
Allgemeine Anatomie II

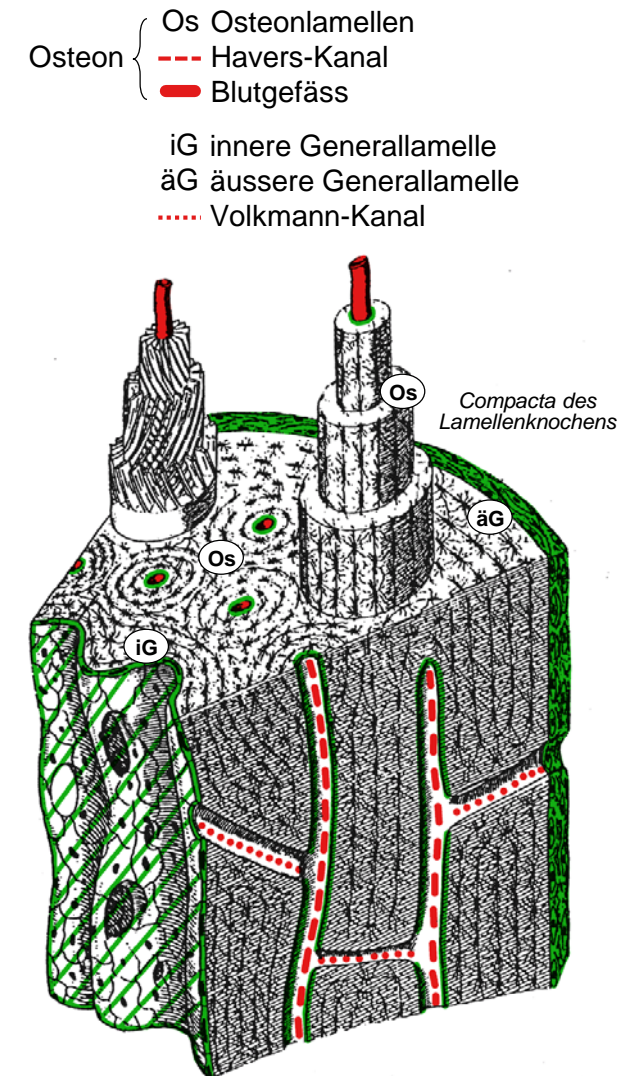
Knochen, Knorpel, Gelenke

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

376-0905-00 Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates
Di 28.02.2017

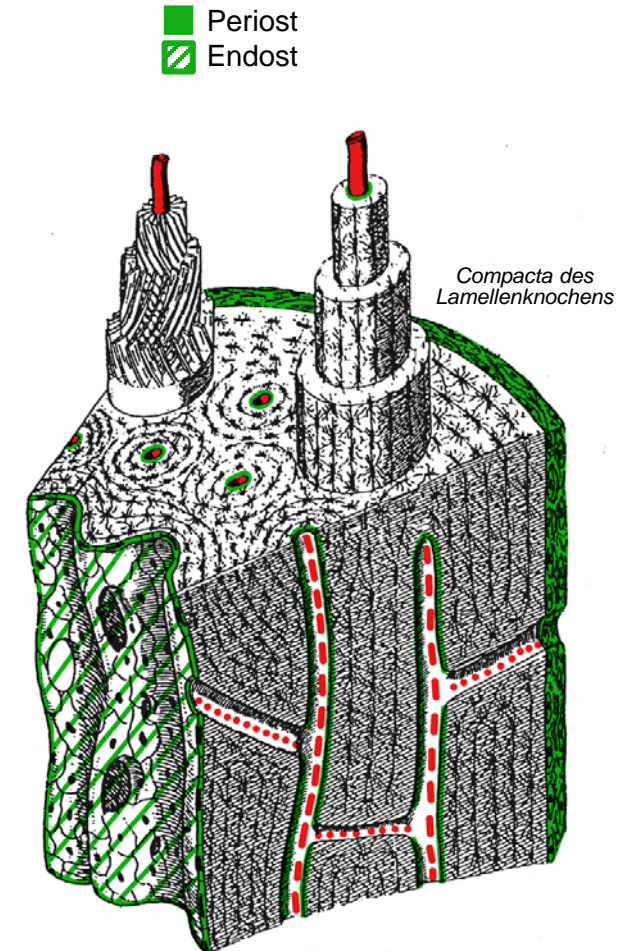
Mikroanatomie des Knochengewebes

- *99.9 Volumen% Extrazelluläre Matrix*
 - *Osteozyten in Lakunen, Fortsätze in Kanälchen, Gap Junctions → Netzwerk*
- *Geflechtknochen*
 - *Kollagenfibrillen in unregelmässiger Orientierung verflochten, Osteozyten zufällig verteilt, biomechanisch minderwertig*
 - *primäres Produkt von Osteogenese und Frakturheilung (Kallus), nur Pars petrosa des Os temporale bleibt als Geflechtknochen bestehen*
- *Lamellenknochen*
 - *Umbau Geflechtknochen → Lamellenknochen*
 - *3-8µm dicke Lamellen, Osteozyten in Grenzflächen, Fortsätze in Lamellen*
 - *Kollagenfibrillen (va Typ I) parallel, Richtung wechselt von Lamelle zu Lamelle*
 - *längliche hexagonale Hydroxyapatitkristalle (45% Feuchtgewicht) parallel zu und in Fibrillen, Fibrillen → Zugfestigkeit, Kristalle → Druckfestigkeit, Verbund → Biegefestigkeit*
 - *Compacta: zylindrische Osteone mit 5-20 Osteonlamellen konzentrisch um Havers-Kanal mit Blutgefässen, innere und äussere Generallamellen*
 - *Spongiosa: flache Lamellen parallel zu Bälkchen-Oberfläche, keine Kanäle*
 - *Volkmann-Kanäle quer zu Lamellen, führen Blutgefässe zu Havers-Kanal*



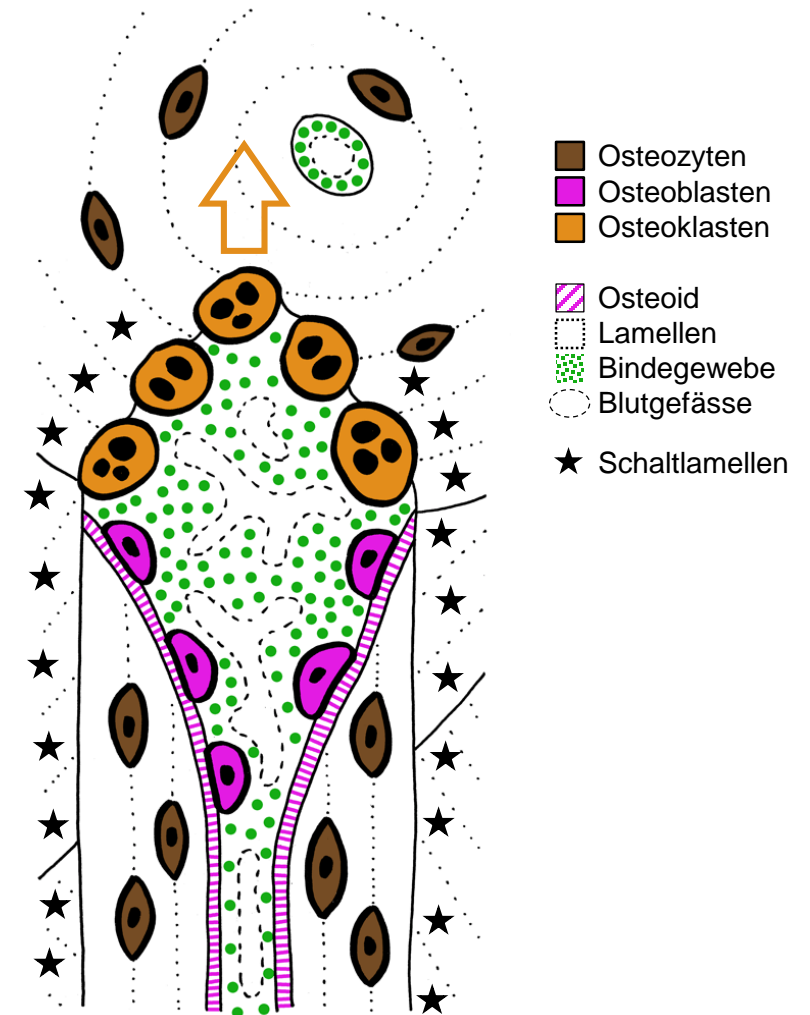
Periost und Endost

- *Periost = Knochenhaut*
 - *Knochenoberfläche ausser Sehnen/Bandansätze*
 - *fehlt, wo Gelenkknorpel Knochen bedeckt*
 - *Faserschicht aussen: kollagenes Bindegewebe, Blutgefässe, reichlich Nervenfasern (Schmerzempfindlichkeit)*
 - *osteogenetische Schicht innen (Kambium): kontinuierliche Zell-Lage aus ruhenden (skelettalen) Stammzellen, Osteoprogenitorzellen, Osteoblasten, sowie Osteoklasten*
- *Endost*
 - *Grenzschicht zwischen Knochengewebe und Knochenmark, Auskleidung der Havers-Kanäle*
 - *dünne Schicht nicht mineralisierte Kollagenfibrillen, Zellschicht wie osteogenetische Schicht des Periosts*



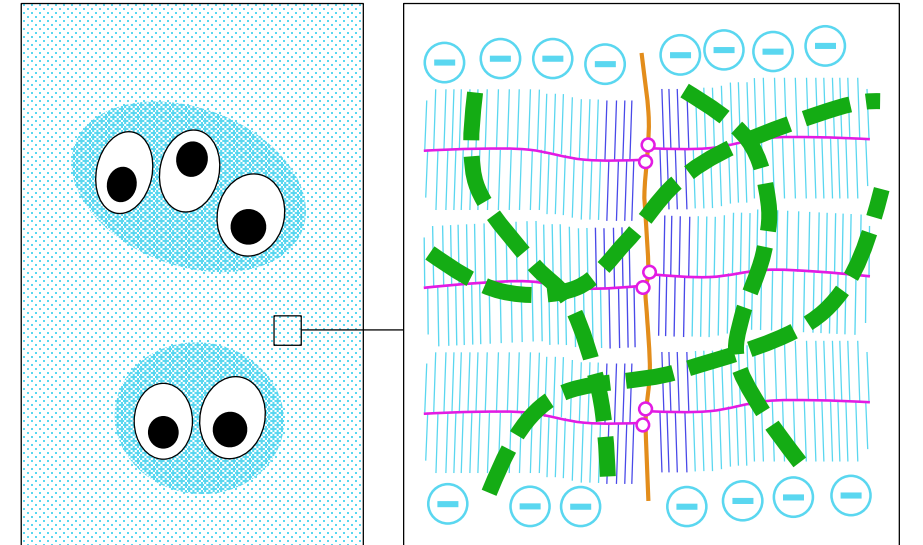
Knochenumbau

- **Knochenumbau**
 - *Abbau: Osteoklasten (H^+ Pumpe)*
 - *Aufbau (Ossifikation): skelettale Stammzellen → Osteoprogenitorzellen → Osteoblasten → Osteozyten, produziert direkt Lamellenknochen*
 - *Materialauffrischung, Anpassung von Masse & Struktur, Kalzium-Mobilisation aus Kalziumspeicher Knochen (Parathormon)*
 - *Osteozyten haben Mechanosensoren und Hormonrezeptoren: steuern Knochenumbau, Aufbau, Abbau*
- **Spongiosa**
 - *28% Austausch pro Jahr*
 - *Osteoklasten → oberflächliche Lakunen*
- **Kompakta**
 - *4% Austausch pro Jahr*
 - *Osteoklasten-Trupp → Tunnel, Schaltlamellen bleiben übrig*
- **Störungen**
 - *Osteoporose = ungenügende Masse (Abbau > Aufbau)*
 - *Osteomalazie = ungenügende Mineralisation, zB Vit. D-Mangel (Rachitis), Hormonstörungen*

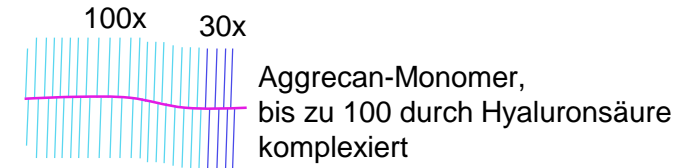


Knorpelgewebe

- *Chondrozyten*
 - *oval, isoliert ohne lange Fortsätze, unterhalten Matrix*
 - *nur beim Kind teilungsfähig*
- *Knorpelmatrix*
 - *Proteoglykane (PG): va. Aggrecan, bis 4 mm grosse Komplexe durch Bindung von Monomeren an Hyaluronsäure*
 - *Kollagenfibrillen (Typ II + wenig IX & XI) maskiert durch PG*
 - *Fibrillen → territorial dichte Netze, interterritorial lockerer und senkrecht zu freier Oberfläche*
 - *Elektrostatische Abstossung der polyanionischen PG, osmotischer Druck durch gefangene Kationen → H₂O-Speicherung (80%), Anspannung der Fibrillen. H₂O entweicht bei Kompression → Druckelastizität*
- *Perichondrium = Knorpelhaut*
 - *Faserschicht: Bindegewebe*
 - *chondrogenetische Schicht (beim Erwachsenen ruhend): Stammzellen, Chondroprogenitorzellen, Chondroblasten*
 - *fehlt beim Gelenkknorpel*

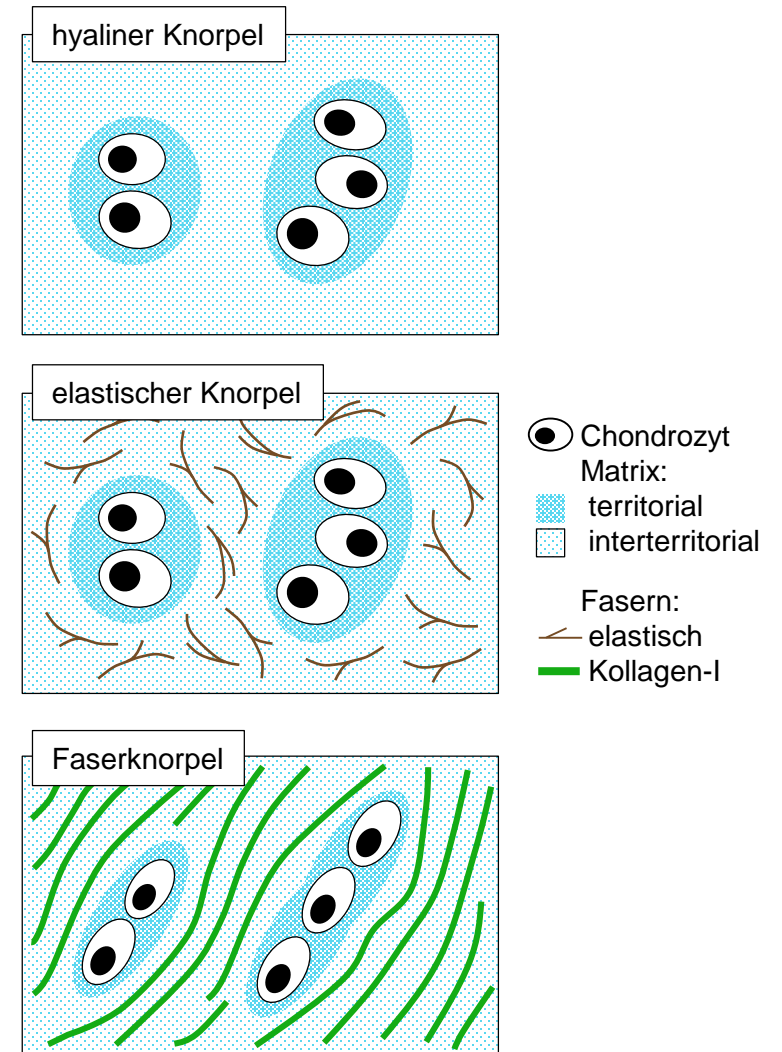


- Chondrozyt
- territoriale Matrix
- interterritoriale Matrix
- Hyaluronsäure
- Verbindungsprotein
- Kernprotein
- Chondroitin-Sulfat } Ca. 150
- Keratan-Sulfat } Disaccharide
- Kollagenfibrille (15-100 nm dick)



Knorpeltypen

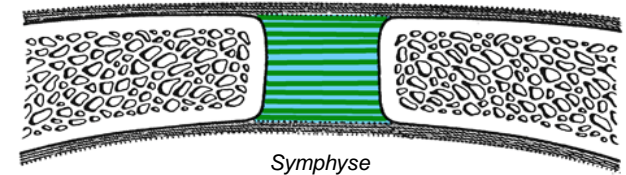
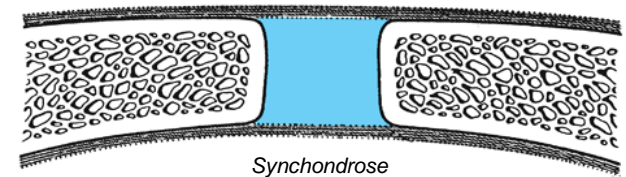
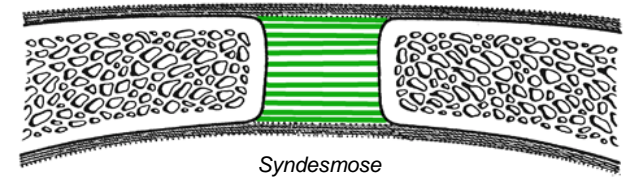
- *Hyaliner Knorpel*
 - *chondrale Osteogenese, Gelenknorpel, Rippen, Nase - Kehlkopf - Trachea - grosse & mittlere Bronchien*
 - *druckelastisch, nicht zugfest, nicht biegeelastisch*
- *Elastischer Knorpel*
 - *Epiglottis, kleine Bronchien, äusseres Ohr, Ohrtrumpete*
 - *demaskierte elastische Fasernetze in interterritorialer Matrix*
 - *zusätzlich Biegeelastizität*
- *Faserknorpel*
 - *Discus intervertebralis, Menisken, Disci articulares (Sterno-Klavikular-Gelenk, Radio-Karpal-Gelenk, Kiefergelenk)*
 - *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

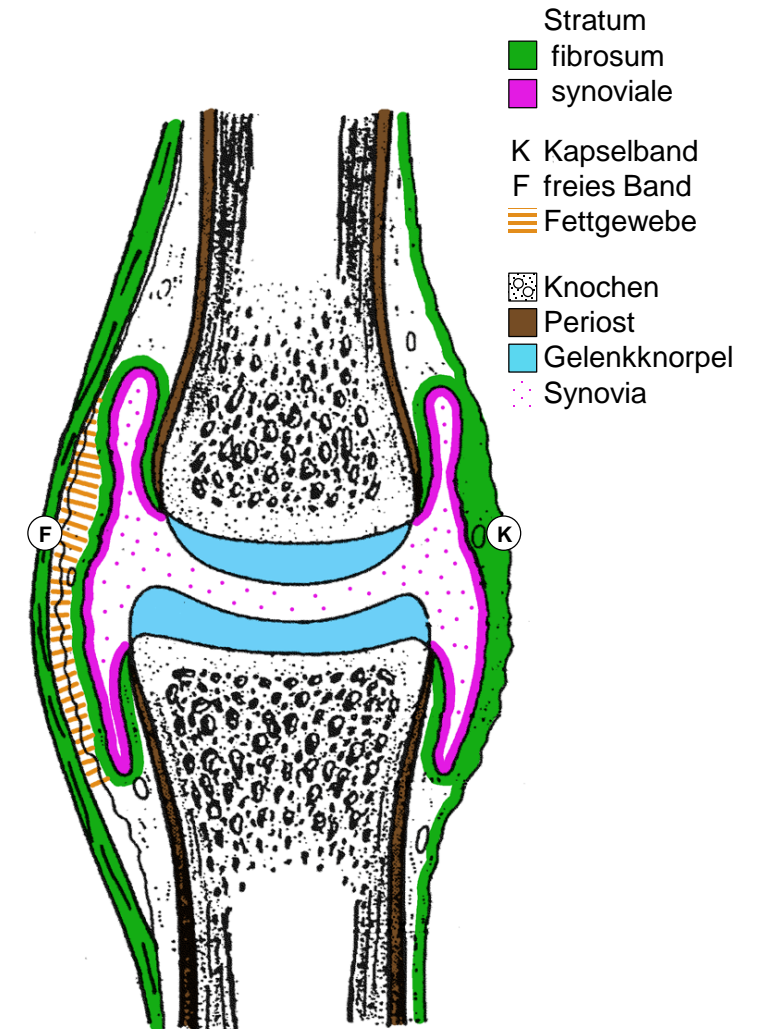
- *Diarthrose*
 - *echtes Gelenk mit:*
 1. *Gelenkspalt*, 2. *Gelenksknorpel*, 3. *Synovialmembran*
 - *kann an Arthrose und Arthritis erkranken*
- *Synarthrose (Haft)*
 - *falsches Gelenk mit Gewebebrücke statt Elemente 1-3*
 - *Art. fibrosa = Bandhaft = Syndesmose*
 - *Gewebebrücke aus straffem Bindegewebe (Zug):*
Malleolengabel, Schädelnähte bei Jugendlichen, Zahnwurzel
 - *Art. cartilaginea = Knorpelhaft*
 - Synchondrose* → *Gewebebrücke aus hyalinem Knorpel (Druck):*
Rippen, Sternum, Schädelbasis; Symphyse → *Gewebebrücke aus*
Faserknorpel (Druck & Zug): *Symphysis pubica, Discus intervertebralis*
 - *Synostose* → *knöcherne Verbindung ehemals separater Knochen:*
Schädelnähte des Erwachsenen, Beckenknochen
- *Pathologie*
 - *pathologische Gelenke:*
 - Hemiarthrose in Discus intervertebralis, Pseudoarthrose nach Fraktur*
 - *Gelenkversteifung: Ankylose, Versteifung durch Chirurg: Arthrodesese*

- straffes kollagenes Bindegewebe
- hyaliner Knorpel
- Faserknorpel



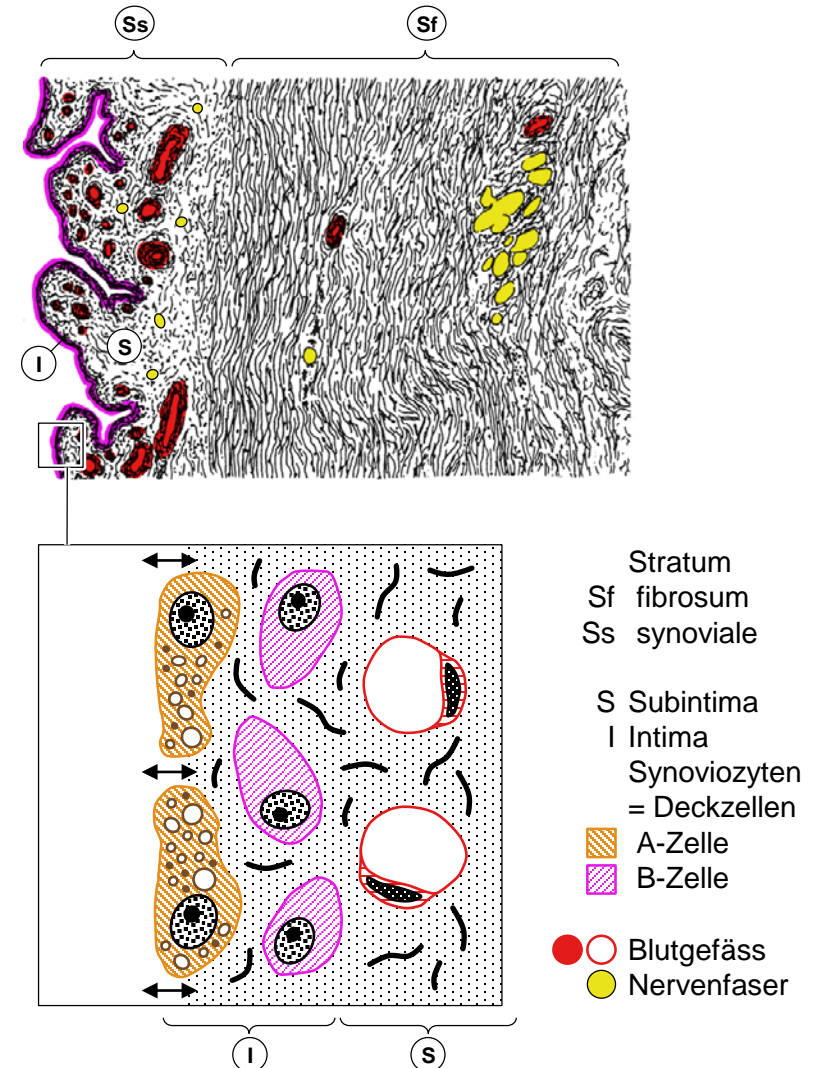
Diarthrosen

- *Gelenkkapsel*
 - *Stratum fibrosum* aussen, *Stratum synoviale* innen begrenzt mit *Gelenksknorpel* *Gelenkshöhle*
- *Gelenksicherung / -Führung*
 - *passiv: knöcherner Führung, Bandführung (freies Band, Kapselband = Verstärkung des Stratum fibrosum)*
 - *aktiv: Muskelführung (durch Training kompensatorisch verstärkbar)*
 - *Amphiarthrose: echtes Gelenk, durch maximale passive Führung kaum beweglich (Bsp: Iliosakralgelenk, Fusswurzel)*
- *Pathologie*
 - *Arthrose: Degeneration des Gelenkknorpels, entzündliche Schübe, sekundär auch Knochendestruktion, Bildung von Osteophyten*
 - *Arthritis: Gelenkentzündung ausgehend von Synovialmembran: rheumatisch (autoimmun), infektiös (eitrig, Borreliose nach Zeckenbiss) → Gelenkserguss, ev. Gelenksdestruktion*
 - *Luxation = Auskugelung*
 - *Distorsion = Verstauchung, Überdehnung oder Ruptur von Kapsel und Bandapparat*



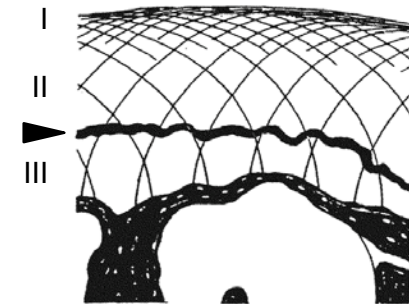
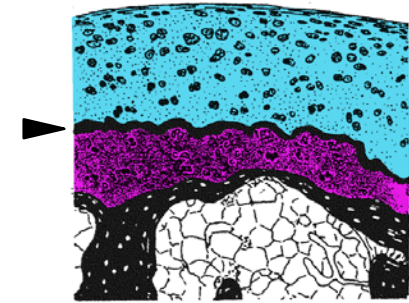
Gelenkkapsel

- *Stratum fibrosum*
 - gefässarmes straffes kollagenes Bindegewebe
- *Stratum synoviale*
 - *Subintima*: gefässreiches feinfibrilläres Bindegewebe, Falten und Zotten → Oberflächenvergrößerung
 - ev. Polster aus Fettgewebe → Anpassung an Form der Gelenkkörper
 - *Intima*: 1-3 lockere Lagen nicht-epitheliale Deckzellen = Synoviozyten = Synovialzellen, keine Basallamina:
 - A-Zellen = Makrophagen → Reinigung der Synovia
 - B-Zellen = Fibroblasten mit viel rER → Hyaluronsäure
- *Innervation*
 - Mechano- (Dehnung, Vibration) und Nozizeptoren
- *Synovia*
 - Gelenkschmiere: 1-3 ml, klar, bernsteinfarben, viskös
 - Fortsetzung interstitieller Flüssigkeit plus Hyaluronsäure produziert durch B-Zellen
 - mechanische (hocheffizientes Schmiermittel, Stossdämpfer) Funktion und Ernährung Gelenkknorpel



Gelenkknorpel

- *Schichtung*
 - *hyaliner Knorpel ohne Perichondrium, keine Blutgefäße*
Ernährung via Knochen und Synovia
 - *basophile Grenzlinie (tidemark)*
 - *mineralisierte Knorpelschicht (0.1 mm)*
 - *gesamte Dicke 1-4 mm, Patella 8 mm*
- *Mechanik*
 - *Stossdämpfer, Druckverteilung,*
Ausgleich knöcherner Gelenksgeometrie, extrem glatte Oberfläche
 - *bogenförmiger Verlauf der bis 50-100 nm dicken (statt 15-20 nm)*
Fibrillen, tangentielle Fibrillen bevorzugt trajektorieell ausgerichtet
(Zugkraftlinien) → Knorpelspaltlinien
 - *periphere tangentielle Fibrillen strahlen in Synovialmembran ein,*
radiäre in den Knochen (Kortikalis der Epiphyse)
 - *Knorpel mit Knochen verzahnt*
 - *Mineralisation: stufenweiser Übergang der Materialeigenschaften*



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