

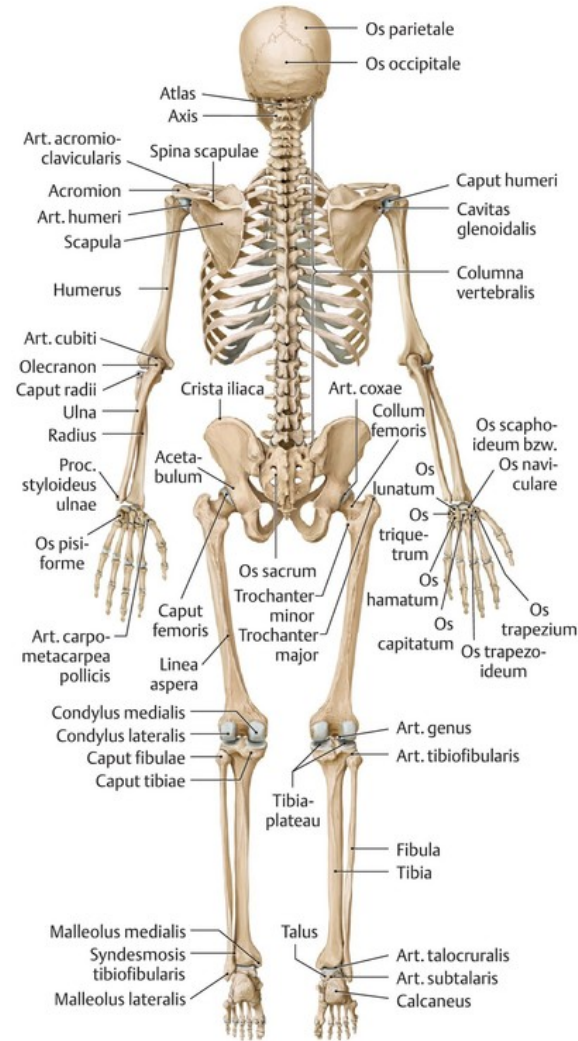
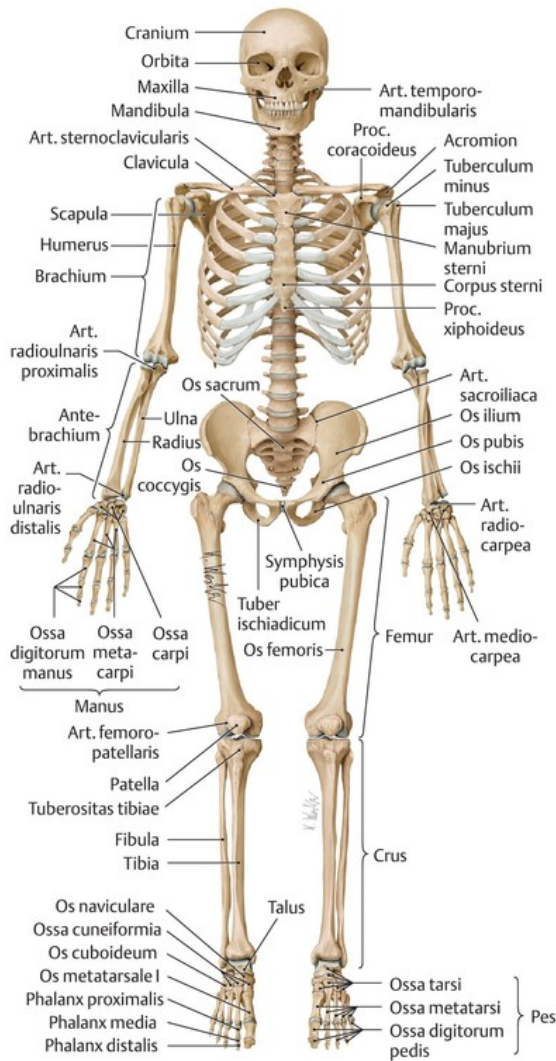
Stütz- und Bewegungssystem



Einteilung

- **Passiver Bewegungsapparat**
 - Knöcherne Skelettelemente
 - Knorpelige Skelettelemente
 - Knochenverbindungen
- **Aktiver Bewegungsapparat**
 - Skelettmuskulatur


Knochen





Knochen

- Erfüllen **Stütz-** und **Schutzfunktion**
 - Dienen dem Körper als **Kalziumspeicher**
 - Hauptort der **Blutbildung** ab der Geburt

 - Aufbau:
 - **Knochengrundsubstanz**
 - **Knochenzellen**
- 

Knochen

- Äußere und innere Oberflächen sind mit bindegewebigen Strukturen besetzt:
- **Periost:**
 - Überzieht den gesamten äußeren Knochen außer überknorpelte Gelenkflächen
 - Stark innerviert und vaskularisiert
- **Endost:**
 - Überzieht die inneren Oberflächen des Knochens
- Zwischen den festen Bestandteilen liegt das **Knochenmark**
- Unter dem Periost befindet sich die verdichtete Außenschicht die sog. Kortikalis bzw. Kompakta im Bereich der Diaphyse

Knochenzellen

- Vorläufer- oder Stammzellen:
 - Hohe Proliferationsaktivität, befinden sich im Periost und Endost
- **Osteoblasten:**
 - Meist auf Knochenoberflächen
 - **Um-** und **Aufbau** von Knochensubstanz
 - Scheiden nicht mineralisiert Knochengrundsubstanz (Osteoid) aus
- **Osteozyten:**
 - Vollständig von Osteoid ummauerte Osteoblasten
 - Befinden sich in den Knochenhöhlen

Knochenzellen

- **Osteoklasten:**

- Zellen des **Knochenab-** und **-umbaus**
- Liegen der Knochengrundsubstanz an
- Geben abgebaute Knochensubstanz in die Blutbahn ab
- Bauen 10x mehr Substanz ab als von Osteoblasten gebildet wird

Knochenzellen

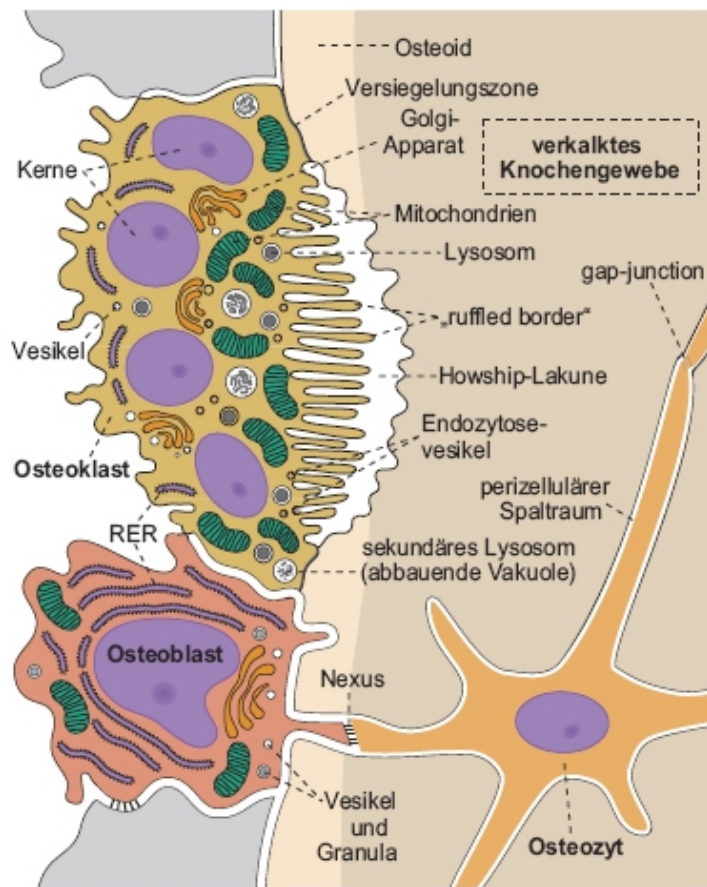


Abb. 3.2.35 Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten (Schema). Der Raum unter den Osteoklasten wird Howship-Lakune oder subosteoklastisches Kompartiment genannt.

Knochengrundsubstanz

- Besteht aus:
- **Organischer Matrix** (35%):
 - Kollagenfasern und Glykoproteine
- **Anorganischer Matrix** (65%):
 - Mineralien
 - **Hydroxylapatit** (50% Phosphat, 35% **Kalzium**, Karbonate)

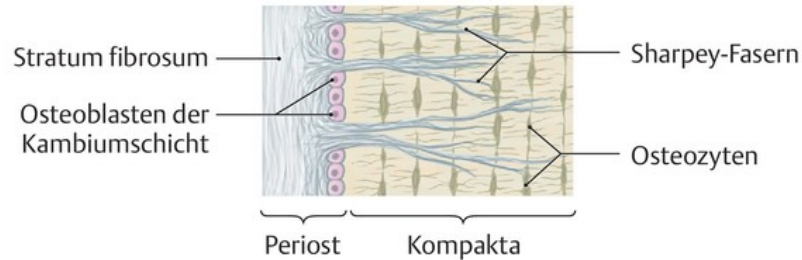
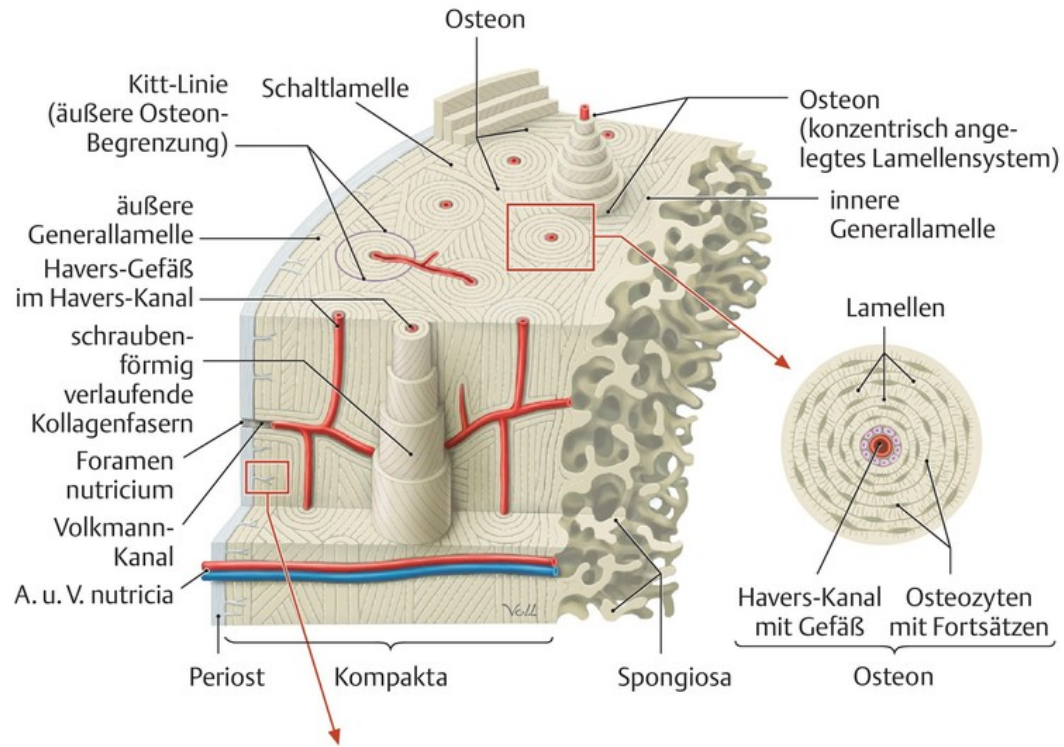
Knochengewebe

- Man unterscheidet:
- Geflechtknochen:
 - **Primärer Knochen** der Fetalperiode
 - Kollagene Fasern ohne Verlaufsrichtung
 - Reifen im Laufe der Zeit
 - Finden sich nur noch z.B. in den Schädelnähten
- Lamellenknochen:
 - **Sekundärer Knochen**
 - Entstehen aus Geflechtknochen (auch Frakturheilung)
 - Stützfunktion wird erfüllt
 - Besteht aus regelmäßigen Elementen

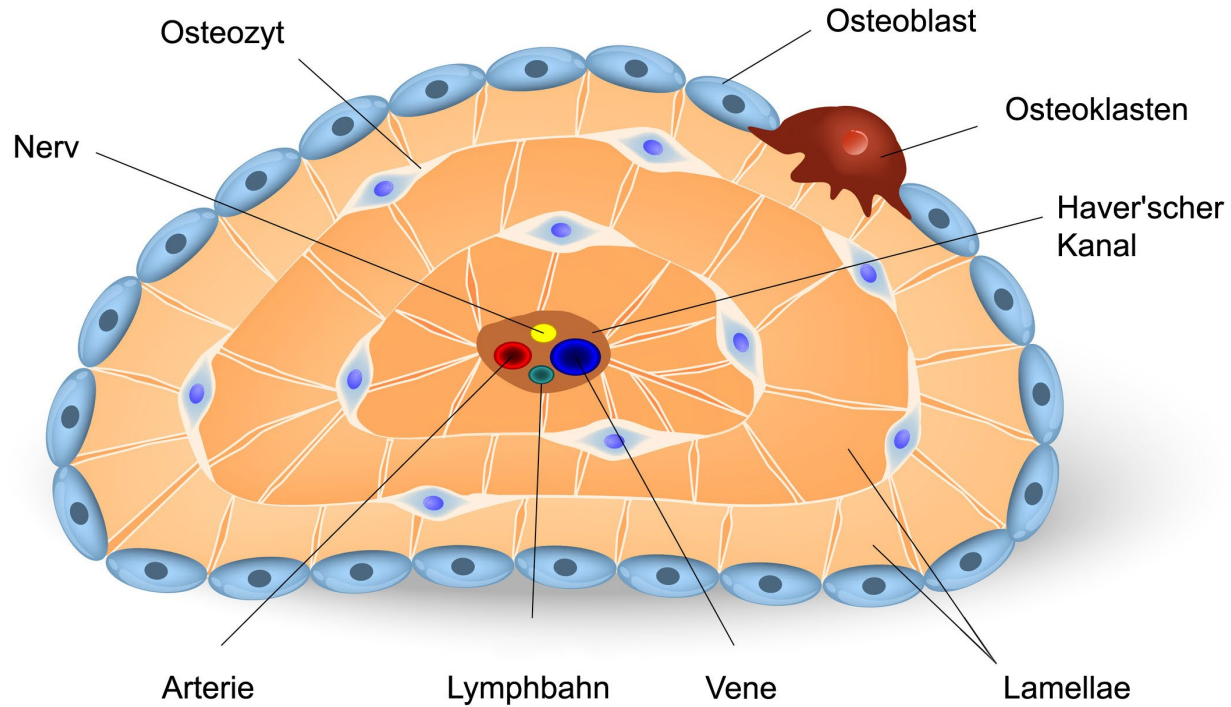
Lamellenknochen

- Besteht aus sich wiederholenden Bauelementen
- **Osteon** (Haver-System)
 - Zylindrisch gebaut
 - Besteht aus **Lamellen**
 - In den Lamellen befinden sich **Osteozyten**, kontakt über lange Fortsätze und **Gap-junctions**
 - Kanal in der Mitte für Blutgefäß und Nerven (Havers-Kanal)
- **Schaltlamellen**
 - Verbinden die Osteone
 - Reste von Abgebauten Osteonen (Knochenumbau)

Lamellen- knochen



Osteon



Knochenentwicklung

- Man unterscheidet:
- **Osteogenese** (Knochenbildung)
 - Aus Geflechtknochen entwickeln sich Lamellenknochen
 - Man unterscheidet **desmale** und **chondrale** Osteogenese
- **Ossifikation** (Verknöcherung)
 - Osteoblasten bilden Osteoid welches mineralisiert
 - Es wird direkt ein Lamellenknochen gebildet

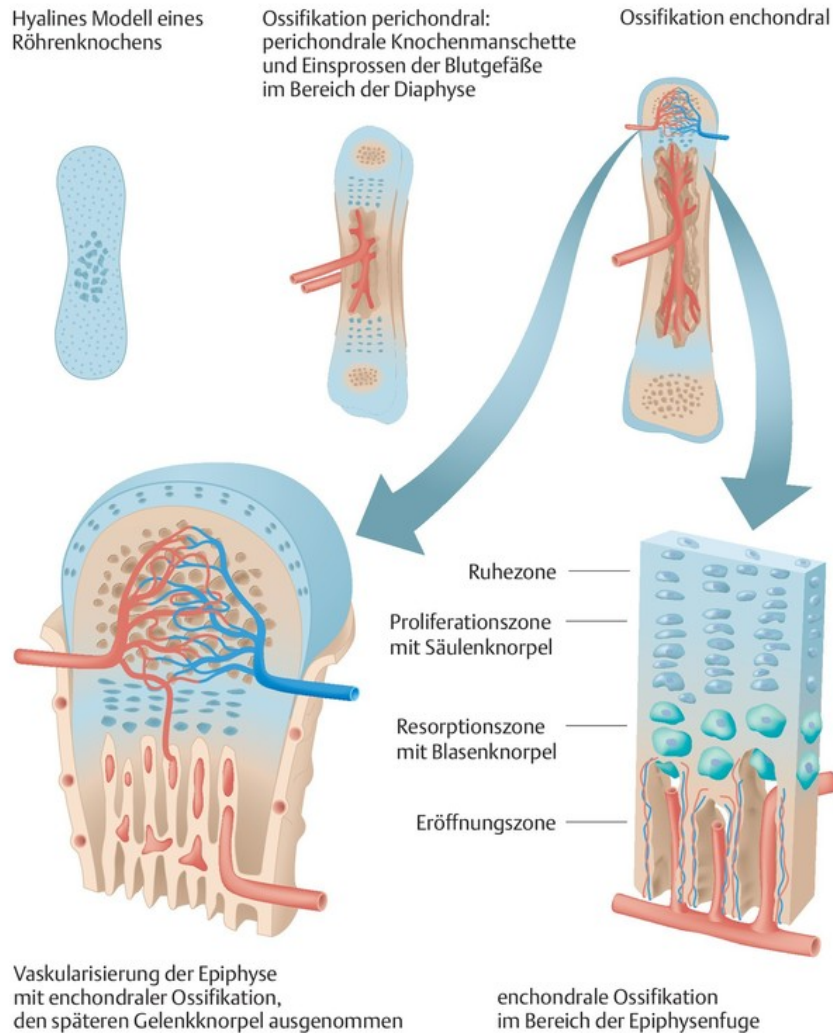
Desmale Osteogenese (Ossifikation)

- Aus **embryonalem Bindegewebe** bildet sich direkt Knochengewebe
- Man spricht auch von direkter Ossifikation
- Aus dem entstandenen **Geflechtknochen** entwickeln sich dann **Lamellenknochen**
- Bei einer Fraktur bildet sich erst ein Wulst aus Geflechtknochen (Kallus), der anschließend verknöchert
- Z.B.:
 - Schädeldach
 - Teile der Mandibula und Klavikula

Chondrale Osteogenese (Ossifikation)

- **Knorpelmodelle** des Knochens bilden das sog. Primordialskelett
- Dient dem **Längen- und Dickenwachstum**:
- **Enchondrale Ossifikation**: Längenwachstum z.B. Epiphysenfuge
 - Durch Vaskularisierung wandern Stammzellen in das Knorpelinnere ein
 - Differenzieren sich zu z.B. Chondroklasten, Osteoblasten
- **Perichondrale Ossifikation**: Dickenwachstum z.B. Diaphyse
 - Perichondrium (Knorpelhaut) wird zum Periost
 - Von dort aus bildet sich der Knochen

Chondrale Ossifikation



Periost

- Gliedert sich in:
- **Stratum fibrosum**
 - Enthält geflechtartiges straffes Bindegewebe
 - Dient Sehnen und Bändern als **Ansatz**
 - Spezielle Bindegewebsfasern (**Sharpey-Fasern**) ragen in die Kompakta
 - Sharpey-Fasern verankern das Periost
- **Stratum osteogenicum**
 - Innere Schicht
 - **Nerven- und Gefäßführend**

Knochentypen

- Das menschliche Skelett enthält **223 Knochen**
- Davon sind 95 paarige und 33 unpaare Knochen
- Man unterscheidet Knochen nach der äußeren Form:
 - Röhrenknochen (**Ossa longa**)
 - Kurze Knochen (**Ossa brevia**)
 - Platte Knochen (**Ossa plana**)
 - Luftgefüllte Knochen (**Ossa pneumatica**)
 - Unregelmäßige Knochen (**Ossa irregularia**)
 - Sesambeine (**Ossa sesamoidea**)

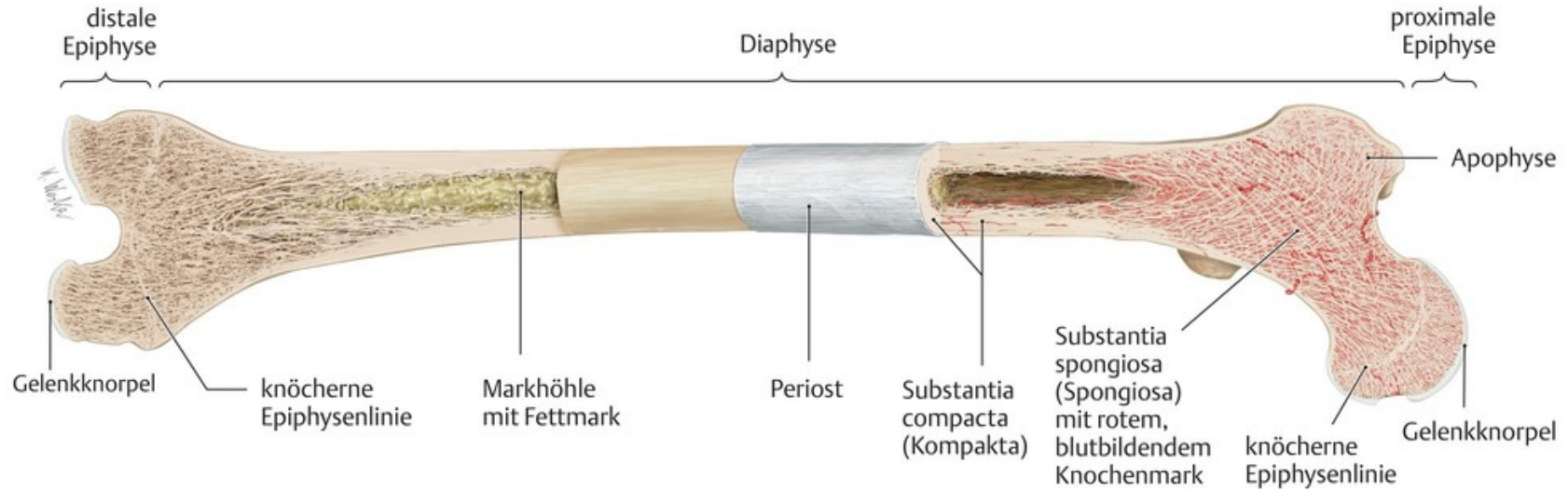
Röhrenknochen (Ossa longa)

- Knochen der oberen und unteren Extremitäten
- Man unterscheidet:
- **Lange Röhrenknochen:**
 - Humerus, Radius, Femur, Tibia, Fibula
- **Kurze Röhrenknochen:**
 - Ossa metacarpi, Ossa metatarsi, Ossa digitorum manus/pedis

Röhrenknochen (Ossa longa)

- Einteilung:
- **Epiphyse**
 - Proximales und distales Gelenkende
 - Hier befinden sich Spongiosabälkchen
- **Diaphyse**
 - Knochenschaft, Besteht aus verdichteter Kortikalis (Kompakta)
 - Im Inneren befindet sich die Markhöhle
- **Metaphyse**
 - Verbindet Epiphyse mit Diaphyse, hier befindet sich die Epiphysenfuge
- **Apophyse**
 - Größere Knochenvorsprünge; Ansatzstellen für Sehnen und Bänder

Röhrenknochen



Kurze Knochen (*Ossa brevia*)

- Besitzen eine dünne Kortikalis und innen eine Spongiosa
- Zu den kurzen Knochen zählen:
 - **Ossa carpi** (Handwurzelknochen)
 - **Ossa tarsi** (Fußwurzelknochen)

Platte Knochen (Ossa plana)

- Besitzen eine Rahmenstruktur
- In einem verstärkten Rahmen befindet sich meist eine dünne Knochenschicht
- Zu den Platten Knochen gehören:
 - **Scapula**
 - **Os coxae**
 - **Sternum**
 - **Platte Knochen des Schädeldaches**

Lufthaltige Knochen (Ossa pneumatica)

- Mit Schleimhaut ausgekleidete Hohlräume
- Zu den lufthaltigen Knochen gehören:
 - **Nasennebenhöhlen** (Sinus frontalis, sphenoidalis, ethmoidalis, maxillaris)
 - **Processus mastoideus** (Warzenfortsatz)

Unregelmäßige Knochen

- Knochen die nicht in die anderen Kategorien einzuordnen sind
- Zu den unregelmäßigen Knochen gehören:
 - Wirbelknochen
 - Mandibula

Sesambeine (Ossa sesamoidea)

- Kleine Knochen, die in eine Sehne eingelagert sind
- Vergrößern den Hebel der Sehne
- Gelenk kann durch geringere Kraft bewegt werden
- Zu den Sesambeinen gehören:
 - **Patella**
 - **Erbsenbein** (ein Handwurzelknochen)

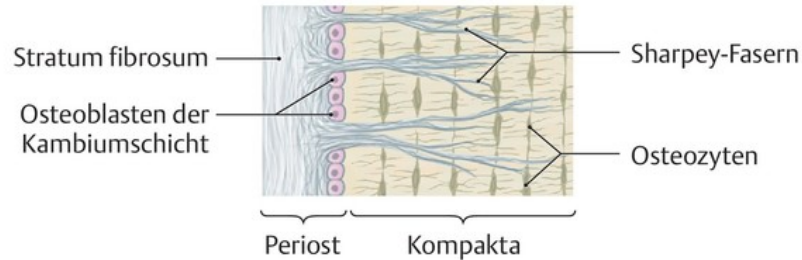
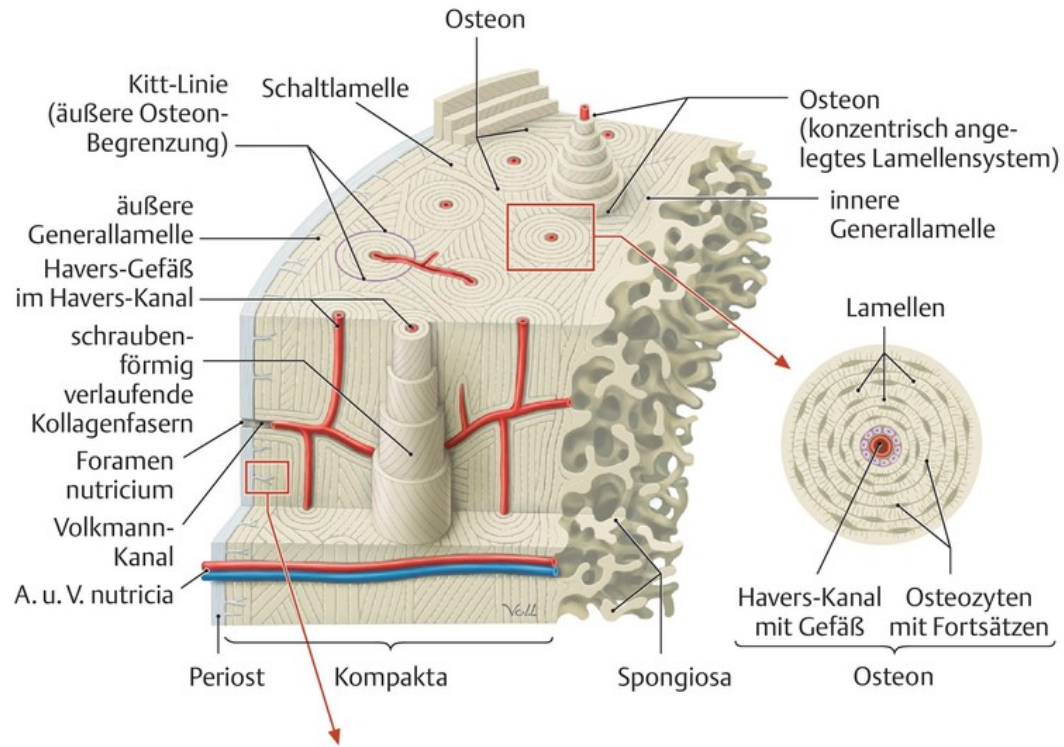
Knochenmark (Medulla ossium)

- Knochenmark befindet sich in den Markhöhlen der Kompakta und in den Räumen der Spongiosa
- Man unterscheidet:
- **Rotes Knochenmark** (Medulla ossium rubra)
 - Füllt bei Kind die Markräume aller Knochen aus
 - Beim Erwachsenen nur noch in den kurzen und platten Knochen und den Epiphysen
- **Gelbes Knochenmark** (Medulla ossium flava)
 - Füllt beim Erwachsenen die Markhöhlen der Diaphysen aus

Blutversorgung der Knochen

- Durch Funktionen der Blutbildung, Kalziumspeicherung und Umbauvorgänge sind Knochen gut durchblutet
- Umliegende Gefäße geben **Vasa nutritia** in die Knochen ab
- Treten durch permanente Öffnungen in die Knochen ein (**Foramina nutritia**)

Lamellen- knochen



Knochenverbindungen (Juncturae)

- Knochen können fest oder beweglich miteinander verbunden sein
- Man unterscheidet:
- **Synarthrosen** (unechte Gelenke)
- **Diarthrosen** (echte Gelenke)

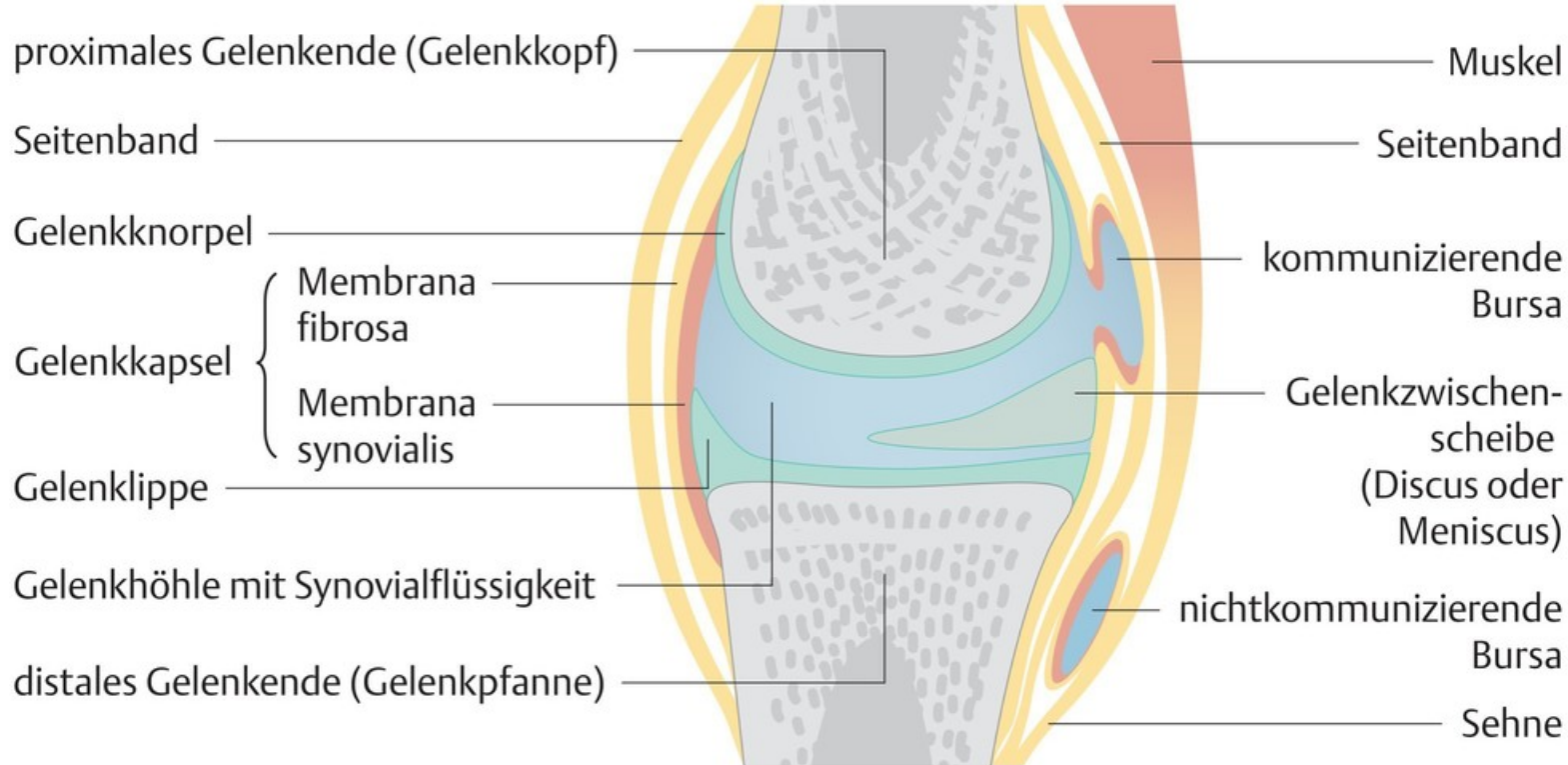
Synarthrose

- Knochen sind durch verschiedene Gewebe verbunden
- Unterteilung in:
- **Junctura fibrosa**
 - Knochenverbindungen aus **Bindegewebe**
 - Dazu gehören: Schädelnähte, Zahnwurzeln
- **Junctura cartilaginea**
 - Knochenverbindung aus **hyalinem- oder Faserknorpel**
 - Hyaline Verbindungen (Synchondrose): Synchondrosis sternocostalis
 - Faserige Verwachsungen (Symphysis): Symphysis pubica
- **Junctura ossea**
 - **Knochenhafte** Verbindungen (Os sacrum, Os coccygis)

Diarthrose (Articulatio)

- Ermöglicht Bewegung der Knochen
- Allgemeiner Aufbau:
 - **Gelenkkopf** (Caput articulare)
 - **Gelenkpfanne** (Fossa articularis)
 - **Knorpelige Gelenkfläche** (Facies articularis)
 - **Gelenkhöhle** (Cavum articulare)
 - **Gelenkkapsel** (Capsula articularis)
 - **Synovialflüssigkeit**

Diarthrose



Gelenknorpel

- Bildet eine **glatte** Oberfläche
- Setzt den Reibungswiderstand herab
- Verteilt den Druck gleichmäßig
- Kann reversibel verformt werden
- **Keine** Federwirkung, da der Knorpel zu dünn ist
- Nährstoffversorgung erfolgt ausschließlich über Diffusion durch **Synovia** und umliegende Gefäße

Gelenkkapsel (**Capsula articularis**)

- Schließt die Gelenkhöhle **luftdicht** ab
- Besteht aus einer Faserschicht (**Membrana fibrosa**) und einer innenliegenden Schicht (**Membrana synovialis**)
- Die **Membrana fibrosa** besteht aus kollagenem Bindegewebe und geht in das **Periost** über
- Die **Membrana synovialis** gliedert sich in:
 - Synoviale Intima (**Bildet und resorbiert Synovia**)
 - Synoviales Gewebe (Zahlreiche Schmerz- und Mechanorezeptoren)

Synovialflüssigkeit

- Klare, leicht gelbliche, fadenziehende Flüssigkeit
- Sekretionsprodukt der Synoviozyten
- Die Menge richtet sich nach Größe und Beanspruchung des Gelenks
- Funktionen:
 - **Ernährung** des Gelenkknorpels
 - **Schmierfunktion**, Reibungsloses Gleiten der Gelenkflächen
 - **Stoßdämpfung**

Hilfsstrukturen an Gelenken

- In und an Gelenken befinden sich Strukturen, welche die Funktion erleichtern
- Man unterscheidet:
- **Zwischenscheiben**
- **Pfannenlippe** (Labrum articulare)
- **Schleimbeutel** (Bursae synoviales)
- **Bänder** (Ligamenta)

Zwischenscheiben

- Gleichen **Unebenheiten** und **Druck** aus
- Kommen in zwei Formen vor:
- **Discus articularis**
 - Bestehen aus straffem Bindegewebe und Faserknorpel
 - Sind mit der Gelenkkapsel verbunden
 - Füllen das Gelenk **vollständig** aus
 - Z.B. Brustbein-Schlüsselbein-Gelenk
- **Meniscus articularis**
 - Bestehen aus Faserknorpel
 - Sind sichel- oder kreisförmige Scheiben
 - Überlagern die Gelenkfläche im **Randbereich**

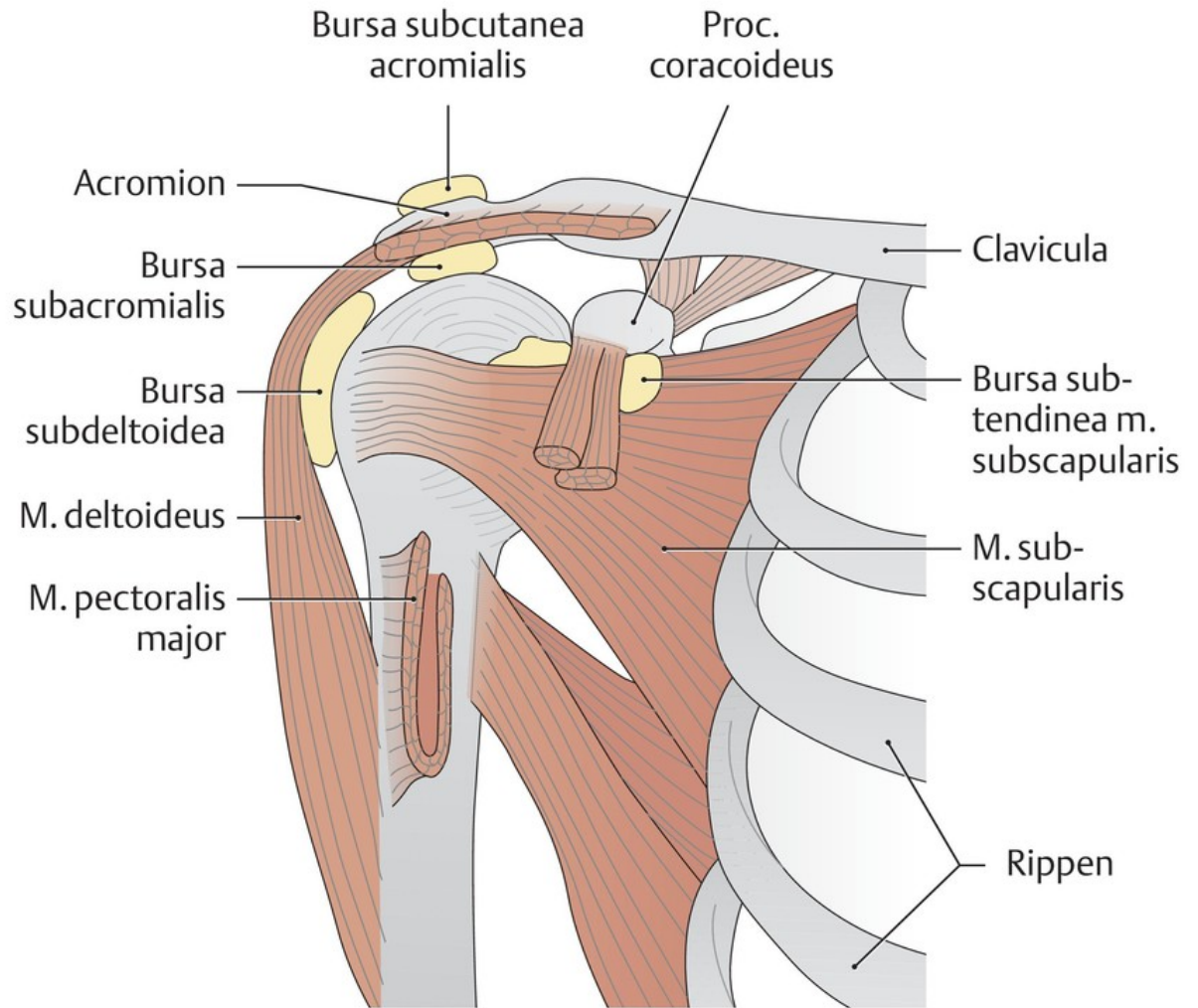
Pfannenlippe (Labrum articulare)

- Faserknorpelige Wülste
- **Vergrößern** die Pfannenoberfläche
- Befindet sich z.B. im Schulter- und Hüftgelenk

Schleimbeutel (Bursae synoviales)

- Mit **Synovialflüssigkeit** gefüllte „Kissen“
- Ermöglichen das Gleiten von Sehnen und Muskeln an Knochen
- Kommen in zwei Formen vor:
 - **Kommunizierende Bursa** (Mit Gelenkinnenraum verbunden)
 - **Nicht kommunizierende Bursa** (Selbständig)

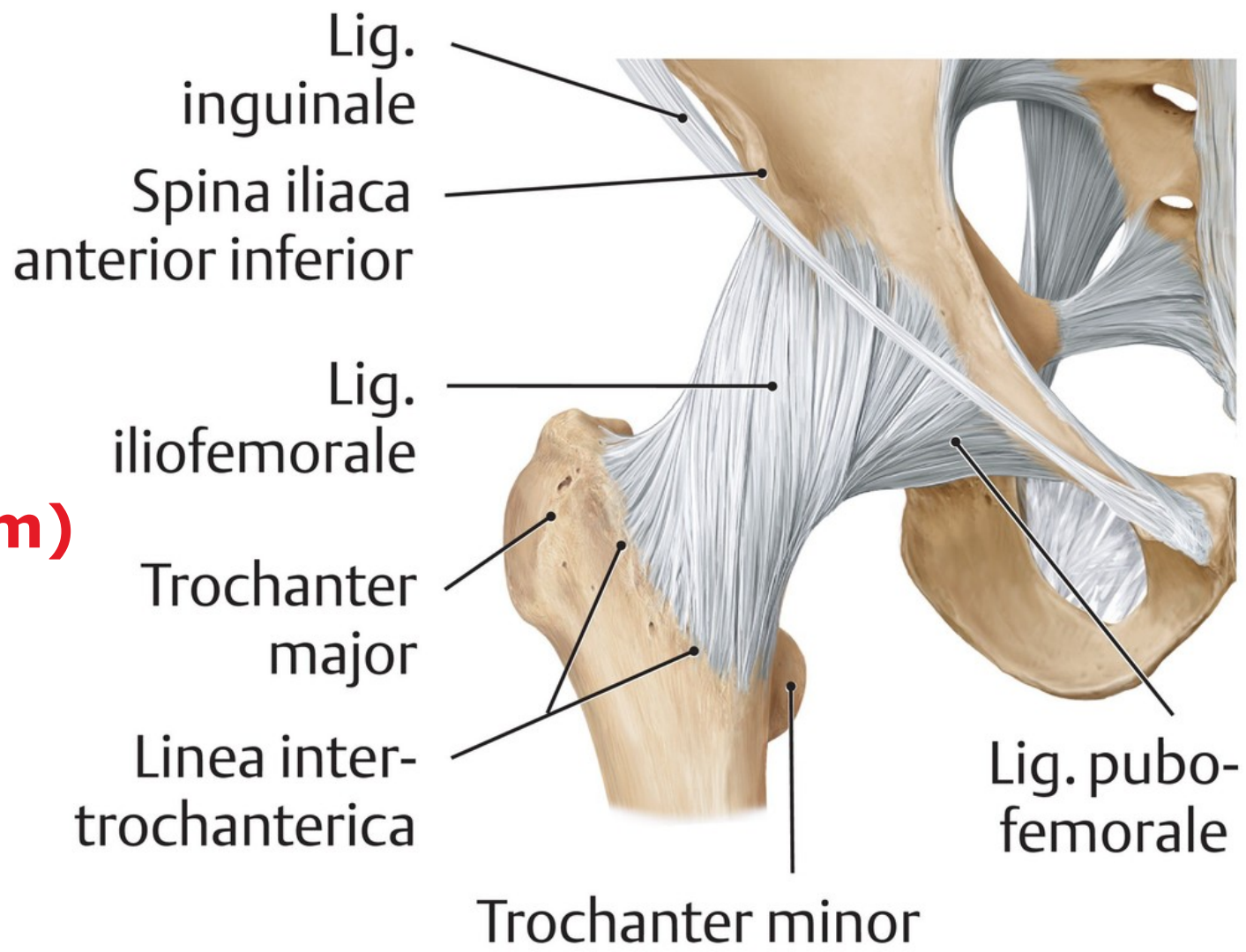
Schleimbeutel (Bursae synoviales)



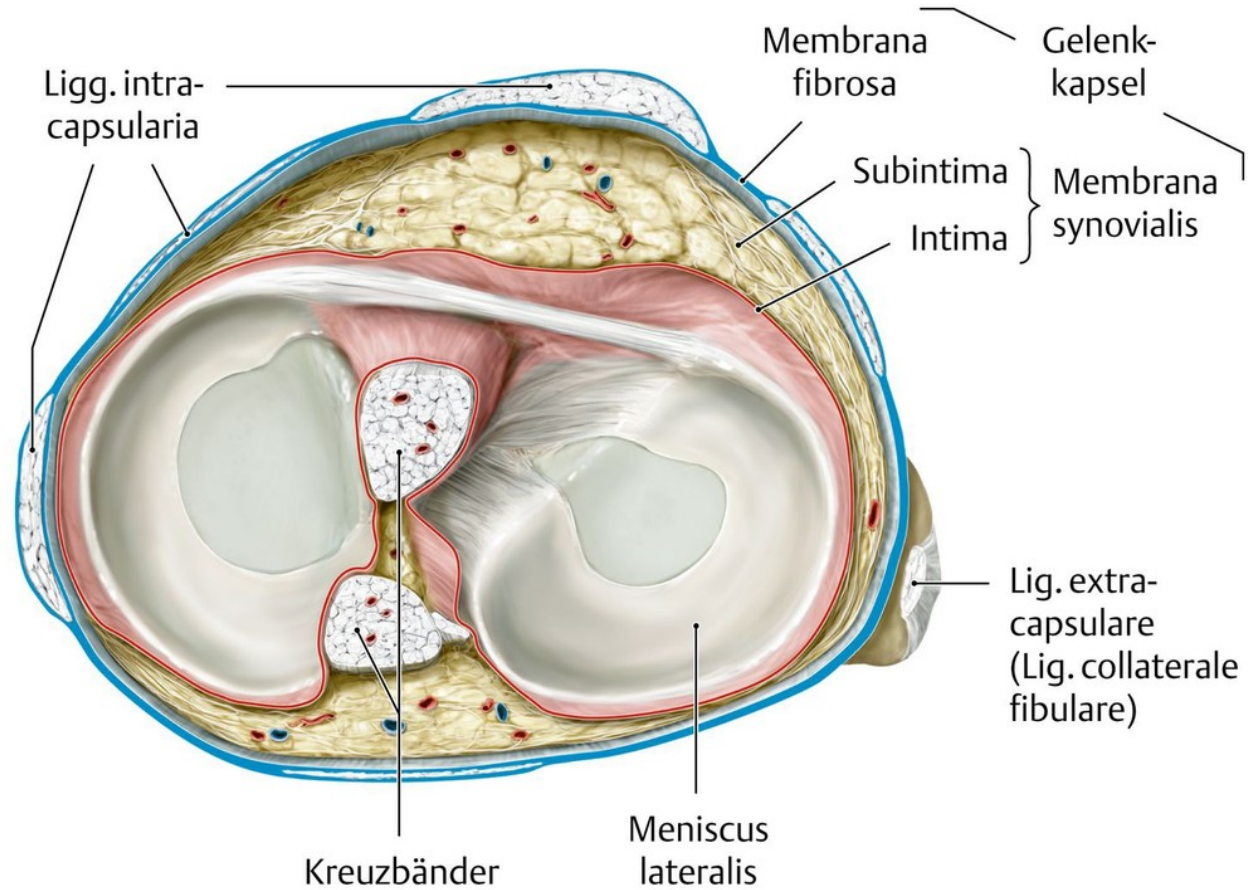
Band (Ligamentum)

- Verdichtete **Fasern** aus kollagenem Bindegewebe
- Können innerhalb (**intraartikulär**) oder außerhalb (**extraartikulär**) eines Gelenks vorkommen
- Intraartikuläre Bänder **begrenzen** den Bewegungsspielraum (z.B. **Kreuzbänder**)
- Extraartikuläre Bänder können verschiedene Funktionen haben:
 - **Verstärkungsband** z.B. Lig. iliofemorale
 - **Führungsband**
 - **Hemmungsband**

**Band
(Ligamentum)**

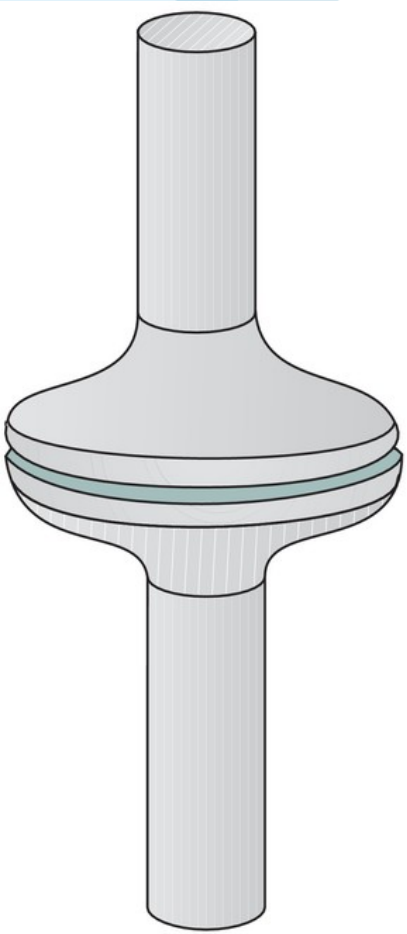


Band (Ligamentum)

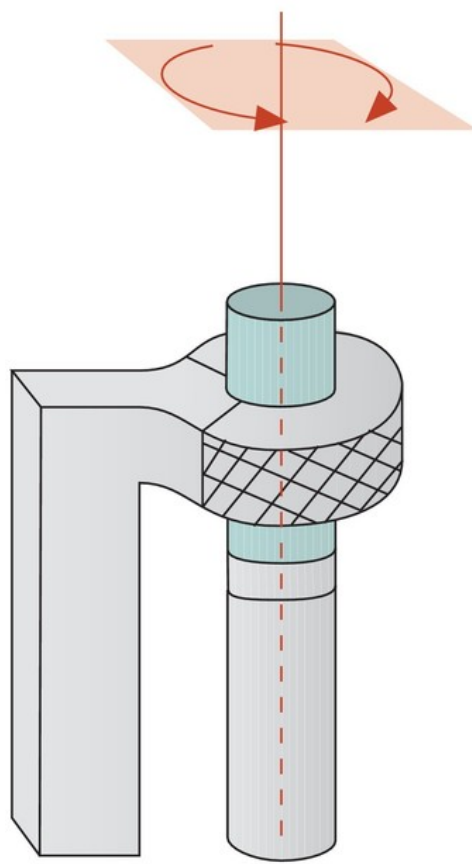


Einteilung der Gelenke

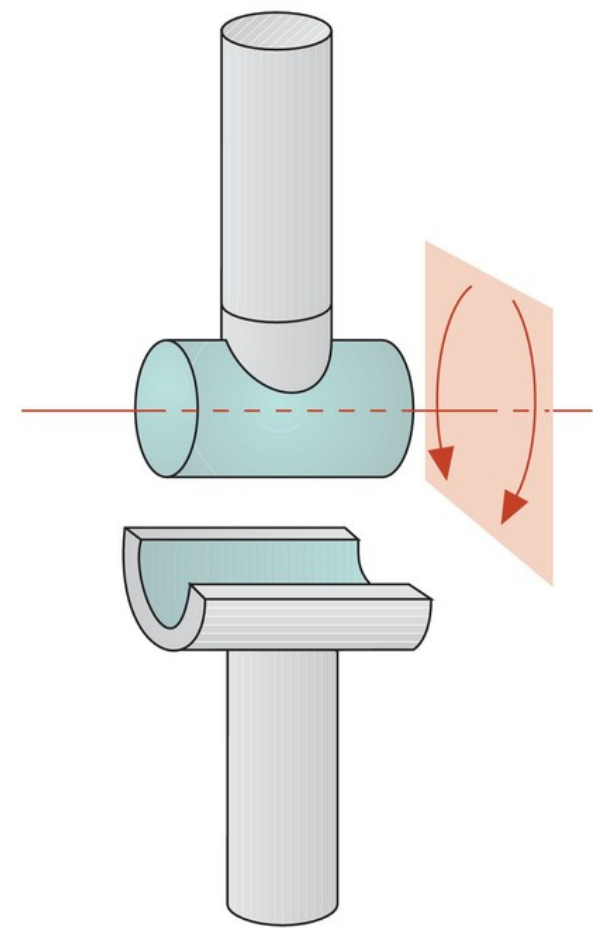
- Gelenke lassen sich nach Bewegungsachsen und Form einteilen:
- **Einachsige Gelenke**
 - Scharniergelenk (Oberes Sprunggelenk)
 - Rad- oder Zapfengelenk (Art. radioulnaris proximalis)
- **Zweiachsige Gelenke**
 - Eigelenk (Art. atlantooccipitalis)
 - Sattelgelenk (Daumengrundgelenk)
 - Kondylengelenk (Kniegelenk)
- **Dreiachsige Gelenke**
 - Kugelgelenk (Schultergelenk)
 - Nussgelenk (Hüftgelenk)
- **Straffe Gelenke**
 - Z.B. Kreuzbein-Darmbein-Gelenk



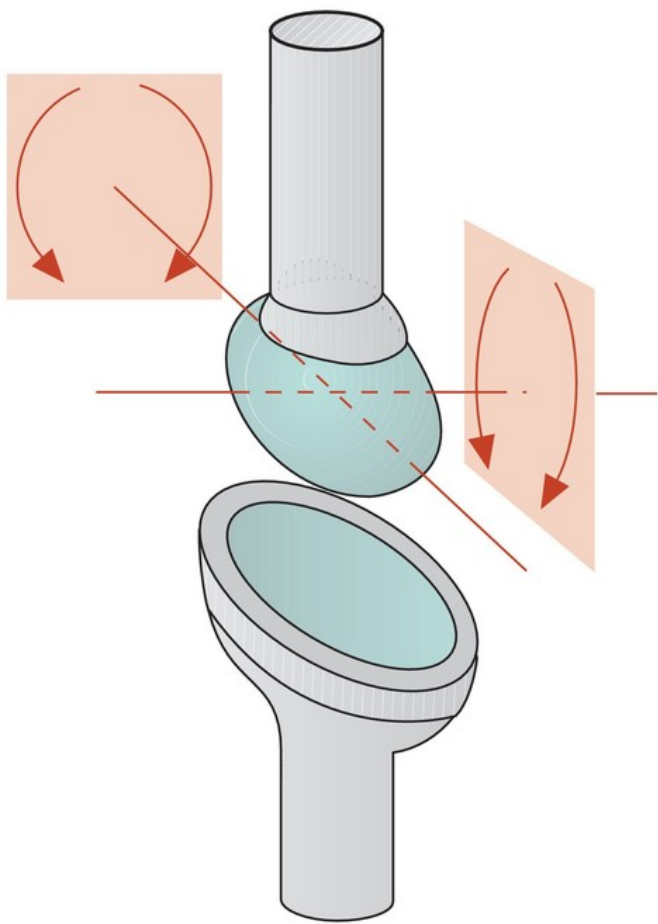
Planes Gelenk



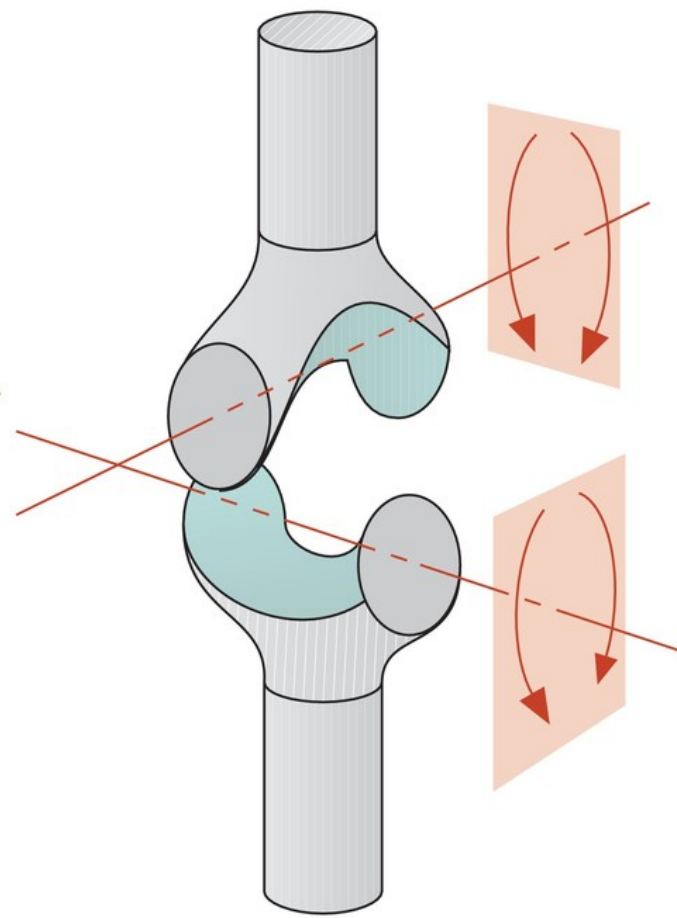
Rad- oder
Zapfengelenk



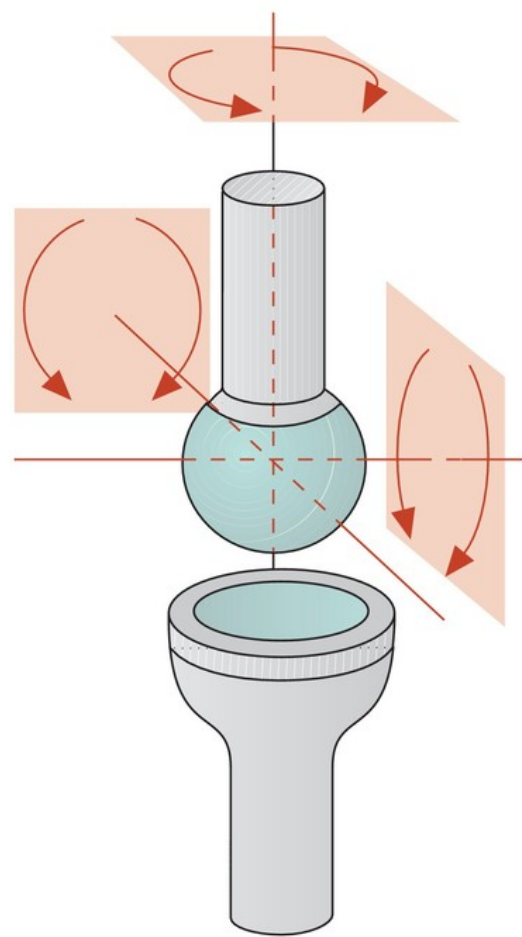
Scharniergelenk



Eigelenk



Sattelgelenk

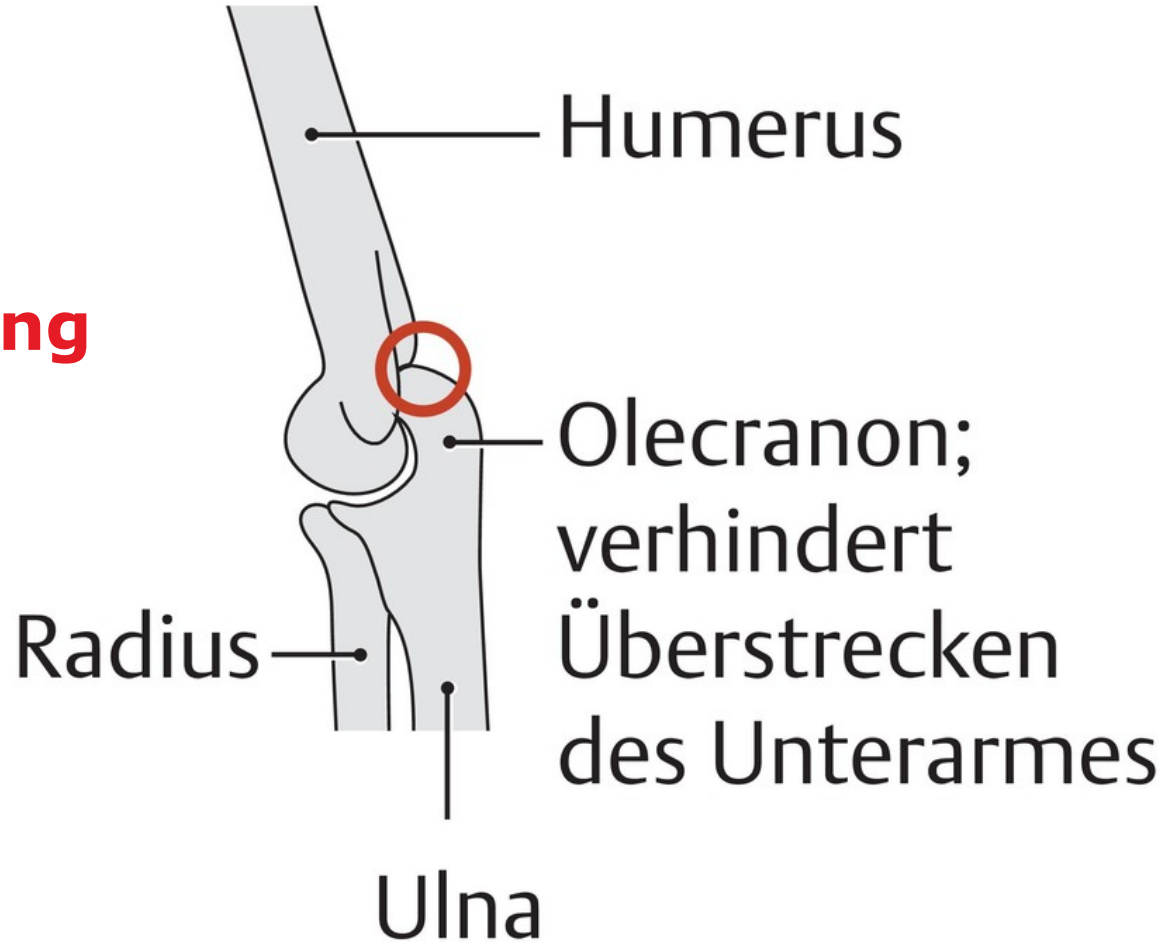


Kugelgelenk

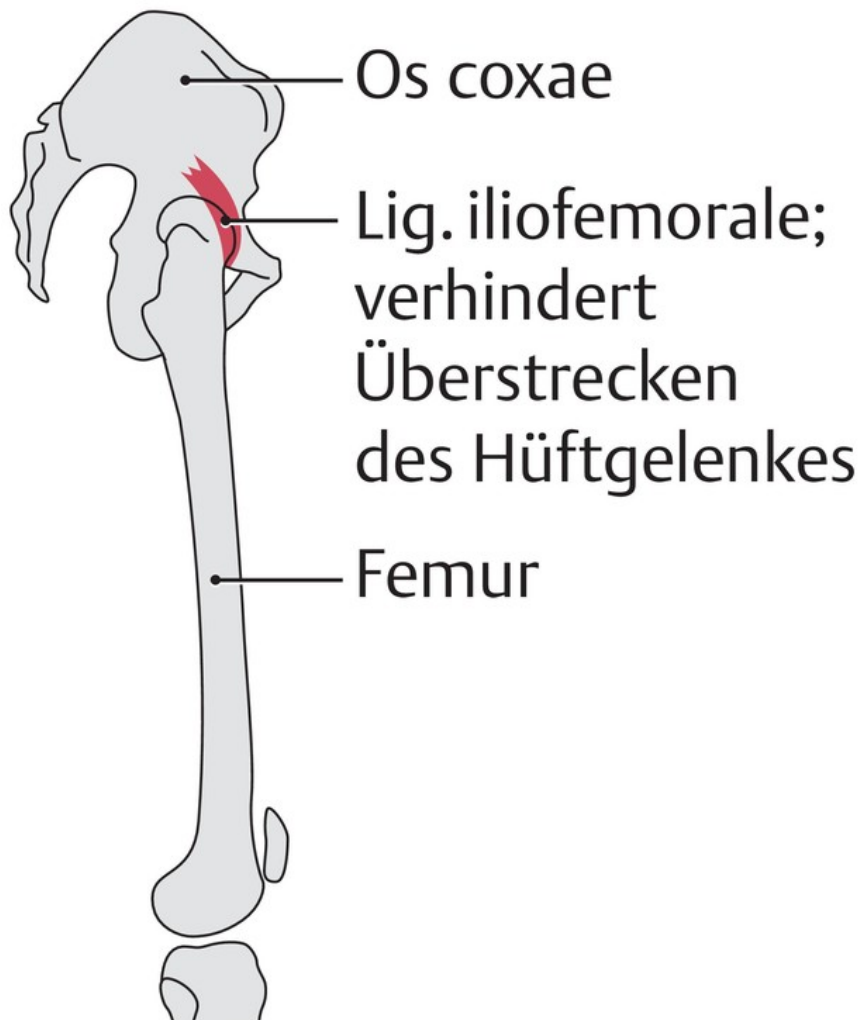
Gelenkhemmung

- Begrenzt das Ausmaß der Beweglichkeit eines Gelenks
- Es existieren vier Möglichkeiten der Gelenkhemmung:
 - **Knochenhemmung** (Ellenbogen)
 - **Bandhemmung** (Lig. iliofemorale)
 - **Muskelhemmung** (Ischiokrurale Muskulatur)
 - **Weichteilhemmung** (Ferse an Gesäß/ Oberschenkel)

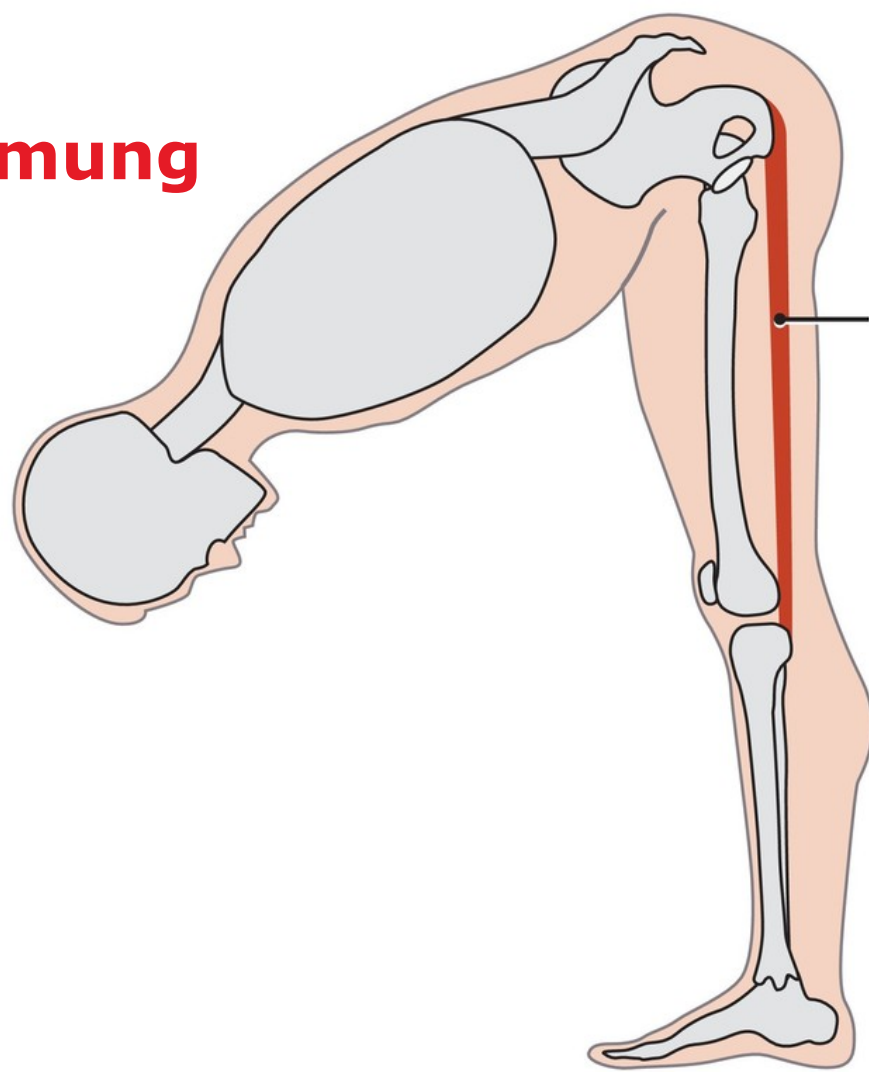
Knochenhemmung



Bandhemmung

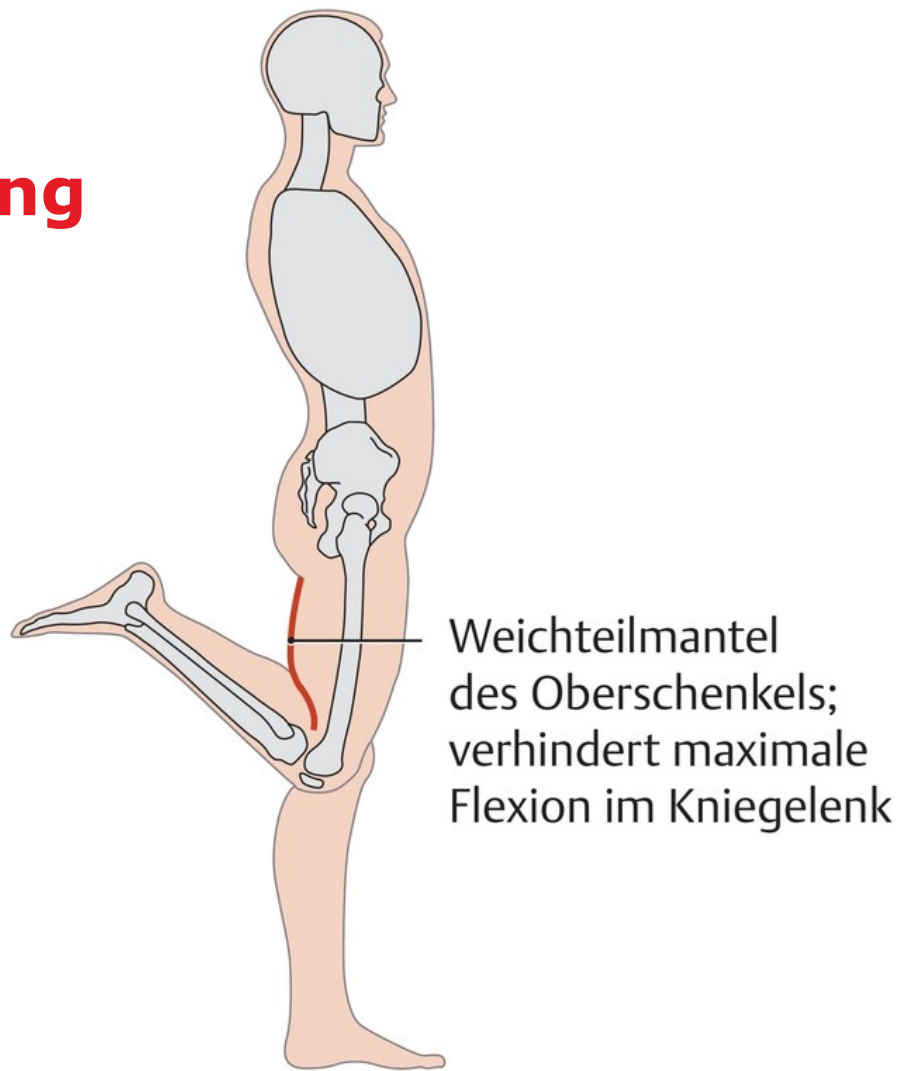


Muskelhemmung



ischiokrurale
Muskulatur;
verhindert
maximale
Flexion im
Hüftgelenk

Weichteilhemmung



Skelettmuskulatur

- Aktiver Bewegungsapparat
- Kann willkürlich bewegt werden
- Erfüllt Stütz-, Schutz- und Bewegungsfunktion
- Besteht aus quergestreifter Muskulatur

Muskelzelle

- Besteht aus vielkernigen Riesenzellen (Muskelfasern)
- Können bis zu 20cm lang werden
- Bilden **Myofibrillen** aus, bestehen aus parallel angeordneten **Myofilamenten**
- Filamente bestehen aus Proteinfilamenten:
 - Aktin
 - Myosin

Muskelzelle

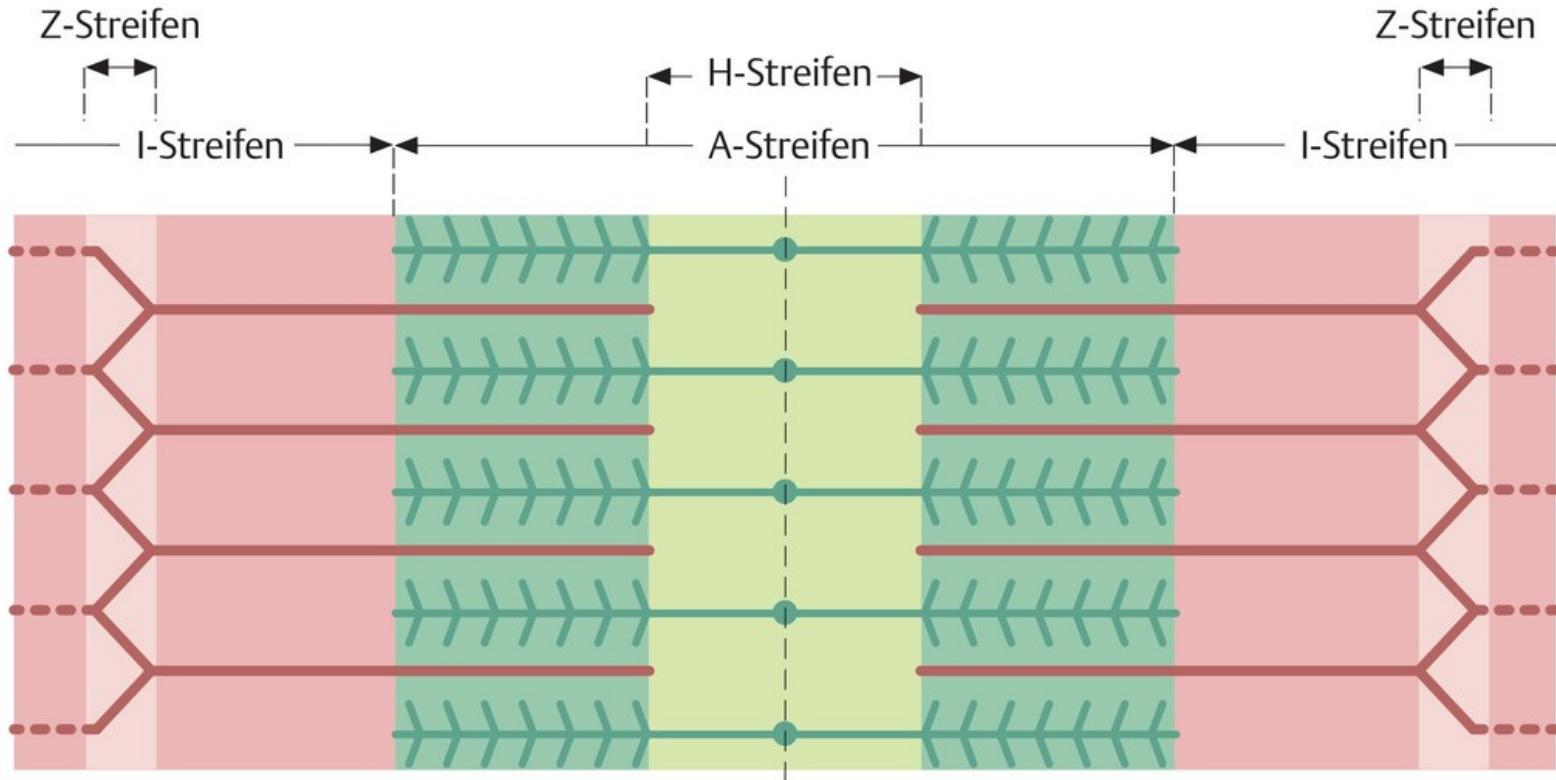
- Aktin und Myosin interagieren zusammen mit Kalzium und ermöglichen **Kontraktion**
- Zytologische Strukturen werden in der Muskelzelle **anders** bezeichnet

zytologische Struktur	Bedeutung
Sarkoplasma	Zytoplasma ohne Myofilamente
Sarkolemm	Plasmalemm der Muskelzelle (ohne Basallamina und ihr anliegende retikuläre Fasern)
Sarkosomen	Mitochondrien
sarkoplasmatisches Retikulum	glattes endoplasmatisches Retikulum

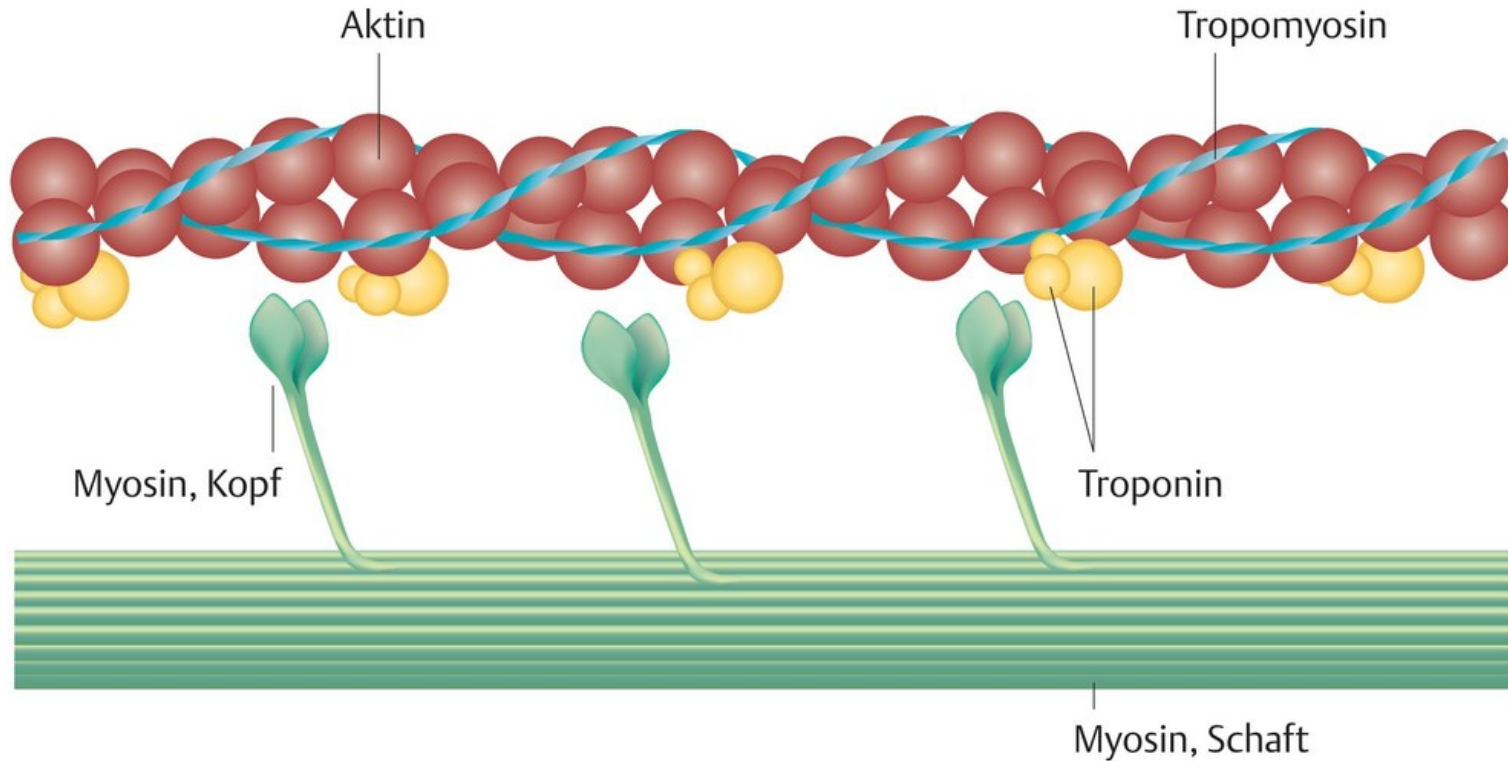
Muskelzelle

- Aktin- und Myosinfilamente sind in quergestreifter Muskulatur **streng** angeordnet
- Erzeugt quergestreiftes Muster
- Eine Einheit aus angeordneten Filamenten wird als **Sarkomer** bezeichnet
- Eine Muskelfaser enthält mehr als 1000 Sarkomere

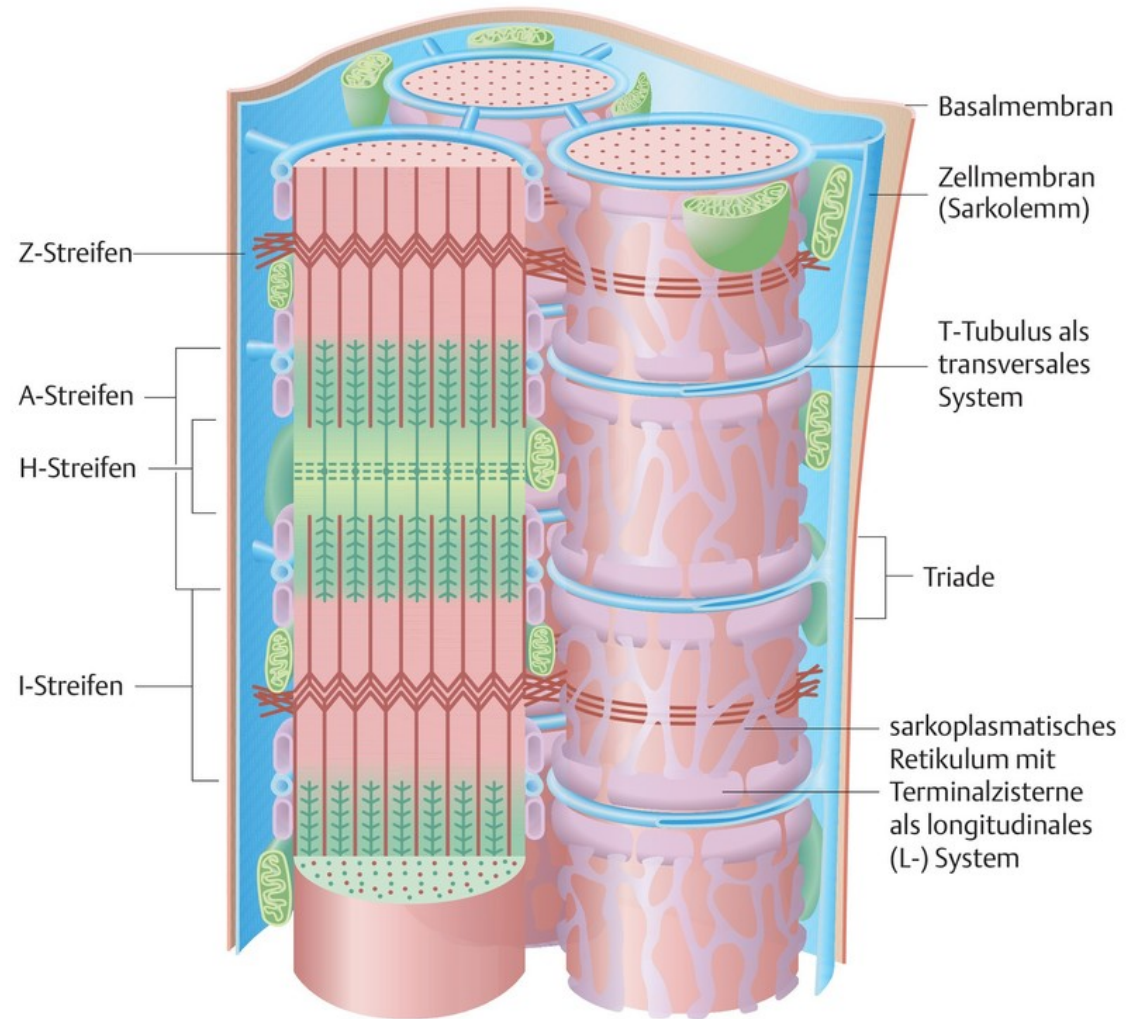
Sarkomer



Sarkomer



Muskelzelle



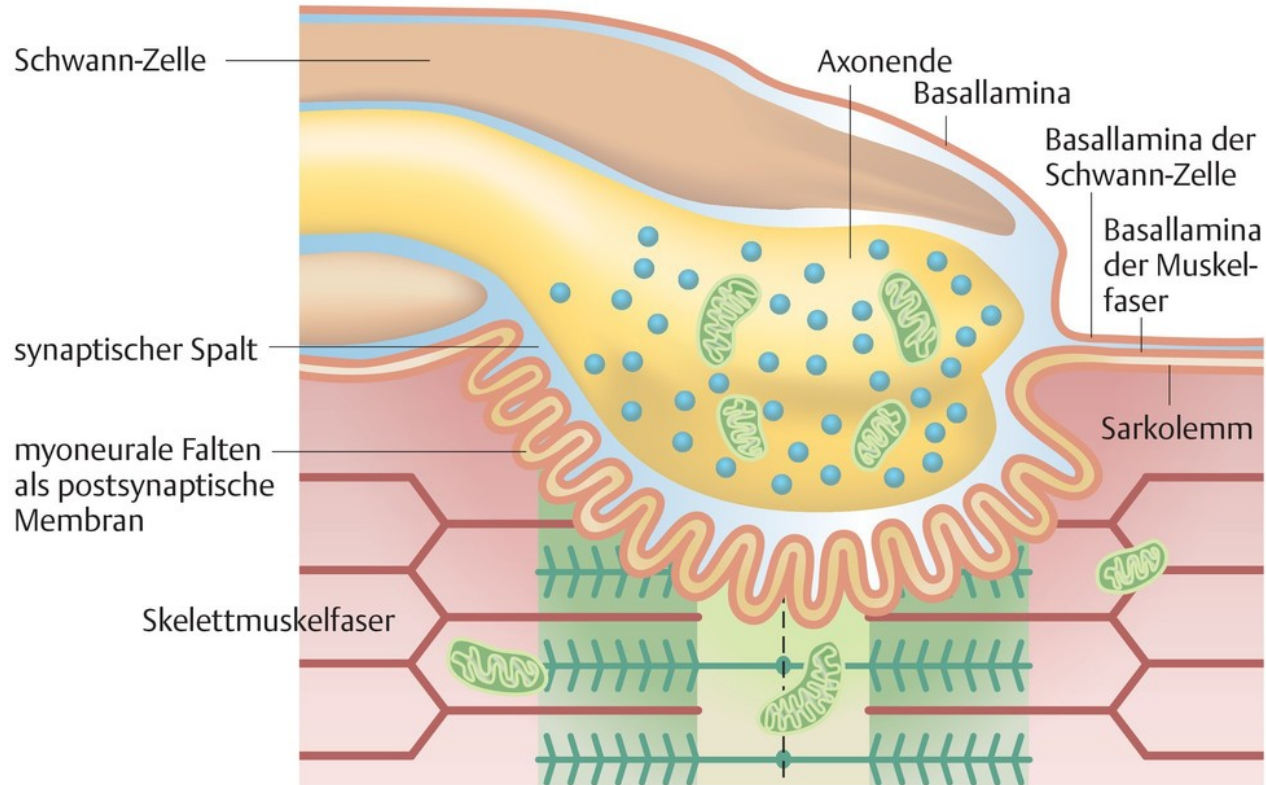
Innervation

- Jede Muskelfaser wird über eine **motorische Endplatte** von einem efferenten Nerv stimuliert
- Stimulation über **Acetylcholin**
- Bei Grobmotorik: Eine motorische Nervenzelle für bis zu 1000 Muskelfasern
- Bei Feinmotorik: Eine mot. Nervenzelle für etwa 5 Muskelfasern

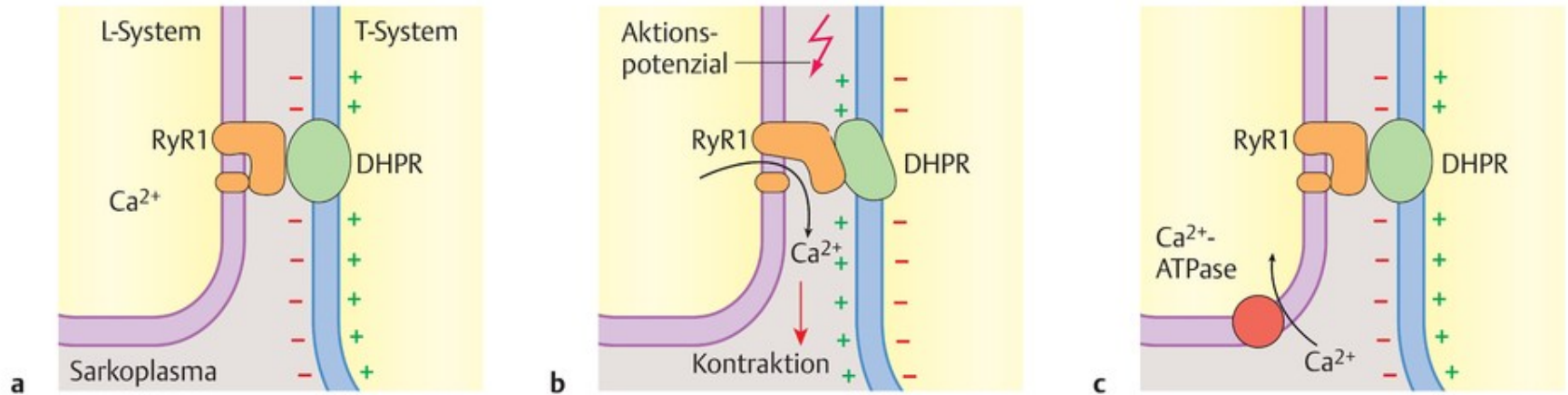
Kontraktion

- Bei Stimulation einer Muskelfaser wird **Kalzium** aus dem sarkoplastischen Retikulum **freigesetzt**
- Erregung setzt sich über Zisternen fort, Proteinstrukturen **öffnen sich** und es wird Kalzium frei
- Die Kontraktion endet wenn das Kalzium wieder aktiv in das sarkoplastische Retikulum zurücktransportiert wird (Ca^{2+} -ATPase)

Motorische Endplatte



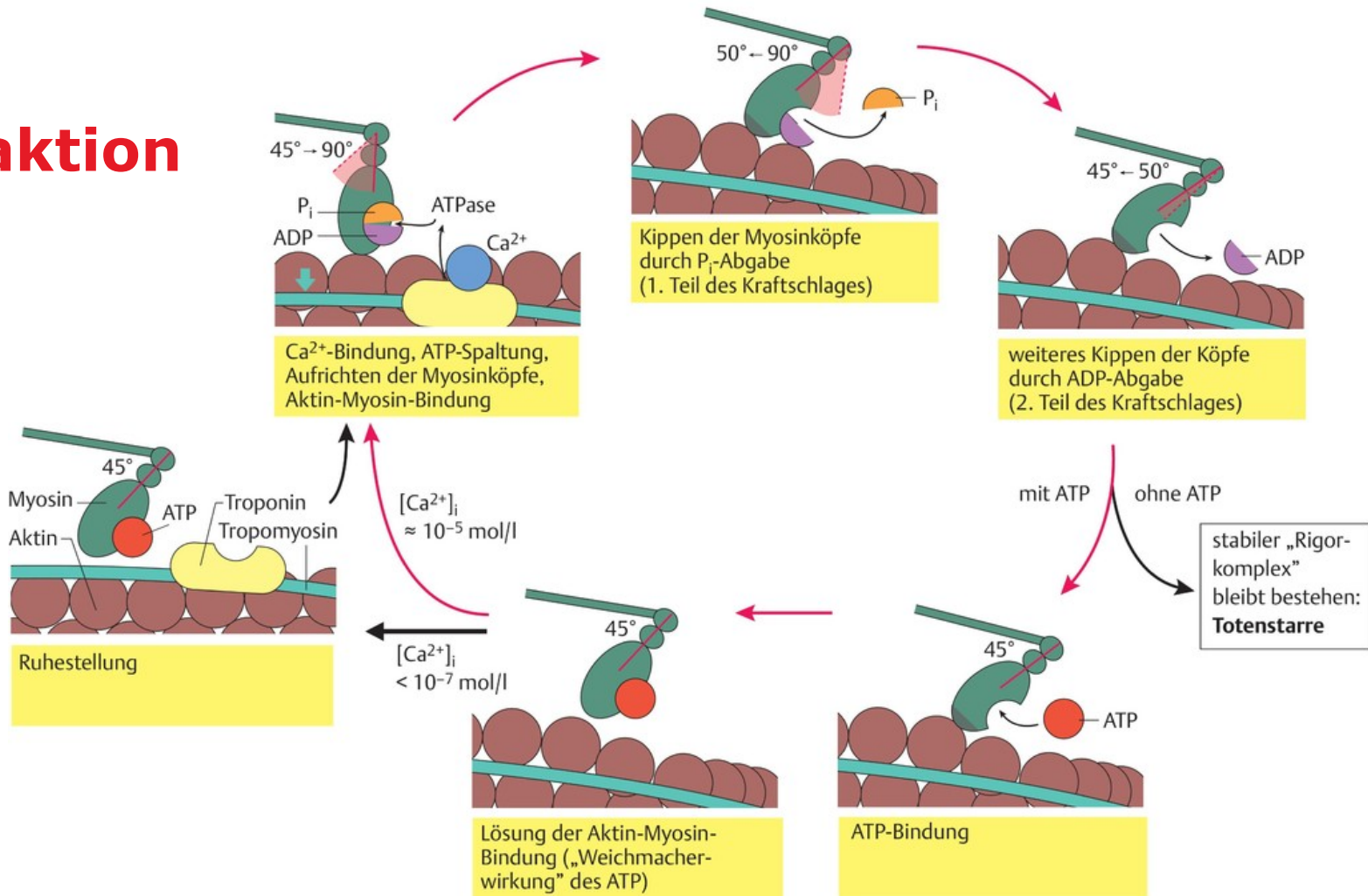
Erregung und Ca^{2+} Freisetzung



Kontraktion

- Das freigewordene Kalzium bindet an **Troponin** an den Aktinfilamenten und senkt es ab
- Troponin blockiert im Ruhezustand die Myosin-Bindungsstelle
- Myosin kann nun an das Aktin **binden**
- Durch Bindung von **ATP** löst sich diese Wechselwirkung
- Der Myosinkopf **gleitet** am Aktinfilament **entlang**
- Durch Spaltung und erneutes Anhaften von ATP entsteht ein Zyklus

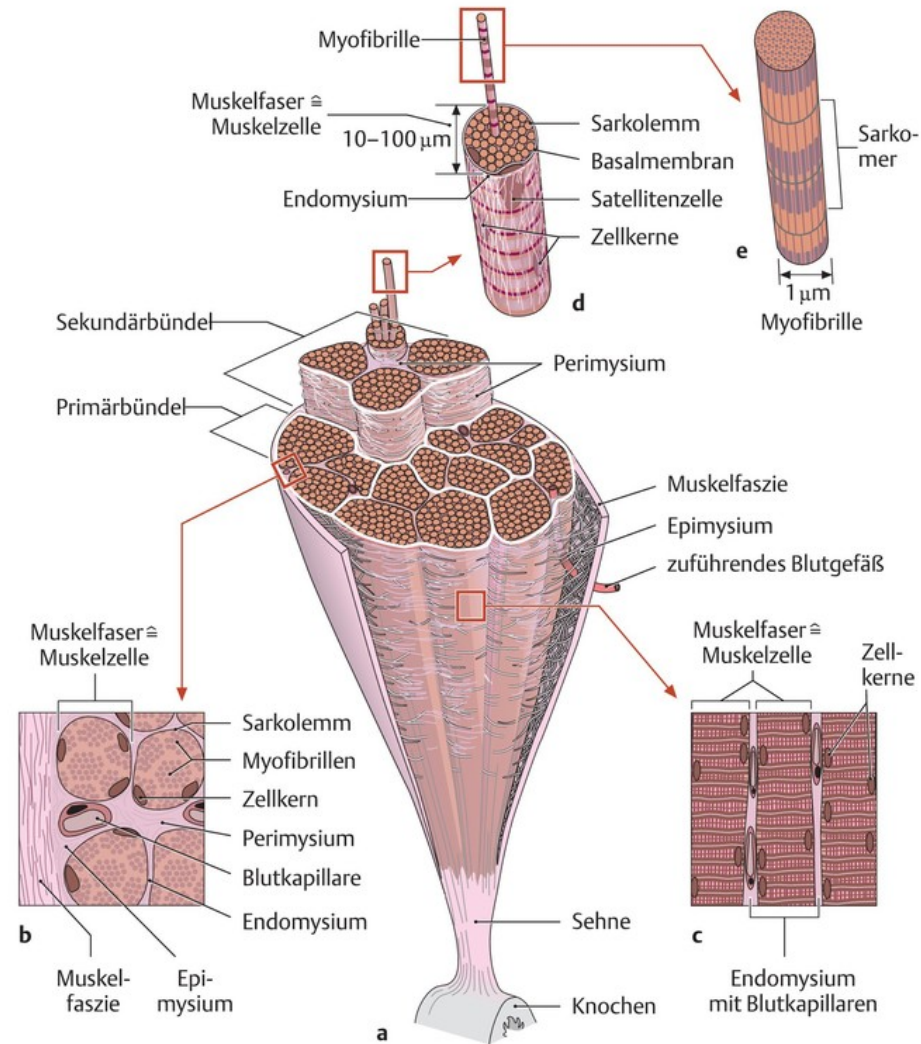
Kontraktion



Hüllsysteme und Bündel

- Muskelfasern lagern sich zu **Muskelbündeln** zusammen
- Viele Bündel ergeben einen Muskel
- Sind jeweils von **bindegewebigen Hüllen** umgeben
- Es bilden sich:
 - **Primärbündel**: Mehrere Muskelfasern, umgeben vom Perimysium internum
 - **Sekundärbündel**: Mehrere Primärbündel, umgeben vom Perimysium externum
 - **Tertiärbündel**: Mehrere Sekundärbündel, umgeben vom Epimysium als Teil der Muskelfaszie

Hüllsysteme und Bündel



Muskel

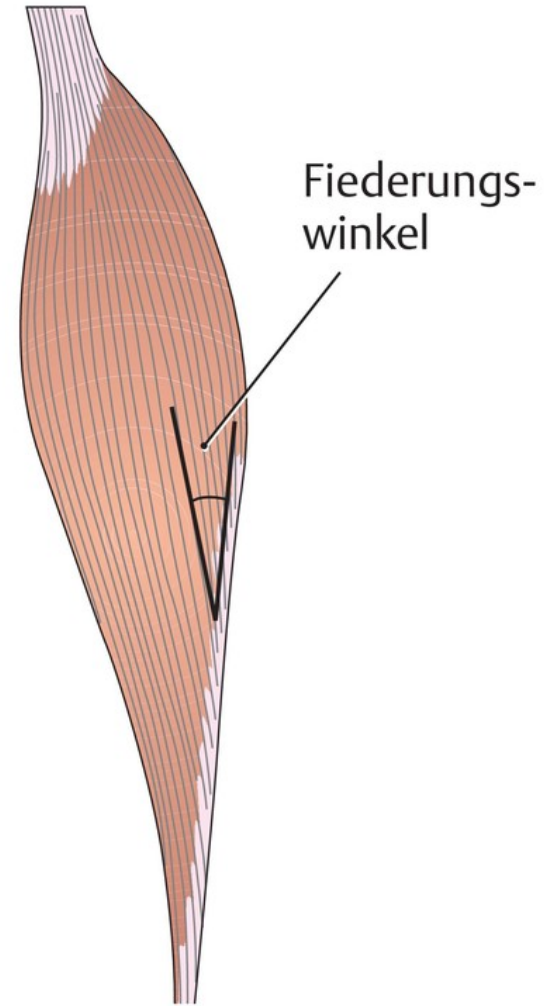
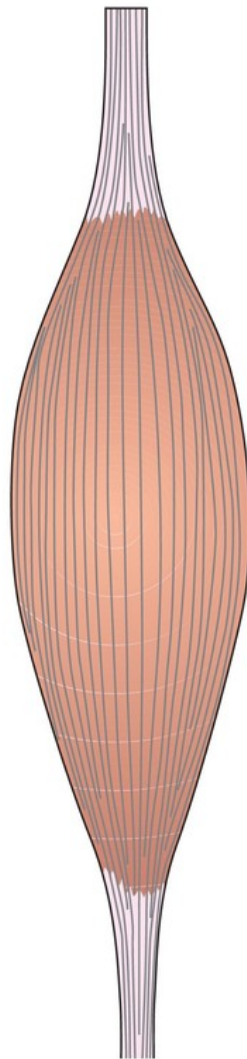
- Ein Muskel besteht aus **Muskelbauch**, der in **Sehnen** übergeht
- Man unterscheidet **Ursprungs-** und **Ansatzsehne**
- Sehnen sind fest am **Periost** verankert
- Bei der Kontraktion verkürzt sich der Muskel und Spannt die Sehnen

Muskeltypen

- Grob unterscheidet man:
- **Parallelfaserige Muskeln**
 - Muskelfasern verlaufen **parallel** in Zugrichtung der Sehne
 - Wenig kraftvolle Bewegung z.B. Mm. intercostales
- **Gefiederte Muskeln**
 - Muskelfasern stehen in einem gewissen **Winkel** zu der Ansatzsehne
 - So können mehr Muskelfasern auf einmal Zug ausüben

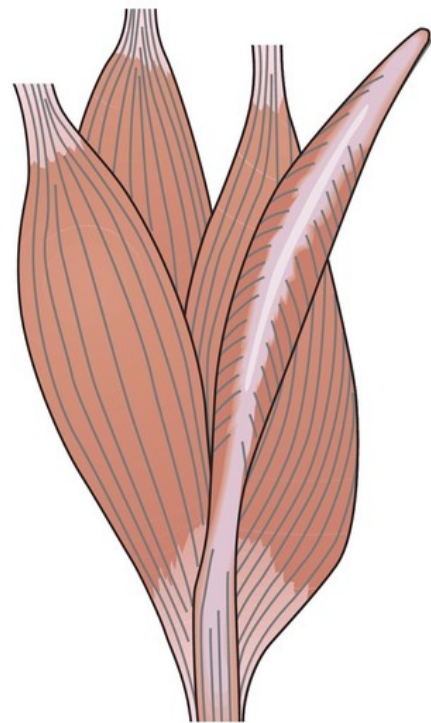
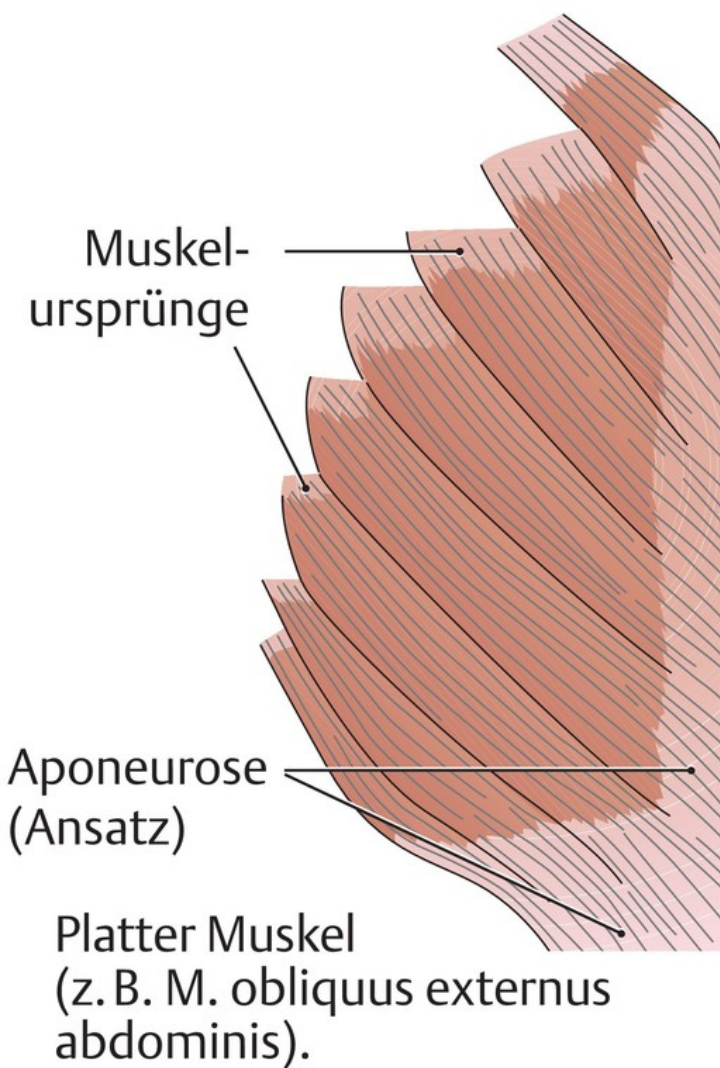
Muskeltypen

Links: Parallel
Rechts: Gefiedert

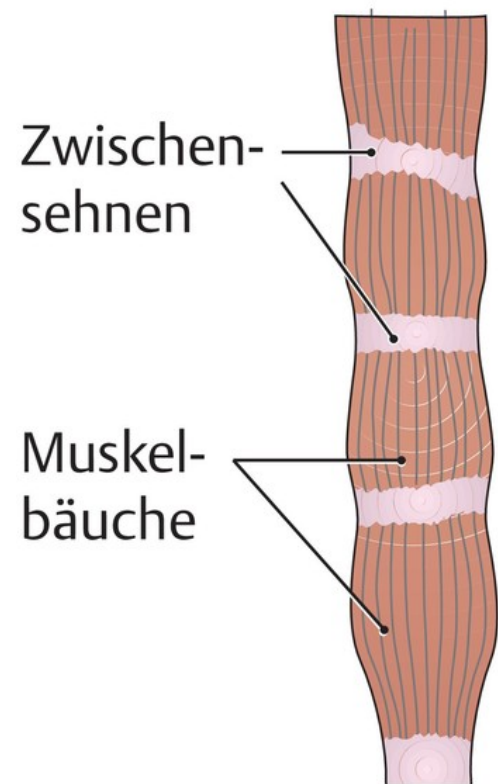


Muskelformen

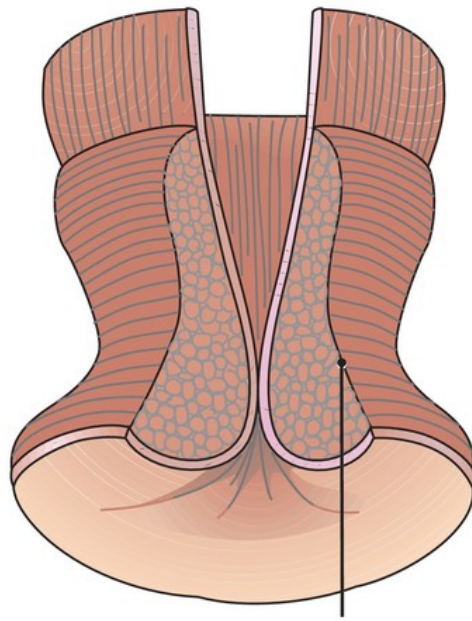
- Man unterscheidet:
- **Platter Muskel**
 - Bauch- und Rückenmuskulatur
- **Spindelförmiger Muskel**
 - Muskelbauch geht verjüngt in die Sehne über (M. Brachioradialis)
- **Mehrköpfige Muskeln**
 - M. triceps brachii, M. biceps brachii, M. quadriceps femoris
- **Mehrbäuchige Muskeln**
 - Geteilt durch Zwischensehnen (M. rectus abdominis)
- **Ringförmiger Muskel**
 - M. sphincter ani externus



Vierköpfiger
Muskel (z. B.
M. quadriceps
femoris).



Mehrbäuchiger
Muskel (z. B.
M. rectus abdominis)



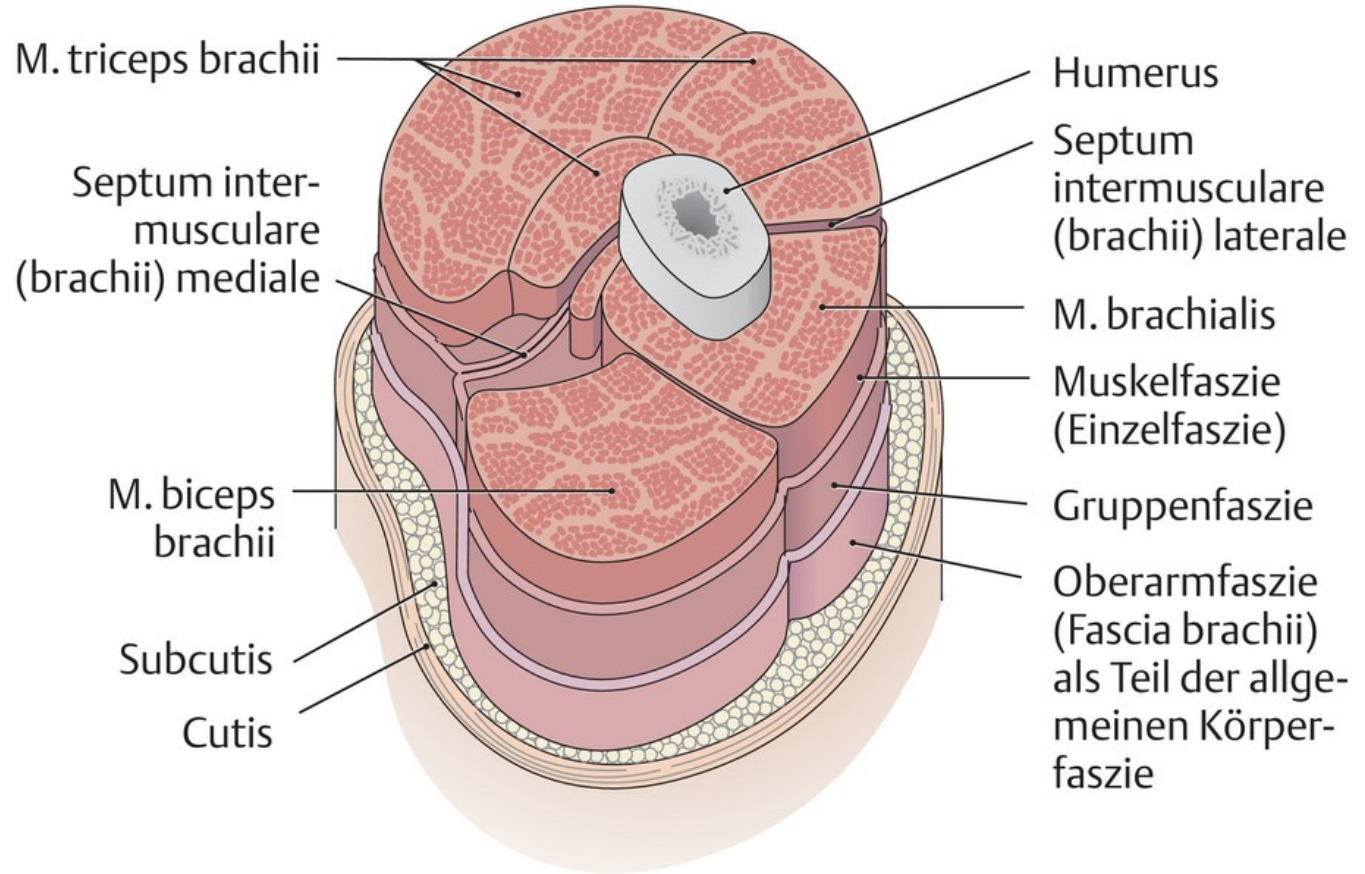
Schnittfläche des
ringförmig ange-
ordneten Muskels

Ringförmiger Schließ-
muskel (z. B. M. sphincter
ani externus).

Faszie

- Äußerste Schicht des Hüllsystems
- Umgibt einen **Muskel** oder **Muskelgruppen**
- Grenzen Muskeln von der Umgebung oder gegeneinander ab
- Man unterscheidet:
 - **Einzelfaszie**
 - Umgibt einen einzelnen Muskel
 - **Gruppenfaszie**
 - Umgibt Muskelgruppen
 - **Körperfaszie**
 - Umgibt die **gesamte** muskuläre Oberfläche des Menschen (Außer einige Gesichtsregionen)

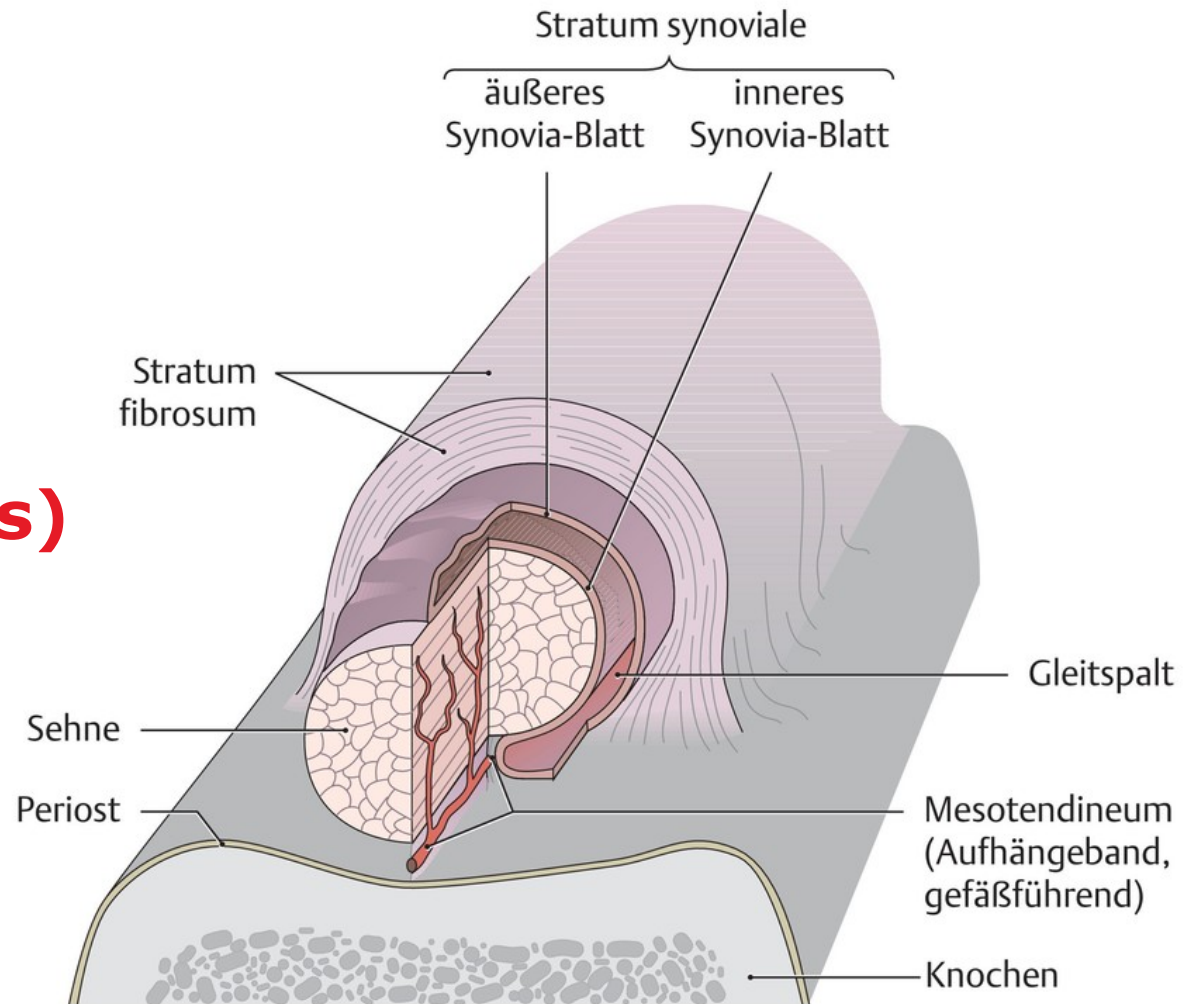
Faszien



Sehnenscheide (Vagina tendinis)

- Führungskanäle für Sehnen
- Verbessern die **Gleitfähigkeit** langer Sehnen
- Besitzen einen ähnlichen Aufbau wie Gelenkkapseln:
- **Stratum fibrosum**
 - Ist fest mit dem Periost verbunden
- **Stratum synoviale**
 - Umschließt den mit Synovia gefüllten Raum
 - Faltet sich in **viszerales** und **parietales** Blatt
 - Dazwischen befindet sich der **Gleitspalt**

Sehnenscheide (Vagina tendinis)



Kraftentfaltung eines Muskels

