

# Allgemeine Anatomie II

## Knochen, Knorpel, Gelenke

David P. Wolfer  
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich  
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie, Di 01.03.2022 16:15

### Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00  
Frühjahrssemester 2022

Hörsaal Y15-G60, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstrasse 190  
Zeit Dienstag 16:15-18:00  
Dozenten I. Amrein (Am), D.P. Wolfer (Wo)

Datum/Woche	Dozent	Thema
22.02.22	1 Wo	Allgemeine Anatomie I
→ 01.03.22	2 Wo	Allgemeine Anatomie II
08.03.22	3 Wo	Allgemeine Anatomie III
15.03.22	4 Wo	Allgemeine Anatomie IV
22.03.22	5 Wo	Untere Extremität I
29.03.22	6 Wo	Untere Extremität II
05.04.22	7 Wo	Untere Extremität III
12.04.22	8 Wo	Untere Extremität IV
19.04.22		keine Vorlesung (Osterferien)
26.04.22	9 Wo	Rumpf I
03.05.22	10 Wo	Rumpf II
10.05.22	11 Am	Obere Extremität I
17.05.22	12 Am	Obere Extremität II
24.05.22	13 Am	Obere Extremität III
31.05.22	14	keine Vorlesung (Reservetermin)

# Mikroanatomie des Knochengewebes

- Bestandteile

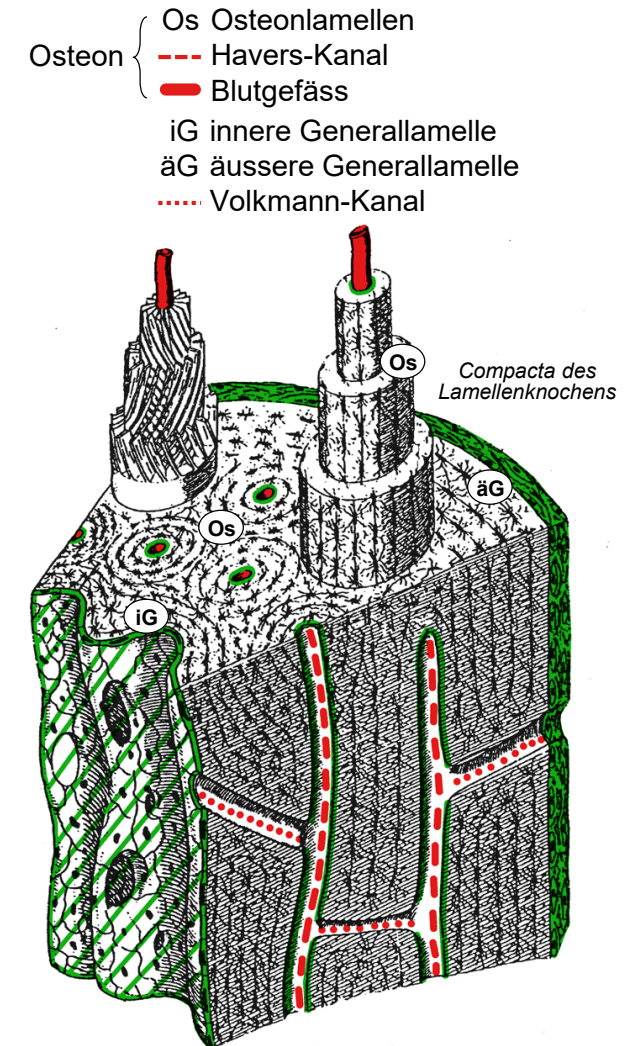
- >99% extrazelluläre Matrix: 10% Wasser, 70% anorganische Matrix (va. Hydroxyapatit), 19% organische Matrix: kollagene Fibrillen (va Typ I), Proteoglykane, Adhäsionsproteine
- längliche hexagonale Hydroxyapatitkristalle ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) parallel zu und in Fibrillen, Fibrillen → Zugfestigkeit, Kristalle → Druckfestigkeit, Verbund → gewisse Biegefestigkeit
- <1% Zellen. Osteozyten eingemauert in Lakunen, Fortsätze in Kanälchen, Gap Junctions → Netzwerk. Übrige Zellen = Minderheit, an Oberfläche bzw im Periost und Endost.

- Geflechtknochen

- Kollagenfibrillen in unregelmässiger Orientierung verflochten, geringerer Mineralgehalt, Osteozyten zufällig verteilt, geringere Festigkeit
- Schnelle Bildung: unreifes Erstprodukt von Osteogenese und Frakturheilung (Kallus), nur Pars petrosa des Os temporale bleibt teilweise als Geflechtknochen bestehen

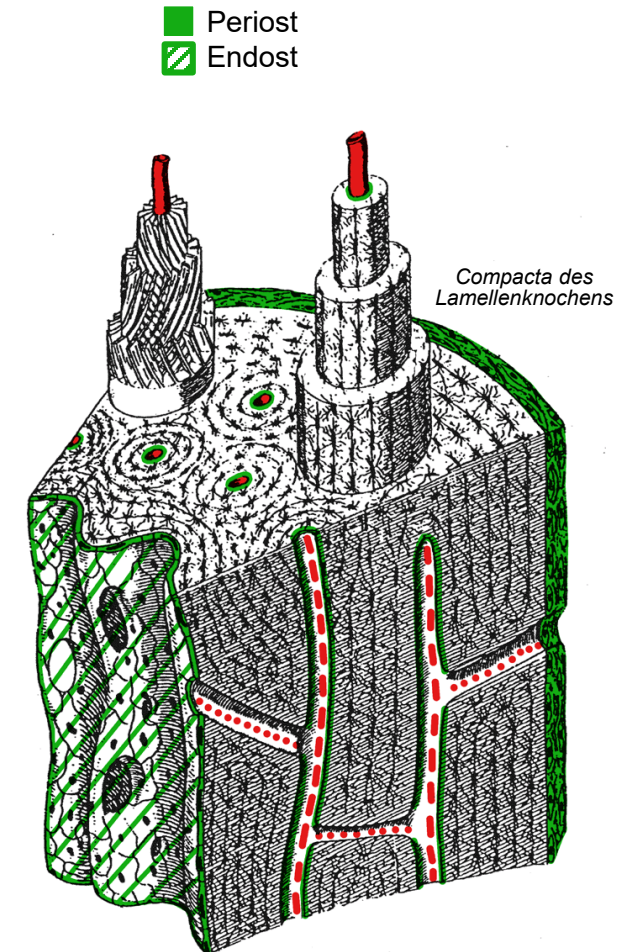
- Lamellenknochen

- Umbau («bone remodeling») Geflechtknochen → Lamellenknochen. Lamellen 3-8µm dick, Osteozyten in Grenzflächen, senden Fortsätze in Lamellen; Kollagenfibrillen parallel, Richtung wechselt von Lamelle zu Lamelle
- Spongiosa: flache Lamellen parallel zu Bälkchen-Oberfläche, keine Kanäle
- Compacta: zylindrische Osteone mit 5-20 Osteonlamellen konzentrisch um Havers-Kanal mit Blutgefässen. Oberflächlich Innere und äussere Generallamellen. Volkmann-Kanäle quer zu Lamellen: führen Blutgefässe zu Havers-Kanal



# Innere und äussere Oberfläche des Knochengewebes

- Periost = Knochenhaut
  - äussere Knochenoberfläche, ausser apophysäre Sehnen/Bandansätze und wo Gelenkknorpel Knochen bedeckt
  - Faserschicht aussen: kollagenes Bindegewebe, Blutgefässe, reichlich Nervenfasern (Schmerzempfindlichkeit)
  - osteogenetische Schicht innen (Kambium): kontinuierliche Zell-Lage aus vorwiegend ruhenden skelettalen Stammzellen, Osteoprogenitorzellen, Osteoblasten, sowie Osteoklasten
- Endost
  - innere Grenzschicht zwischen nicht im Umbau befindlichen Knochengewebe und Knochenmark (Spongiosabälkchen, innere Generallamelle), Auskleidung der Havers-Kanäle
  - dünne Schicht nicht mineralisierter Kollagenfibrillen
  - Zellschicht mit gleicher Zusammensetzung wie osteogenetische Schicht des Periosts, heissen hier Endost-Zellen = «bone lining cells»
- Umbauzonen
  - Kein Endost
  - Endost-Zellen differenzieren sich zu Osteoklasten (Abbauzonen) oder Osteoblasten (Aufbauzonen)



# Knochenumbau

- Zelluläre Grundlage und Steuerung

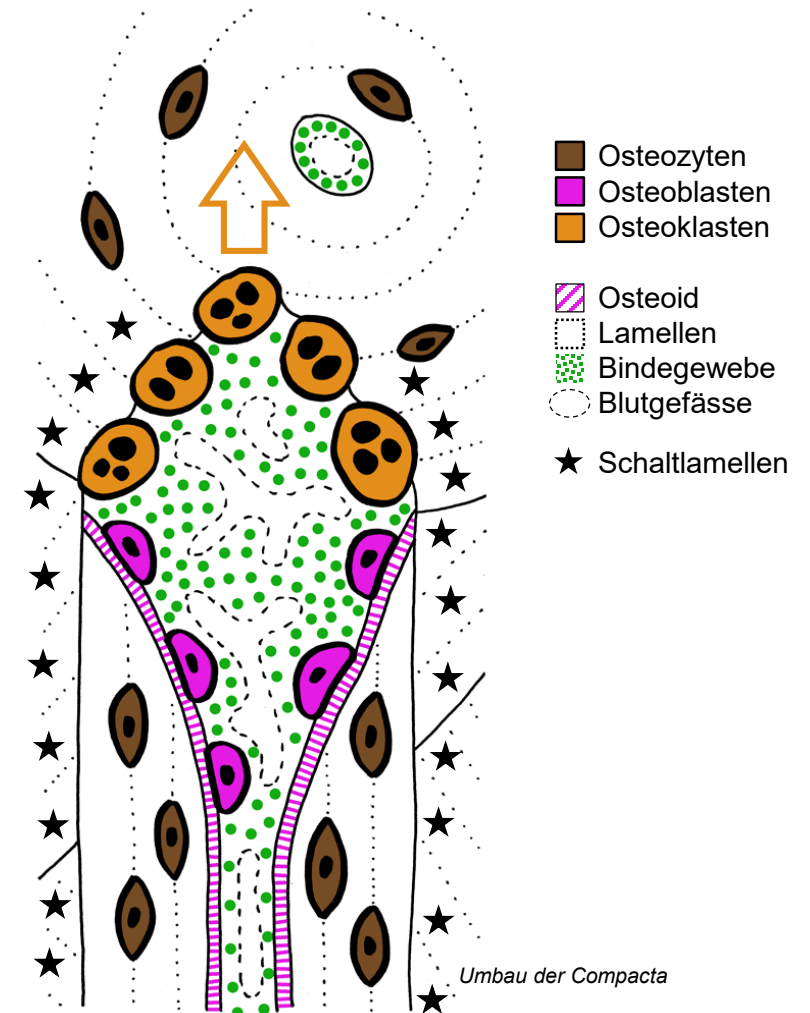
- Abbau durch Osteoklasten mittels  $\text{Na}^+\text{H}^+$  Exchanger NHA2
- Aufbau (Ossifikation): skelettale Stammzellen → Osteoprogenitorzellen → Osteoblasten → Osteozyten, bei Umbau direkt Lamellenknochen gebildet
- Osteozyten haben Mechanosensoren und Hormonrezeptoren: reduzieren Knochenmasse via Freisetzung von RANKL und Sclerostin, erhöhen Knochenmasse via Abgabe von Osteoprotegerin
- RANK von Osteoklasten freigesetzt, stimuliert Osteoblasten durch Bindung an deren membranständiges RANKL → Koppelung von Auf- und Abbau

- Ablauf in Spongiosa und Compacta

- Spongiosa: 28% Austausch pro Jahr, Osteoklasten → oberflächliche Lakunen, in die durch Osteoblasten neue Lamellen abgelagert werden
- Compacta: 4% Austausch pro Jahr, Osteoklasten-Trupp → Tunnel und übrig bleibende Schaltlamellen, Osteoblasten füllen Tunnel mit neuem Osteon

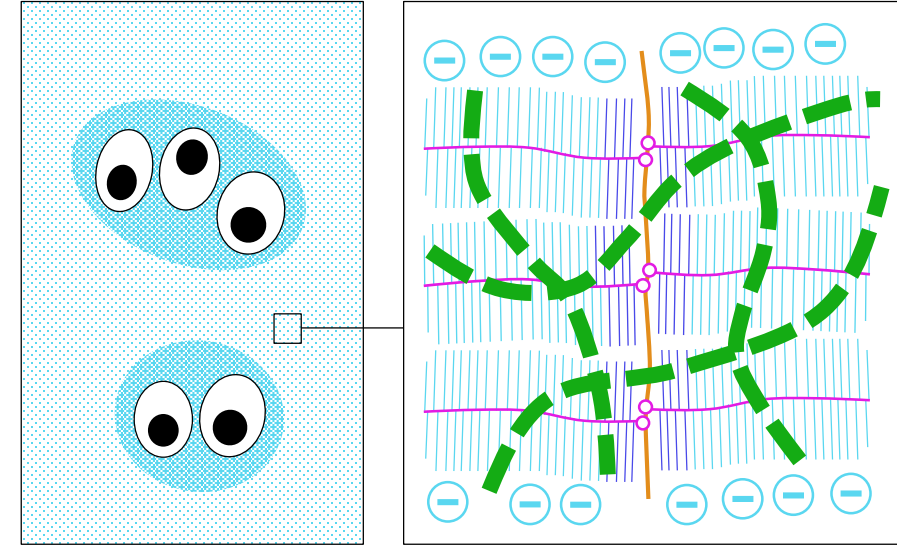
- Funktion und Störungen

- Anpassung von Masse & Struktur, Reparatur von Mikroschäden
- Abbau von Knochen = Kalziumspeicher →  $\text{Ca}^{2+}$  Mobilisation (Parathormon)
- Basis für Frakturheilung (Callus = Geflechtknochen → Lamellenknochen)
- Osteoporose = ungenügende Masse (Abbau > Aufbau)
- Osteomalazie = ungenügende Mineralisation, zB Vit. D-Mangel (Rachitis)

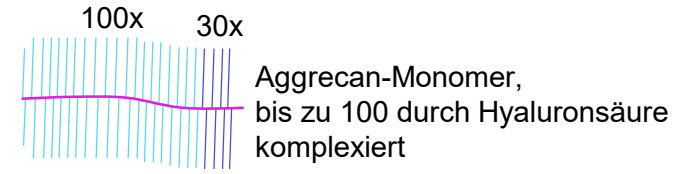


# Knorpelgewebe

- Chondrozyten
  - oval, isoliert ohne lange Fortsätze, unterhalten Matrix
  - während Wachstum teilungsfähig, beim Erwachsenen nicht mehr
- Knorpelmatrix
  - Proteoglykane (PG): va. Aggrecan, bis 4 mm grosse Komplexe durch Bindung von Aggrecan-Monomeren an Hyaluronsäure
  - Kollagenfibrillen (Typ II + wenig IX & XI) bilden in territorialer Matrix (Knorpelhof) dichte Netze, interterritorial weniger dicht und senkrecht zu freier Oberfläche ausgerichtet
  - Kollagenfibrillen durch enge Verbindung mit PG maskiert
  - Elektrostatische Abstossung der polyanionischen PG, osmotischer Druck durch gefangene Kationen → H<sub>2</sub>O-Speicherung (80% Volumen), Anspannung der Fibrillen. H<sub>2</sub>O bei Kompression reversibel ausgepresst → Druckelastizität
- Perichondrium = Knorpelhaut
  - Faserschicht: Bindegewebe
  - chondrogenetische Schicht (beim Erwachsenen ruhend): Stammzellen, Chondroprogenitorzellen, Chondroblasten
  - fehlt beim Gelenkknorpel

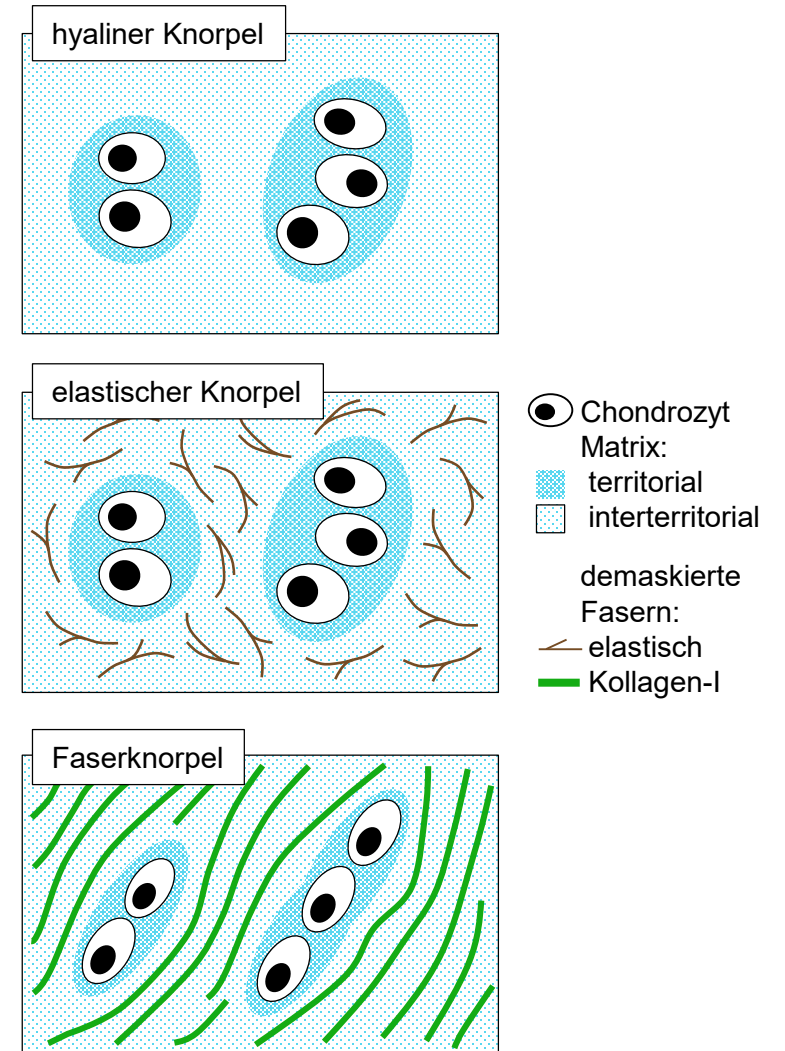


- Chondrozyt
- territoriale Matrix
- + ■ Territorium
- interterritoriale Matrix
- Hyaluronsäure
- Verbindungsprotein
- Kernprotein
- Chondroitin-Sulfat } Ca. 150
- Keratan-Sulfat } Disaccharide
- Kollagenfibrille (15-100 nm dick)



# Knorpeltypen

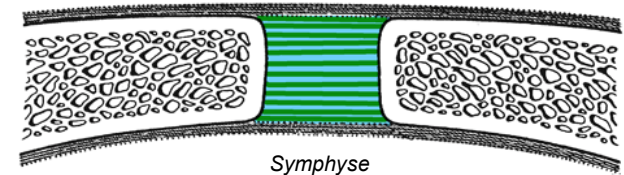
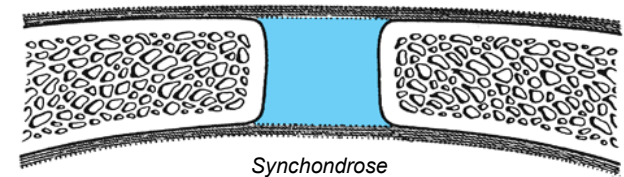
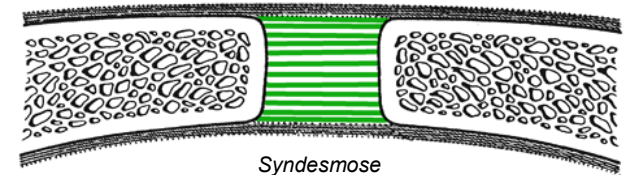
- **Hyaliner Knorpel**
  - chondrale Osteogenese, Gelenknorpel, Rippen, Nase - Kehlkopf - Trachea - grosse & mittlere Bronchien
  - druckelastisch, nicht zugfest, nicht biegeelastisch
- **Elastischer Knorpel**
  - Epiglottis, kleine Bronchien, äusseres Ohr, Ohrtrumpete
  - demaskierte elastische Fasernetze in interterritorialer Matrix
  - zusätzlich Biegeelastizität
- **Faserknorpel**
  - Discus intervertebralis = Zwischenwirbelscheibe, Menisken, Disci articulares = Gelenkscheiben (Sterno-Klavikular-Gelenk, Radio-Karpal-Gelenk, Kiefergelenk), Gelenklippen zur Vergrösserung knöcherner Gelenkpfanne (Hüft- und Schultergelenk)
  - viele demaskierte Kollagenfasern in interterritorialer Matrix
  - Chondrozyten in Gänsemarschformation
  - zusätzlich Zugfestigkeit
- **Keine Blutgefässe im Knorpel**
  - Versorgung durch Diffusion über lange Strecken
  - langsamer Stoffwechsel (bradytrophes Gewebe)



# Gelenke

- Diarthrose
  - echtes Gelenk mit: 1. Gelenkhöhle, 2. Gelenksknorpel, 3. Synovialmembran
  - kann an Arthrose (Gelenksknorpel) und Arthritis (Synovialmembran) erkranken
- Synarthrose (Haft)
  - falsches Gelenk mit Gewebebrücke statt Elemente 1-3
  - Art. fibrosa = Bandhaft = Syndesmose
    - Gewebebrücke aus straffem Bindegewebe (Zugfestigkeit):  
Malleolengabel, Schädelnähte bei Kindern, Zahnwurzel
  - Art. cartilaginea = Knorpelhaft
    - Synchondrose → Gewebebrücke aus hyalinem Knorpel (Druckfestigkeit):  
Rippenknorpel, Brustbein, Schädelbasis; Symphyse → Gewebebrücke aus Faserknorpel (druck- & zugfest):  
Symphysis pubica, Discus intervertebralis
  - Synostose → knöcherner Verbindung ehemals separater Knochen:  
Schädelnähte des Erwachsenen, Beckenknochen, Kreuzbein
- Pathologie
  - pathologische Gelenke: Hemiarthrose durch sekundäre Spaltbildung in Symphyse (zB Halswirbelsäule), Pseudoarthrose nach Fraktur
  - Gelenkversteifung: Ankylose nach destrukturierender Arthritis, therapeutische Gelenkversteifung durch Chirurg: Arthrodesese

- straffes kollagenes Bindegewebe
- hyaliner Knorpel
- Faserknorpel



# Diarthrosen

- Gelenkkapsel

- Stratum fibrosum\* (bindegewebige Aussenhaut) stabilisiert mechanisch, Stratum synoviale (Synovialmembran, synoviale Innenhaut) begrenzt mit Gelenkknorpel Gelenkshöhle

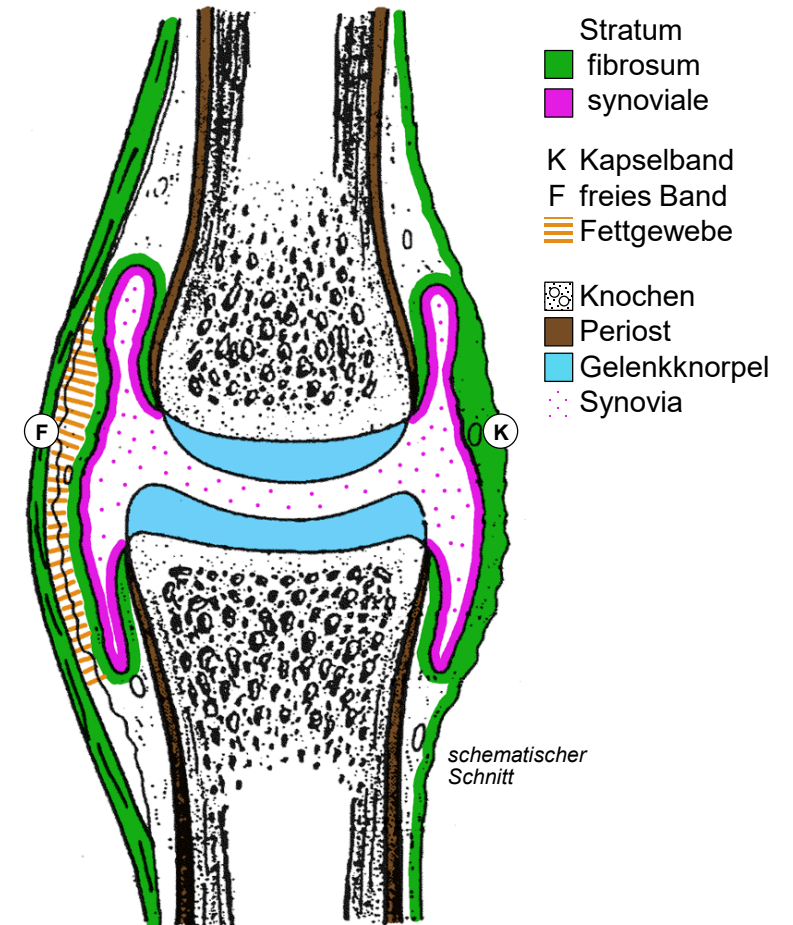
\* teilweise auch bei Synarthrosen vorhanden

- Gelenksicherung und -Führung

- passiv: knöcherner Führung durch Form der Gelenkskörper, Bandführung (freies Band, Kapselband = Verstärkung des Stratum fibrosum)
- aktiv: Muskelführung (durch Training kompensatorisch verstärkbar)
- Amphiarthrose: echtes Gelenk, durch maximale passive Führung (va. durch Bänder) kaum beweglich (Bsp: Iliosakralgelenk, Fusswurzel)

- Pathologie

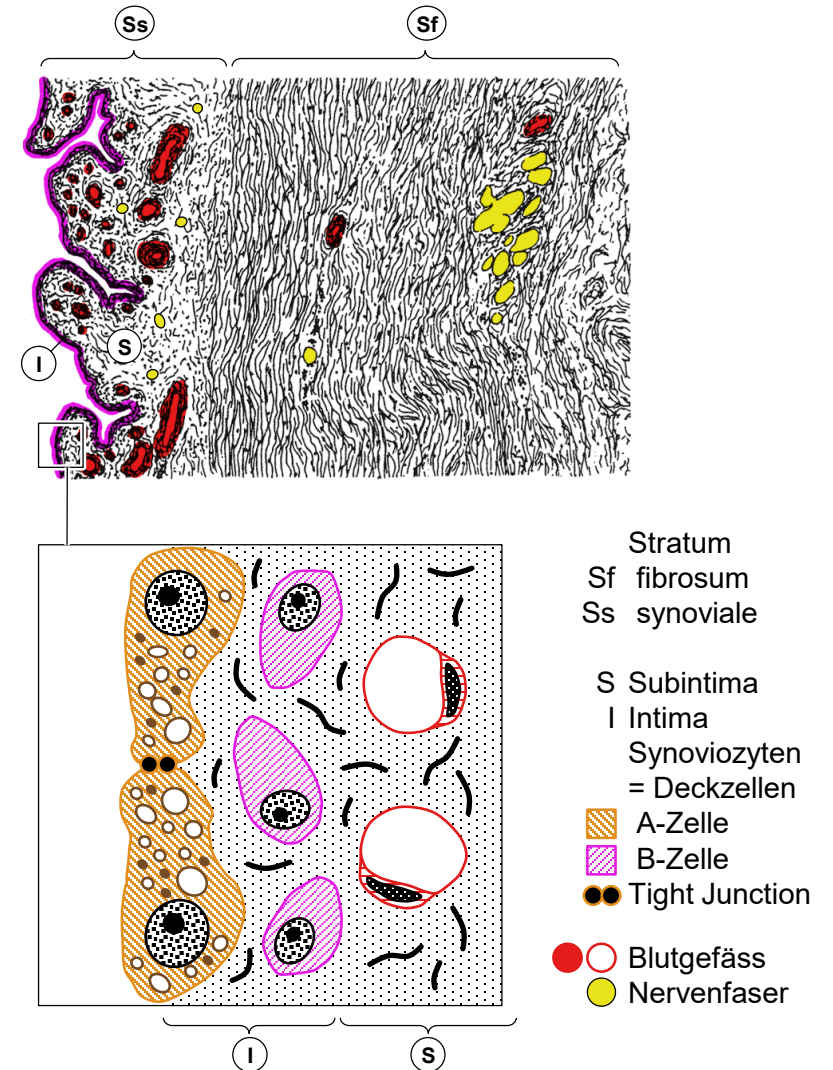
- Arthrose: Degeneration des Gelenkknorpels, entzündliche Schübe, sekundär Knochendestruktion, kompensatorisch Bildung von Osteophyten
- Arthritis: Gelenkentzündung ausgehend von Synovialmembran: rheumatisch (autoimmun), infektiös (eitrig, Borreliose nach Zeckenbiss) → Gelenkserguss, ev. Gelenksdestruktion bis zu Ankylose
- Luxation = Auskuglung: traumatisch (va Schulter), spontan bei angeboren oder posttraumatisch schwacher Gelenksicherung
- Distorsion = Verstauchung, Überdehnung oder Ruptur von Kapsel und Bandapparat, Ruptur der Kapsel → Blutung in Gelenk.





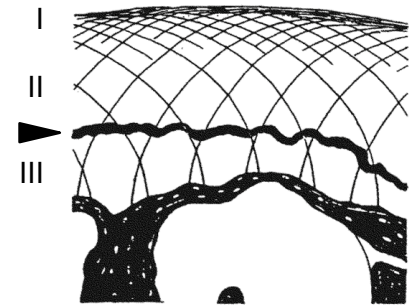
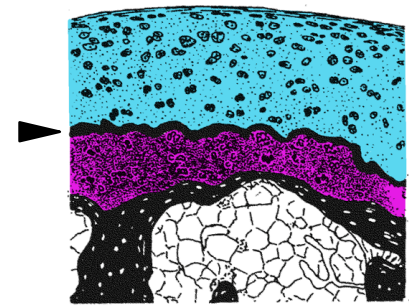
# Gelenkkapsel

- **Stratum fibrosum**
  - gefässarmes straffes kollagenes Bindegewebe
- **Stratum synoviale = Synovialmembran**
  - Subintima: gefässreiches feinfibrilläres Bindegewebe, Falten und Zotten → Oberflächenvergrößerung, kann Polster aus Fettgewebe enthalten → Füllmaterial, Formanpassung
  - Intima: 2 Lagen bindegewebiger Deckzellen = Synoviozyten = Synovialzellen, ohne Basallamina in extrazelluläre Matrix eingebettet:
    - ▨ A-Zellen = synoviale residente Makrophagen → Reinigung der Synovia, → Barriere mit Tight Junctions, Adhärenskontakten, Desmosomen
    - ▨ B-Zellen = synoviale Fibroblasten mit viel rER → Hyaluronsäure
- **Innervation**
  - Mechanorezeptoren: Dehnung, Vibration
  - Nozizeptoren: hohe Schmerzempfindlichkeit
- **Synovia**
  - Gelenkschmiere: 1-3 ml, klar, bernsteinfarben, viskös
  - Plasmadialysat + Hyaluronsäure aus B-Zellen
  - Ernährung Gelenknorpel und mechanische Funktion: hocheffizientes Schmiermittel, Stossdämpfer



# Gelenksknorpel und Hilfseinrichtungen

- Schichtung des Gelenksknorpels
  - hyaliner Knorpel ohne Perichondrium
  - basophile Grenzlinie («tidemark»)
  - mineralisierte Knorpelschicht: abgestufte Änderung der Materialeigenschaften
  - gesamte Dicke 1-4 mm, Patella (Kniescheibe) 8 mm
  - keine Blutgefäße: Ernährung durch Synovia (Gelenk muss bewegt werden!)
- Mechanik
  - verformbarer Stossdämpfer, Druckverteilung, extrem glatte Oberfläche
  - bogenförmiger Verlauf der bis 50-100 nm dicken (statt 15-20 nm) Fibrillen, tangentielle Fibrillen bevorzugt trajektorieell entlang Zugkraftlinien ausgerichtet → Knorpelspaltlinien
  - Verankerung: Knorpel mit Kochen verzahnt, periphere tangentielle Fibrillen strahlen in Synovialmembran ein, radiäre in den Knochen (Kortikalis der Epiphyse)
- Hilfseinrichtungen
  - Gelenkklippe (Labrum) → Stabilisierung durch Vergrößerung der Pfanne bei Kugelgelenken: Hüftgelenk, Schultergelenk (+25% Pfannenfläche)
  - Gelenkscheiben (Disci articulares) → Unterteilung der Gelenkhöhle, Ausgleich von Inkongruenzen, grössere Beweglichkeit: Sternoklavikulargelenk, Kiefergelenk, Radiokarpalgelenk, Kniegelenk: Meniskus (unvollständige Scheibe)
  - aus Faserknorpel, aussen mit Stratum fibrosum verwachsen, begrenzen innen als Fortsetzung des Gelenkknorpels statt Synovialmembran Gelenkhöhle



- I Tangentialzone
- II Übergangszone
- III Radiärzone
- hyaliner Knorpel
- ▲ Grenzlinie
- mineralisierter Knorpel
- Knochen