



Allgemeine Anatomie II

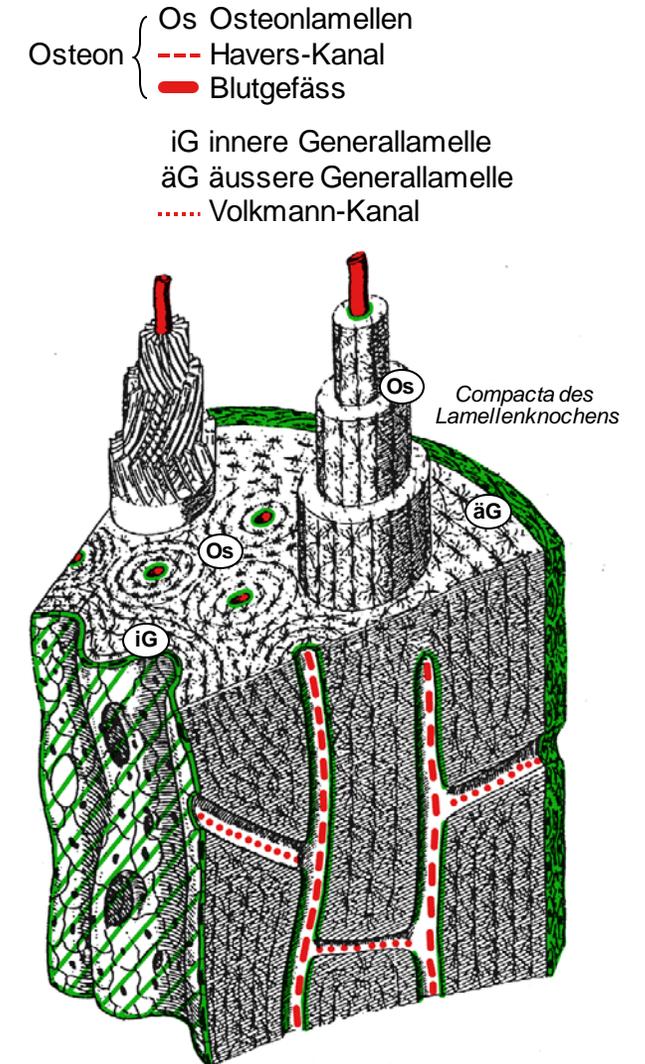
Knochen, Knorpel, Gelenke

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 27.02.2018

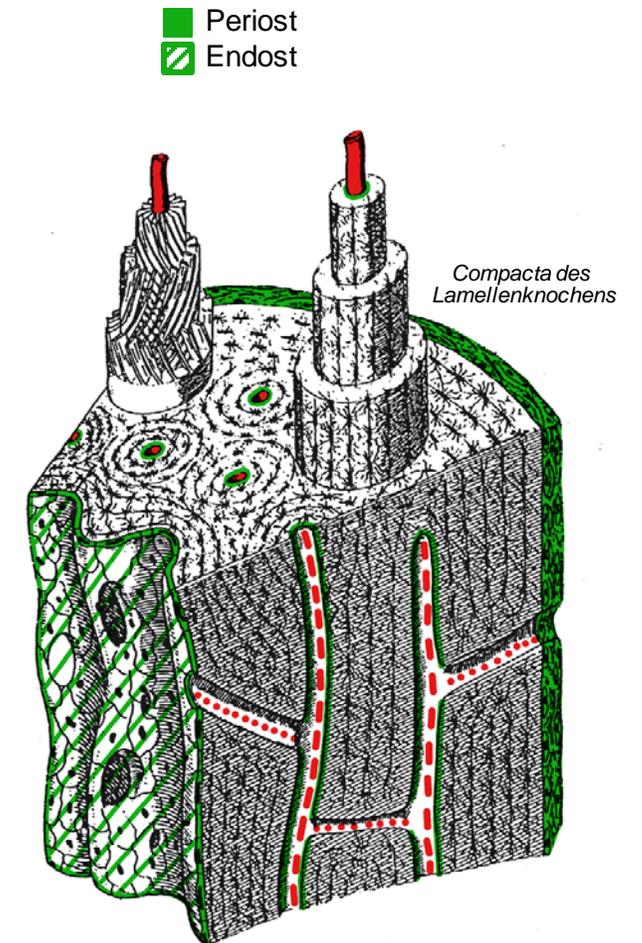
Mikroanatomie des Knochengewebes

- 99.9 Volumen% Extrazelluläre Matrix
 - extrazelluläre Matrix: kollagene Fibrillen (va Typ I), Hydroxyapatit, Proteoglykane, Adhäsionsproteine
 - 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 teilweise als Geflechtknochen bestehen
- Lamellenknochen
 - Umbau Geflechtknochen → Lamellenknochen
 - 3-8µm dicke Lamellen, Osteozyten in Grenzflächen, Fortsätze in Lamellen
 - Kollagenfibrillen 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



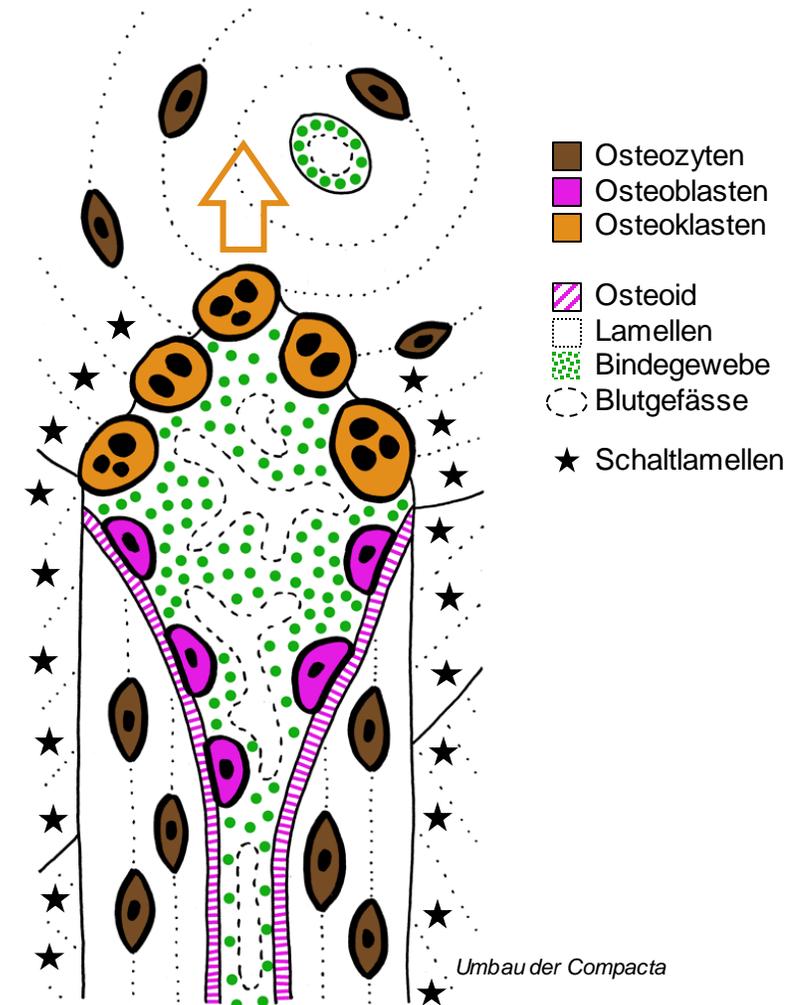
Periost und Endost

- Periost = Knochenhaut
 - äussere Knochenoberfläche, ausser bei chondral-apophysären Sehnen- und Bandansätzen und 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



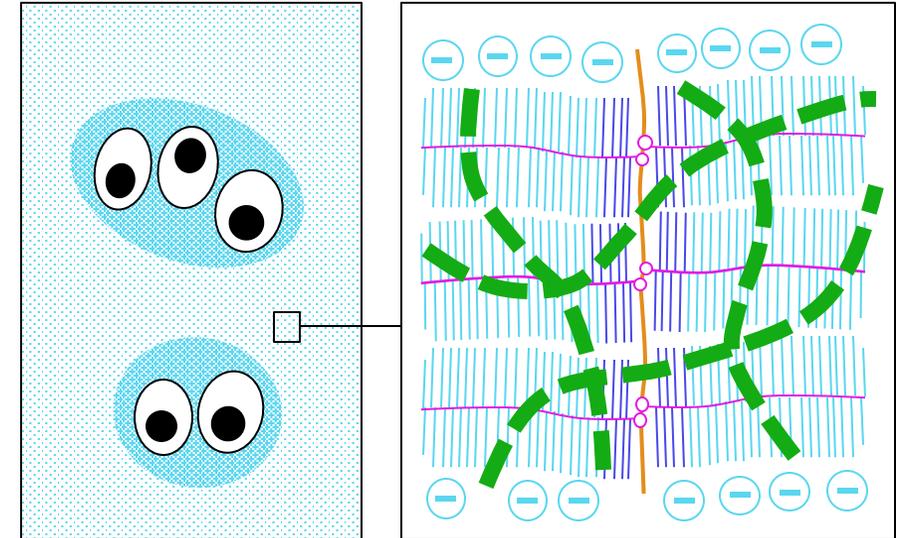
Knochenumbau

- Knochenumbau
 - Abbau: Osteoklasten (H^+ Pumpe)
 - Aufbau (Ossifikation): skelettale Stammzellen \rightarrow Osteoprogenitorzellen \rightarrow Osteoblasten \rightarrow 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 \rightarrow oberflächliche Lakunen
- Kompakta
 - 4% Austausch pro Jahr
 - Osteoklasten-Trupp \rightarrow Tunnel, Schaltlamellen bleiben übrig
- Störungen
 - Osteoporose = ungenügende Masse (Abbau $>$ Aufbau)
 - Osteomalazie = ungenügende Mineralisation, zB Vit. D-Mangel (Rachitis), Hormonstörungen

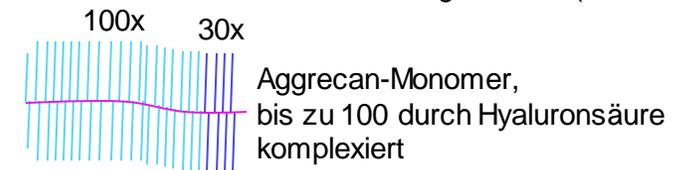


Knorpelgewebe

- 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 Aggrecan-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 Volumen%), Anspannung der Fibrillen. H₂O entweicht bei Kompression → Druckelastizität
- Perichondrium = Knorpelhaut
 - Faserschicht: Bindegewebe
 - chondrogenetische Schicht (beim Erwachsenen ruhend): Stammzellen, Chondroprogenitorzellen, Chondroblasten
 - fehlt beim Gelenkknorpel

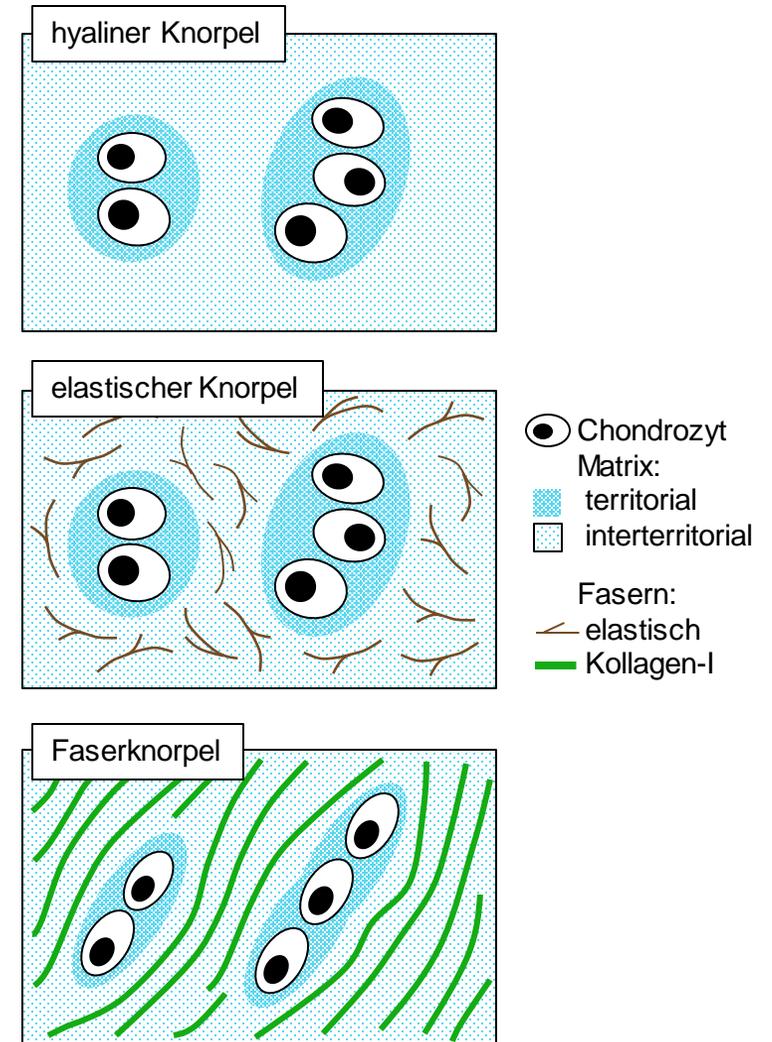


- Chondrozyt
- territoriale Matrix
- interterritoriale Matrix
- Hyaluronsäure
- Verbindungsprotein
- Kernprotein
- Chondroitin-Sulfat } Ca. 150 Disaccharide
- Keratan-Sulfat }
- Kollagenfibrille (15-100 nm dick)



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

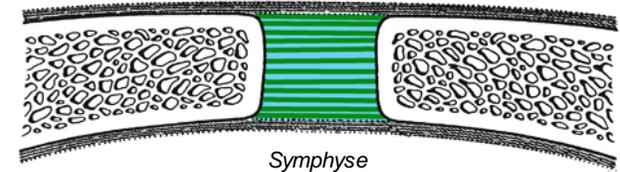
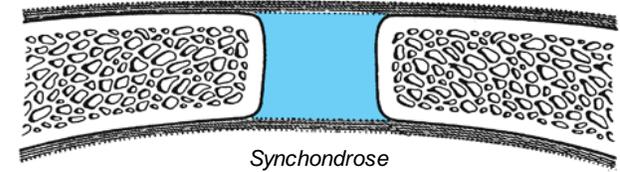
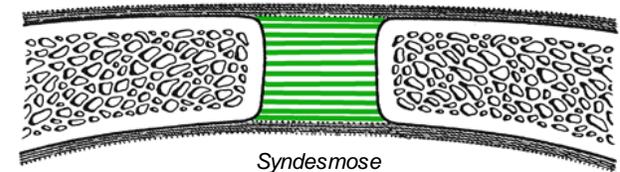
- Synarthrose (Haft)

- 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, Wachstumsfugen; Symphyse → Gewebebrücke aus Faserknorpel (Druck & Zug): Symphysis pubica, Discus intervertebralis
- Synostose → knöcherne Verbindung ehemals separater Knochen:
Schädelnähte des Erwachsenen, Beckenknochen

- Pathologie

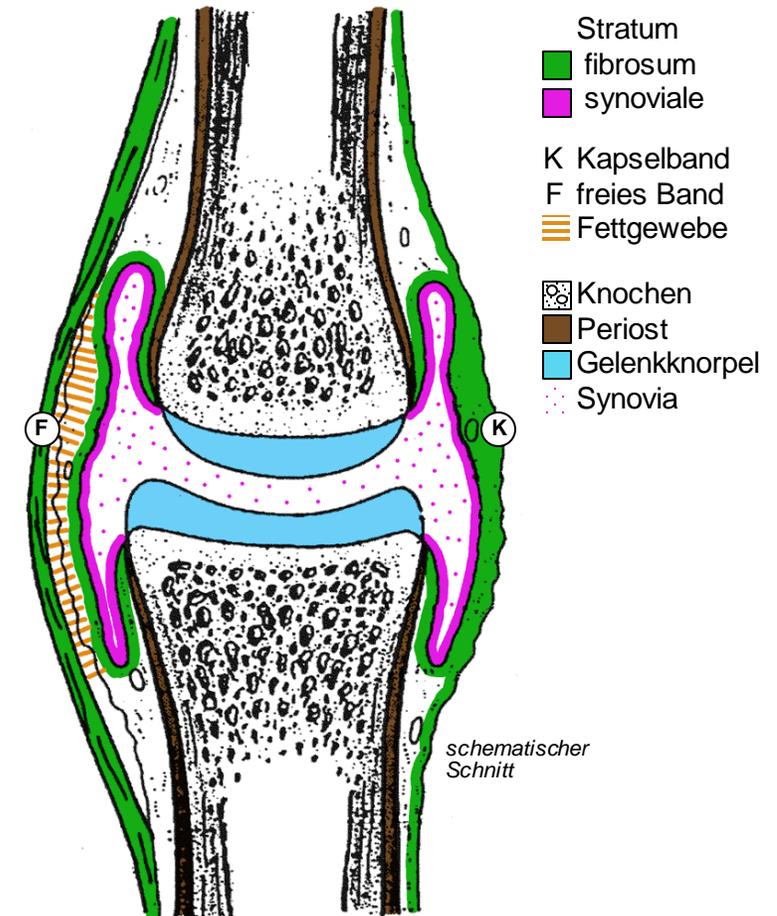
- pathologische Gelenke: Hemiarthrose durch sekundäre Spaltbildung in Symphyse (zB Halswirbelsäule), Pseudoarthrose nach Fraktur
- Gelenkversteifung: Ankylose nach destruierender Arthritis, therapeutische Gelenkversteifung durch Chirurg: Arthrodesese

- straffes kollagenes Bindegewebe
- hyaliner Knorpel
- Faserknorpel



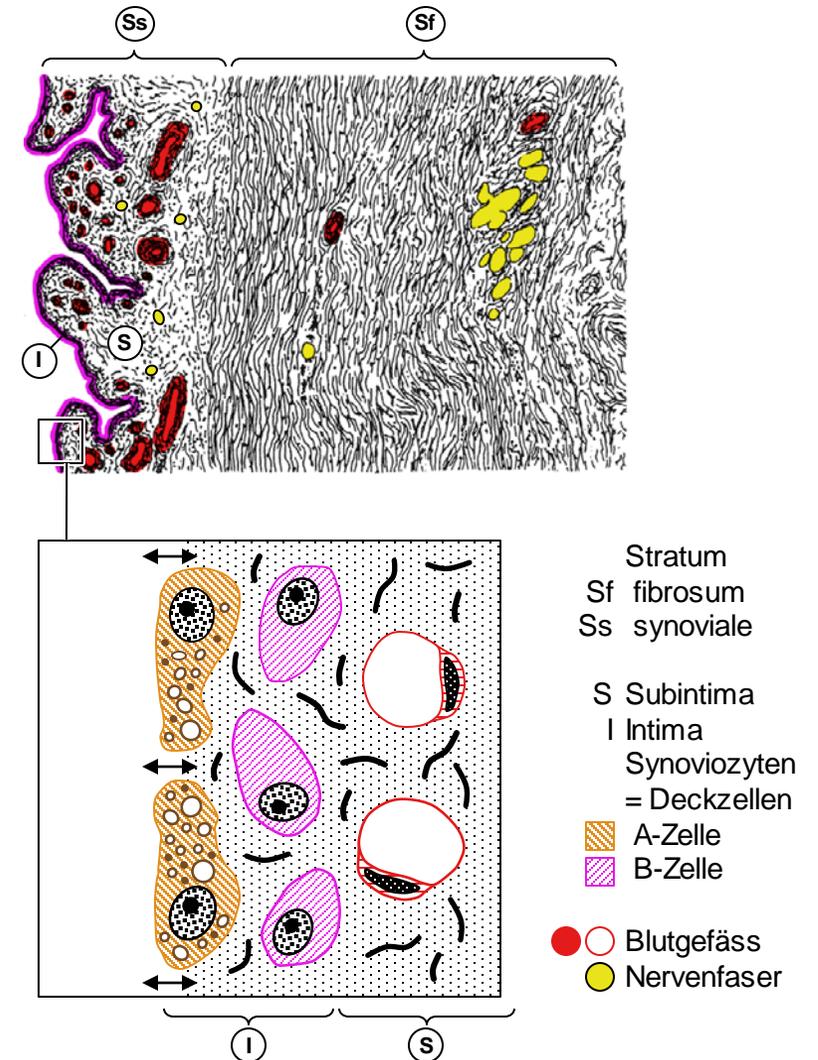
Diarthrosen

- Gelenkkapsel
 - Stratum fibrosum aussen stabilisiert mechanisch, 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 Gelenksknorpels, entzündliche Schübe, sekundär auch Knochendestruktion, 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



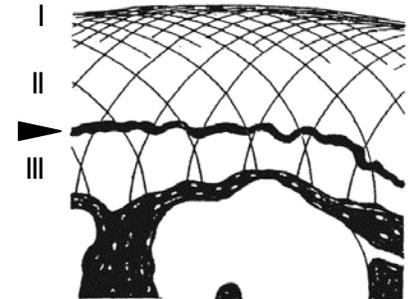
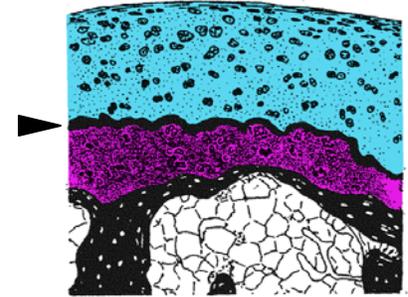
Gelenkkapsel

- **Stratum fibrosum**
 - gefässarmes straffes kollagenes Bindegewebe
- **Stratum synoviale**
 - Subintima: gefässreiches feinfibrilläres Bindegewebe, Falten und Zotten → Oberflächenvergrößerung
 - ev. Polster aus Fettgewebe → Anpassung an Form der Gelenkskörper
 - 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 via Synovia
 - basophile Grenzlinie (tidemark)
 - mineralisierte Knorpelschicht (0.1 mm)
 - gesamte Dicke 1-4 mm, Patella (Kniescheibe) 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 entlang Zugkraftlinien ausgerichtet → Knorpelspaltlinien
 - periphere tangentielle Fibrillen strahlen in Synovialmembran ein, radiäre in den Knochen (Kortikalis der Epiphyse)
 - Knorpel mit Knochen verzahnt
 - mineralisierte Knorpelschicht: stufenweiser Übergang der Materialeigenschaften



- I Tangentialzone
- II Übergangszone
- III Radiärzone

- hyaliner Knorpel
- ▲ Grenzlinie
- mineralisierter Knorpel
- Knochen