muskel (z. B. M. biceps brachii)
- b: dreiköpfiger Muskel (z. B. M. triceps surae)
- c: vierköpfiger Muskel (z. B. M. quadriceps femoris)



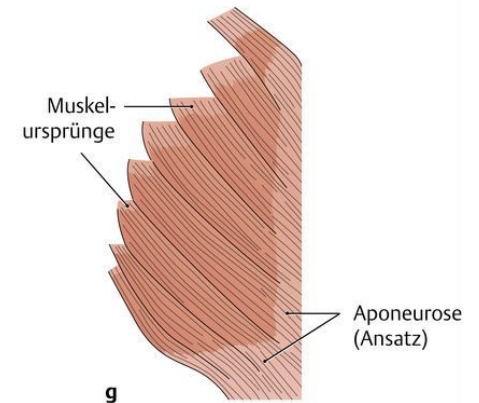
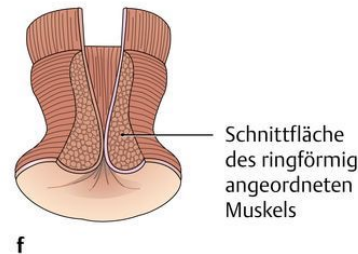
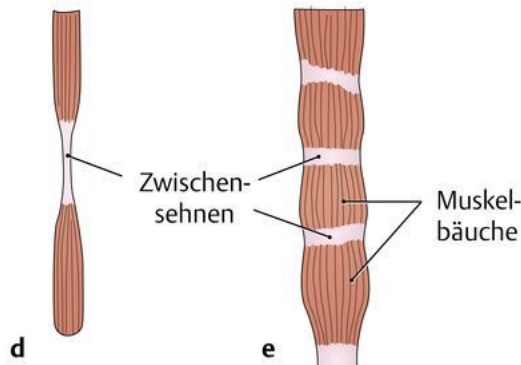
Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al. 5. Muskeln.](#) In: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.](#) 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643

© 2022 Thieme



Muskelformen

- d: zweibäuchiger Muskel (z. B. M. digastricus)
- e: mehrbäuchiger Muskel (z. B. M. rectus abdominis)
- f: ringförmiger Schließmuskel (z. B. M. sphincter ani externus)
- g: platter Muskel (z. B. M. obliquus externus abdominis)



Quelle: [Schünke M](#), [Schulte E](#), [Schumacher U](#), et al. 5. [Muskeln](#). In: [Schünke M](#), [Schulte E](#), [Schumacher U](#), et al., Hrsg. [Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem](#). 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643

© 2022 Thieme

 Thieme eRef

Mechanik der Skelettmuskulatur

- Für flüssige Bewegungen ist das Zusammenspiel gegensätzlich wirkender Muskeln erforderlich:
Muskeln erforderlich:

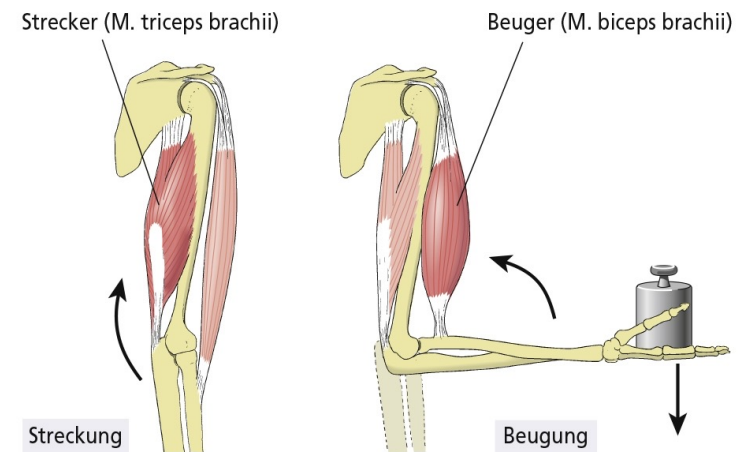
Agonist

- führt eine bestimmte Bewegung aus

Antagonist

- ist für die entgegengesetzte

Bewegung zuständig



G. Raichle, Ulm/© Elsevier GmbH, München 2016

<http://reprint-distribution.stage.elsevier.com>

Mechanik der Skelettmuskulatur

Muskeltonus:

- Unter normalen Bedingungen sind immer einzelne Muskelfasern entspannt, andere kontrahiert → Teilanspannung erzeugt den Muskeltonus

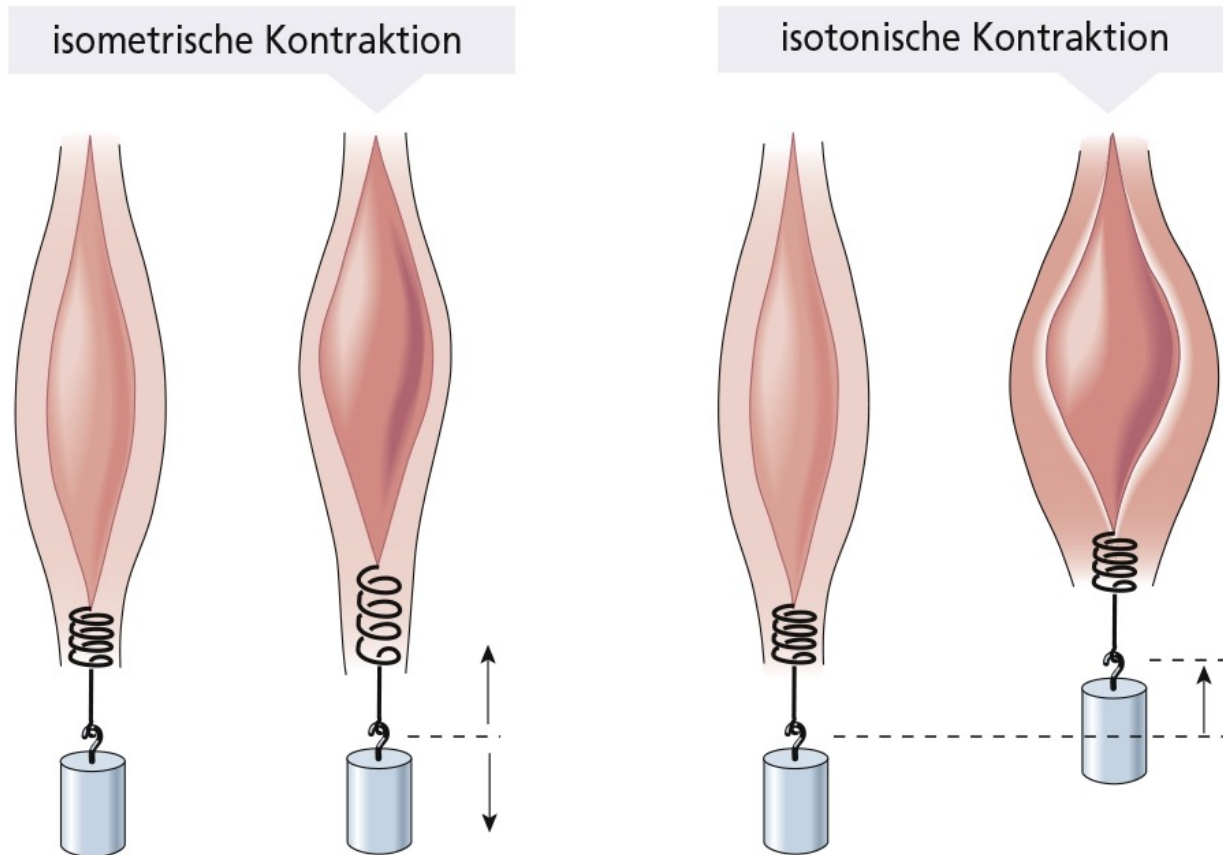
Isotonische Kontraktion:

- Muskel verkürzt sich und erzeugt eine Bewegung
(z. B.: Beinmuskulatur beim Gehen)
- Muskeltonus ändert sich bei isotonischer Kontraktion wenig

Isometrische Kontraktion:

- Muskel wird fixiert → kann sich nicht verkürzen → Muskelspannung steigt stark an → Energieverbrauch, obwohl keine Bewegung erfolgt
(z. B.: Tragen einer Tasche am hängenden Arm)

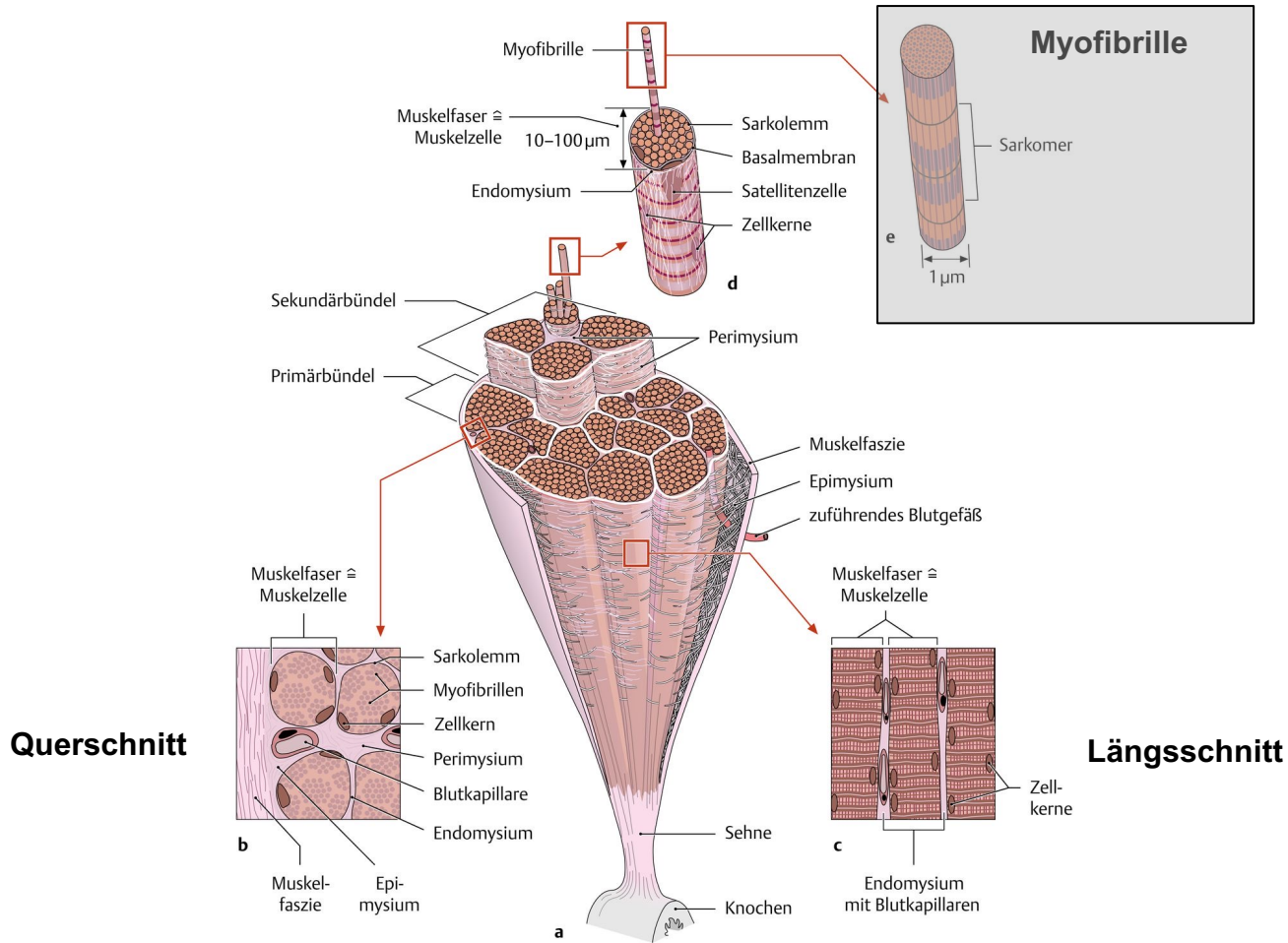
Mechanik der Skelettmuskulatur



G. Raichle, Ulm/© Elsevier GmbH, München 2016

<http://install-distribution.stage.elsevier.cc>

Aufbau eines Skelettmuskels



Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al. 5. Muskeln.](#) In: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem.](#) 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643

Aufbau des Skelettmuskelgewebes

Endomysium:

- **innerste** Bindegewebshülle (wichtig für die Reißfestigkeit des Muskels)
- umgibt die einzelnen Muskelzellen und fasst sie zu **Primärbündeln** aus jeweils 200–250 Muskelfasern (= Muskelzellen) zusammen
- Es enthält die Endaufzweigungen der motorischen Axone zu den motorischen Endplatten sowie zahlreiche stark geschlängelte Kapillaren

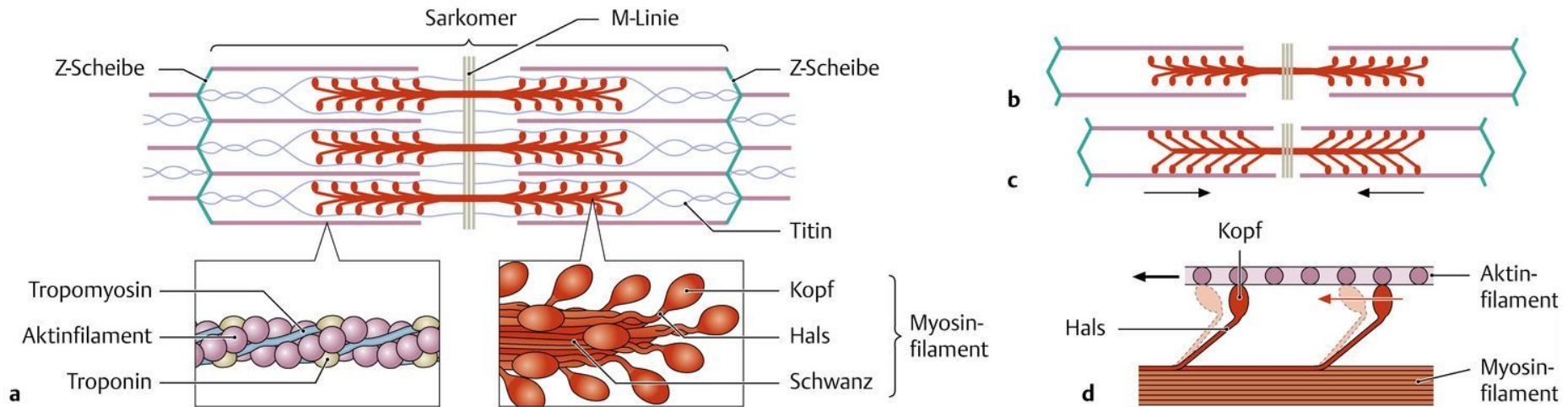
Perimysium:

- wichtig für die Übertragung von Zugkräften des Muskels auf die Sehne
- fasst mehrere Primärbündel zu sog. **Sekundärbündeln** zusammen
- Diese sind mehrere Millimeter dick und damit gut mit bloßem Auge zu sehen

Epimysium:

- lockere Bindegewebsschicht unmittelbar unter der Muskelfaszie
- stellt die Verbindung zum Muskel her

Aufbau eines Sarkomers / Baueinheit der quergestreiften Muskulatur



a + b Myosinköpfe im Ruhezustand
 c Myosinköpfe bei Kontraktion
 d Interaktion zwischen Myosinköpfen und Aktin

Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al. 5. Muskeln](#). In: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem](#). 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643

© 2022 Thieme

Thieme eRef

Aufbau eines Sarkomers

- Sarkomer aus regelmäßig angeordneten **Myofilamenten**
- Bipolar aufgebaute Myosinfilamente mit **Kopf-, Hals- und Schwanzteil**
- Aktinfilamente und ihre Begleitproteine (**Tropomyosin und Troponin**) sind von zwei benachbarten Sarkomeren an den Z-Scheiben miteinander verknüpft
- Myosinfilamente sind in der M-Linie u. a. durch das **Protein Myosin** miteinander vernetzt und durch das **elastische Protein Titin** in Position gehalten
- Bei Muskelkontraktion wandern die Myosinköpfe an den Aktinfilamenten entlang in Richtung der Z-Scheiben (sog. *Filamentgleiten*)
- Verkürzung jedes einzelnen Sarkomers auf maximal 70 % seiner optimalen Ruhelänge, die einzelnen Filamente behalten jedoch ihre ursprüngliche Länge

Kontraktion des Skelettmuskels

Skelettmuskel benötigt für eine Kontraktion zuerst eine Erregung durch eine spezielle motorische Nervenzelle

➤ Motoneuron

Motorische Endplatte:

- Erregungsübertragung vom Motoneuron zur Muskelfaser
- Setzt sich zusammen aus:
 - Speziellen Synapsen
 - Sekretbläschen (synaptische Vesikel)
 - Acetylcholin als Neurotransmitter (Überträgerstoff)
- **Aktionspotenzial** führt zu einem Kalziumeinstrom in das Axon-Ende
 - **Acetylcholin** wird in den synaptischen Spalt ausgeschüttet und bindet an **Rezeptoren des Sarkolemms** → sich ausbreitende Erregung des Sarkolemms

Kontraktion des Skelettmuskels

- Erregung der Muskelfaser dauert an, solange Acetylcholin an die Rezeptoren des Sarkolemmis gebunden ist
- Beendigung der Erregung erfolgt erst nach **Spaltung** des Acetylcholins durch das **Enzym Acetylcholinesterase**

Die elektromechanische Kopplung:

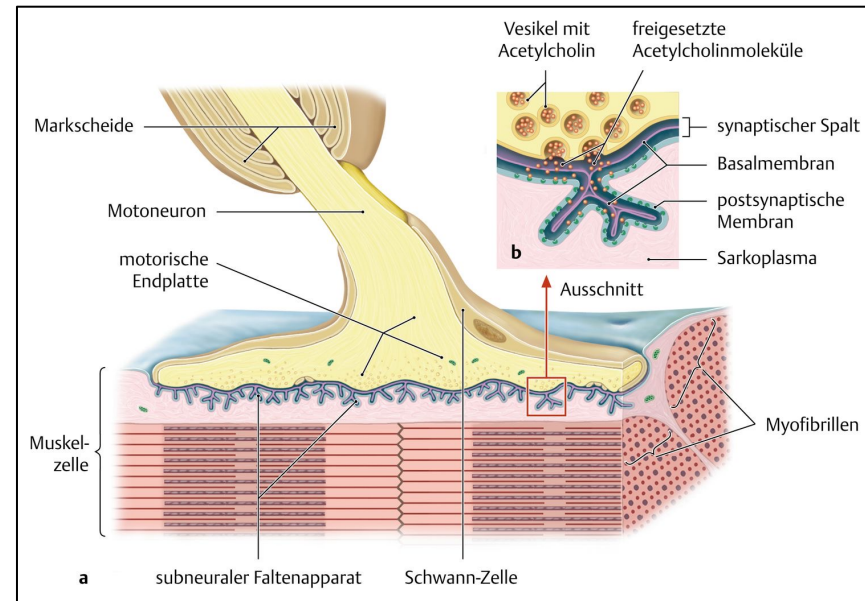
- Übersetzung einer nervalen Erregung in eine Kontraktion
- ❖ Erregung des Sarkolemmis führt zu einer Erhöhung der **Kalziumionenkonzentration** im Sarkoplasma
- ❖ Bindung des Myosinkopfes an das Aktin-Filament
- ❖ Aktin- und Myosinfilament gleiten minimal aneinander vorbei
- ❖ **Verkürzung des Sarkomers**

Kontraktion des Skelettmuskels

- **Motorisches Axon** teilt sich am Ende in mehrere Äste auf
 - ein Ast pro Muskelfaser
- Es bildet an jedem dieser Äste eine **motorische Endplatte** aus
 - **neuromuskuläre Synapse**
- synaptische Übertragung der **Aktionspotenziale** des Motoneurons auf die Muskelfaser

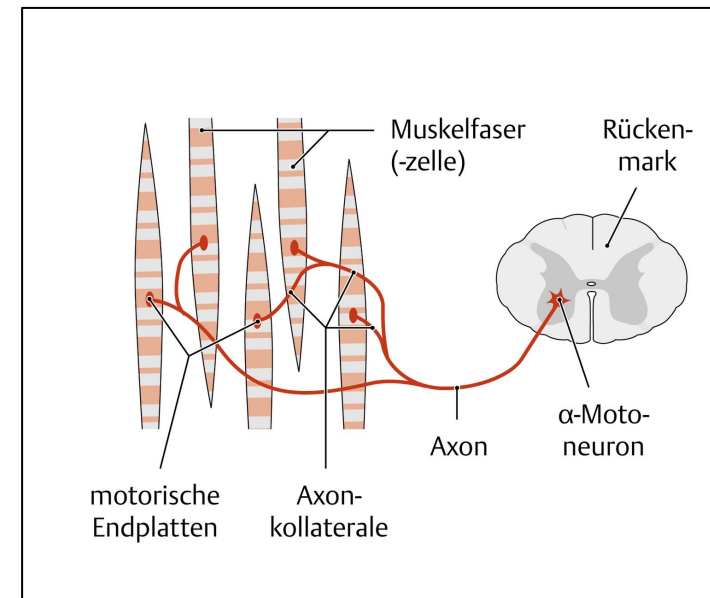
- Acetylcholin ist im Axoplasma der Endfüßchen in synaptischen Vesikeln gespeichert
- Durch Einfaltungen des Sarkolemm (B) ist die postsynaptische Membran mit ihren Acetylcholinrezeptoren stark vergrößert
- Basallamina mit verankerter Acetylcholinesterase

Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al. 5. Muskeln. In: Schünke M, Schulte E, Schumacher U, et al., Hrsg. Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643](#)



Motorische Einheit

- Gesamtheit aller Muskelfasern, die von einer motorischen Nervenfasern innerviert werden
 - **kleine motorische Einheiten** (< 100) mit überwiegend *schnell* zuckenden Muskelfasern
 - **große motorische Einheiten** (mehrere Tausend Muskelfasern) mit überwiegend *langsam* zuckenden Muskelfasern
-
- Je weniger Muskelfasern in einer motorischen Einheit desto präziser ist die motorische Feinsteuerung
 - Muskeln mit fein abgestimmten Präzisionsbewegungen-wenige Muskelfasern
 - z. B. Fingermuskeln, äußere Augenmuskeln
 - Muskeln, mit Haltefunktionen und grobe Bewegungsabläufe - mehrere tausend Muskelfasern
 - z. B. Gesäß- und Rückenmuskeln



Quelle: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U](#), et al. [5. Muskeln](#). In: [Schünke M, Schulte E, Schumacher U](#), et al., Hrsg. [Prometheus LernAtlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem](#). 5., vollständig überarbeitete Auflage. Thieme; 2018. doi:10.1055/b-006-149643

Lernzielkontrolle

1. Welche Strukturen des Körpers gehören zum passiven Bewegungsapparat, welche zum aktiven Bewegungsapparat?
2. Wo finden wir Ursprung und Ansatz eines Muskels
3. Was versteht man unter isotoner und isometrischer Muskelkontraktion?
4. Was bedeutet elektromechanische Kopplung?