

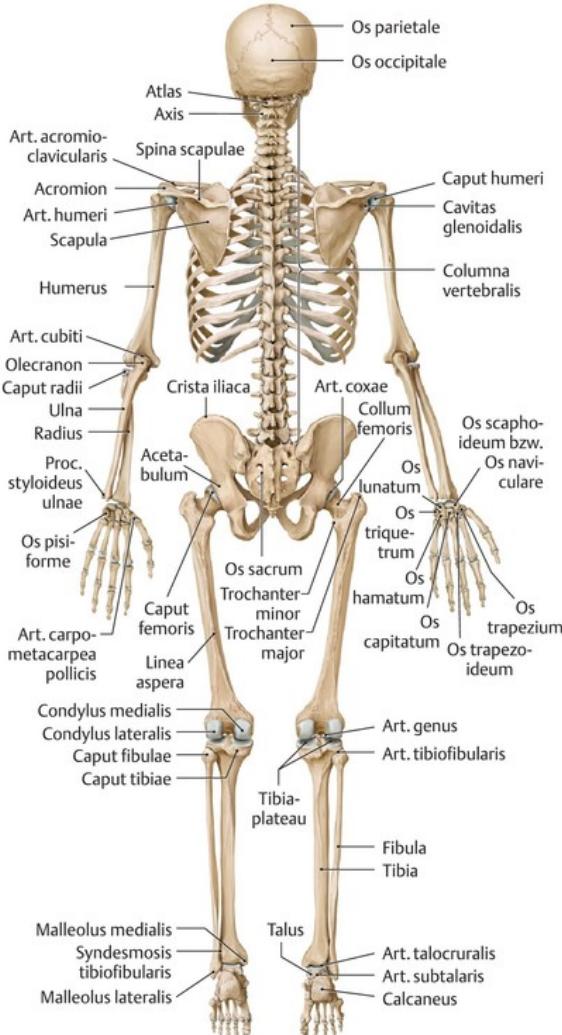
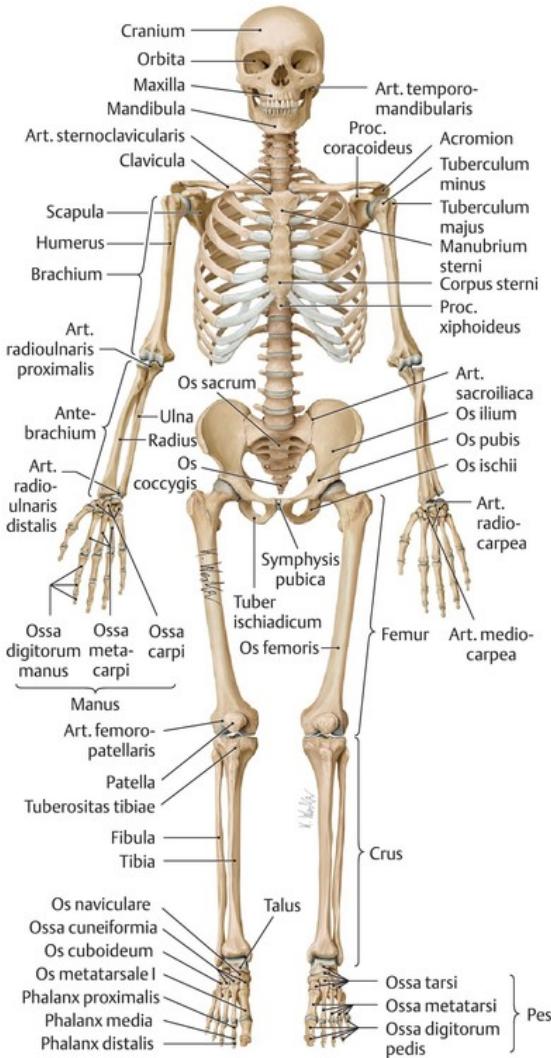
# Stütz- und Bewegungssystem



# 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

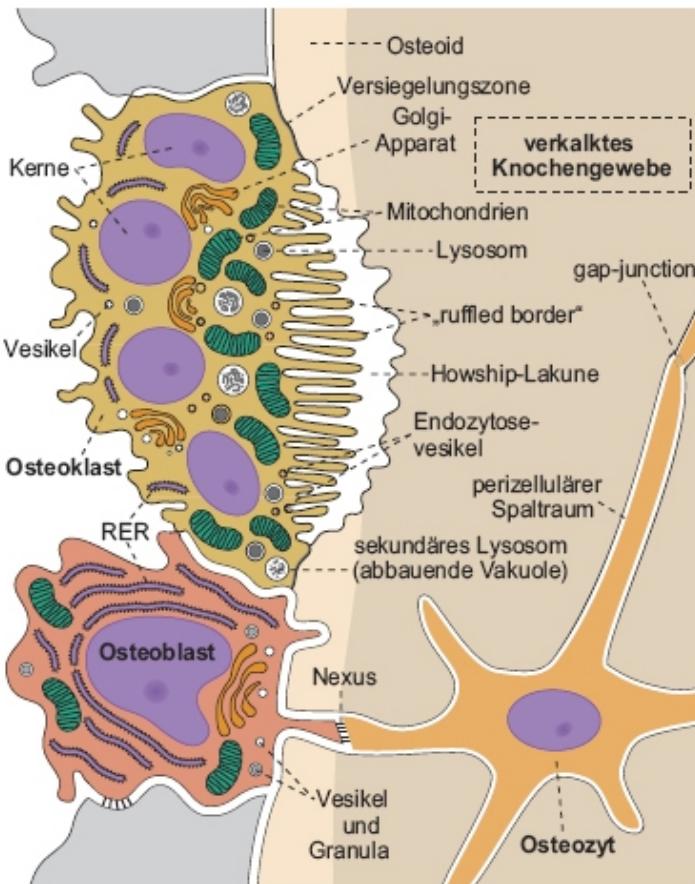


Abb. 3.2.35 Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten (Schema). Der Raum unter den Osteoklasten wird Howship-Lakune oder subosteoklastisches Kompartiment genannt.

# Knochengrundsubstanz

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

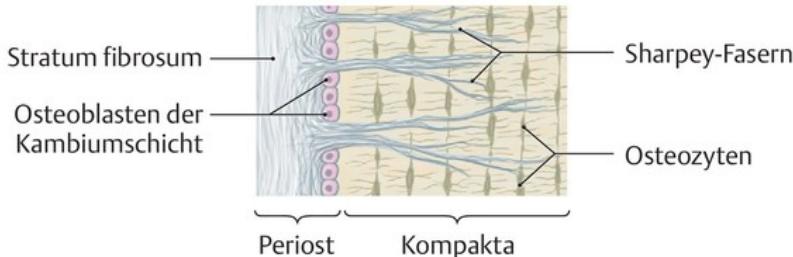
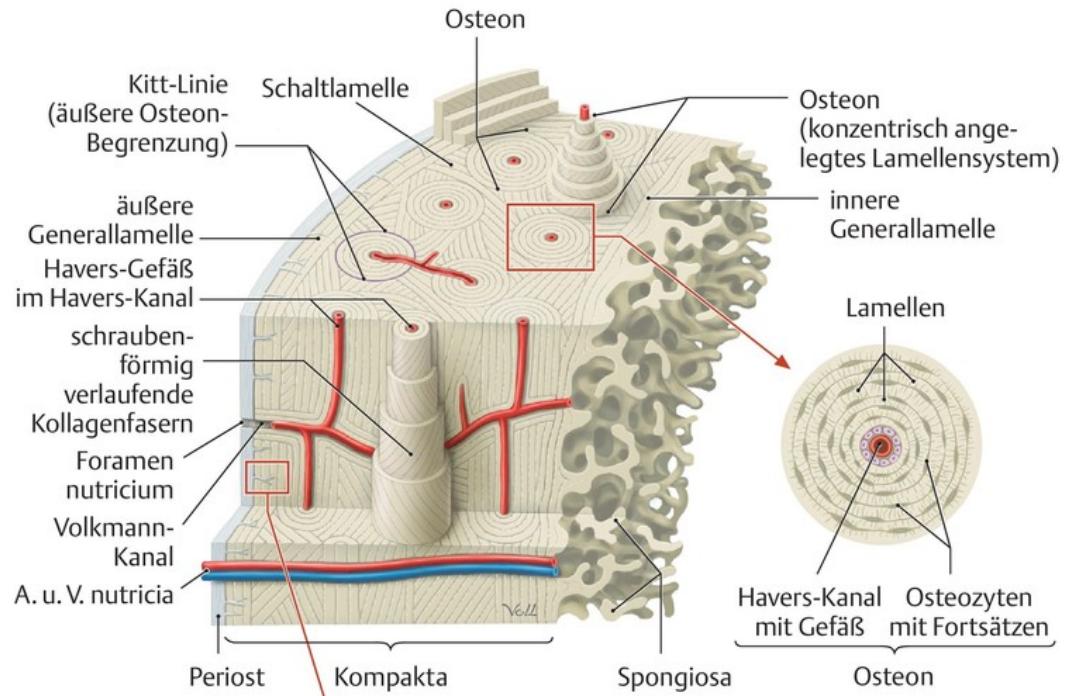
# Knochengewebe

- Man unterscheidet:
- Geflecktknochen:
  - **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 Geflecktknochen (auch Frakturheilung)
  - Stützfunktion wird erfüllt
  - Besteht aus regelmäßigen Elementen

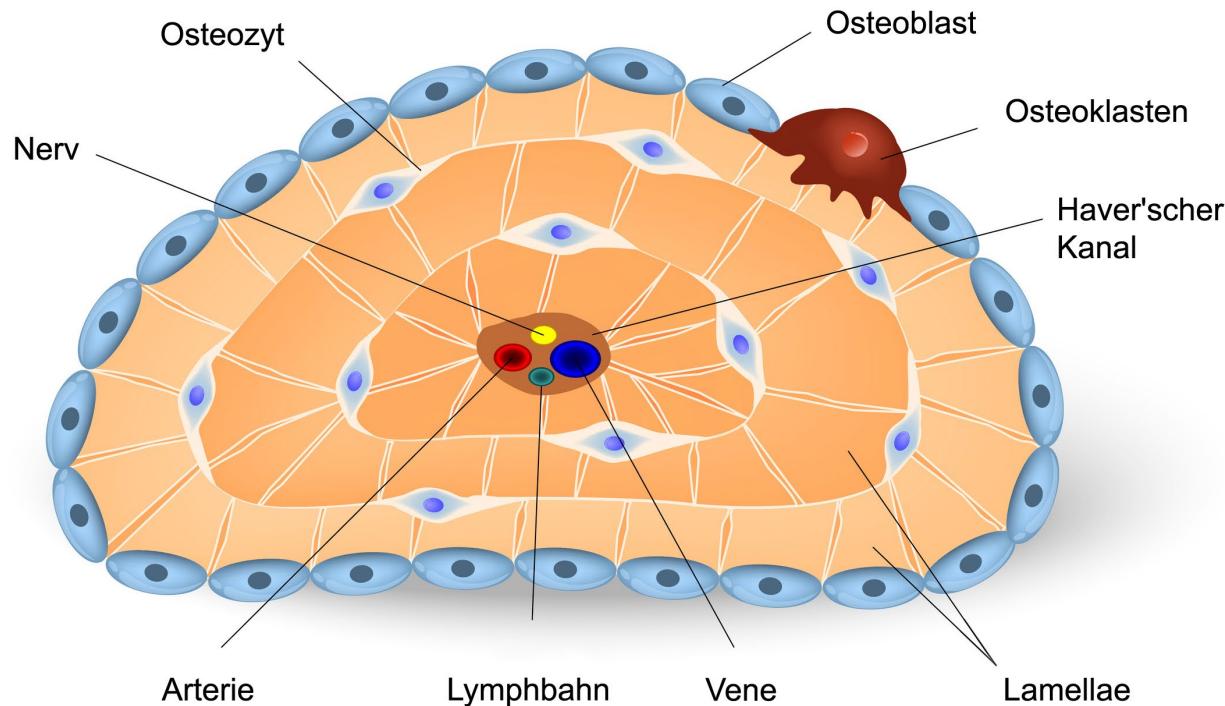
# Lamellenknochen

- 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)

# Lamellenknochen



# 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

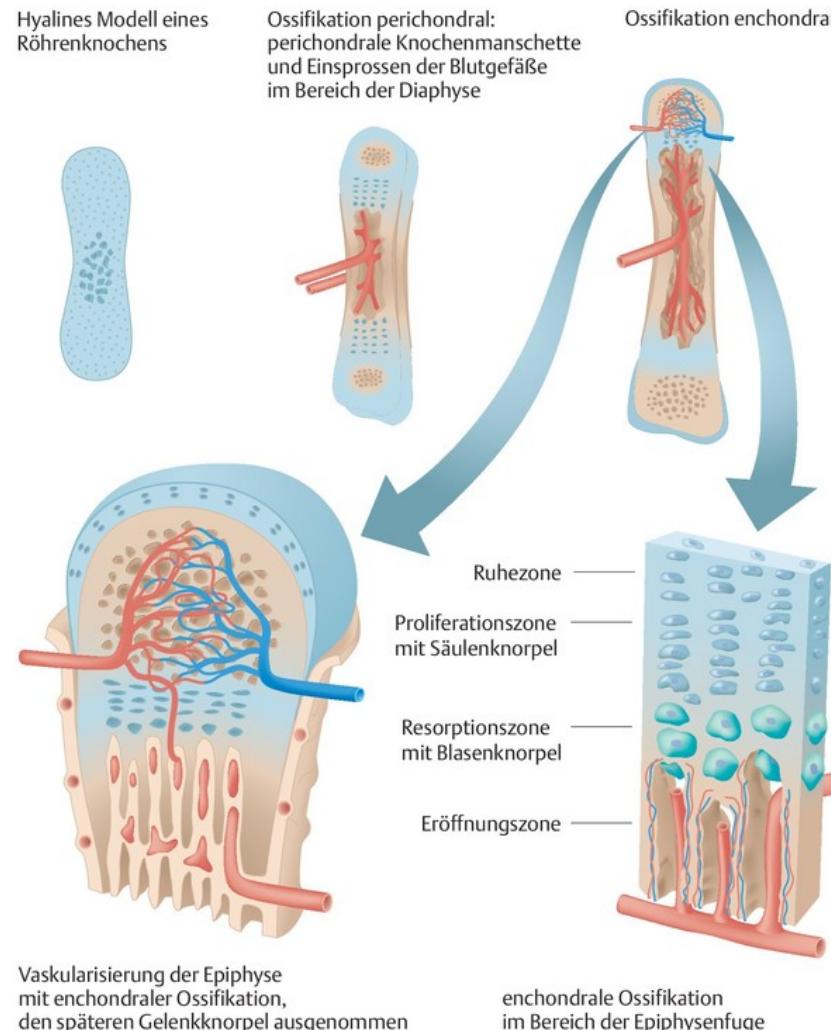
# Desmale Osteogenese (Ossifikation)

- 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 Knochen 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. Chondroblasten, 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 äußereren Form:
  - Röhrenknochen (**Ossa longa**)
  - Kurze Knochen (**Ossa brevia**)
  - Platte Knochen(**Ossa plana**)
  - Luftgefüllte Knochen (**Ossa pneumatica**)
  - Unregelmäßige Knochen (**Ossa irregularia**)
  - Sesambeine (**Ossa sesamoidea**)

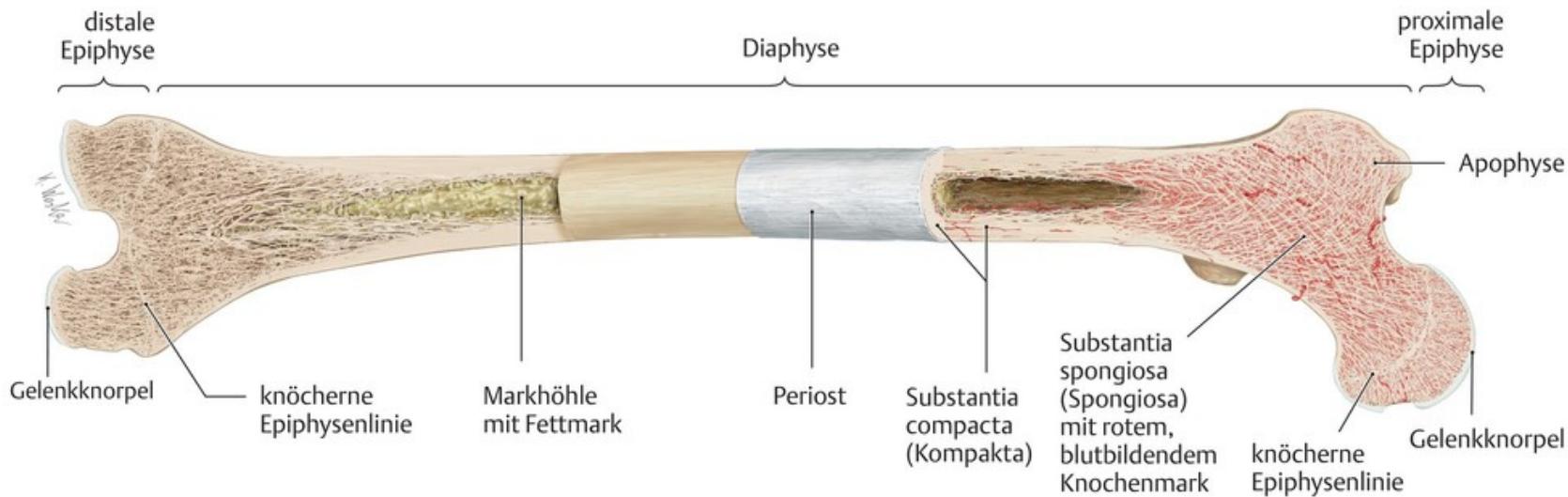
# Röhrenknochen (Ossa longa)

- 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)

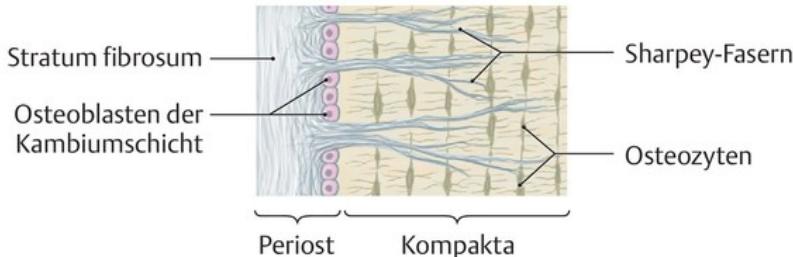
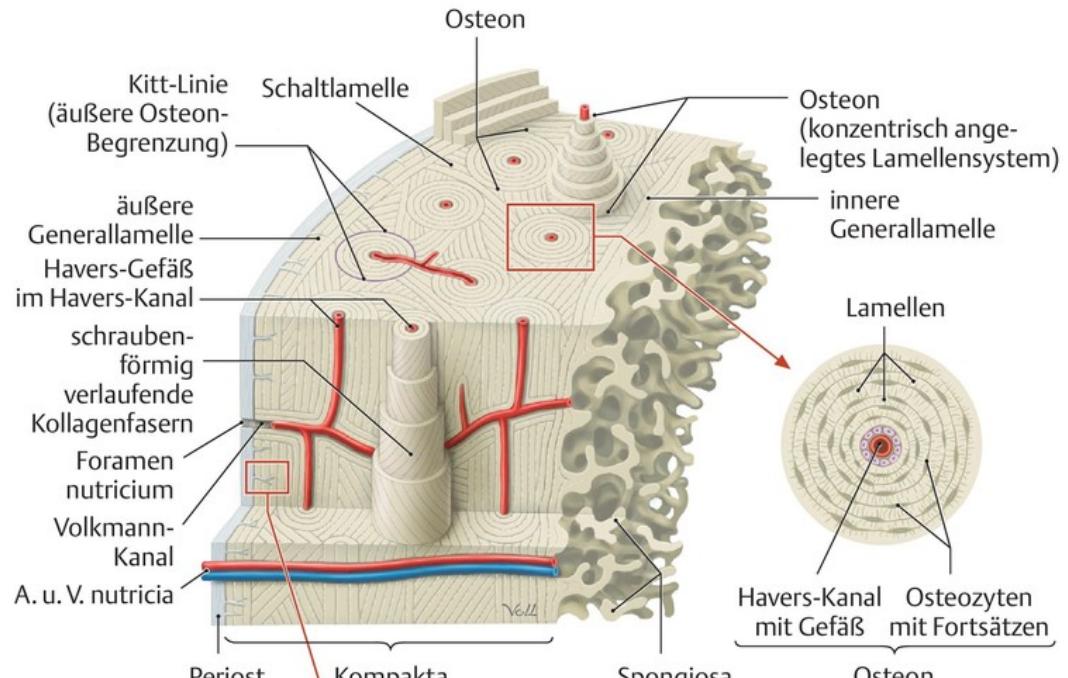
# Knochenmark (Medulla ossium)

- 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**)

# Lamellenknochen



# Knochenverbindungen (Juncturae)

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

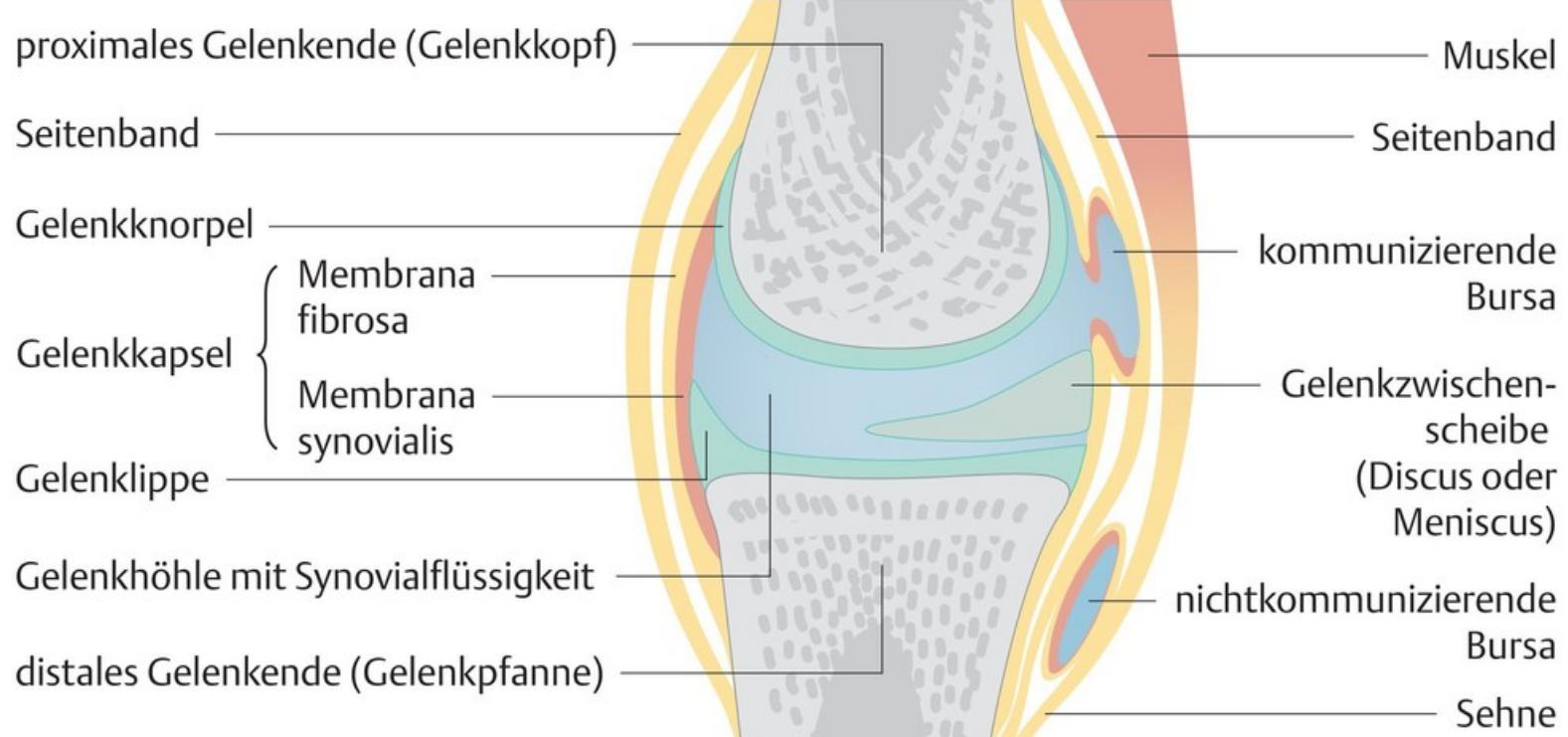
# Synarthrose

- 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



# Gelenkknorpel

- 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 sickel- oder kreisförmige Scheiben
  - Überlagern die Gelenkfläche im **Randbereich**

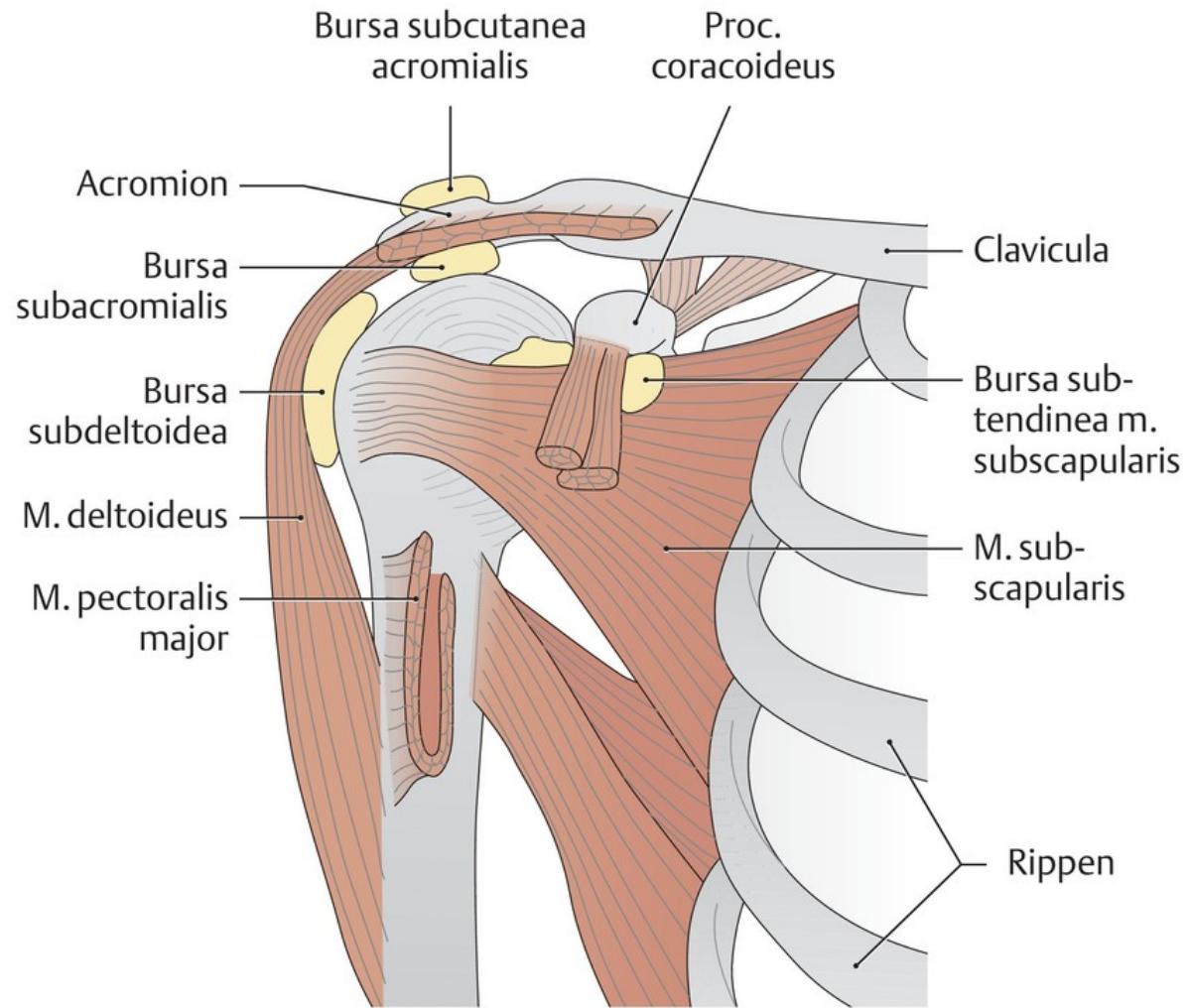
# Pfannenlippe (Labrum articulare)

- 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)

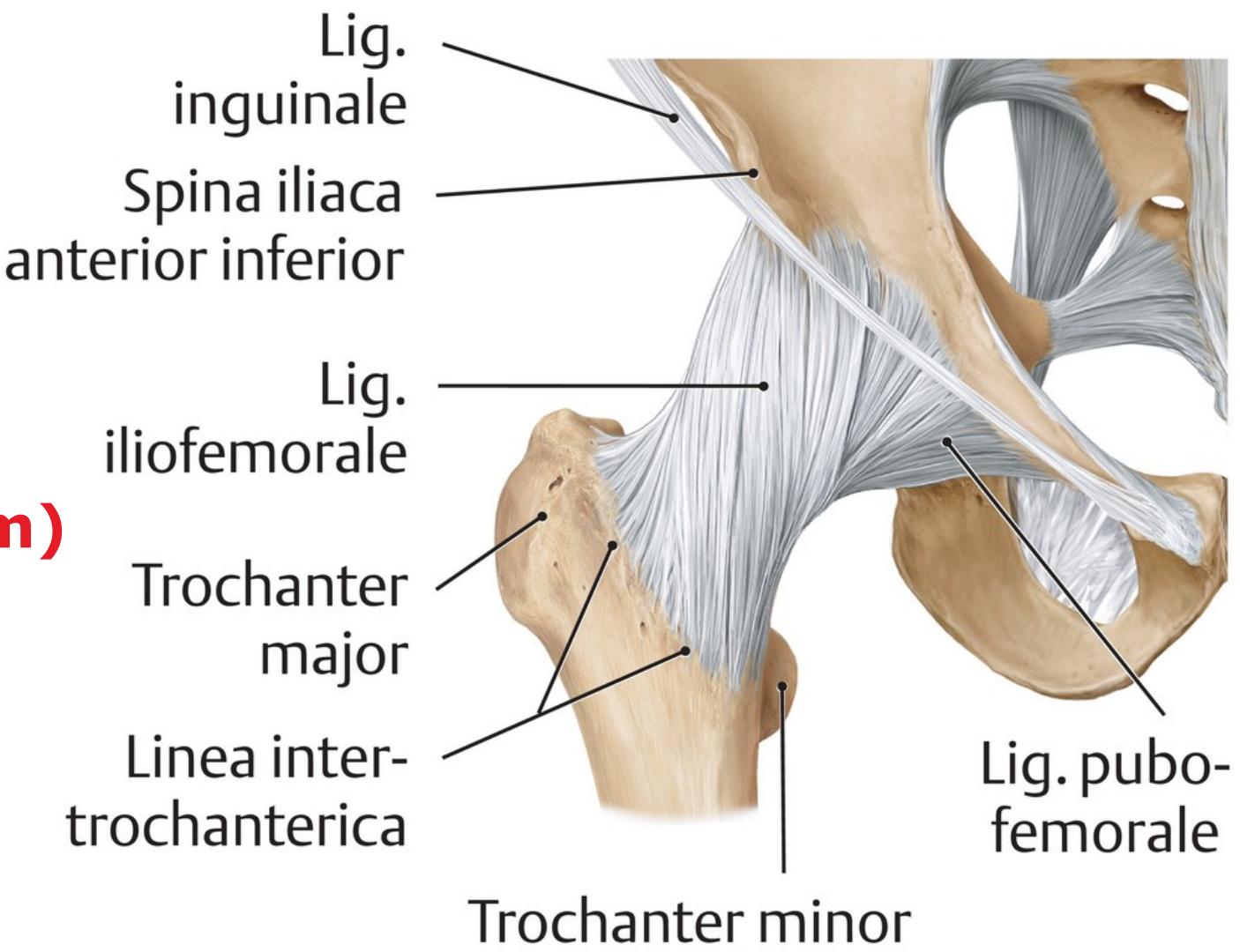
# Schleimbeutel (Bursae synoviales)



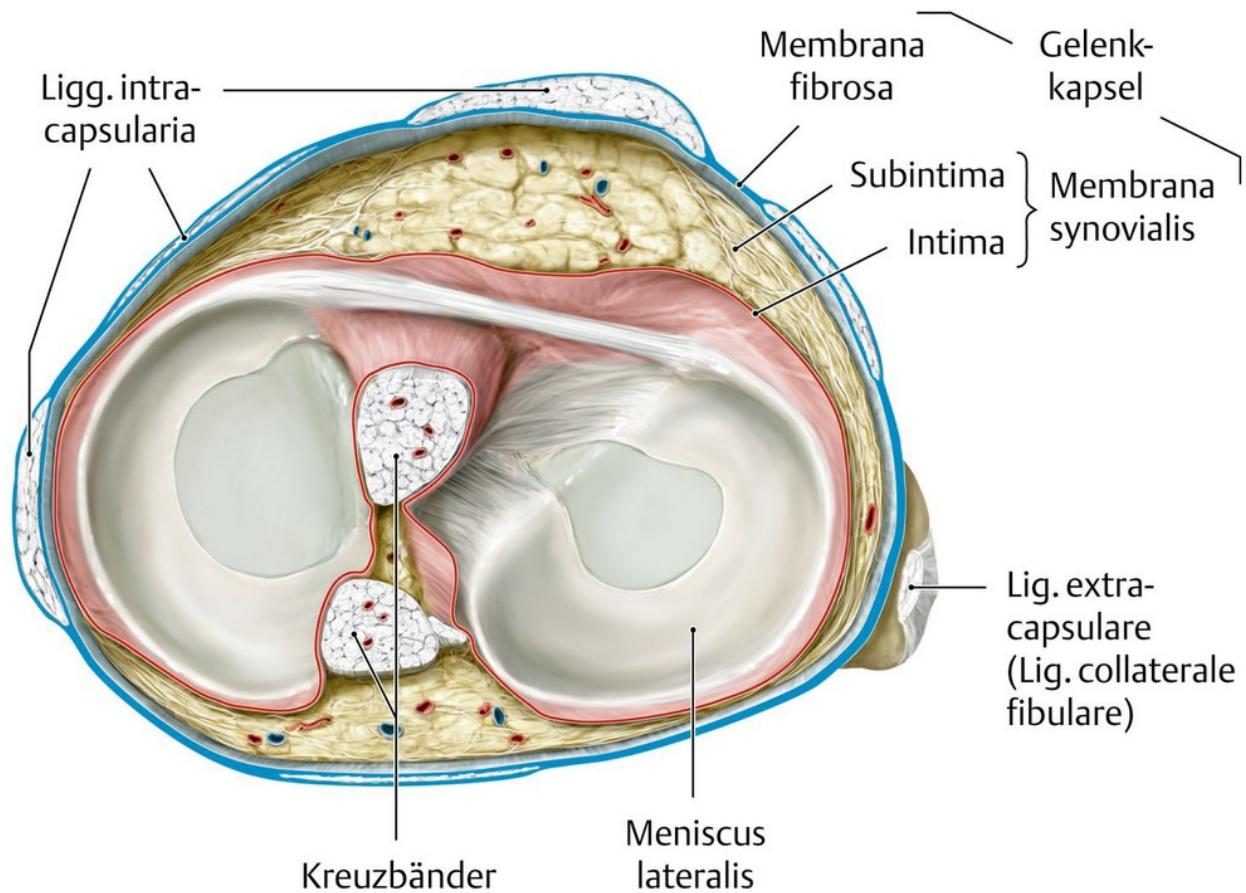
# **Band (Ligamentum)**

- 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)

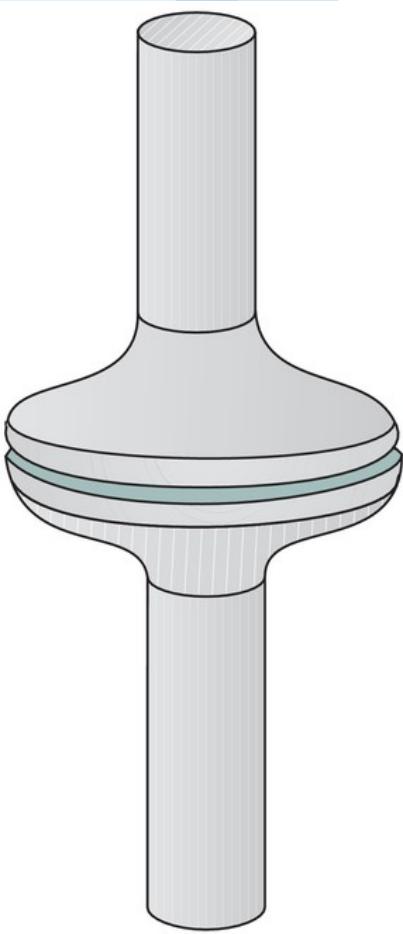


# Band (Ligamentum)

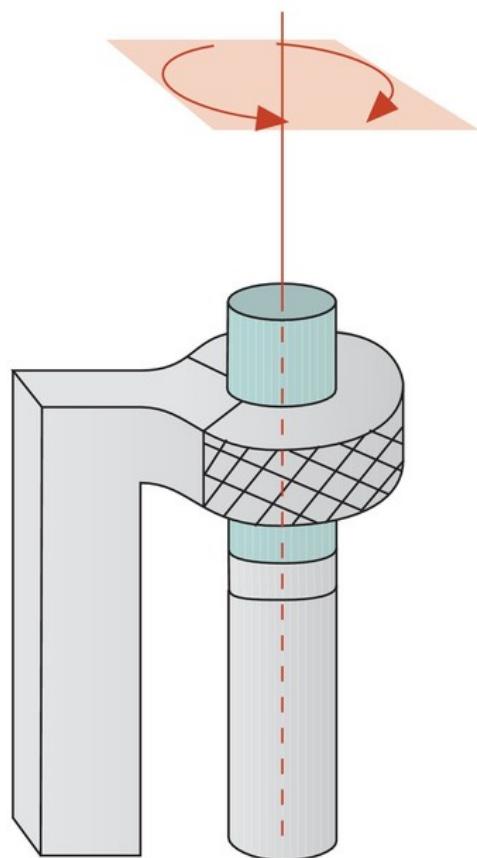


# Einteilung der Gelenke

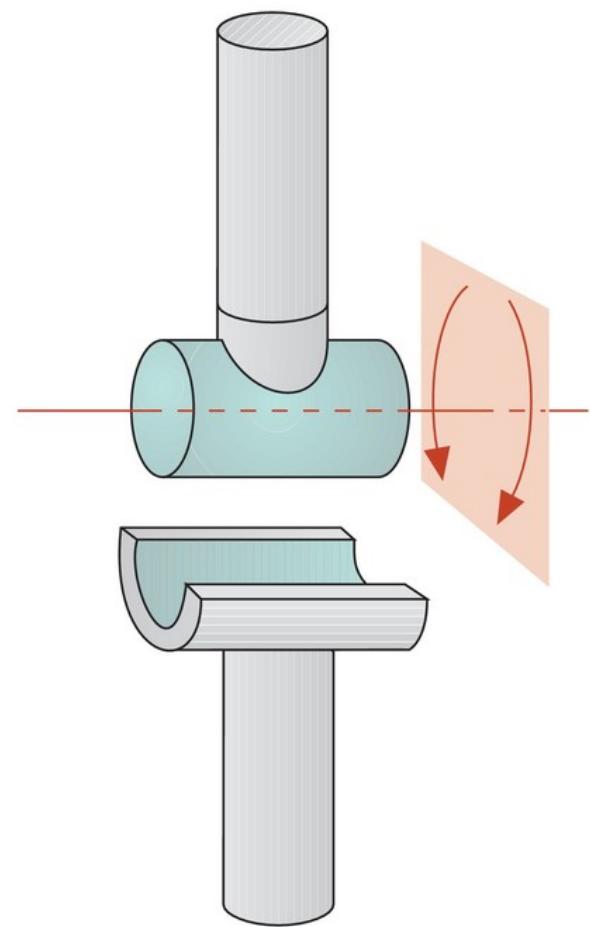
- Gelenke lassen sich nach Bewegungsachsen und Form einteilen:
- **Einachsige Gelenke**
  - Scharniergelenk (Oberes Sprunggelenk)
  - Rad- oder Zapfengelenk (Art.radioulnaris proximalis)
- **Zweiachsige Gelenke**
  - Eigelenk (Art. atlantooccipitalis)
  - Sattelgelenk (Daumengrundgelenk)
  - Kondylengelenk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



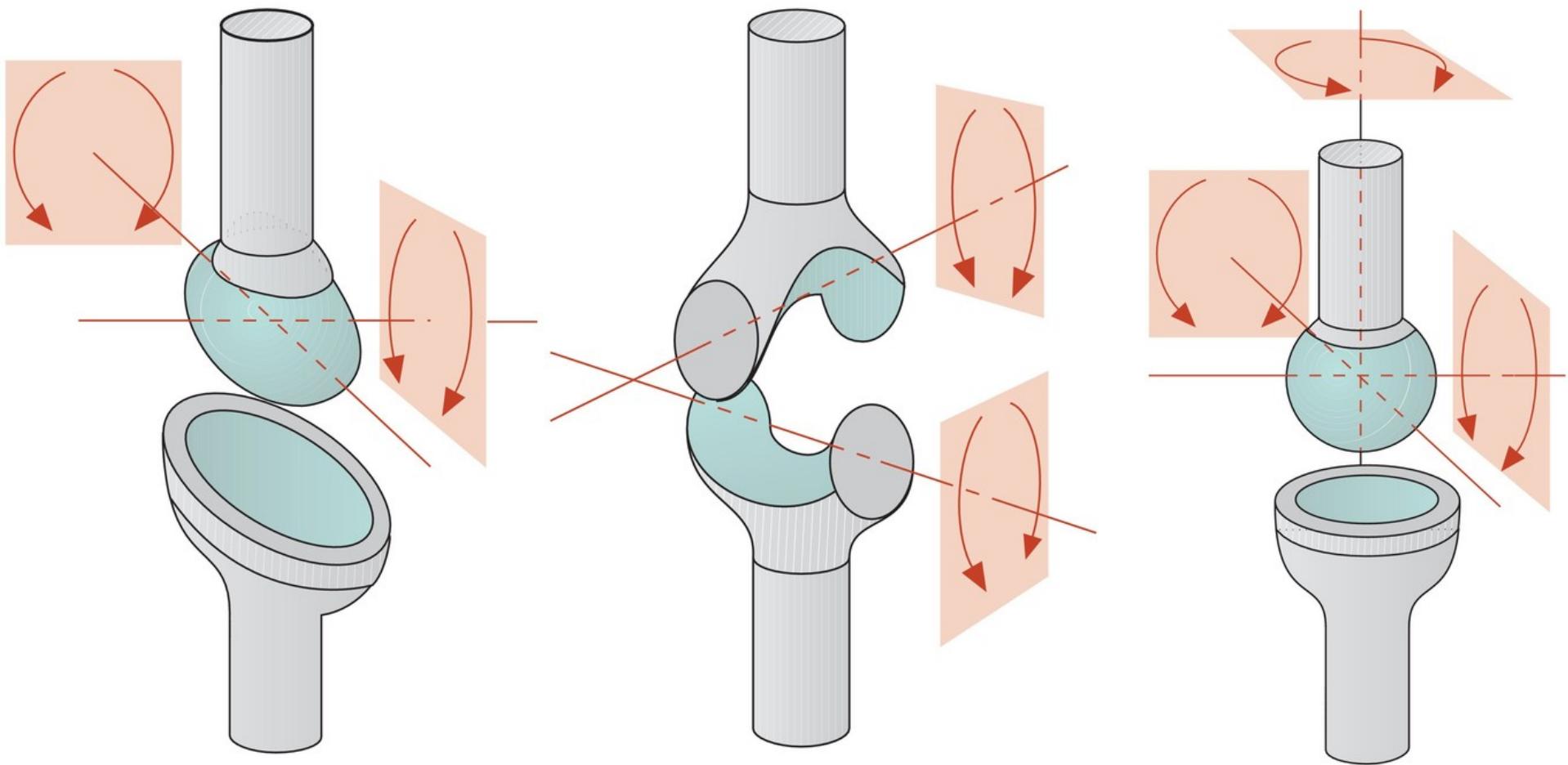
Planes Gelenk



Rad- oder  
Zapfengelenk



Scharniergelenk



Eigelenk

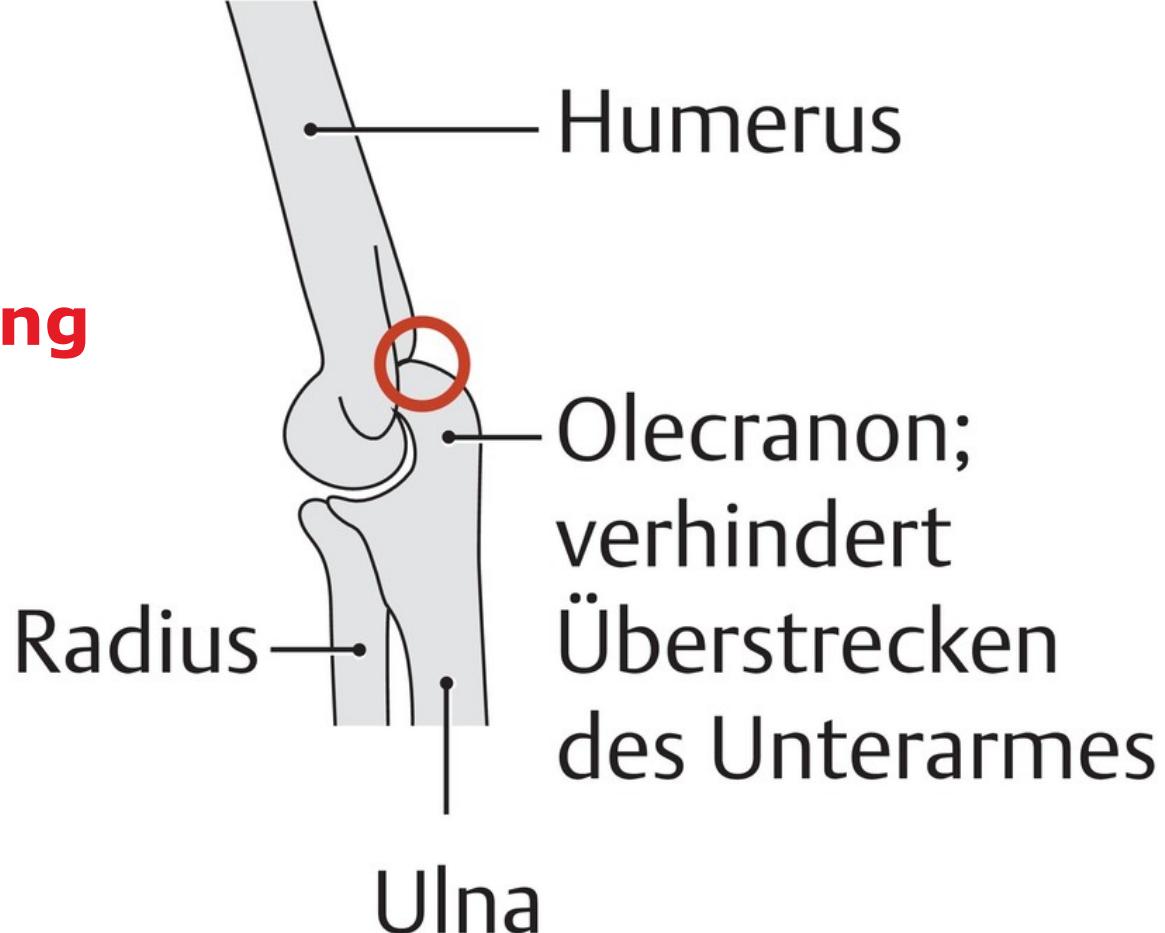
Sattelgelenk

Kugelgelenk

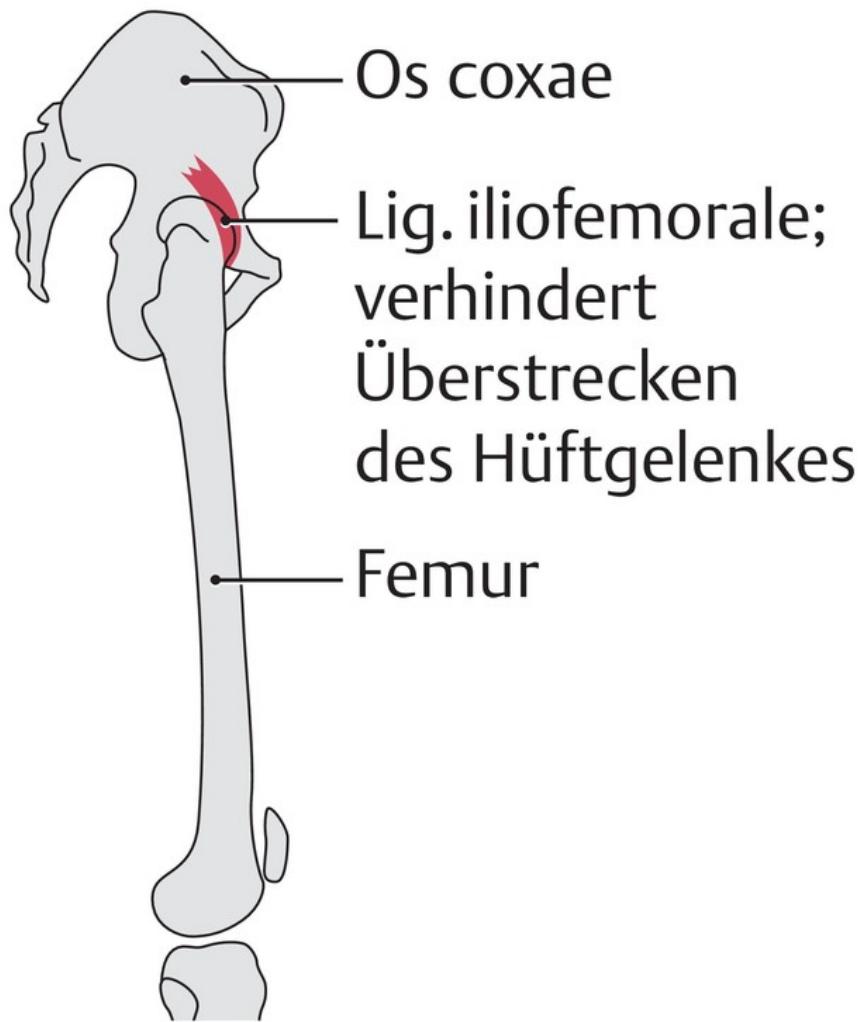
# Gelenkhemmung

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

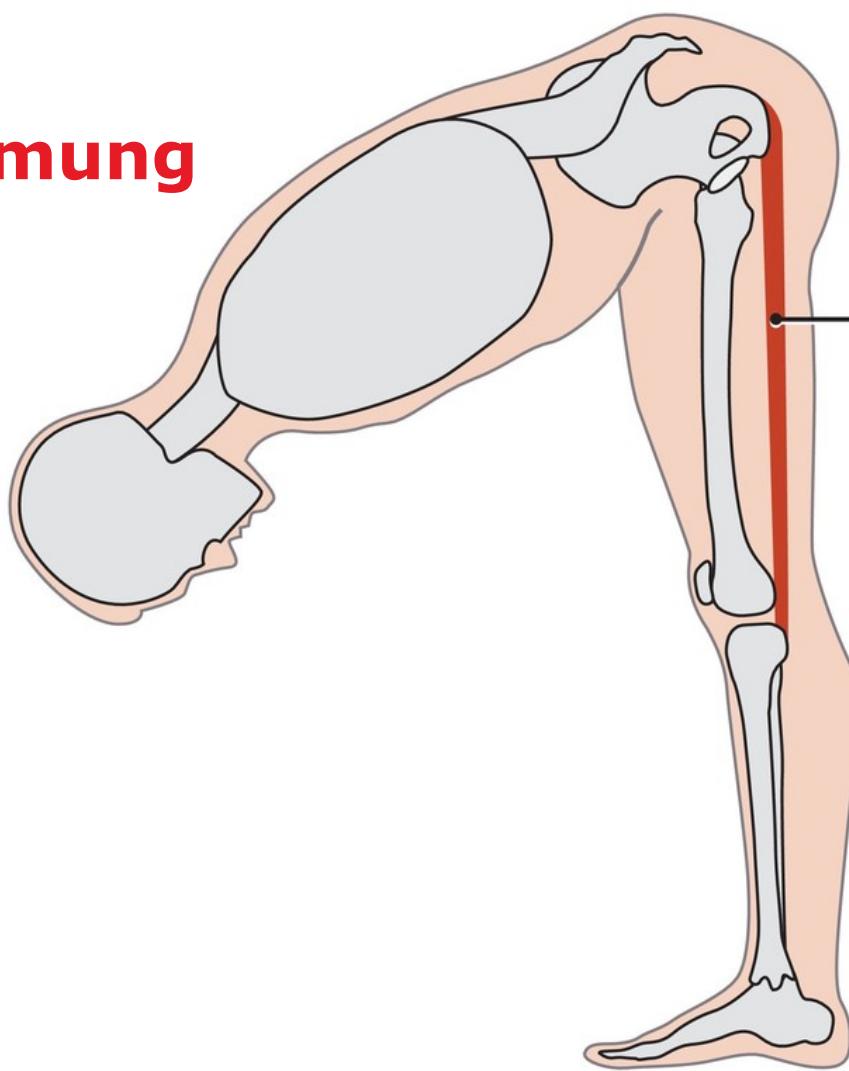
## Knochenhemmung



## Bandhemmung

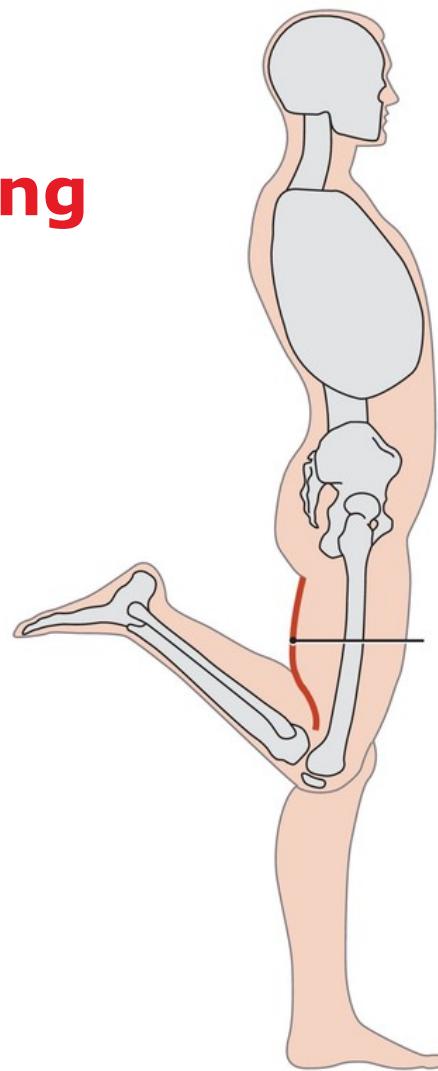


## Muskelhemmung



ischiokrurale  
Muskulatur;  
verhindert  
maximale  
Flexion im  
Hüftgelenk

# Weichteilhemmung



Weichteilmantel  
des Oberschenkels;  
verhindert maximale  
Flexion im Kniegelenk

# 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

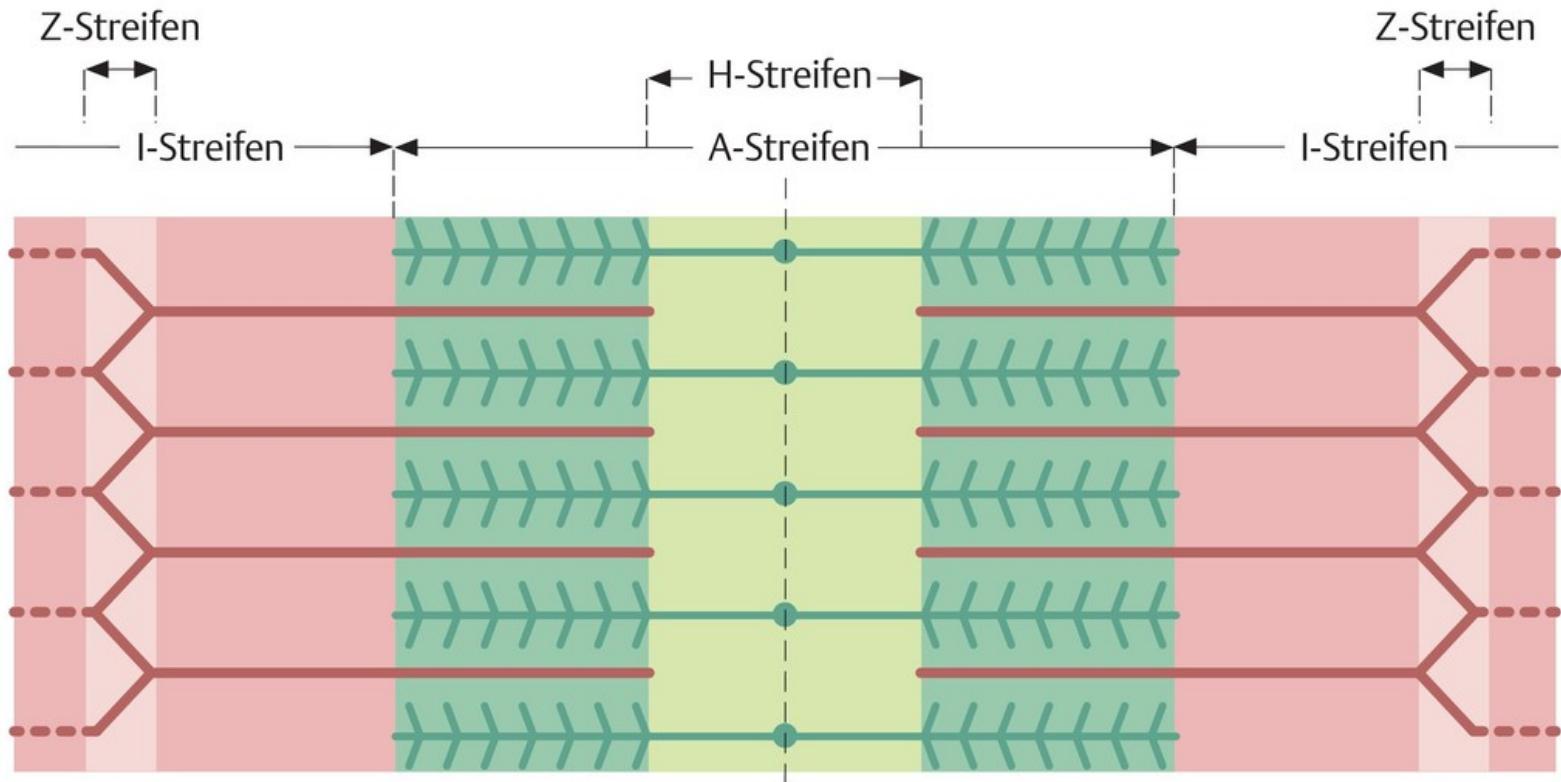
- Aktin und Myosin interagieren zusammen mit Kalzium und ermöglichen **Kontraktion**
- Zytologische Strukturen werden in der Muskelzelle **anders** bezeichnet

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

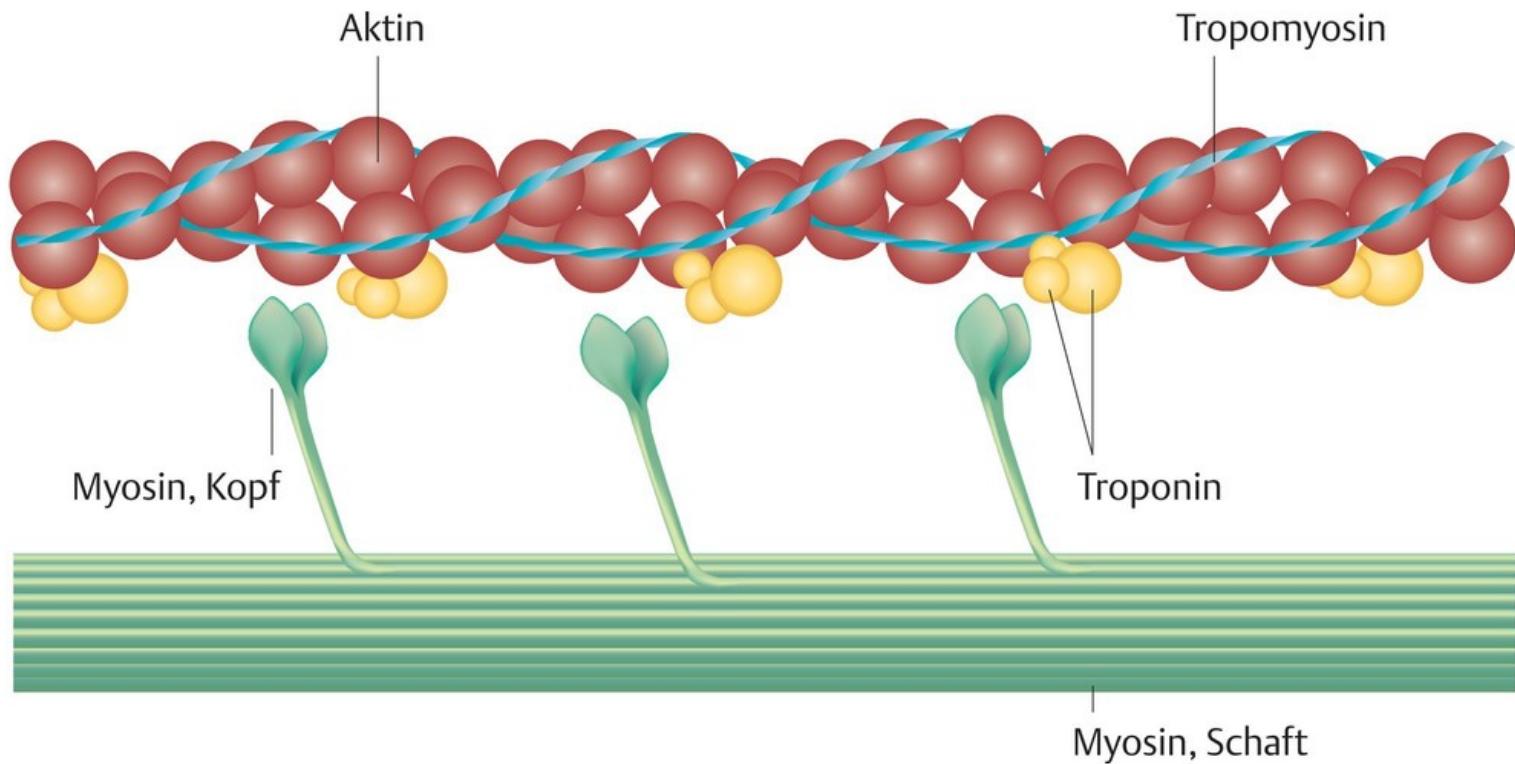
# Muskelzelle

- 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

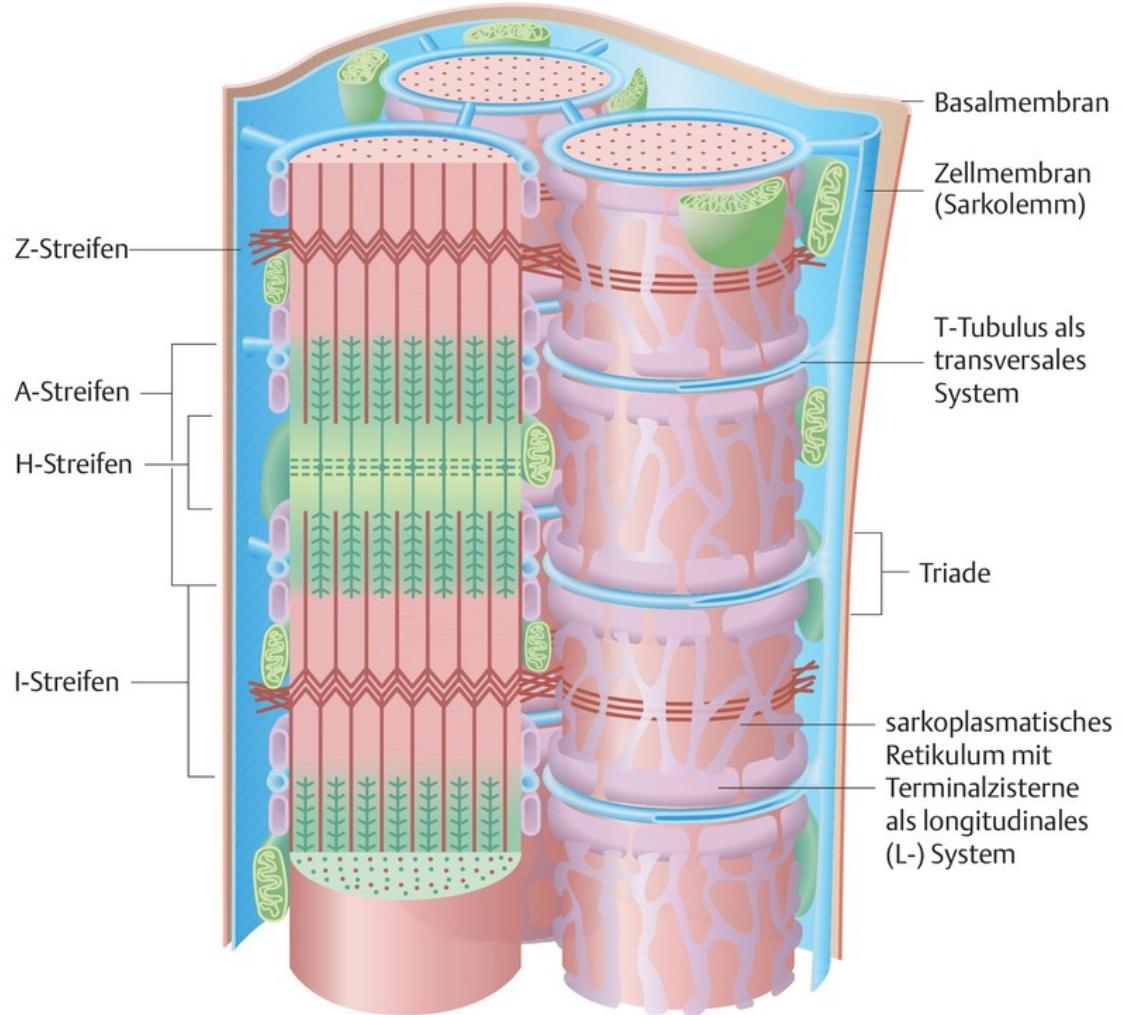
# Sarkomer



# Sarkomer



# Muskelzelle



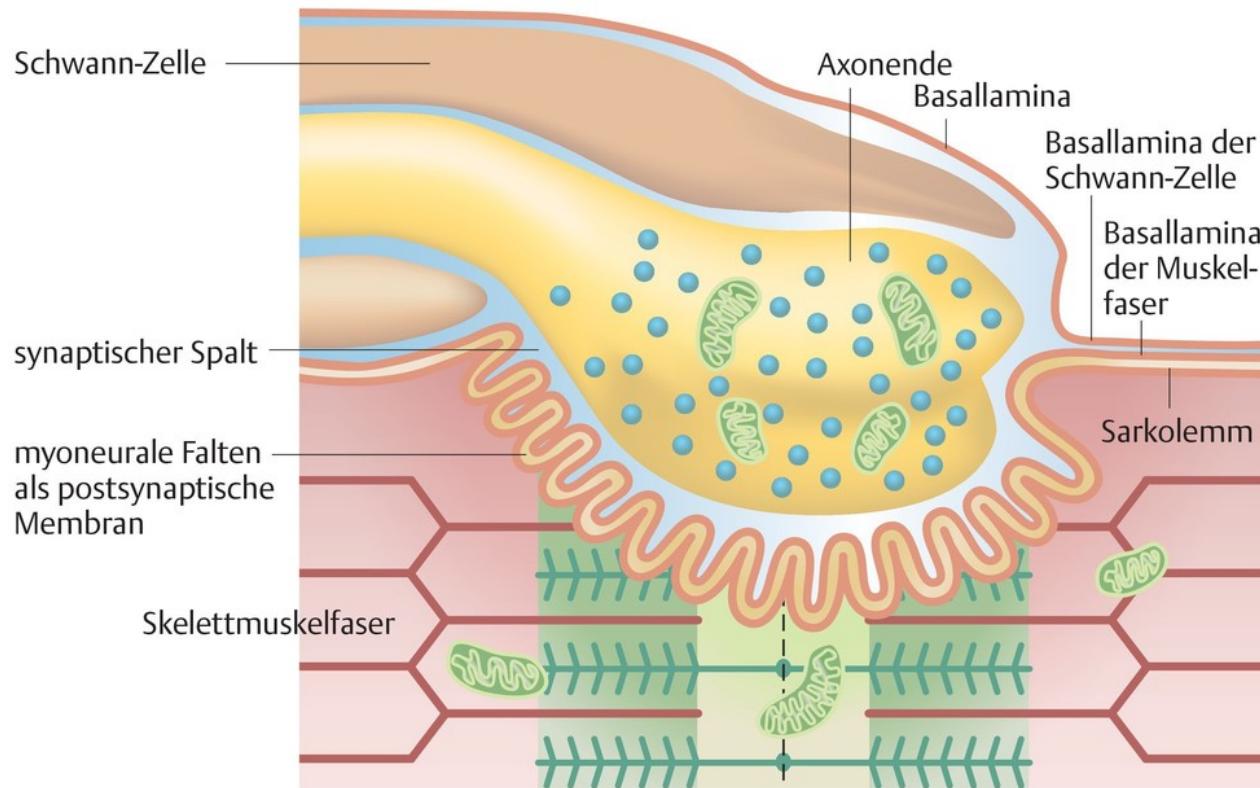
# Innervation

- 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

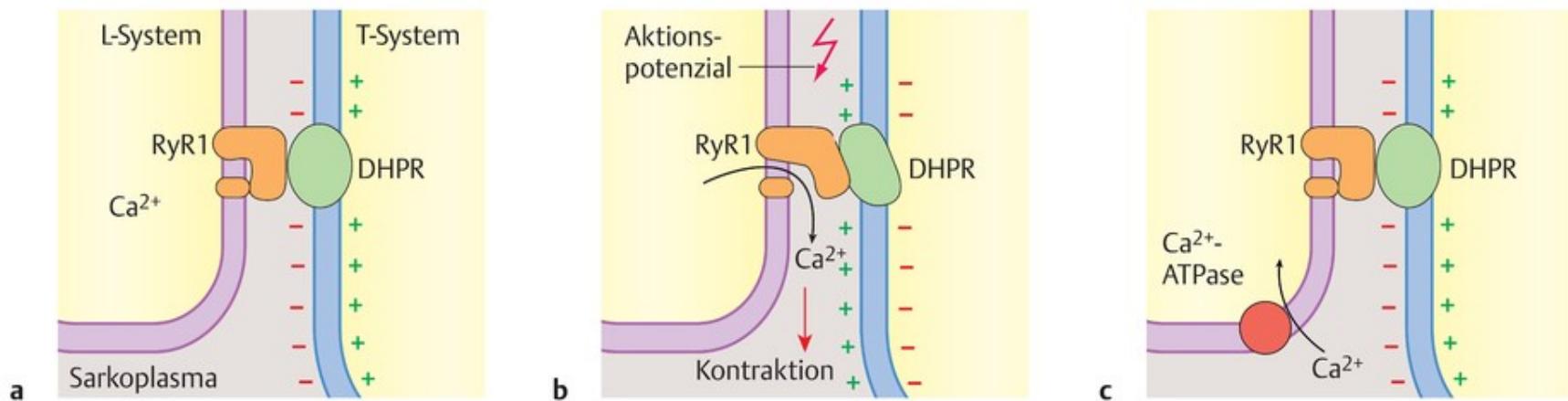
# Kontraktion

- 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 sarkoplatische Retikulum zurücktransportiert wird ( $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase)

# Motorische Endplatte



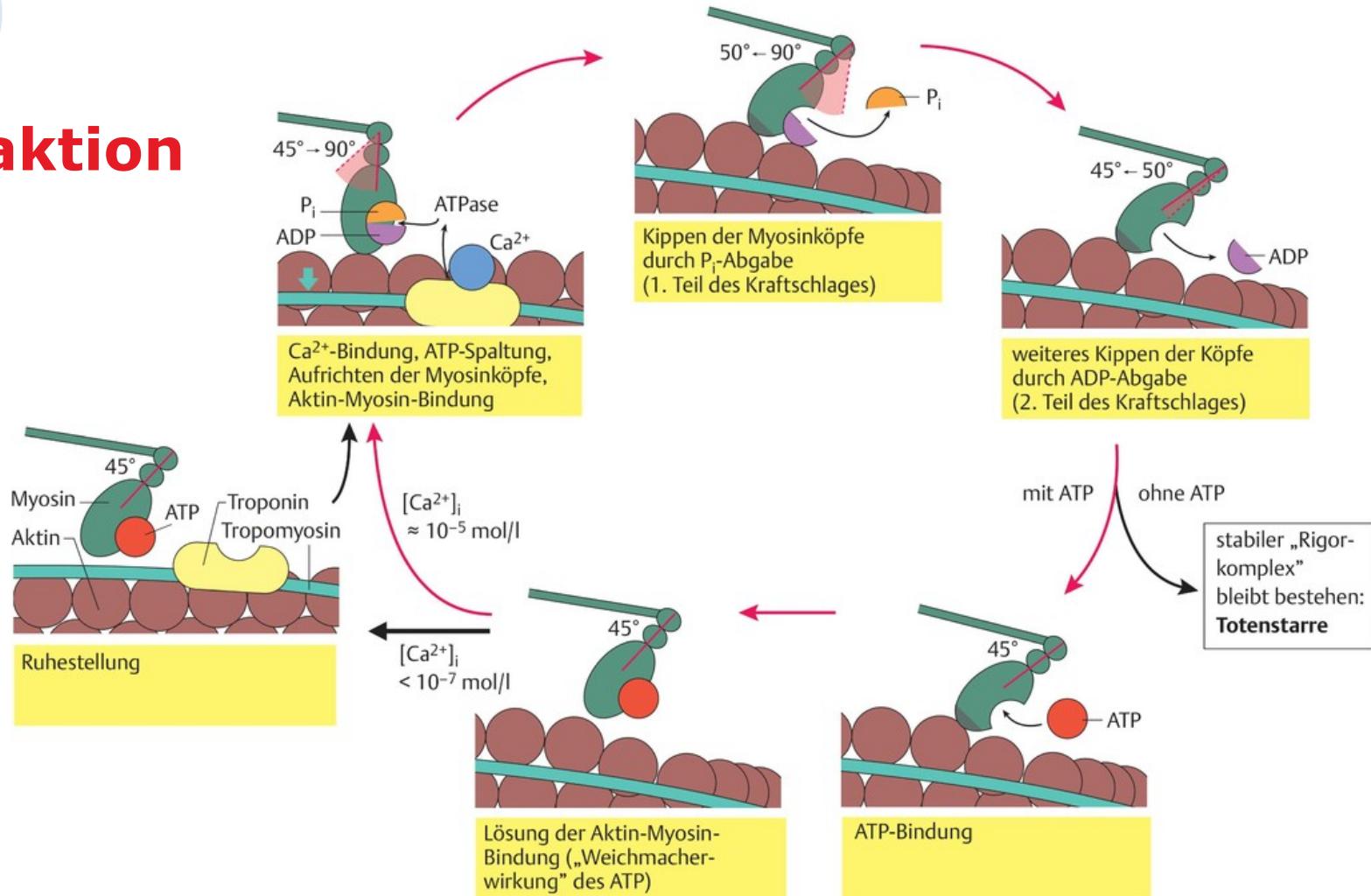
# Erregung und $\text{Ca}^{2+}$ Freisetzung



# 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

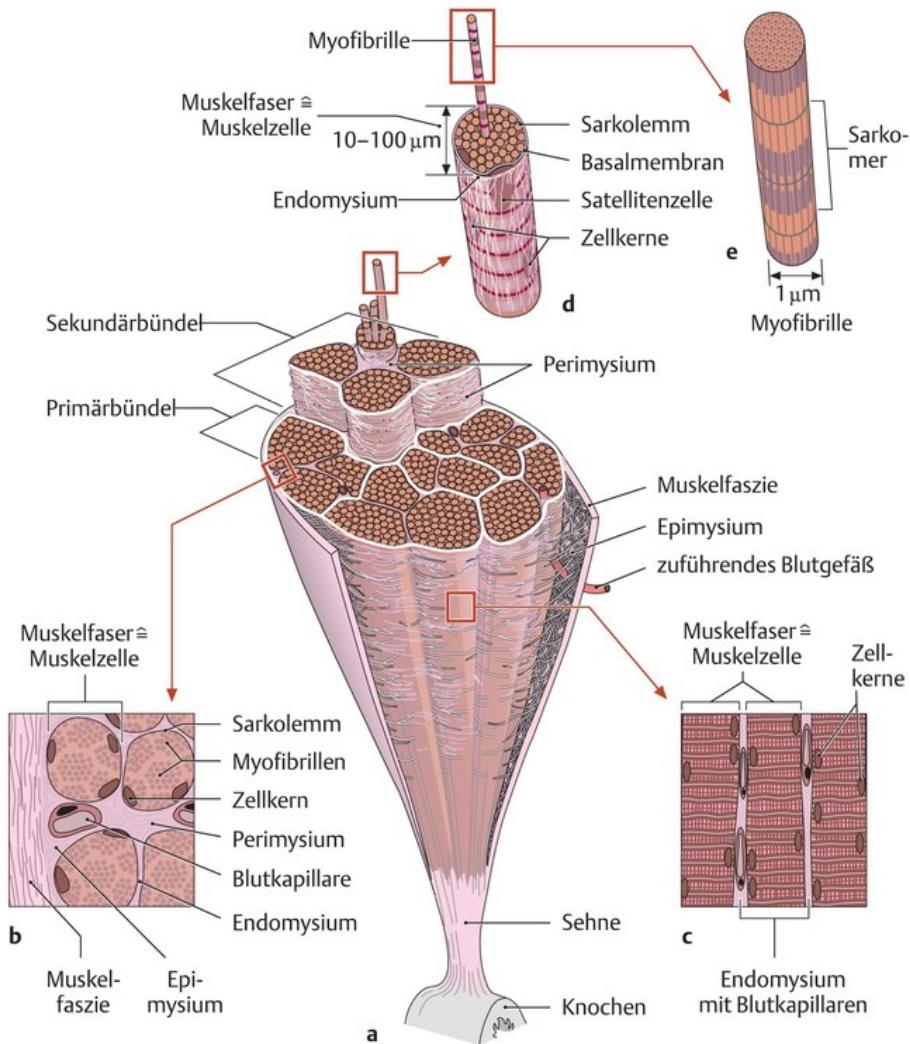
# Kontraktion



# 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

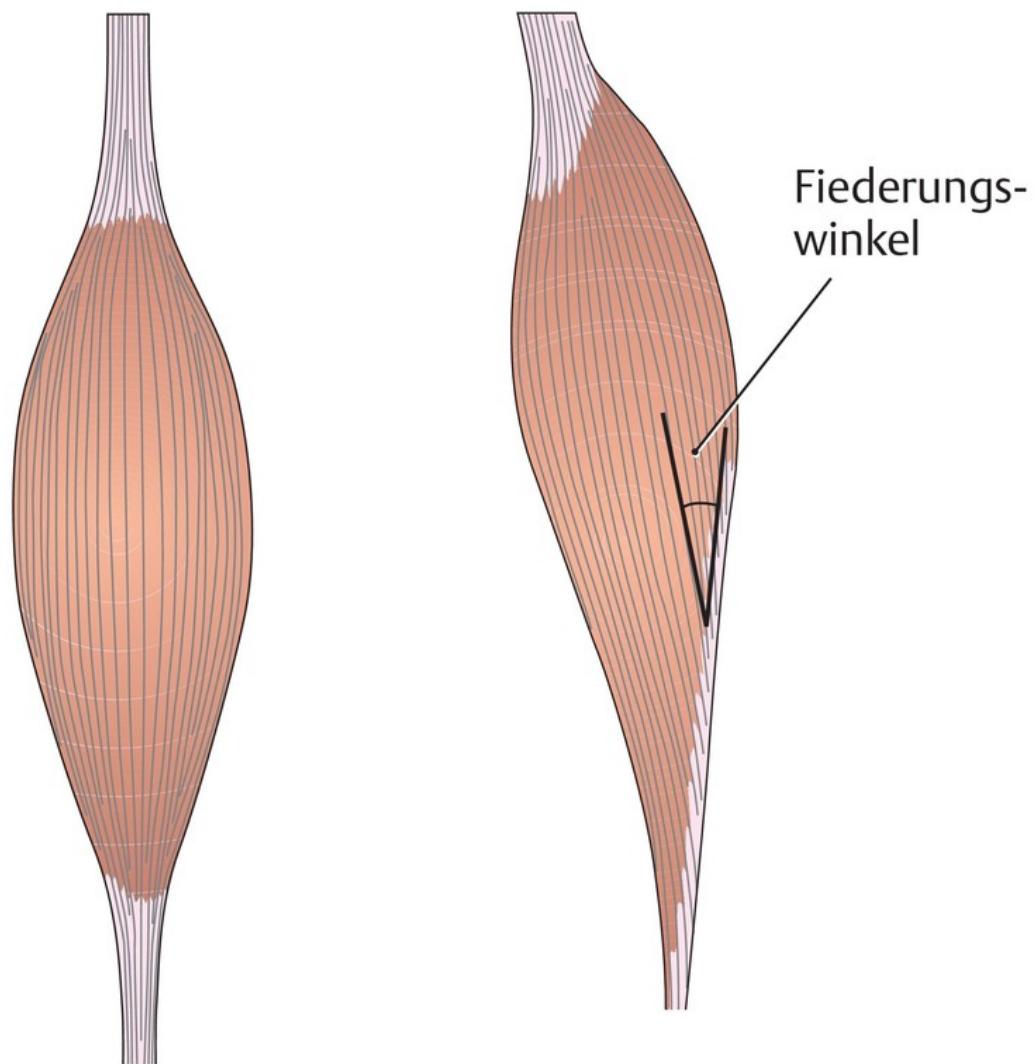
- Ein Muskel besteht aus **Muskelbauch**, der in **Sehnen** übergeht
- Man unterscheidet **Ursprungs-** und **Ansatzsehne**
- Sehnen sind fest am **Periost** verankert
- Bei der Kontraktion verkürzt sich der Muskel und Spannt die Sehnen

# 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

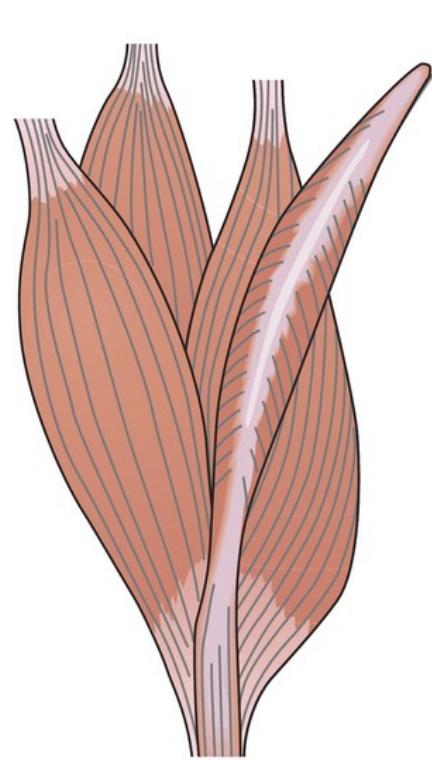
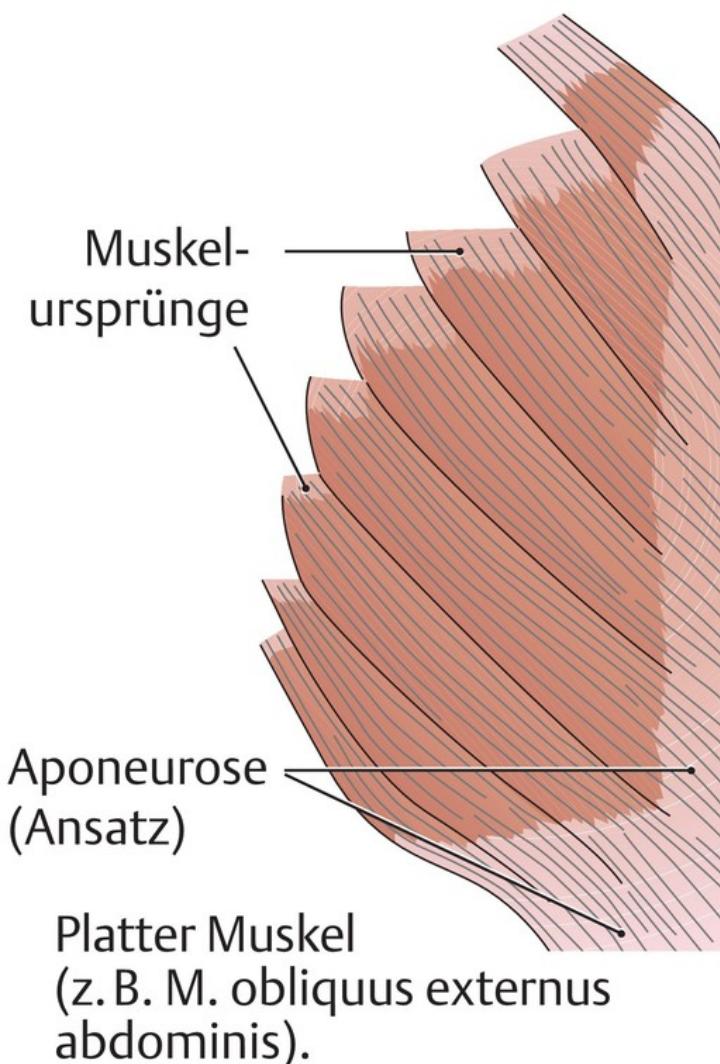
# Muskeltypen

Links: Parallel  
Rechts: Gefiedert

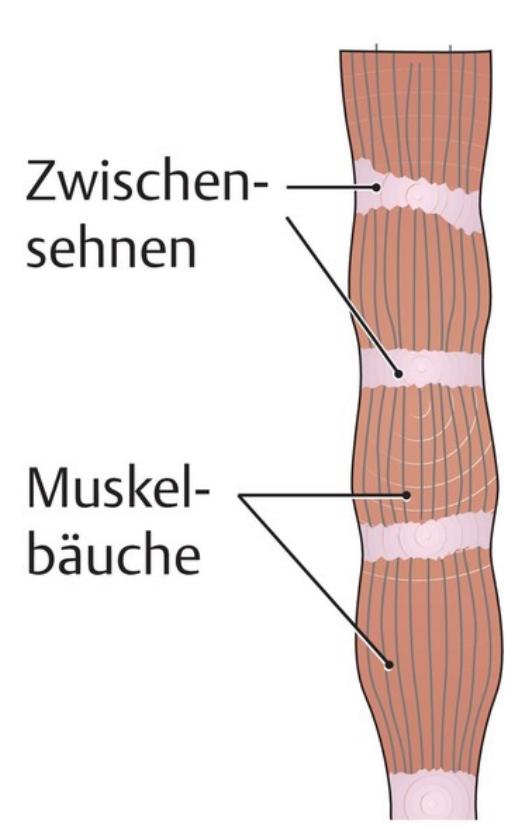


# Muskelformen

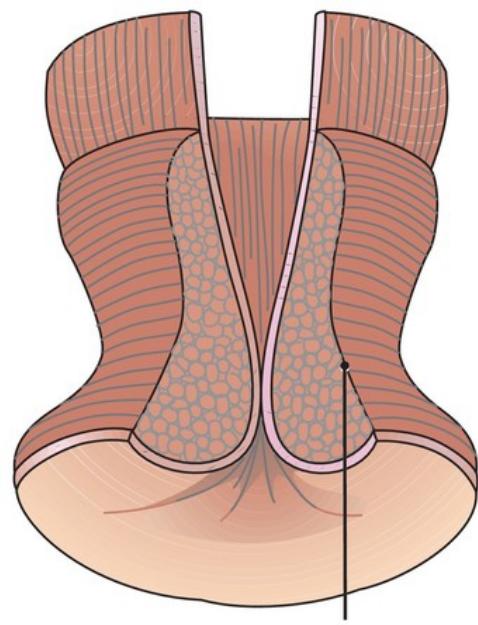
- Man unterscheidet:
- **Platter Muskel**
  - Bauch- und Rückenmuskulatur
- **Spindelförmiger Muskel**
  - Muskelbauch geht verjüngt in die Sehne über (M. Brachioradialis)
- **Mehrköpfige Muskeln**
  - M. triceps brachii, M. biceps brachii, M. quadriceps femoris
- **Mehrbäuchige Muskeln**
  - Geteilt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



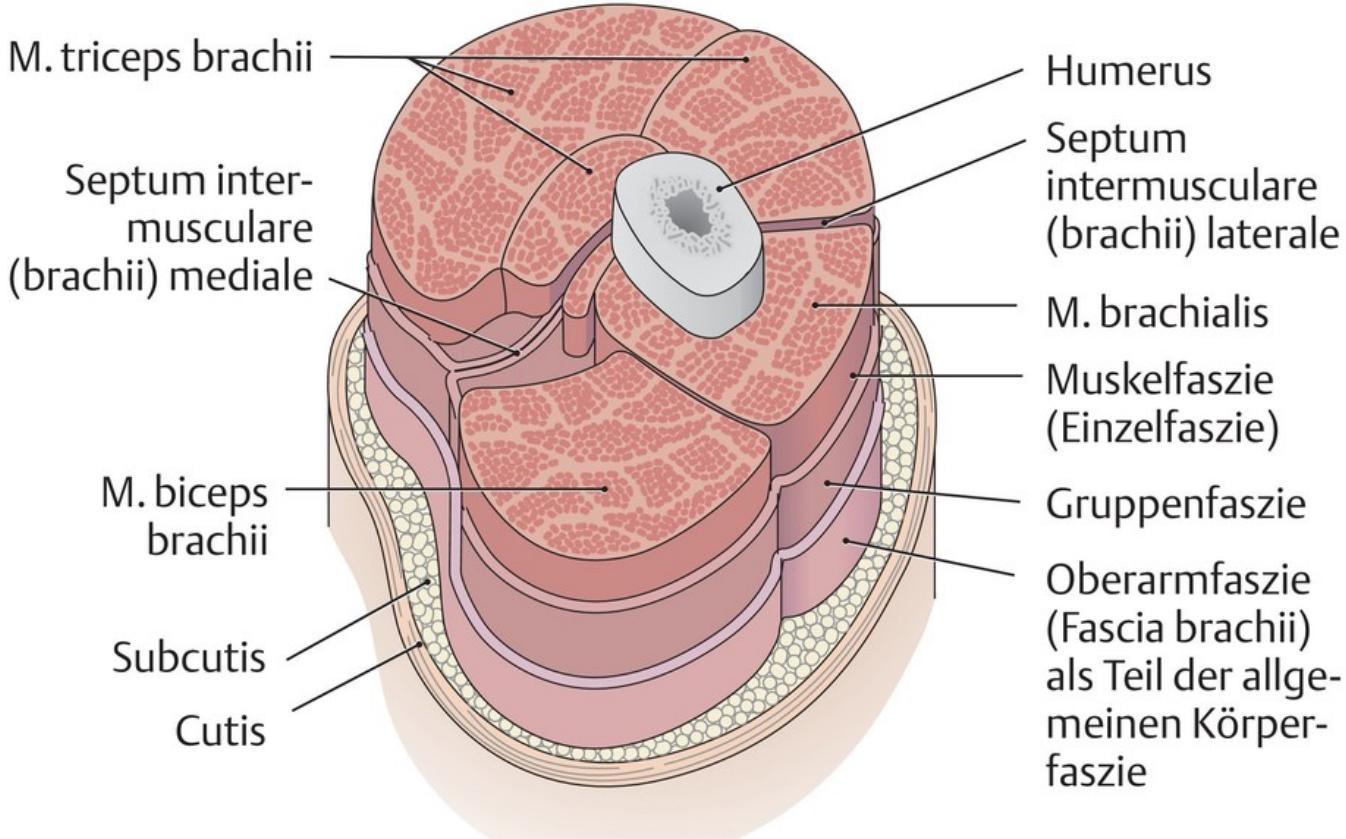
Schnittfläche des  
ringförmig ange-  
ordneten Muskels

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)

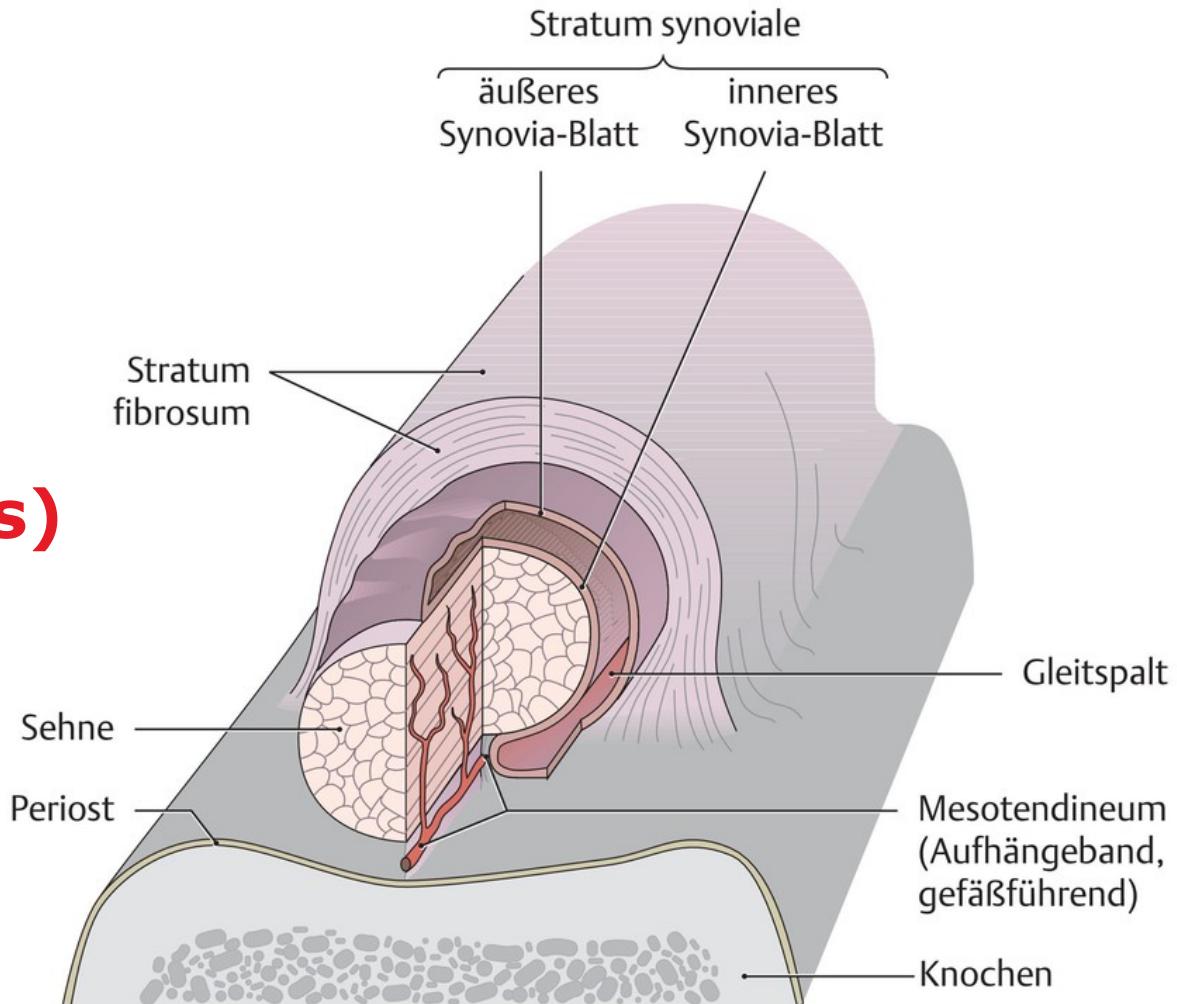
# Faszien



# 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

