

# GRUNDLAGEN DER BIOMEDIZIN II

## SKELETTSYSTEM UND MUSKELSYSTEM

Sommersemester 2025

Dr. Inga Kraus

[inga.kraus@med.uni-goettingen.de](mailto:inga.kraus@med.uni-goettingen.de)

Elisabeth Nyoungui, MD

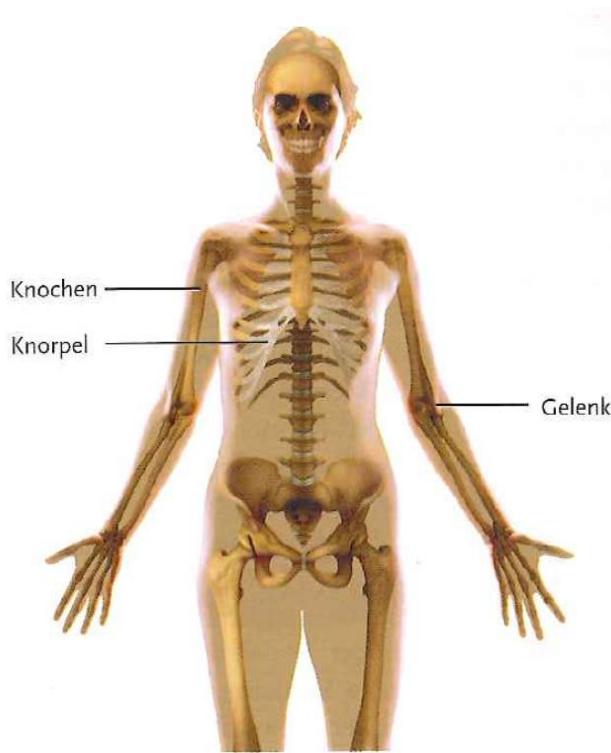
[elisabeth.nyoungui@med.uni-goettingen.de](mailto:elisabeth.nyoungui@med.uni-goettingen.de)



# Lernziele der heutigen Vorlesung

- Sie können den Knochenaufbau und Knochencharakteristika beschreiben.
- Sie können grob den Aufbau eines Gelenks beschreiben, sowie verschiedene Arten von „freien“ Gelenken nennen.
- Sie können beispielhaft Erkrankungen des Skelettsystems nennen und kurz erläutern.
- Sie können die dem Skelettsystem zugehörigen Organe/Bestandteile und Aufgaben nennen und beschreiben.
- Sie können im Wesentlichen die Unterschiede zwischen den drei Muskelgewebsarten nennen und beschreiben, sowie deren strukturellen und funktionellen Eigenschaften vergleichen.
- Sie können die Bedeutung der Bestandteile des Bindegewebes, der Blutgefäße und der Nerven für die Skelettmuskulatur erklären.
- Sie können den Filamentgleitmechanismus der Muskelkontraktion mit eigenen Worten erklären.
- Sie können beispielhaft Erkrankungen des Muskelsystems nennen und kurz erläutern.
- Sie können die dem Muskelsystem zugehörigen Organe/Bestandteile und Aufgaben nennen und beschreiben.

# Skelettsystem



# Knochenaufbau

Innere, organische Grundsubstanz (enthält das Knochenmark)

+

Kompakte Außenschicht aus dichtem Knochengewebe

+

Gelenkknorpel an den Enden, die mit einem anderen Knochen ein Gelenk bilden

+

Knochenhaut (versorgt den Knochen mit Nährstoffen, dient u.a. dem Ansatz von Sehnen und Bändern)

- Knochen befinden sich in einem ständigen Auf- und Abbauprozess, um sich ständig veränderten bzw. erhöhten Anforderungen anzupassen
- Knochen sind von Blutgefäßen durchzogen
- Diese Blutgefäße werden auch von Nervenbahnen begleitet
- Osteologie: Fachgebiet für Knochenstruktur und Behandlung von Knochenerkrankungen

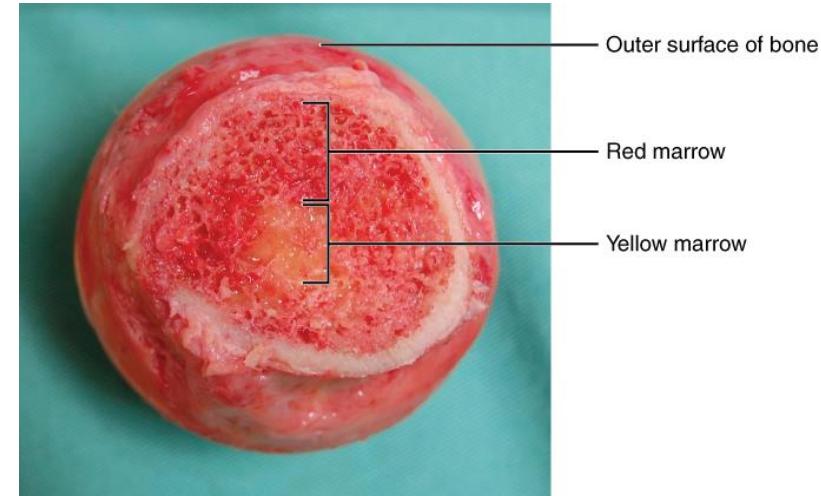
# Funktionen der Knochen und des Skelettsystems

- **Stützfunktion:** Skelett dient als strukturelles Rahmenwerk, gibt dem Bindegewebe halt, bietet Ansatzpunkte für Sehnen und Skelettmuskulatur
- **Schutzfunktion:** schützt die inneren Organe vor Verletzungen
- **Bewegung ermöglichen:** Skelettmuskeln meist am Knochen angesetzt; bei Kontraktion ziehen sie den Knochen mit und verursachen eine Bewegung
- **Mineralienhaushalt:** Speicherung von mehreren Mineralien im Knochengewebe (insbesondere Calcium und Phosphat)
- **Produktion von Blutzellen:** in bestimmten Knochen vom Knochenmark durchgeführt
- **Energiespeicher:** Fettzellenspeicher als potentielle Energiereserve

# Knochenmark

Bindegewebe im Knocheninneren

- Gelbes Knochenmark = Fettspeicher
- Rotes Knochenmark = Blutzellenproduktion und Stammzellproduktion



## Rotes Knochenmark

- Wichtigstes blutbildendes Organ
- Beim Kind in allen wachsenden Knochen vorhanden
- Beim Erwachsenen vorrangig in Beckenknochen, Rippen, Wirbelsäule, Schädel vorhanden

Wichtig: das sogenannte Rückenmark ist kein Knochenmark. Es besteht aus Nervenbahnen.

# Gelenke

= Verbindungsstellen zwischen Knochen oder auch zwischen Knochen und Knorpel  
→ ermöglichen Bewegung

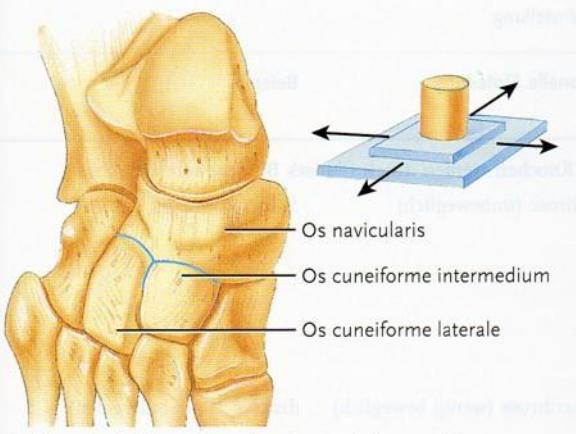
Bindegewebige oder knöcherne Gelenke lassen sich kaum bis gar nicht bewegen  
(z.B. Knochennähte im Schädel oder das Becken)

Freie/echte Gelenke (synoviale Gelenke / Diarthrosen) ermöglichen dagegen einen je nach Gelenkart unterschiedlich großen Bewegungsspielraum

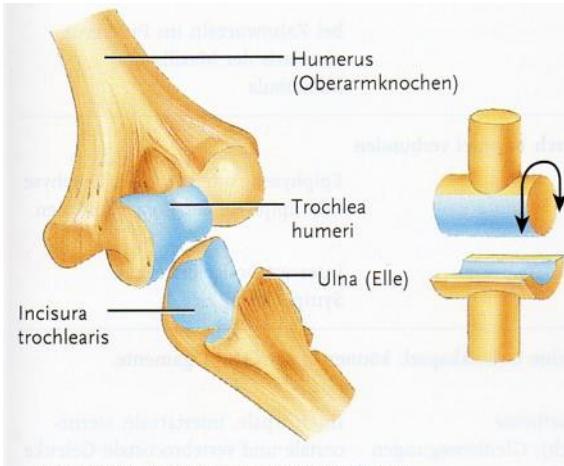
# Aufgabe

Schnappen Sie sich Zettel und Stift (gerne auch in digitaler Form) und stellen Sie alle Gelenktypen zusammen, die Ihnen einfallen. Benutzen Sie als Überlegungsgrundlage Ihren eigenen Körper.

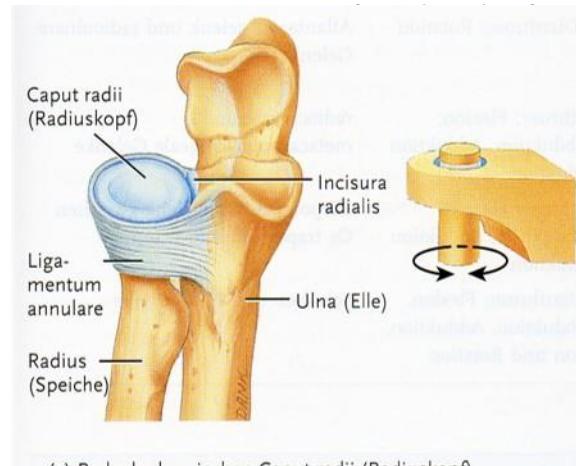
(Tipp: Es gibt sechs Arten von „freien“ Gelenken und alle davon sind bereits an Ihren Arm aufzufinden.)



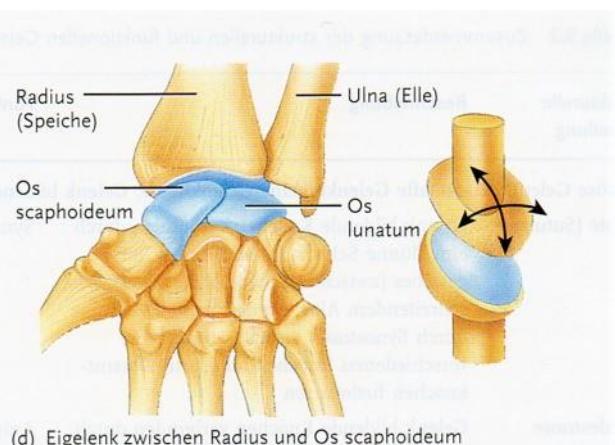
(a) planes Gelenk zwischen dem Os naviculare und dem Os cuneiforme II und III im tarsalen Bereich des Fußes



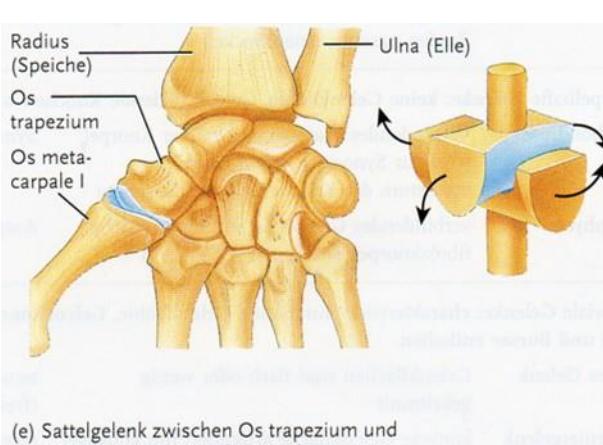
(b) Scharnierge lenk zwischen der Trochlea humeri und der Incisura trochlearis



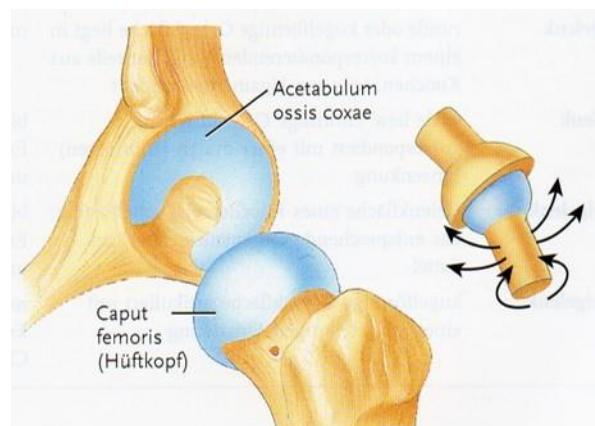
(c) Radgelenk zwischen Caput radii (Radiuskopf)  
und Incisura radialis ulnae



(d) Eigelenk zwischen Radius und Os scaphoideum bzw. Os lunatum im Handwurzelbereich



(e) Sattelgelenk zwischen Os trapezium und Os metacarpale I in der Hand



(f) Kugelgelenk zwischen Caput femoris (Hüftkopf) und dem Acetabulum der Hüfte

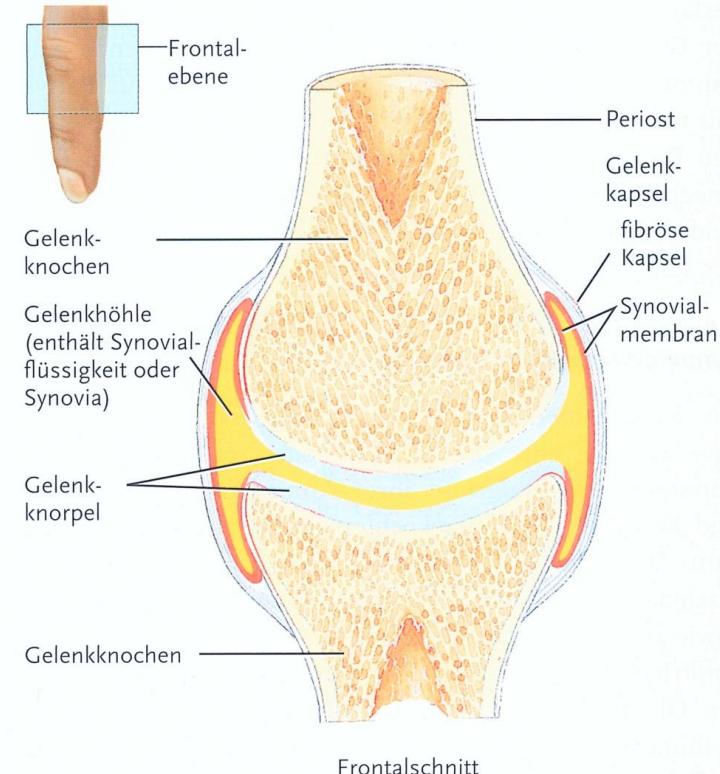
# Arten von freien Gelenken

Es gibt sechs Arten von „freien“ Gelenken (synovialen Gelenken):

- Plane Gelenke (z.B. im Bereich der Handwurzel)
- **Scharniergelenk (z.B. Kniegelenk, Ellbogengelenk, Fingergelenke)**
- Radgelenke (z.B. Gelenk zwischen Elle und Speiche)
- Eigelenke (z.B. Handgelenk)
- Sattelgelenke (z.B. Gelenk an Daumenwurzel)
- **Kugelgelenke (z.B. Schultergelenk, Hüftgelenk)**

# Aufbau eines Gelenks

- Freie Gelenke werden von einer Gelenkpfanne und einem Gelenkkopf gebildet
- Eine straffe Gelenkkapsel umgibt die meisten freien Gelenke
- Gelenkflächen (Kopf und Pfanne) sind von Knorpel bedeckt, um Reibung zu reduzieren und Stöße abzufangen
- Gelenkflüssigkeit ermöglicht zusätzlich reibungsarmes Gleiten
- Gelenke meist verstärkt durch Bänder



# Künstlicher Ersatz eines Gelenks

- Abgenutzte oder beschädigte Gelenke können durch künstliche ersetzt werden
- Für nahezu alle Gelenke möglich
- Knie, Schulter und Hüfte werden am häufigsten ausgetauscht

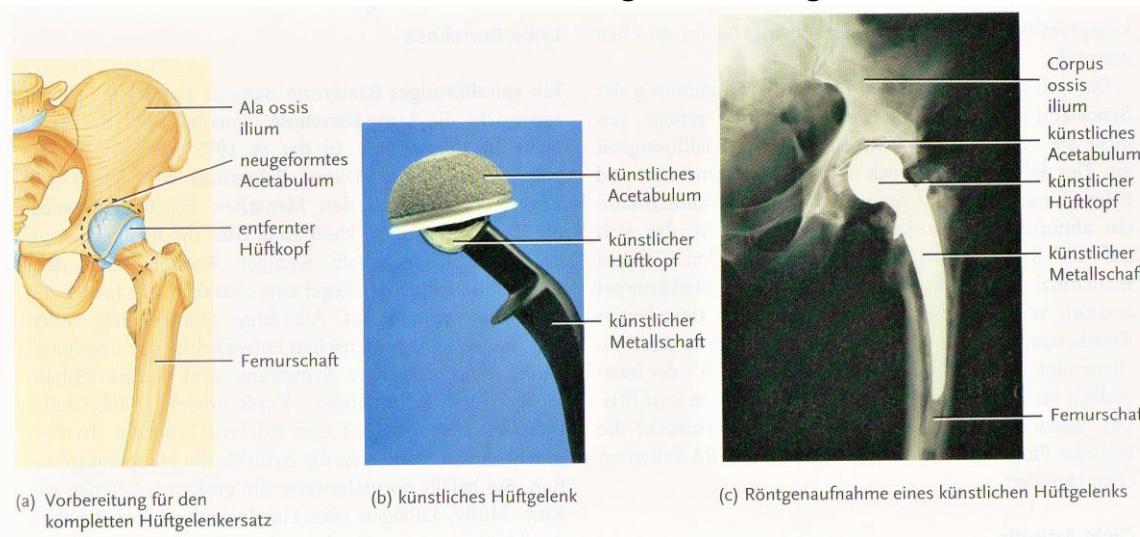


Bild: kompletter Hüftgelenkersatz

# Störungen des Knochengleichgewichts und Erkrankungen des Skelettsystems

- **Osteoporose:** Zustand poröser Knochen durch Calciumverlust
- **Rachitis und Osteomalazie:** Störung der Mineralienablagerung in den Knochen, führt zu weichen, verformbaren Knochen
- **Bandscheibenvorfall:** Teile der Bandscheibe ragen in Wirbelkanal, wo das Rückenmark liegt und können dieses einengen
- **Knochenbrüche**
- **Rheumatismus:** schmerzhafte Erkrankung des Stützapparates, nicht durch Infektion oder Verletzung ausgelöst
  - Arthrose: Oft durch Degeneration von Gelenkknorpel gekennzeichnet. An den Stellen wo Knorpel abgebaut wurde, wird Knochen nachgebildet. Dadurch Verformung der Gelenke und Einschränkung der Bewegungen.
- **Lyme-Borreliose:** bakterielle Infektion führt u.a. zu Entzündungsreaktionen in den Gelenken

# Aufgabe

Markieren Sie alle Begriffe, die Ihrer Meinung nach zum Skelettsystem gehören.

Kugel- und  
Scharniergegelenk

Glatt,  
quergestreift, Herz

Vitamin-D-  
Synthese

Knochenhaut

Filamentgleit-  
mechanismus

Mineralstoff-  
speicher

Bewegung

Actin- und  
Myosinfilament

Rheumatismus

Stützfunktion

Hormon-  
ausschüttung

Schutz der inneren  
Organe

Körperhaltung

Butzellen-  
produktion

Erzeugung von  
Körperwärme

Erregbarkeit

# Lösung zum Wortsalat des Skelettsystems

# Kugel- und Scharniergeelenk

Glatt,  
quergestreift, Herz

# Vitamin-D-Synthese

## Knochenhaut

# Filamentgleit-mechanismus

# Mineralstoff- speicher

## Bewegung

Actin- und  
Myosinfilament

## Rheumatismus

## Stützfunktion

## Hormon-ausschüttung

# Schutz der inneren Organe

## Körperhaltung

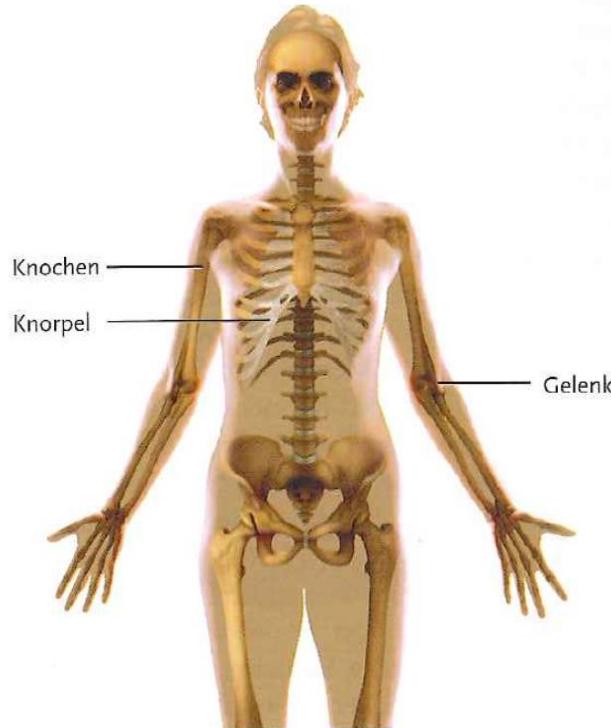
## Butzellen- produktion

# Erzeugung von Körperwärme

## Erregbarkeit

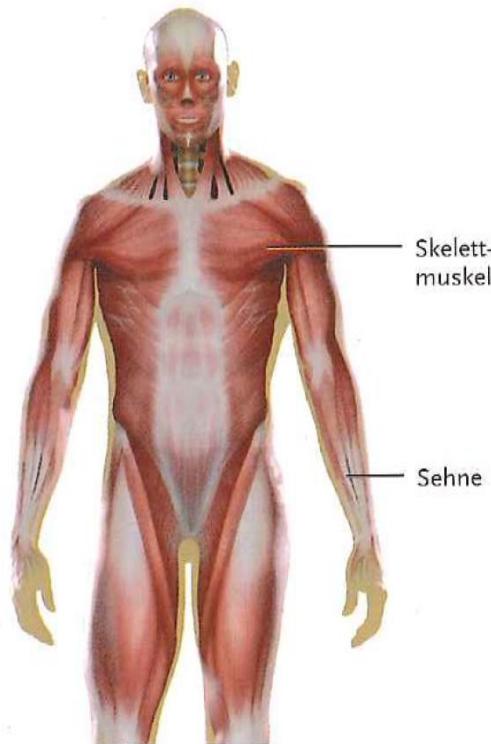


# Skelettsystem - Zusammenfassung



Organe / Bestandteile	Aufgaben/Funktionen
Skelett (Knochen)	Stützfunktion, Halteapparat
Knorpel	Schutz für innere Organe (z.B. Gehirn)
Gelenke	Bewegung ermöglichen (zusammen mit Skelettmuskeln)
	Blutzellenbildung
	Mineralstoffspeicher (z.B. Calcium, Phosphat)
	Energiespeicher

# Muskelsystem



# Muskulatur

- Muskeln = aktiven Komponenten des Bewegungsapparates
- Muskeln können sich aktiv verkürzen und passiv dehnen
- Nach Kontraktion oder Dehnung kehren sie wieder in Ruhelage zurück
- Jeder Skelettmuskel ist ein getrenntes Organ
- Muskelzellen haben eine lang gesteckte Form und werden deshalb auch Muskelfaser genannt
- Ein Skelettmuskel besteht aus Muskelgewebe, Bindegewebe welches die Muskeln umgibt, Blutgefäßen und Nerven
- Orthopädie: befasst sich mit Prävention oder Behandlung von Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems

# Muskelgewebsarten

Es gibt 3 verschiedene Arten von Muskulatur

- **Quergestreifte Muskulatur:** Skelettmuskulatur. Ein Skelettmuskel besteht aus einem Bündel von Muskelfasern. Hauptsächlich willkürliche Steuerung.
- **Glatte Muskulatur:** zu finden hauptsächlich in den inneren Organen, z.B. in den Bronchien, in den Muskelwänden vieler Organe, den Blutgefäßen und im Auge. Kontraktion erfolgt unwillkürlich.
- **Herzmuskelgewebe:** ist ein eigener Typ, eine Sonderform. Weist eine Querstreifung auf, kontrahiert jedoch unwillkürlich. Kaum regenerationsfähig.

# Funktionen des Muskelgewebes

- **Erzeugung von Körperbewegungen:** Gehen, Rennen, Greifen eines Gegenstands, Kopfschütteln. Basieren auf Zusammenarbeit von Knochen, Gelenken und Skelettmuskeln.
- **Stabilisierung der Körperlage/-haltung:** Kontraktionen der Skelettmuskulatur stabilisieren die Gelenke und helfen die Körperlage beizubehalten, z.B. beim Stehen oder Sitzen. Haltungsmuskulatur kontrahiert fortwährend.
- **Speicherung und Bewegung von Stoffen innerhalb des Körpers:** Muskeln verhindern, dass der Inhalt von Hohlorganen ausfließt (Magen oder Blase). Herzmuskel pumpt Blut durch die Blutgefäße. Muskeln der Blutgefäßwände regeln den Blutfluss.
- **Regulation des Organvolumens:** Organwände z.B. im Magen-Darm-Trakt müssen gleichbleibenden Druck auf Inhalt ausüben, Blutgefäßwände müssen gleichbleibenden Druck auf das Blut aufrechterhalten
- **Wärmeerzeugung:** Wenn sich Muskelgewebe kontrahiert, erzeugt es Wärme. Großteil davon zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur verwendet.

# Eigenschaften von Muskelgewebe

- **Elektrische Erregbarkeit:** Eigenschaft von Muskel- und Nervenzellen. Fähigkeit, auf bestimmte elektr. Reize (Aktionspotentiale) zu antworten → Nervenimpulse lösen Kontraktion aus
- **Kontraktionsfähigkeit:** Fähigkeit sich kräftig zusammenzuziehen, wenn durch Aktionspotential stimuliert. Dabei entsteht Muskelspannung und Muskel zieht an seinen Anheftungspunkten.
- **Dehnbarkeit:** Fähigkeit ohne Beschädigung gedehnt zu werden. Dehnbarkeit erlaubt es, dass auch dann noch kräftig kontrahieren kann, wenn er gedehnt ist.
- **Elastizität:** Fähigkeit, nach Kontraktion oder Dehnung wieder in ursprüngliche Lage und Gestalt zurückzukehren.

# Begleitstrukturen der Muskulatur

- **Bindegewebsschichten** können sich über die Muskelfasern erstrecken und eine Sehne bilden (Band aus dichtem Bindegewebe). Verbindet Muskelfasern mit der Knochenhaut.
- **Nerven** (Bündel aus Nervenzellen) innervieren den Muskel und können ihn elektrisch erregen. Sie werden **Motoneurone** genannt. Sie erstrecken sich vom Gehirn oder Rückenmark bis zu einer Gruppe von Skelettmuskelfasern. Das Axon eines Motoneurons verzweigt sich dabei viele Male, sodass jede Endverzweigung eine andere Skelettmuskelfaser innerviert.
- **Blutgefäße (Arterien und Venen)** und **winzige Blutkapillaren** (mikroskopisch kleine Blutgefäße) versorgen das Muskelgewebe einerseits mit Sauerstoff und Nährstoffen. Andererseits führen sie Wärme und Abfallstoffe des Muskelstoffwechsels ab. Jede Muskelfaser steht in engem Kontakt mit einer oder mehreren Blutkapillaren.
- Bei Kontraktion verbraucht ein Muskel beträchtliche Mengen an **chemischer Energie, sowie Sauerstoff, Glucose, Fettsäuren und andere Substanzen**. Diese werden dem Muskel zum Teil mit dem Blut zugeführt.

# Aufgabe

Suchen Sie sich einen Gegenstand Ihrer Wahl und halten Sie ihn am langausgestreckten Arm seitlich von sich weg (auf grader Linie).

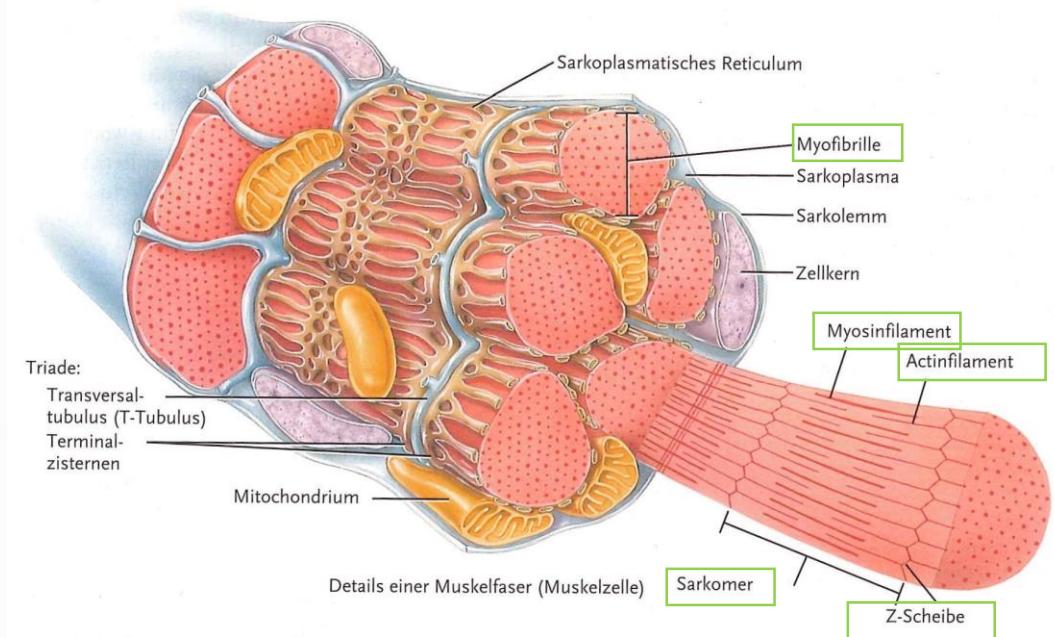
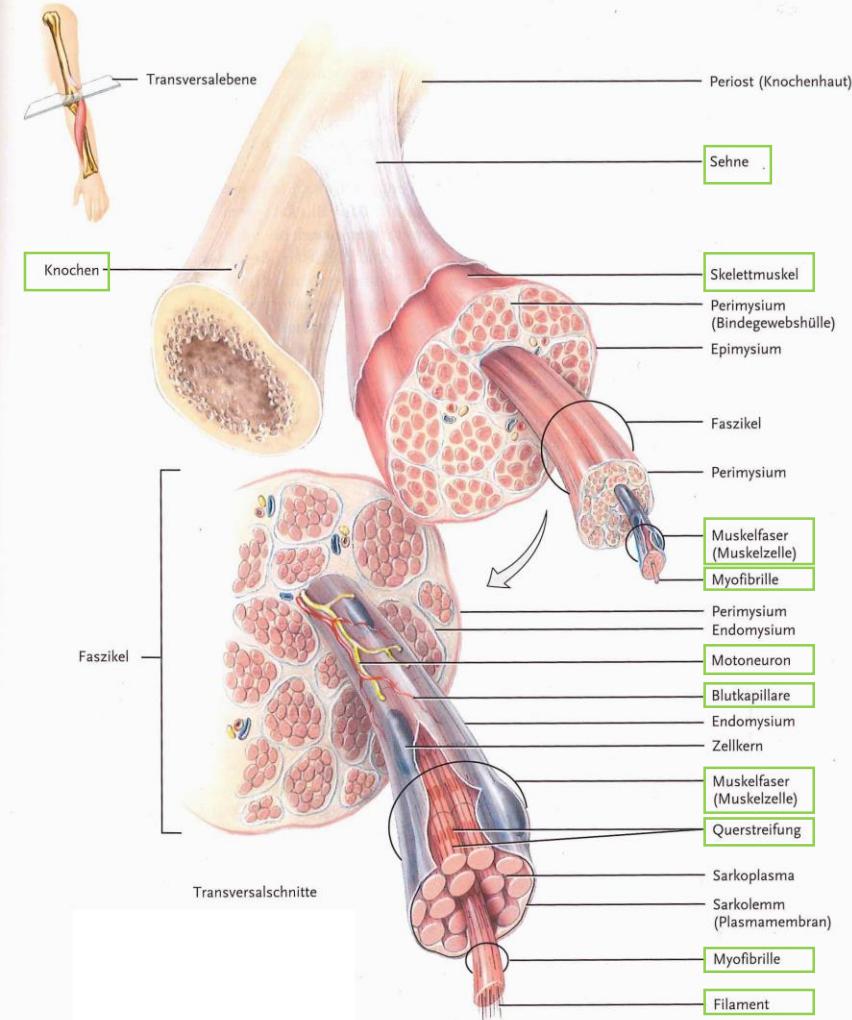
Nehmen Sie dazu den Arm Ihrer Wahl.

Halten Sie den Gegenstand so lange in dieser Position wie Sie können und messen Sie die Zeit.

Beschreiben Sie Ihre Erfahrungen...

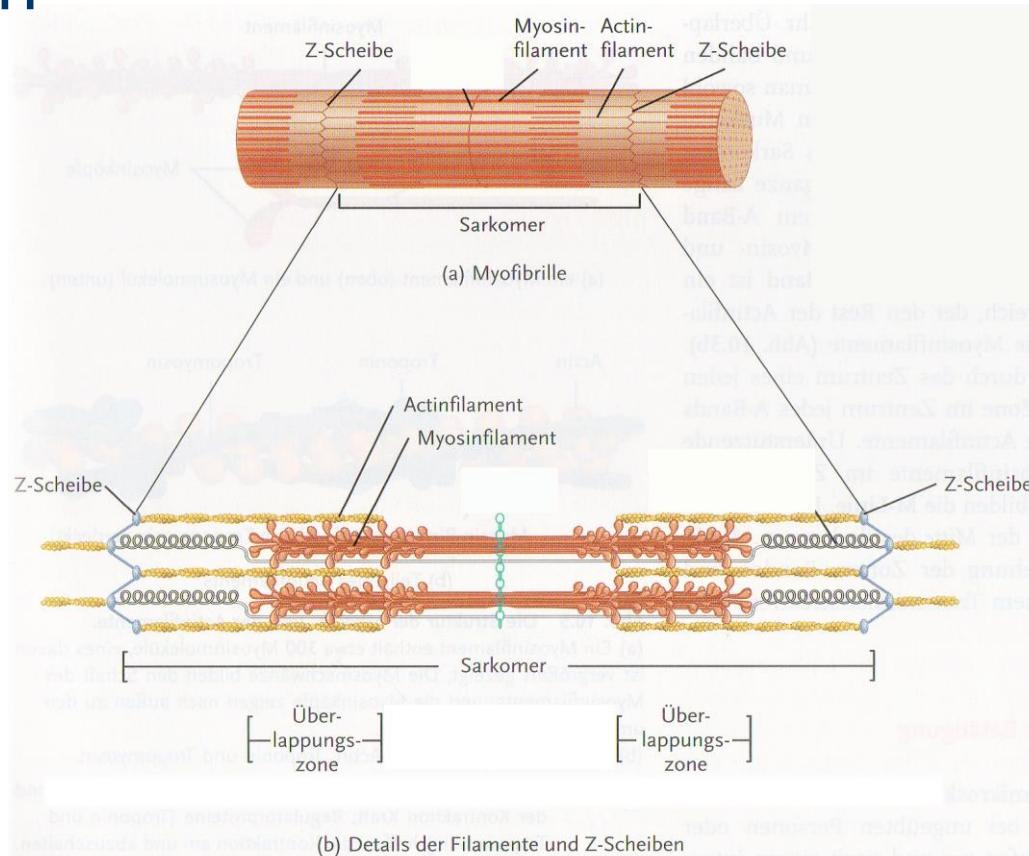
# Anatomie der Skelettmuskelfaser

- Muskelfasern = wichtigste Bestandteile des Skelettmuskels
- Muskelfaser = Muskelzelle
- Muskelzelle hat eine typische Länge von ca. 10 cm
- Muskelfasern entstehen während der Embryonalentwicklung durch Verschmelzung mehrerer Zellen und haben deshalb viele Hunderte Zellkerne
- Nach der Verschmelzung verliert die Muskelfaser die Fähigkeit zur Teilung. → Zahl der Skelettmuskelfasern also von Geburt an festgelegt und die meisten halten ein Leben lang.
- Bei starker Vergrößerung erscheint das Innere der Muskelzellen mit kleinen Fäden übersäht → Myofibrillen
- Myofibrillen = kontraktile Elemente des Skelettmuskels
- Durch die Myofibrillen entsteht die auffällige Streifung, die diesem Gewebe den Namen ‚Quergestreifte Muskulatur‘ eingebracht hat.



# Aufbau der Myofibrillen

- **Myofibrillen** sind die kontraktilen Elemente von Muskelfasern
- Innerhalb der Myofibrillen befinden sich **Filamente** (Proteine) als kleinere Struktur
- Diese Filamente sind in **Kompartimenten (=Sarkomeren)** angeordnet
- Ein Sarkomer erstreckt sich von einer **Z-Scheibe** zur nächsten
- Ein Sarkomer enthält sich überlappende **Myosin- und Actinfilamente**, welche direkt am Kontraktionsvorgang beteiligt sind
- Actinfilamente sind mit Z-Scheiben verbunden
- Myosinköpfe zeigen nach außen zu den umgebenden Actinfilamenten

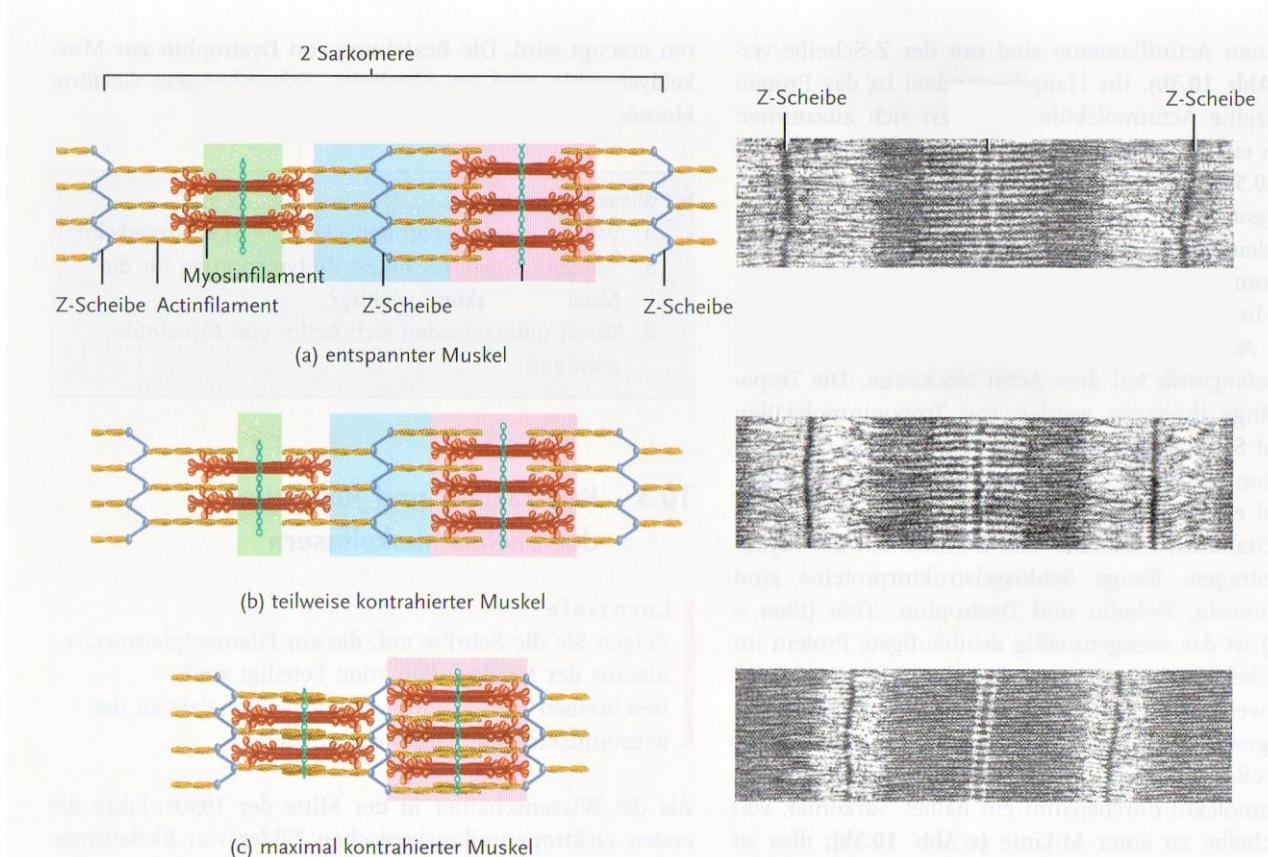


Die Anordnung der Filamente im Sarkomer

# Voraussetzungen für Muskelkontraktion

- Myosin- und Actinfilamente überlappen einander mehr oder weniger stark. Hängt vom Grad der Muskelkontraktion ab (kontrahiert, entspannt, gedehnt)
- Myosin dient als Motorprotein (in allen drei Muskelgewebsarten). Motorproteine schieben oder ziehen Zellstrukturen, um eine Bewegung zu erzeugen
- Dabei wird chemische Energie in mechanische Bewegungsenergie umgewandelt.
- Daneben gibt es noch viele weitere Strukturproteine, die das Konstrukt stabilisieren und für Elastizität und Dehnbarkeit sorgen.

# Der Filamentgleitmechanismus der Muskelkontraktion (Bild)

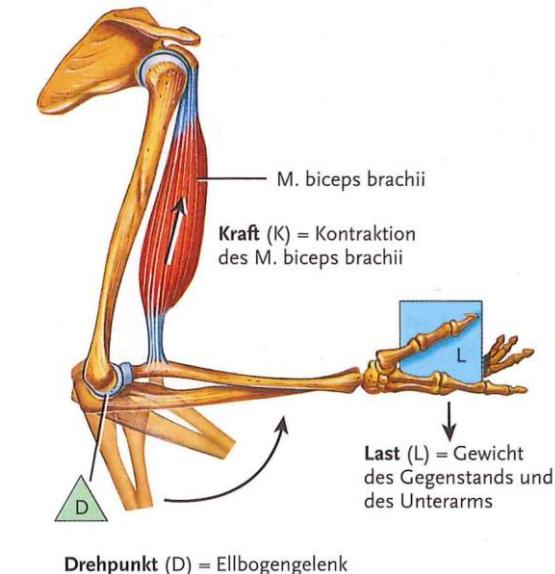


# Der Filamentgleitmechanismus der Muskelkontraktion (Text)

- Myosinköpfe heften sich an die Actinfilamente und „wandern an ihnen entlang“.
- Sie ziehen dabei die Actinfilamente in die Mitte der Sarkomere.
- Actinfilamente gleiten also nach innen und treffen sich im Zentrum des Sarkomers. Sie können dort sogar überlappen.
- Wenn die Actinfilamente nach innen gleiten, rücken die Z-Scheiben näher zusammen und das Sarkomer verkürzt sich.
- Eine Verkürzung der Sarkomere verursacht eine Verkürzung der gesamten Muskelfaser. Dies führt wiederum zur Verkürzung des gesamten Muskels.
- Bei der Muskelkontraktion werden beträchtliche Mengen an chemischer Energie, sowie Sauerstoff, Glucose, Fettsäuren und andere Substanzen verbraucht.

# Vom Muskel zur Bewegung

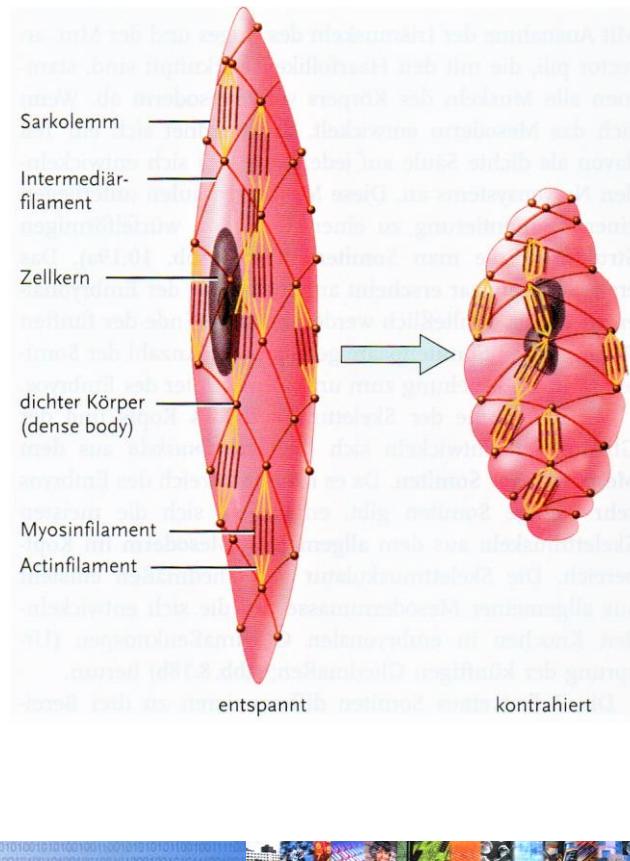
- Zur Bewegung eines Gelenks ist das Zusammenspiel von mindestens zwei entgegengesetzt wirkenden Muskeln notwendig  
→ Agonist und Antagonist
- Der Muskelzug muss dabei zwei Knochen über ein oder mehrere Gelenke verbinden
- Ein Muskel endet also nicht an demselben Knochen wo er auch ansetzt, sondern verbindet die Knochen sozusagen über Eck
- Anspannung/Kontraktion des Agonisten → Bewegung in eine Richtung → Gleichzeitig wird der Antagonist gedehnt
- Kontraktion des Antagonisten → Bewegung in die entgegengesetzte Richtung → Hierbei nun Dehnung des Agonisten
- Muskelfasern setzen selber nicht direkt an der Knochenhaut an, sondern sind über eine Sehne mit dieser verbunden



(b) Bewegung des Unterarms beim Heben eines Gewichtes

# Glatte Muskulatur

- Unwillkürlich aktiviert
- Entspannte Muskelfaser in der Mitte am dicksten und an den Enden spitz zulaufend. Dabei mit 30-200 µm viel kürzer als Skelettmuskelfaser.
- Ein einzelner Zellkern pro Faser
- Glatte Muskelfaser enthält ebenfalls Actin- und Myosinfilamente, allerdings nicht in Sarkomeren organisiert.  
→ Dadurch gibt es keine regelmäßigen Überlappungsmuster und keine Streifung.
- Actinfilamente hier mit dichten Körpern verbunden, die den Z-Scheiben ähneln.
- Die glatte Muskelfaser dreht sich bei Kontraktion durch den Filamentgleitmechanismus wie ein Korkenzieher zu einer Spirale, was zur Längenverkürzung führt.



# Herzmuskelgewebe

- Herzmuskelgewebe = Grundgewebe der Herzmuskelwand
- Zwischen den Schichten der Herzmuskelfasern sind Bindegewebsschichten, Blutgefäße, Nerven und das Leitungssystem des Herzens enthalten.
- Herzmuskelzellen besitzen gleiche Anordnung von Actin- und Myosinfilamenten, gleiche Banden, Zonen, Z-Scheiben wie Skelettmuskelzelle.
- Sog. Glanzstreifen sind einzigartig für Herzmuskelfaser → ermöglichen eine Reizweiterleitung von einer Faser zur anderen.
- Kontrahiert, wenn es durch seine eigenen autorhythmischen Muskelfasern stimuliert wird.

Weitere Details siehe Vorlesungstermin zum Herz-Kreislaufsystem

# Erkrankungen des Muskelsystems

- **Myasthenia gravis:** Autoimmunerkrankung, chronisch fortschreitende Beschädigung der neuromuskulären Verbindungen → Muskeln werden weniger innerviert und werden dadurch zunehmend schwächer bis hin zum Funktionsverlust.
- **Muskeldystrophie:** Gruppe ererbter muskelzerstörender Krankheiten mit fortschreitender Degeneration der Skelettmuskelfasern.
- **Abnorme Skelettmuskelkontraktionen:** z.B. plötzliche, unwillkürliche Kontraktion eines einzelnen Muskels (Spasmus) oder schmerzhafte krampfartige Kontraktion (Krampf), etc. Krampf kann verursacht werden durch ungenügende Blutzufuhr, Überbeanspruchung, Austrocknung, Verletzung, Beibehaltung einer Lage

# Aufgabe

Markieren Sie alle Begriffe, die Ihrer Meinung nach zum Muskelsystem gehören.

Rheumatismus

Glatt,  
quergestreift, Herz

Motorische  
Endplatte

Reizverarbeitung

Filamentgleit-  
mechanismus

Mineralstoff-  
speicher

Schutz der inneren  
Organe

Gasaustausch

Nahrungs-  
aufnahme

Actin- und  
Myosinfilament

Hormon-  
ausschüttung

Bewegung

Körperhaltung

Butzellen-  
produktion

Erzeugung von  
Körperwärme

Erregbarkeit

# Lösung zum Wortsalat des Muskelsystems

Rheumatismus

Glatt,  
quergestreift, Herz

Übergang zum Nervensystem → siehe  
Vorlesungstermin zum Nervensystem

Reizverarbeitung

Filamentgleit-  
mechanismus

Mineralstoff-  
speicher

Schutz der inneren  
Organe

Gasaustausch

Nahrungs-  
aufnahme

Actin- und  
Myosinfilament

Hormon-  
ausschüttung

Bewegung

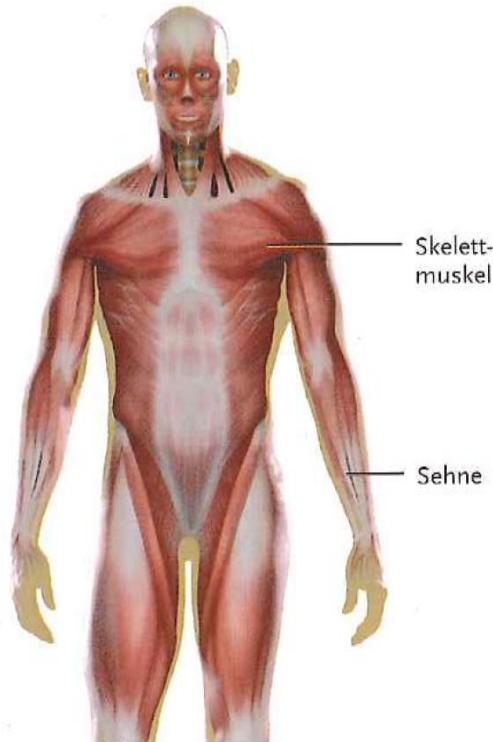
Körperhaltung

Butzellen-  
produktion

Erzeugung von  
Körperwärme

Erregbarkeit

# Muskelsystem - Zusammenfassung



Organe / Bestandteile	Aufgaben/Funktionen
Muskeln	Bewegungen durchführen (zusammen mit Skelettsystem)
Bänder	Körperhaltung
Sehnen	Wärmeproduktion
	Speicherung und Bewegung von Stoffen innerhalb des Körpers
	Regulation des Organvolumens