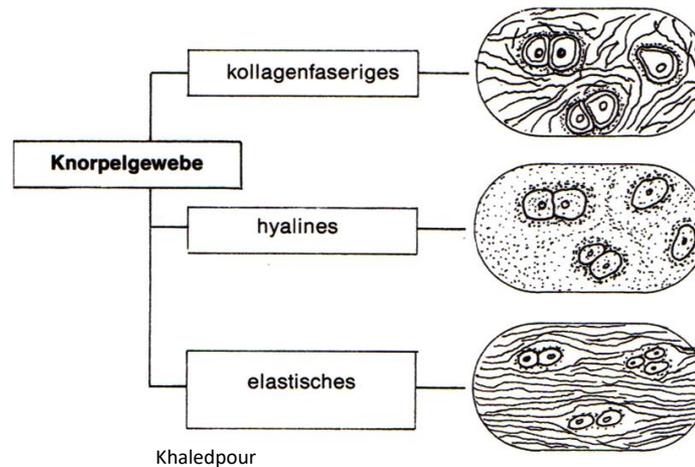


spezielles Bindegewebe

- Zellen
- Fasern
- amorphe Grundsubstanz

Knorpelgewebe

- Fest, druckelastisch, schneidbar
- enthält kein Gefäß – passive Versorgung – Diffusion (Bradytopes Gewebe)
- sehr geringe Regenerationsfähigkeit
- Unterteilung
 - Hyaliner Knorpel
 - Elastischer Knorpel
 - Faserknorpel
 - Fetaler Knorpel (enthält Gefäße)



Knorpelzelle: Chondrozyt (enddifferenziert) und Chondroblast

- Produzieren die Matrix
 - Wasser
 - Kollagen Typ II, IX, X XI
 - Hyaluronan + Proteoglykan Aggrecan
 - Glykoproteine



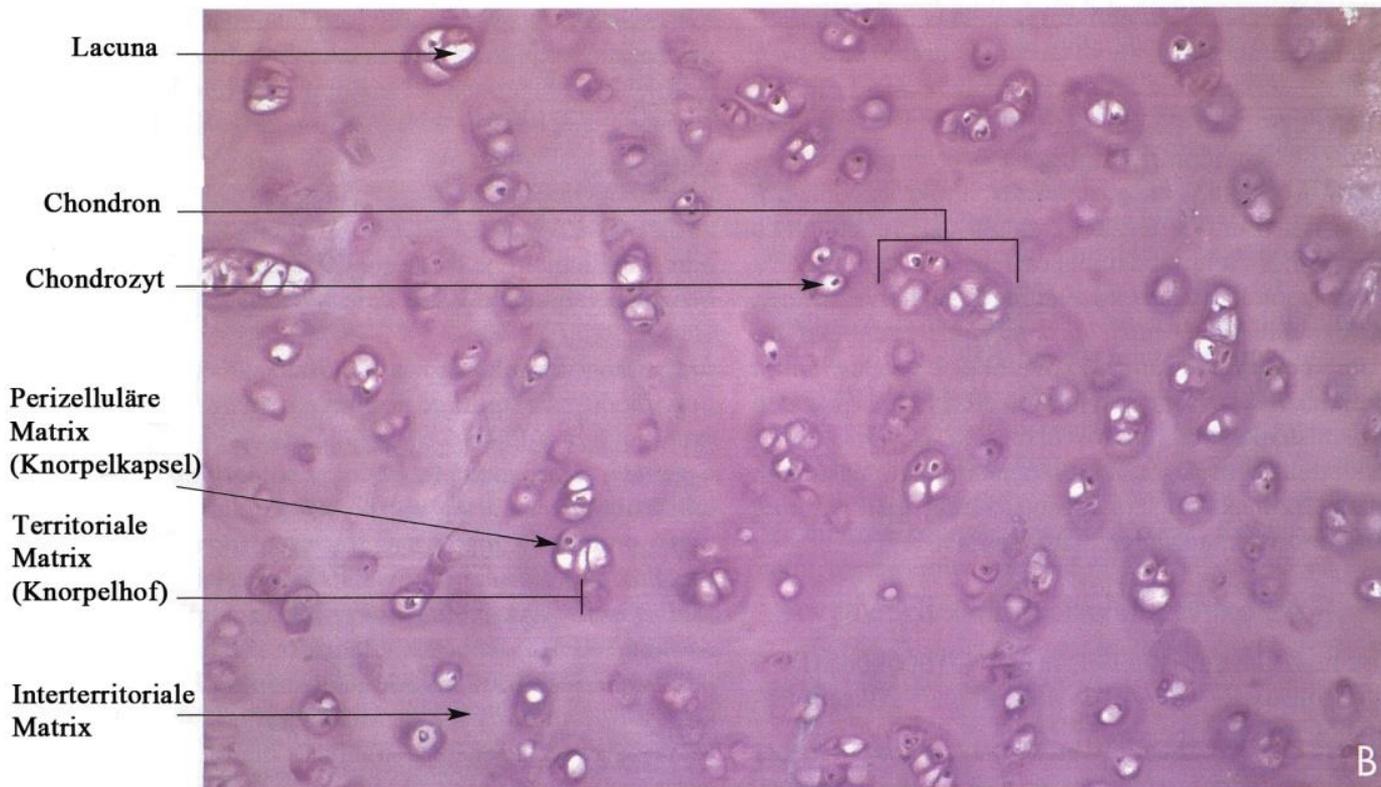
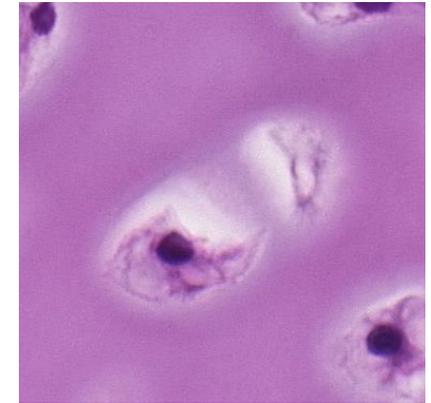
Keratan und Chondroitinsulfatketten - > Wasser binden - > Elastizität

Perichondrium – bindegewebliche Umgebung

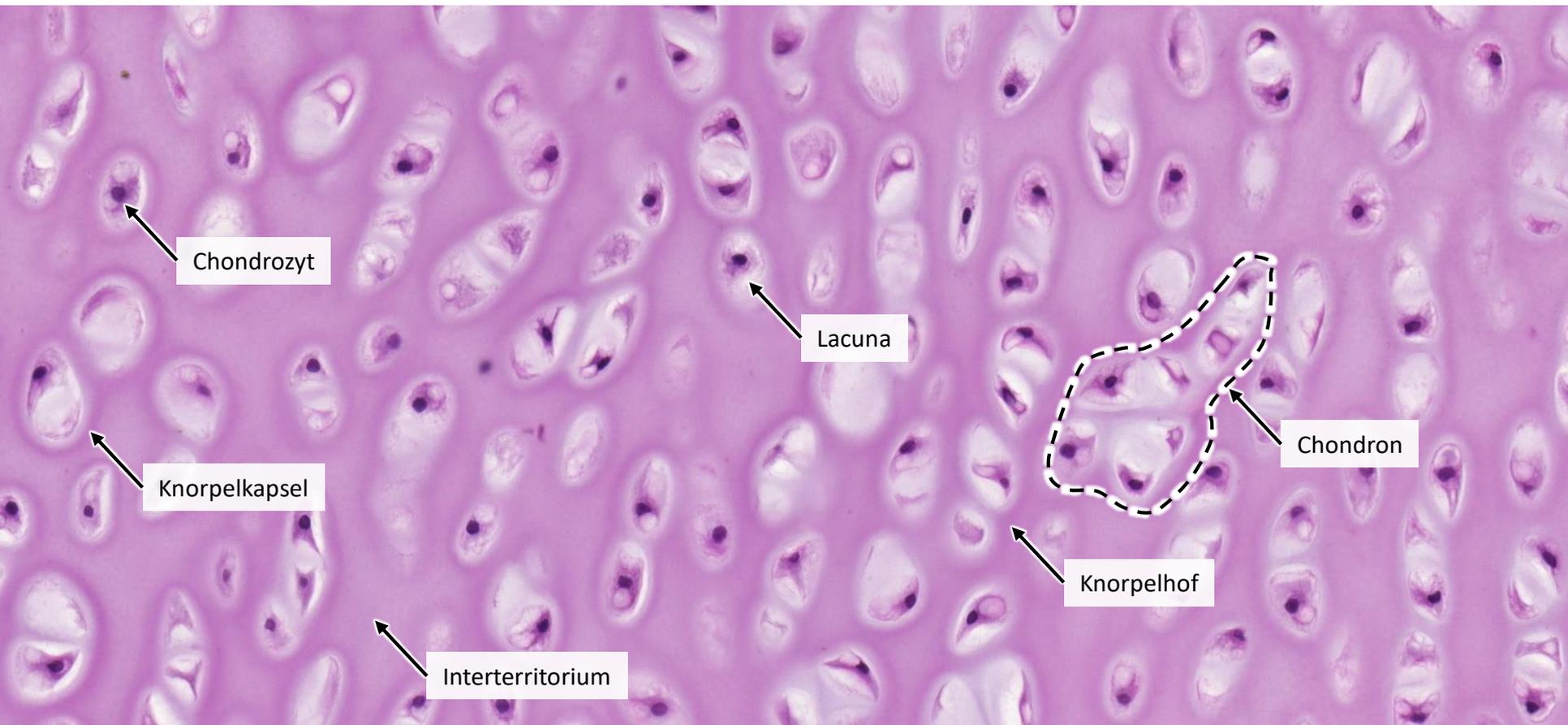
- äußeres Str. fibrosum
- inneres Str. chondrogenicum (/cellulare) aber schlechte Regenerationsfähigkeit



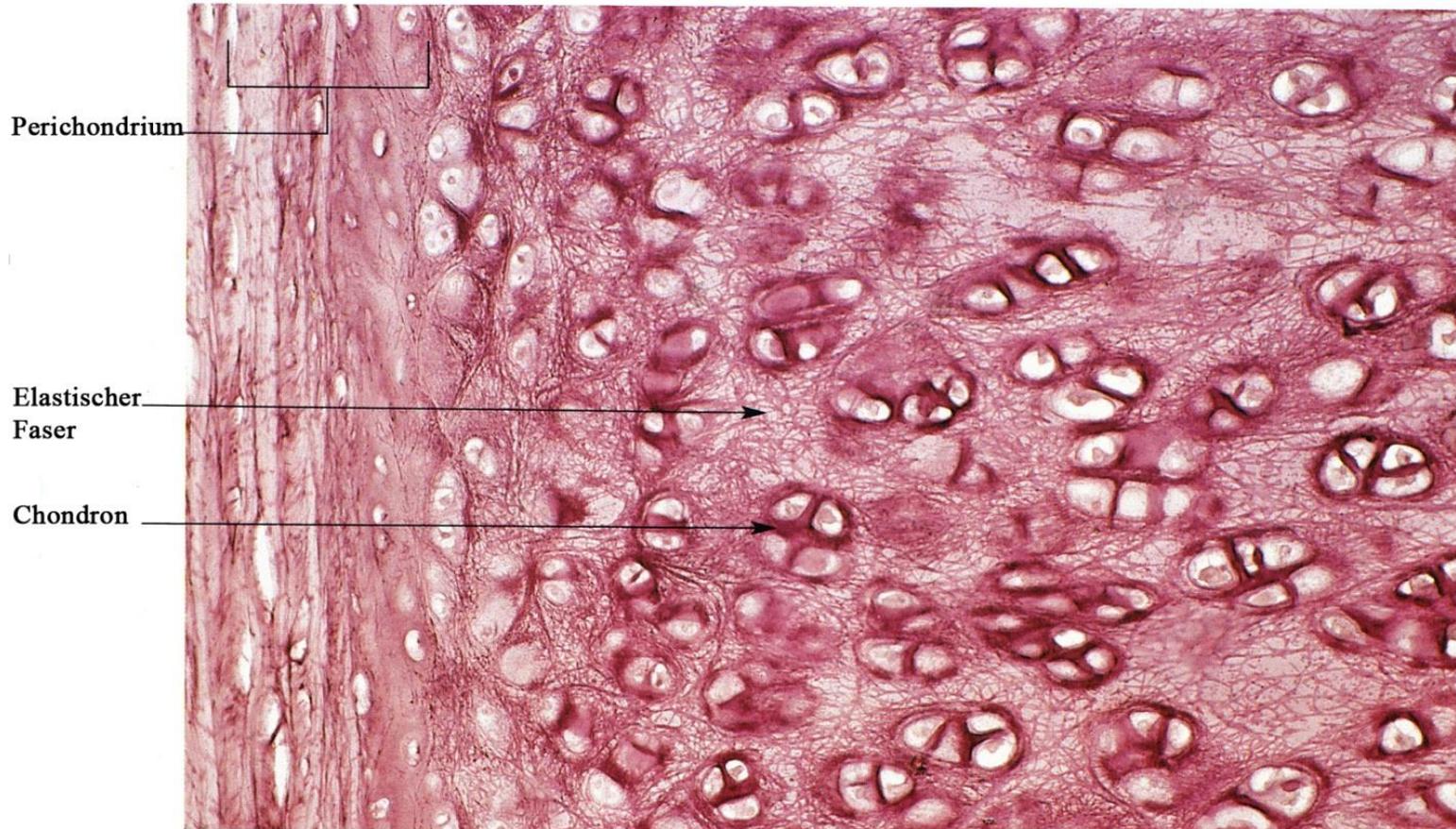
- Chondrozyten liegen in kleiner Gruppen beieinander – **Chondron** (histologische Einheit)
- **Knorpelhof**: intensiv sulfatierte Glucosaminoglykane -> blauviolett im HR Präparat
- **Knorpelzellhöhle**: die einzelne Knorpelzellen liegen in einer **Lacuna**
- **Knorpelkapsel** (perizelluläre Matrix): die Wand der Lacuna (Schutz gegen Druck ?)
- Chondrone = **Territorium** = Knorpelzellgruppen + Knorpelhof
- die Matrix zw. den Chondronen: **Interterritorium**



- 2-8 Chondrozyten / Chondron
- glasig, durchscheinend
- Stark basophile territoriale Matrix
- Kollagen Typ II – unsichtbar – sie sind maskiert wegen des gleichen Brechungsindex der Matrix
- „Astbestfaserung“ und Verkalkungen – Degenerationszeichen
- Vorkommen: Rippenknorpel, Gelenknorpel (kein Perichondrium), Atemwege



- 2-4 Chondrozyten / Chondron – oft in eine Reihe angeordnet
- Elastische Fasern – mit Perichondrium verbunden
- Vorkommen: Ohrmuschel, Tuba auditiva, Stellknorpel, Epiglottis und kleine Kehlkopfknorpel, kleinste Bronchusknorpel

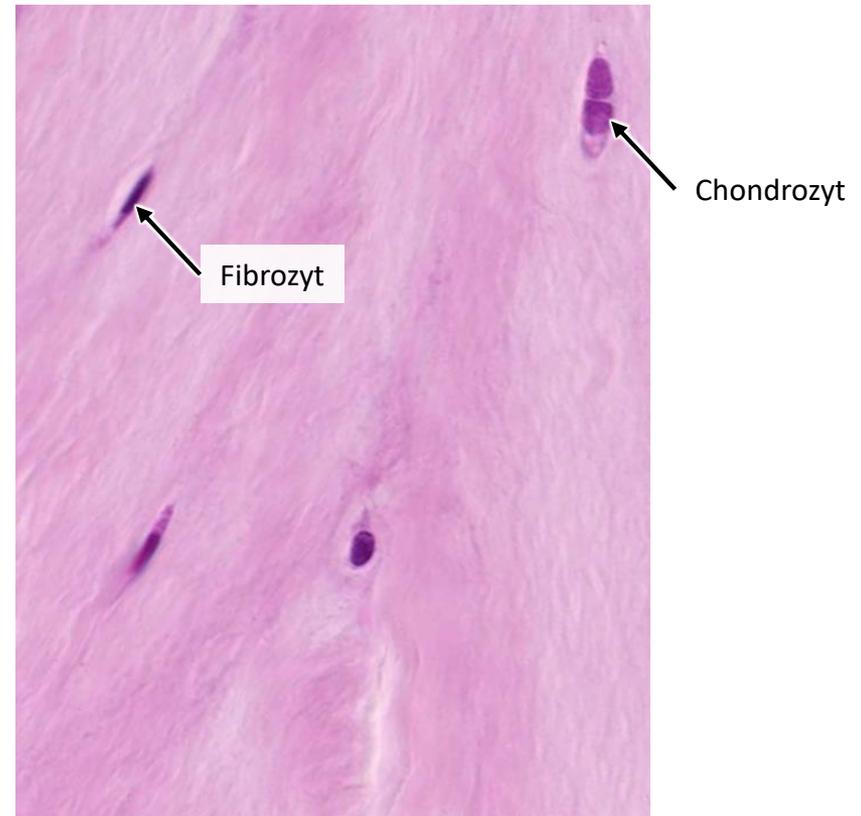
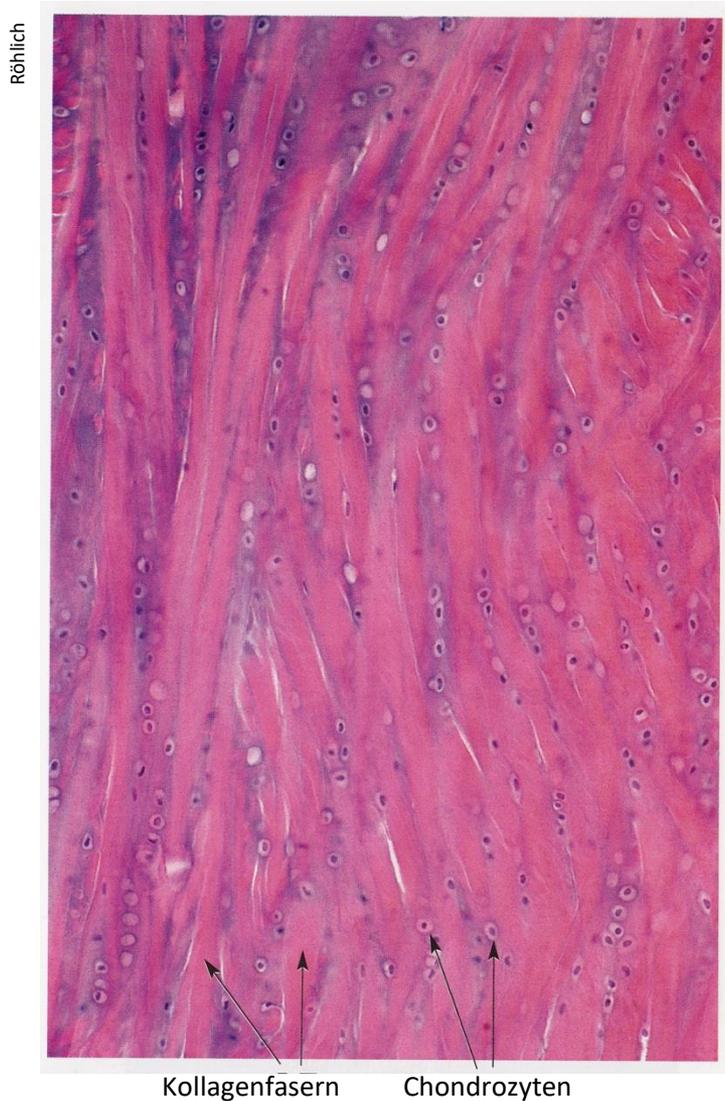


- in straffem Bindegewebe einzelne Zelle / kleine Chondronen
- Matrix ist Kollagen Typ II
- besitzt kein Perichondrium

Faserknorpel

Vorkommen:

- Anulus fibrosus von Disci intervertebrales
- Symphysis pubica
- Disci und Menisci in Gelenken
- Gelenksfläche einzelner Gelenke (z. B. Art. temporomandibularis)



Knochengewebe

- festes und hartes Bindegewebe
- Stütz und Schutzfunktion, metabolische Speicherfunktion (Ca, Mg, PO₄)
- spezielle, verkalkte Matrix

- 35% organische
 - Kollagen Typ I in helikal verlaufender Fasernbündel
 - der Steigungswinkel und Ausrichtung wechselt von Lamelle zu Lamelle
 - Osteocalcin, Osteopontin, Osteonectin
 - Osteoblasten produzieren

- 65% anorganische Salzen
 - Hydroxiapatit – kristalline Form des Calciumphosphat
 - Carbonationen, Citrationen, weitere Ionen
 - Mineralisierung
 - Kristallisationskeimen der Kollagenfibrillen
 - abschnürende Osteoblastenfortsätze (Matrixvesikel)

- hormonale, metabolische, nutritive Einflüsse

Makroskopisch

- Kompakter Knochen – **Substantia corticalis/compacta**
 - peripherer Teil des Knochens
- Spongioser Knochen – **Substantia spongiosa**
 - Knochen trabekeln
 - Biegebeanspruchung (z.B: Femurkopf)
 - Druckbeanspruchung (z.B: Wirbelkörper)



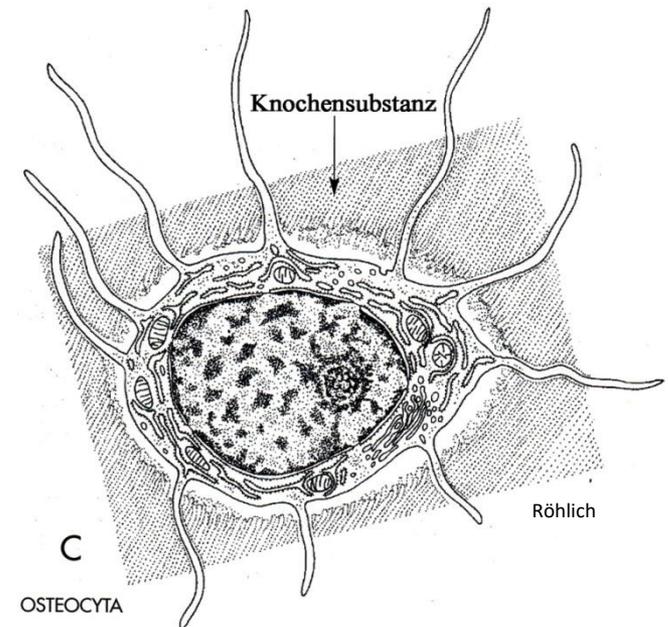
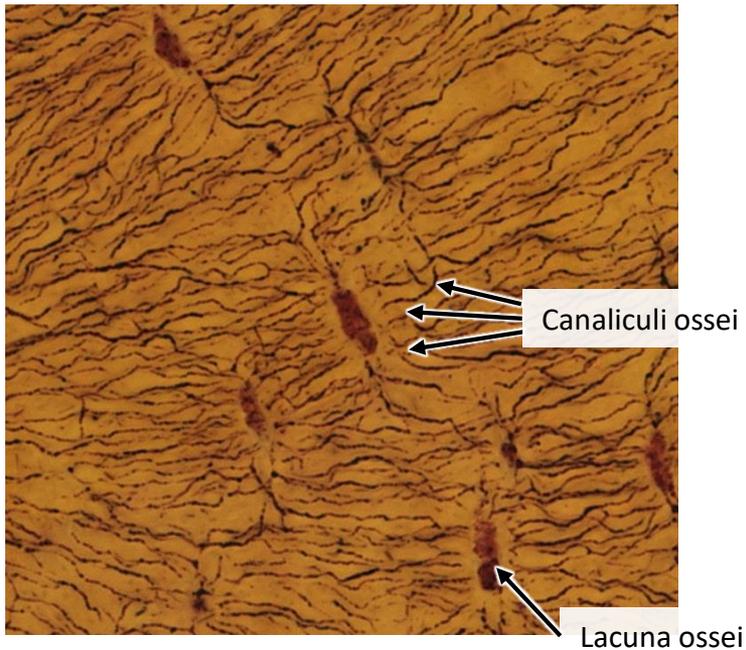
- große mechanische Belastbarkeit
- sparsamer Materialgebrauch
- geringes Gewicht



Baksa

Osteozyten

- terminal ausdifferenzierte Osteoblasten
- liegen in den Lakunen
- viele, stark verzweigte Fortsätze (in Canaliculi ossei)
- miteinander durch Gap junctions verbunden
- um unverkalkte Matrix (perizellulärer Raum)
- Versorgung: hauptsächlich durch Diffusion
- Mechanosensoren – steuern den Umbau des Knochens



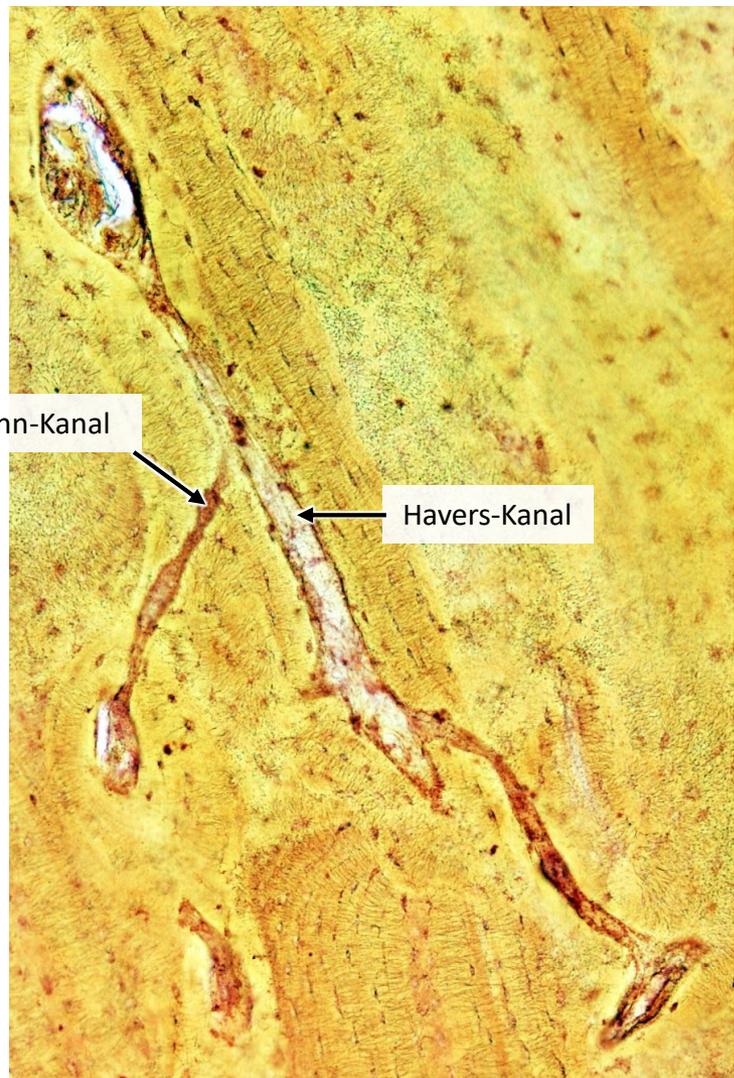
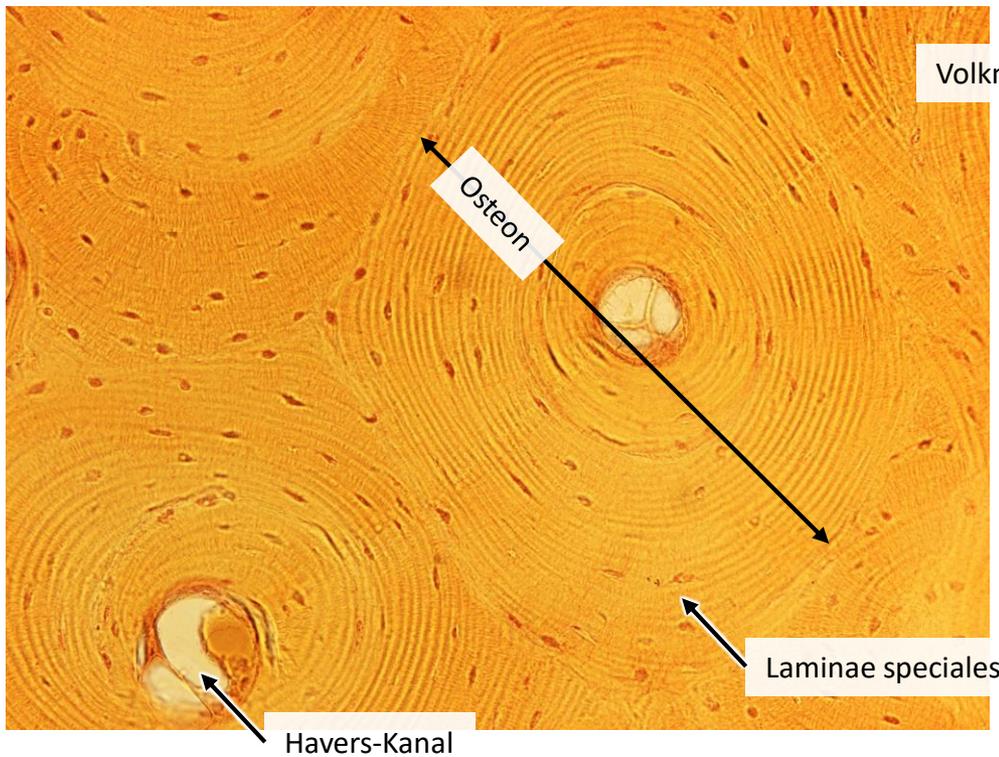
Baueinheit: **Lamellen**

- linsenförmige **Lacunen** – miteinander durch feine Kanälchen (**Canaliculi ossei**) verbunden
- in der Spongiosa: unregelmäßig
- in der Kompakta: Spezial-, Schalt- und Generallamellen



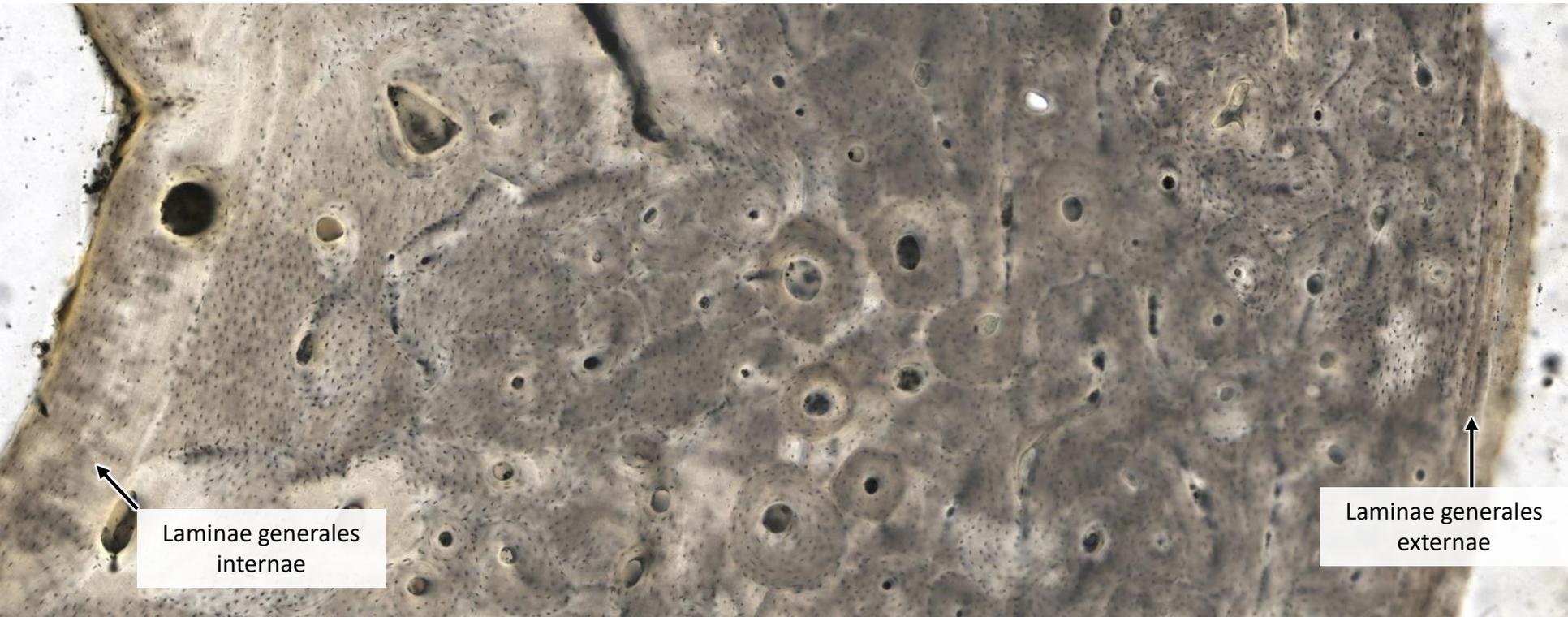
Histologische Einheit: **Osteon**

- **Havers Kanal** + Speziallamellen (Laminae speciales) (4-20)
- im Querschnitt: rund / oval
- Die Wand: konzentrische Speziallamellen
- Mit Endost ausgekleidet
- Gefäße in lockeres Bindegewebe
- Sie sind miteinander durch Volkmann Kanäle verbunden



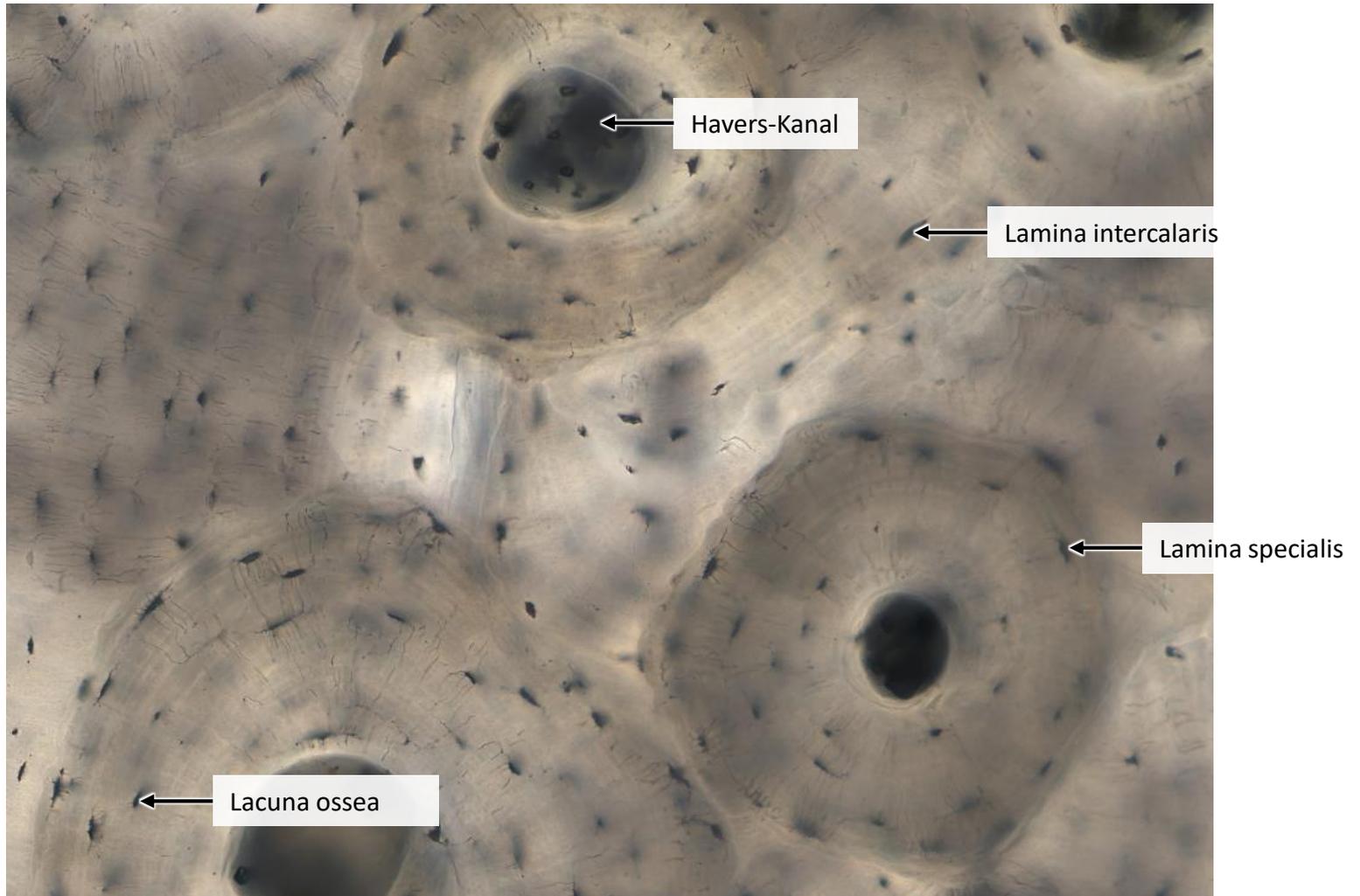
Generallamellen

- unter und parallel zur Oberfläche – **Laminae generales externae**
- kleiden die Markhöhle aus – **Laminae generales internae**



Schaltlamellen

- zw. **Osteonen**
- Reste alter abgebautete Osteone



Kittlinie – Zementlinie: scharfe Grenze zw. Osteonen und Schaltlamellen

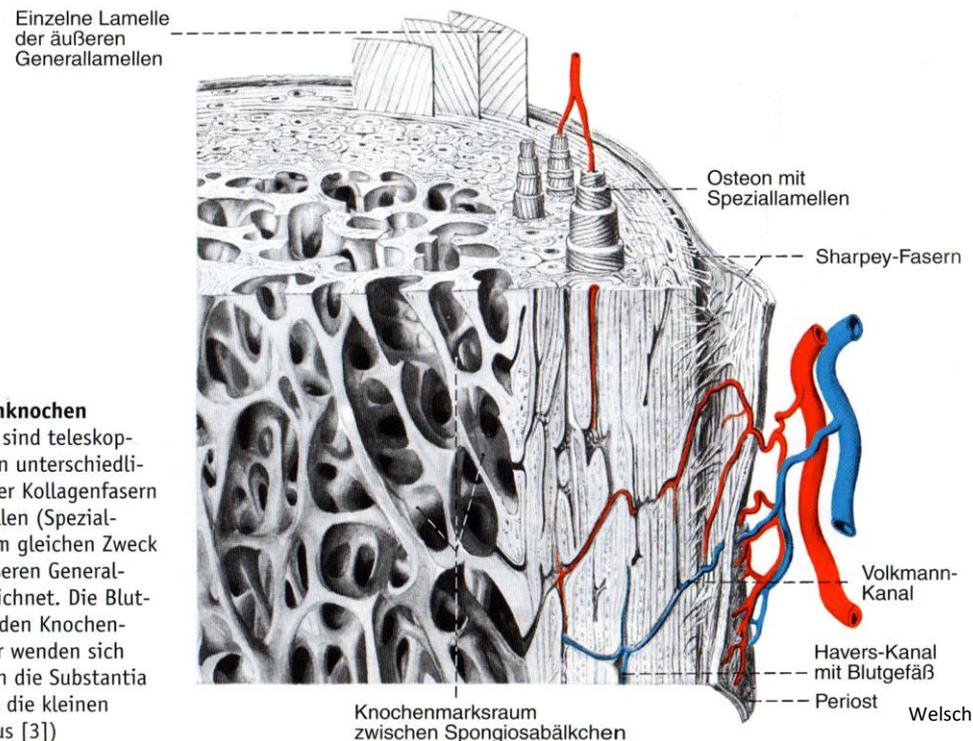
Endost

- kleidet die Markhöhle und das Havers-System aus und bedeckt die Trabekeln
- innere Schicht: Knochendeckzelle / Saumzelle (ruhende Osteoblasten)

Blutversorgung

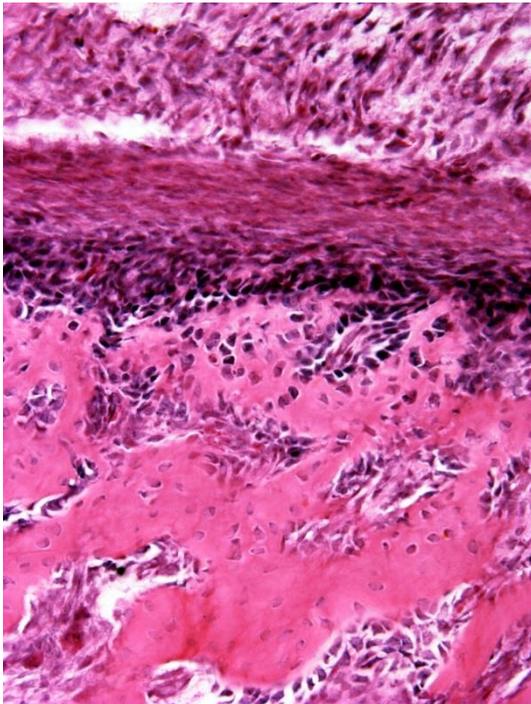
- aa. Nutriciae – ohne Verzweigung durch die Subst. compacta in die Markhöhle
- einige Gefäße ziehen in Subst. compacta zurück - Havers Kanäle
- Vv. des Havers System münden in das Sinus des Marks
- Die Vv. verlassen das Knochen mit den oder ohne den Gefäßen

Abb. 3.2.44 Lamellenknochen
(Schema). Drei Osteone sind teleskopartig dargestellt, um den unterschiedlichen Steigungswinkel der Kollagenfasern (-fibrillen) in den Lamellen (Speziallamellen) zu zeigen. Zum gleichen Zweck sind 3 Lamellen der äußeren Generallamellen in Stufen gezeichnet. Die Blutgefäße treten zuerst in den Knochenmarkraum ein. Von hier wenden sich Verzweigungen zurück in die Substantia corticalis und versorgen die kleinen Gefäße der Osteone. (Aus [3])



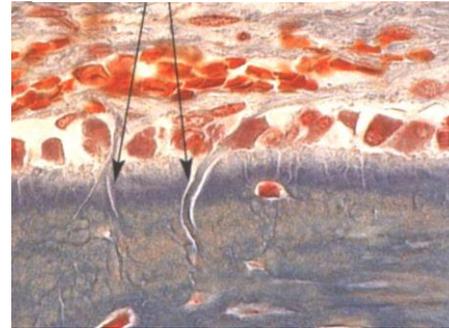
Periost

- besteht aus 2 Schichten
 - Str. fibrosum – äußere
 - Str. osteogenicum – innere
- Sharpey-Fasern befestigen am Knochen



Baksa

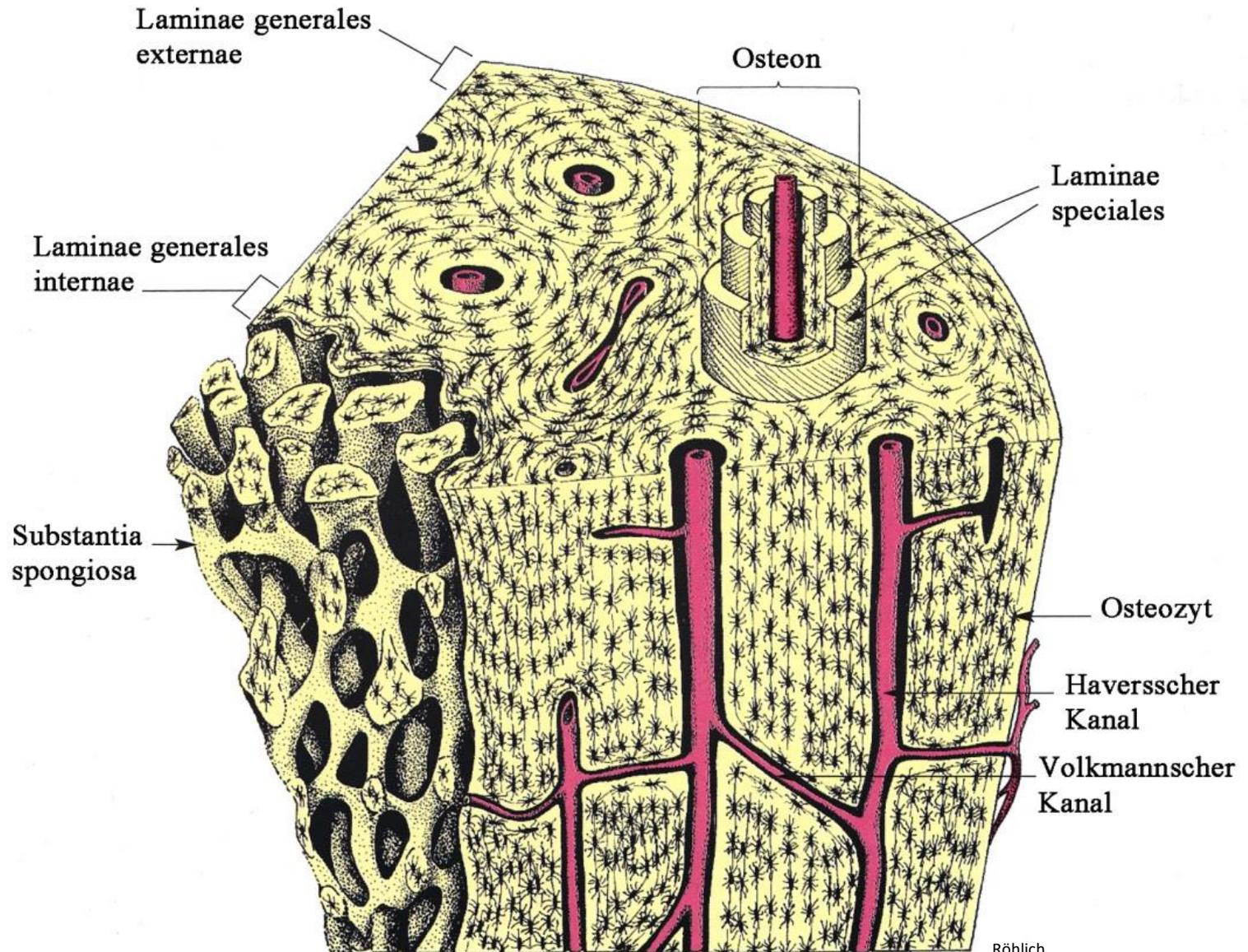
Sharpey-Fasern

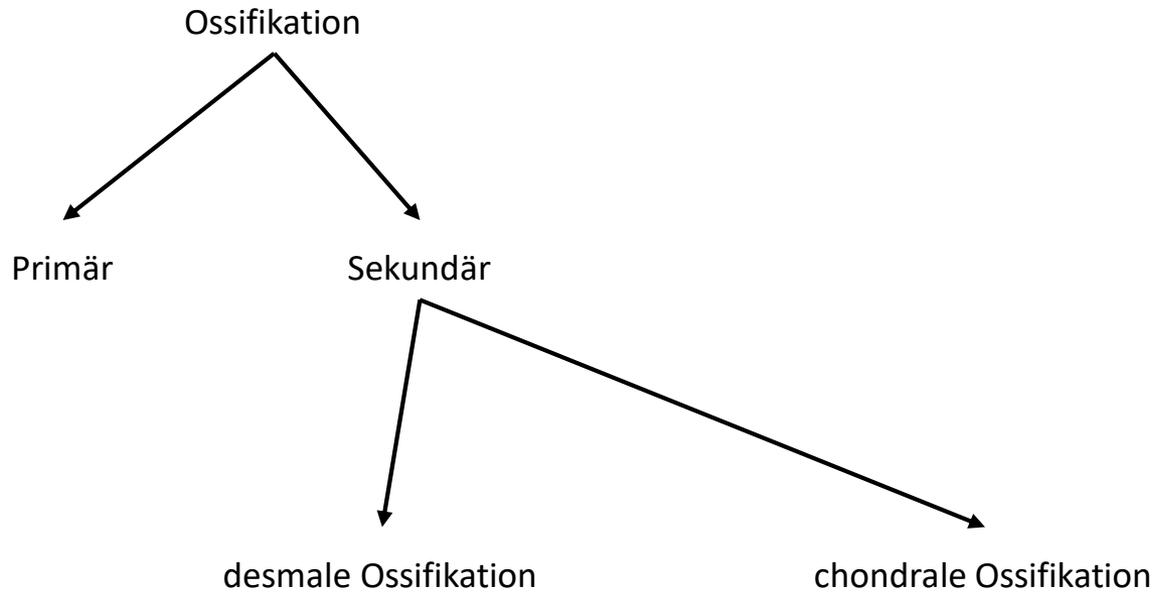


Röhlich

Str. osteogenicum:

Appositionelles Knochenwachstum





Bei beider Formen der Ossifikation entsteht zuerst Geflechtknochen.

Osteoblasten

- Kubische oder prismatische Zellen, reich an Zellorganen, basal liegender Zellkern mit 1-3 Nucleoli.
- Produzieren die Knochenmatrix (**Osteoid**)
- Teilnahme an Mineralisation (Fortsätze)
- Steuern die Osteoklasten

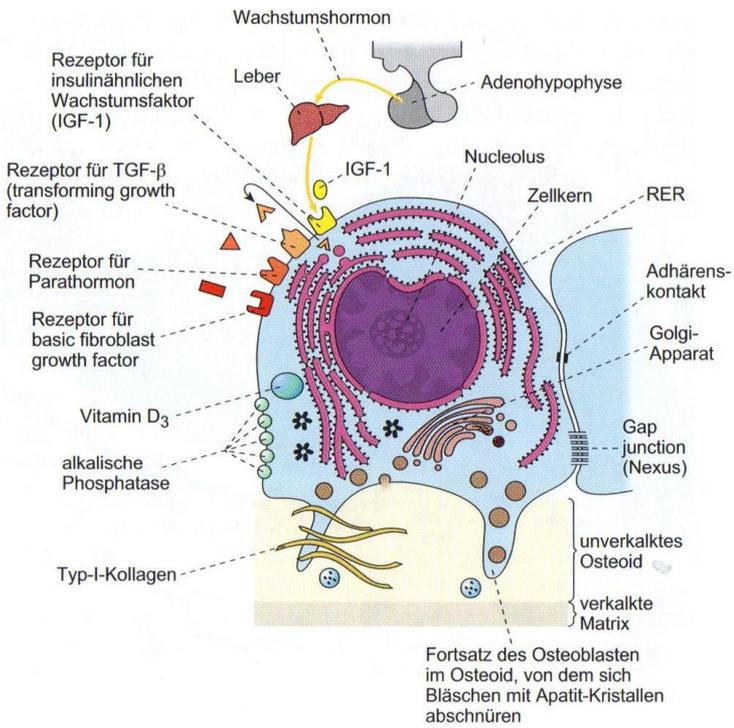


Abb. 3.2.37 Osteoblast (Schema) mit Rezeptoren und Einbindung in den Knochenstoffwechsel.

Welsch

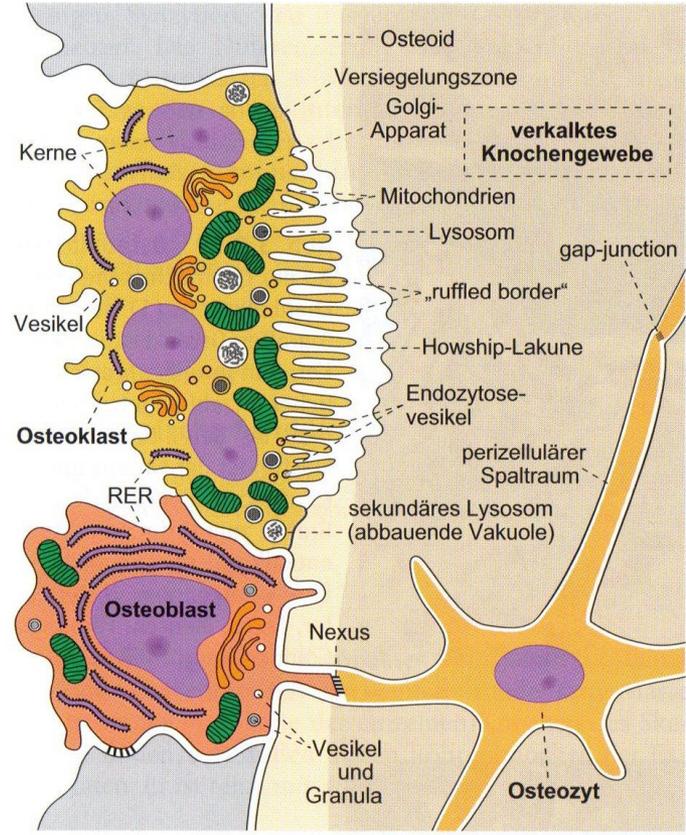


Abb. 3.2.35 Osteoblasten, Osteoklasten und Osteozyten (Schema). Der Raum unter den Osteoklasten wird Howship-Lakune oder subosteoklastisches Kompartiment genannt.

Welsch

Osteoklasten

- Vielkernige Zellen (bis zu 50), 150 µm, reich an Zellorganellen.
- Stammen aus der Monozyt-Makrophag Zelllinie
- Zellen der Knochenresorption
- subosteoklastisches Kompartiment (Howship-Lakune)
 - zw. dem zu abgebauten Knochen und Osteoklast
 - feste Bindung zu Osteopontinmolekülen des Knochens durch Integrin
 - in die Lakune werden H⁺ und Cl⁻ Ionen, lysosomale und nicht lysosomale Enzyme abgegeben
 - Carboanhydrase II Enzym

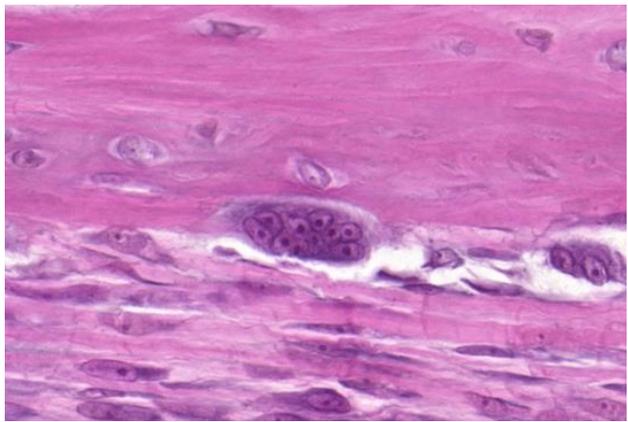
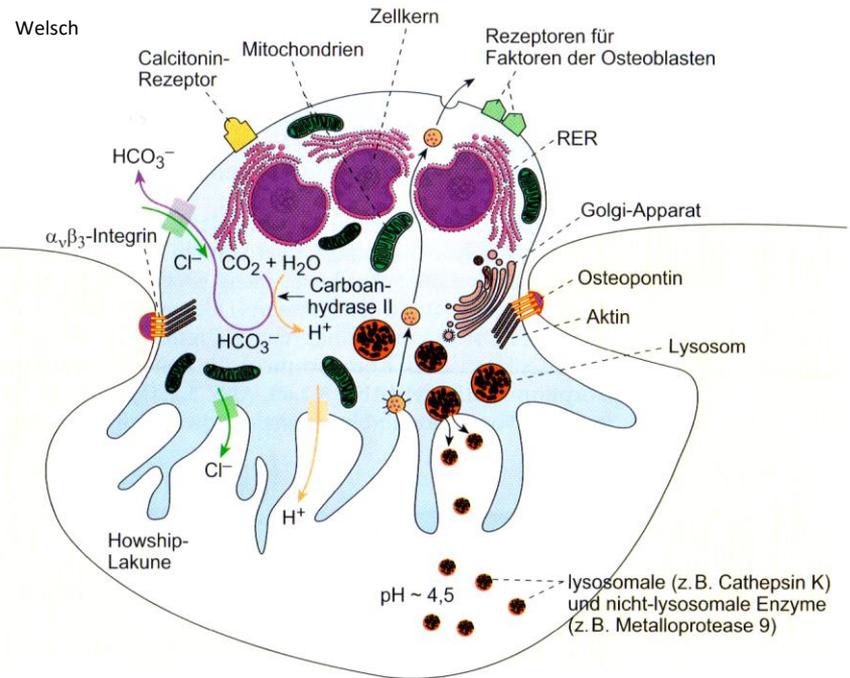
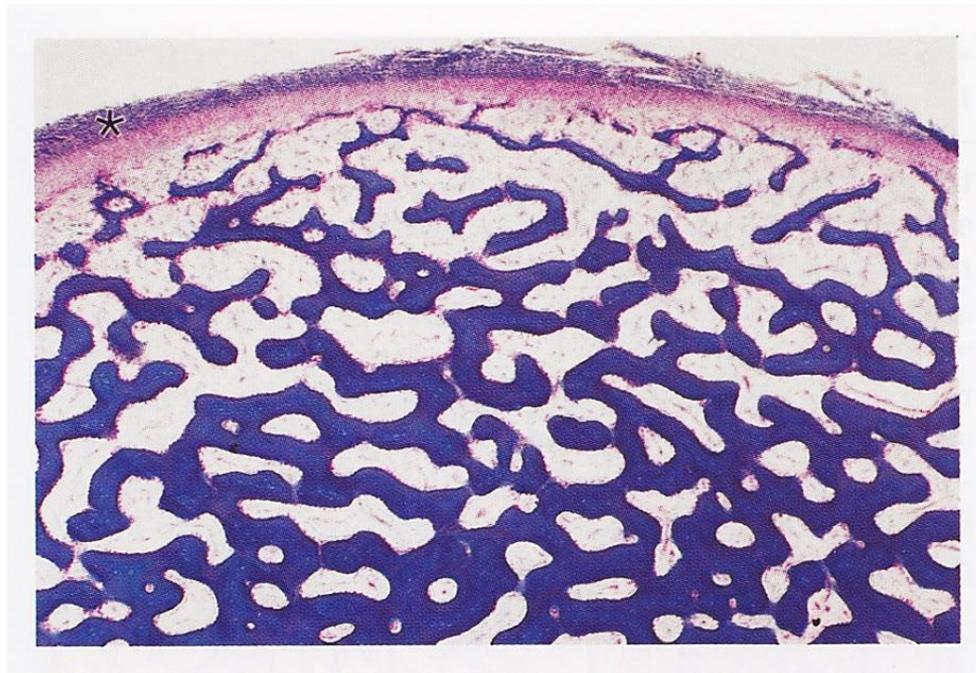


Abb. 3.2.41 Osteoklast (Schema) mit Rezeptoren und Einbindung in den Knochenstoffwechsel.

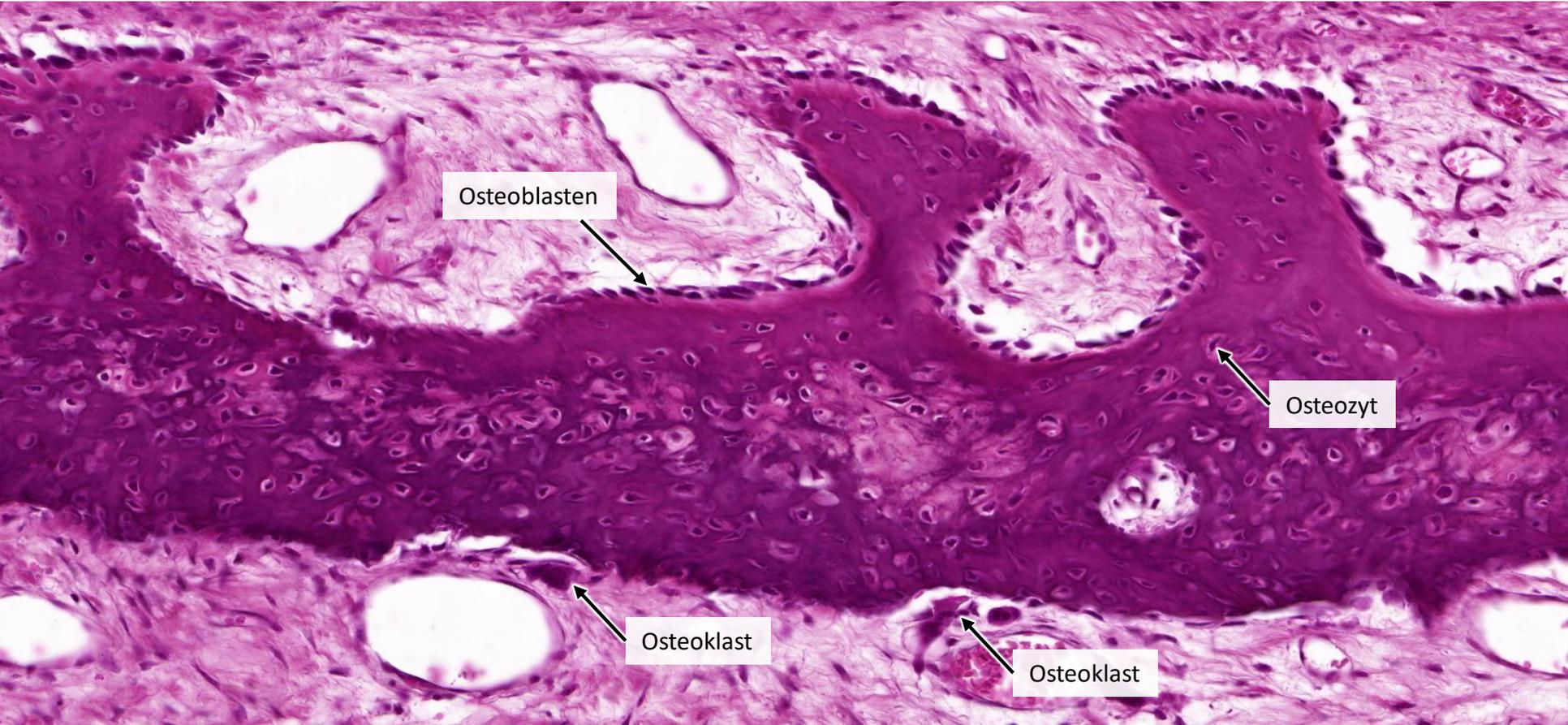
Geflechtknochen

- zuerst entstehendes unreifes Knochen
- Kollagenfasern sind nicht angeordnet
- kaum verkalkt, enthält viele Zellen
- dreidimensionaler Netz von Knochenbälkchen
- zw. denen: primäres Knochenmarks
- Umbau (Osteoblasten und Osteoklasten) zu reifem Lamellenknochen
- bei Osteogenese und Frakturheilung



Desmale Ossifikation

- direkte Knochenbildung – Mesenchymzellen differenzieren sich Osteoblasten
- Ossifikationspunkte entstehen in gefäßreichen Bereichen
- Differenzierung zur Osteoblasten
- Sie bilden Osteoidsaum, das anschließend verkalkt -> Knochenbälkchen
- Die eingemauerte Osteoblasten -> Osteozyten (Kontakt mit der Oberfläche)
- Vorkommen: flache Schädelknochen, Schlüsselbein



Chondrale Ossifikation

- indirekter Weg – Knorpelgewebe aus dem Mesenchym, dann Umbau in Knochengewebe
- 2 Phase: perichondrale Ossifikation + enchondrale Ossifikation



- eine Knochenmanschette entsteht (um die Mitte)
- durch direkten Weg (desmale Ossifikation)
- die umgebene Knorpelzellen werden hypertrophisch (Blasenknorpel)
- sie gehen aufgrund der Verkalkung zugrunde
- Blutgefäße dringen ein

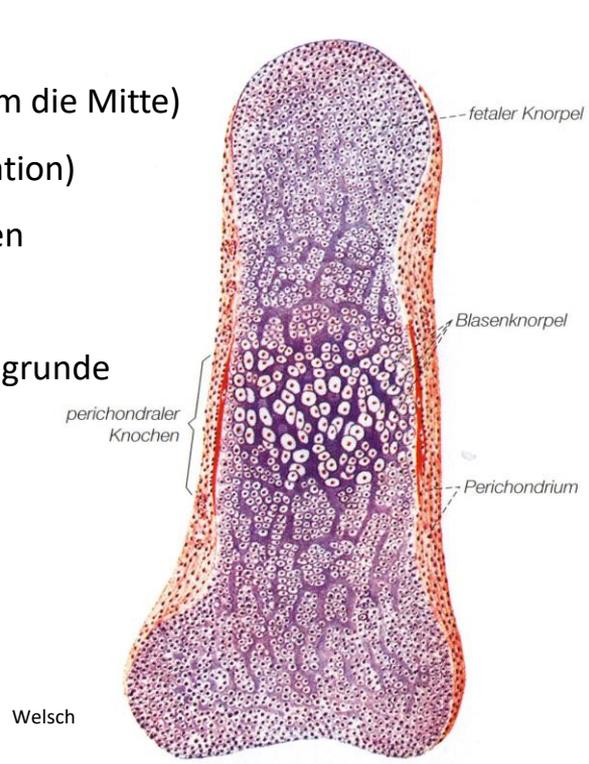


Abb. 3.2.51 Chondrale Ossifikation, frühes Stadium. Perichondral ist eine dünne Knochenmanschette entstanden. Im Innern der Diaphyse entsteht Blasenknorpel, und die Matrix verkalkt hier. Fingerphalanx, Fetus Mens III, Mensch; Vergr. 80-fach. (Aus [1])

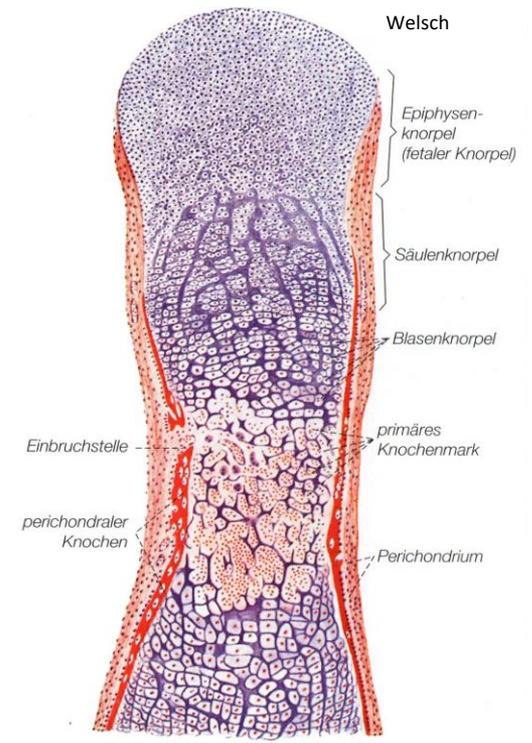
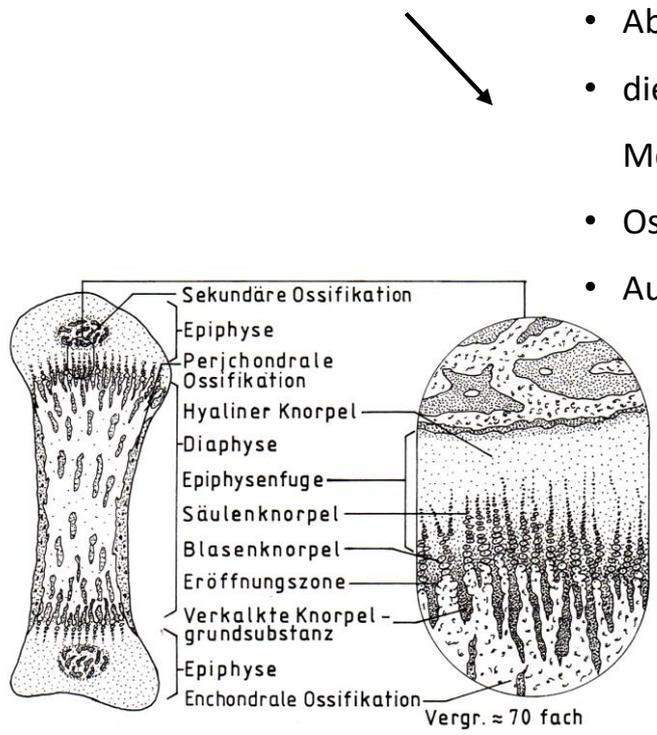
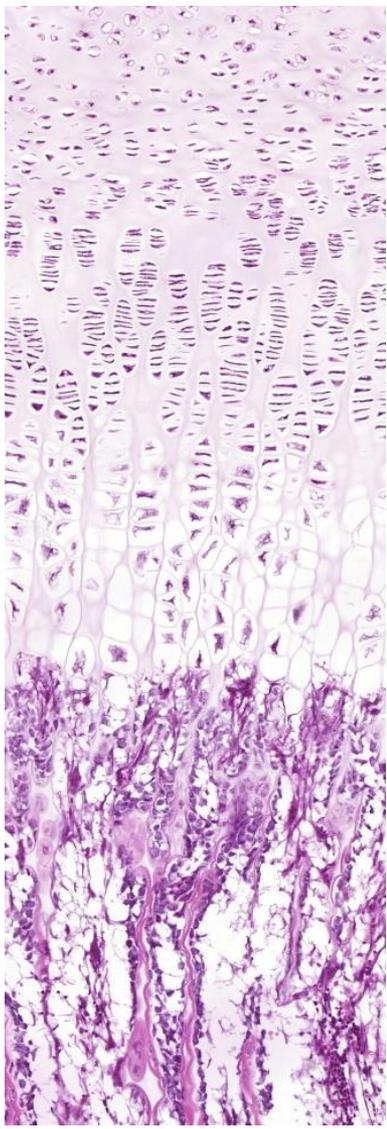


Abb. 3.2.52 Chondrale Ossifikation, zweites Stadium. Durch eine Einbruchsstelle in der perichondralen Knochenmanschette dringt gefäßführendes Mesenchym in den primären Verknöcherungspunkt vor. Dort bauen Chondroklasten die verkalkte Knorpelgrundsubstanz bis auf wenige Reste ab, lösen die Knorpelzellen auf und schaffen damit ein wabenähnliches Hohlraumssystem, die primäre Markhöhle. Sie ist von einem stark proliferierenden Mesenchym, dem primären Knochenmark, erfüllt. Aus diesem gehen u. a. Osteoblasten hervor, die sich an die stehen gebliebenen Reste der verkalkten ehemaligen Knorpelgrundsubstanz anlegen und hier mit der Produktion von Osteoid beginnen (enchondrale Knochenbildung). Färbung: H. E.; Vergr. 100-fach. (Aus [1])

Chondrale Ossifikation

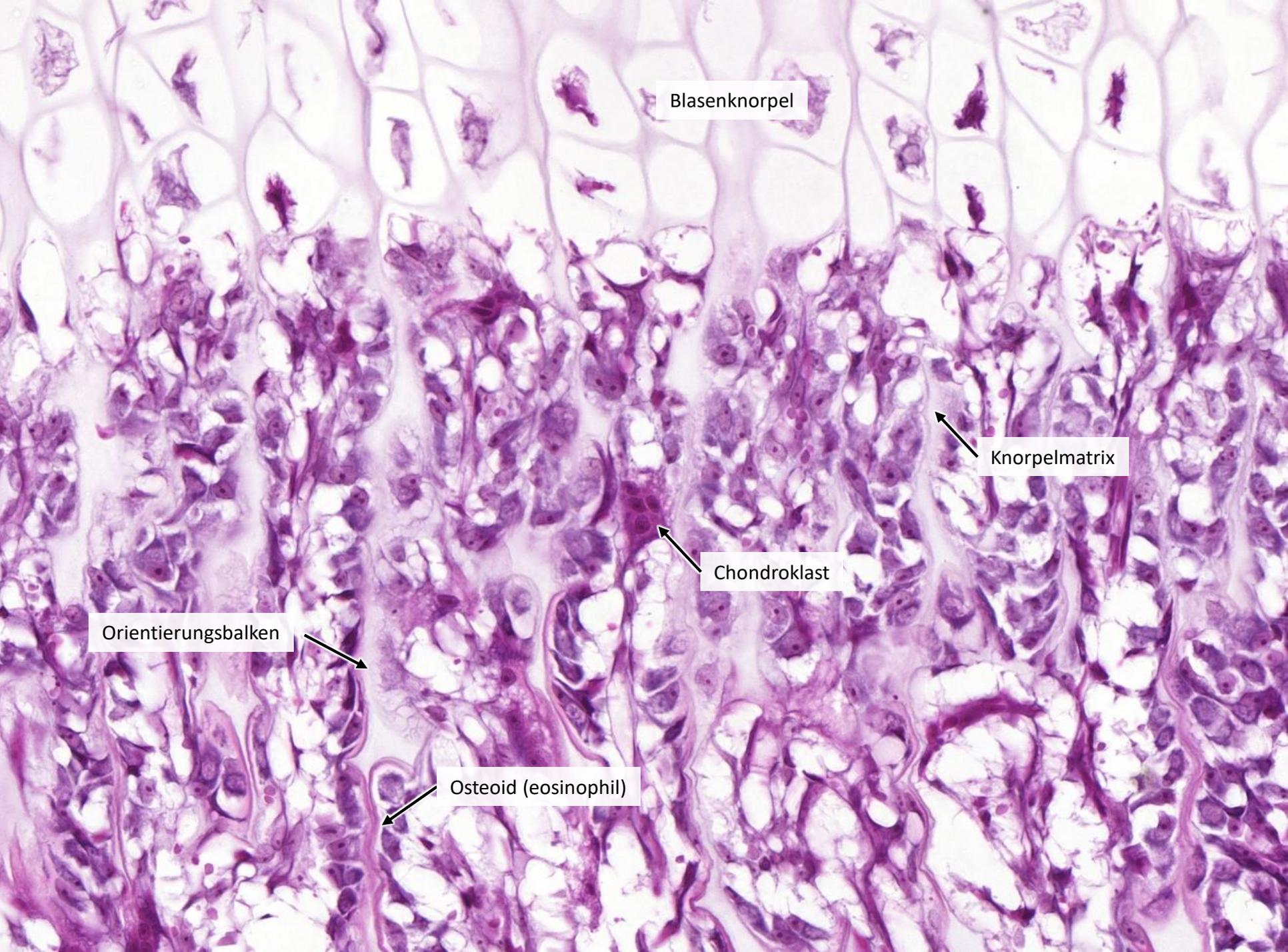
- indirekter Weg – Knorpelgewebe aus dem Mesenchym, dann Umbau in Knochengewebe
- 2 Phase: perichondrale Ossifikation + enchondrale Ossifikation



- Abbau des Knorpels (Chondroclasten)
- die entstehende Höhlen werden mit Blut und Mesenchymzellen ausgefüllt
- Osteoblasten an der verkalkten Matrix
- Aufbau des Geflechtknochens

Knorpel-Knochen Grenze (Abbau des Knorpels, Aufbau des Knochens)

- Fetaler Knorpel / Reservzone
- Säulenknorpel / Proliferationszone
- Blasenknorpel / Degenerationszone
- Eröffnungszone / mesenchymale Invasion



Blasenknorpel

Knorpelmatrix

Chondroklast

Orientierungsbalken

Osteoid (eosinophil)

Epyphyse

- entsteht das sekundäre Ossifikationszentrum
- Zeitpunkt: hängt vom Knochen ab

Epyhsenfuge

- im Bereich der Metaphyse (Übergang zw. Epi- und Diaphyse)
- Verantwortlich für das Längswachstum

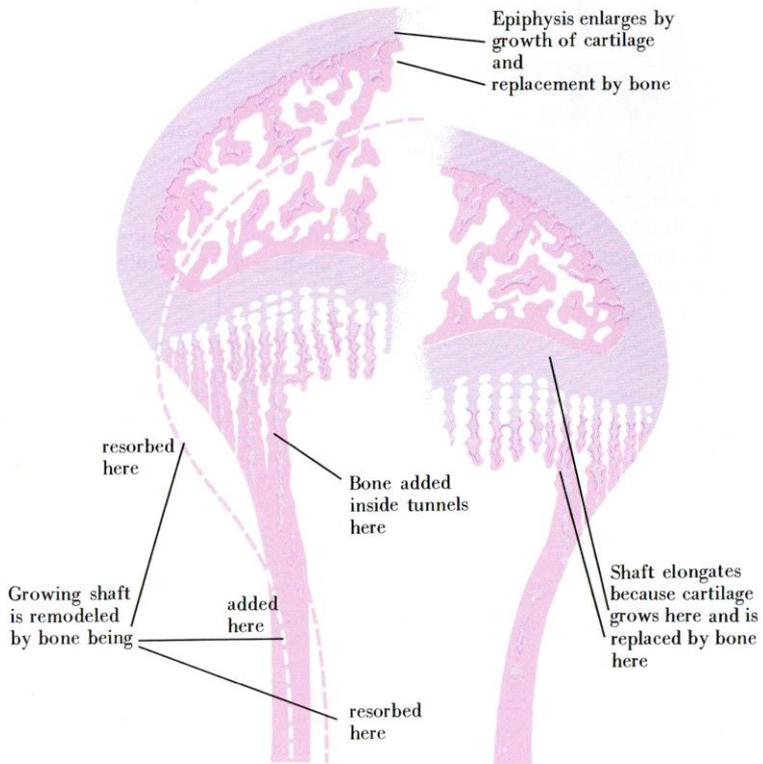


Figure 8.14. Diagram of external remodeling of a long bone, showing two periods during the growth of the bone. The younger bone profile is shown on the right; the older, on the left. Superimposed on the left side of the figure is the shape of the bone (left half only) as it appeared at the earlier time. The bone is now longer, but it has retained its general shape. To

grow in length and retain the general shape of the particular bone, bone resorption occurs on some surfaces, and bone deposition occurs on other surfaces, as indicated in the diagram. (Based on Ham AW: *The Journal of Bone and Joint Surgery* 34A:701, 1952.)

Knochenumbau „bone remodelling“

- Dauert durch das ganze Leben
- Jährlich wird ~10% des Skeletts umgebaut.
- Auslöser ist die Änderung der Belastung (Rezeptor: Osteozyt)

Basic Multicellular Unit (BMU)

- Die Einheit des Umbauprozess.
- zusammenarbeitende Osteoblasten und Osteoklasten
- Osteoklasten bohren einen Tunnel (im Kompakta) / eine Lakune (Im Spongiosa)
- Osteoblasten kleiden ihn von Schicht zu Schicht aus.

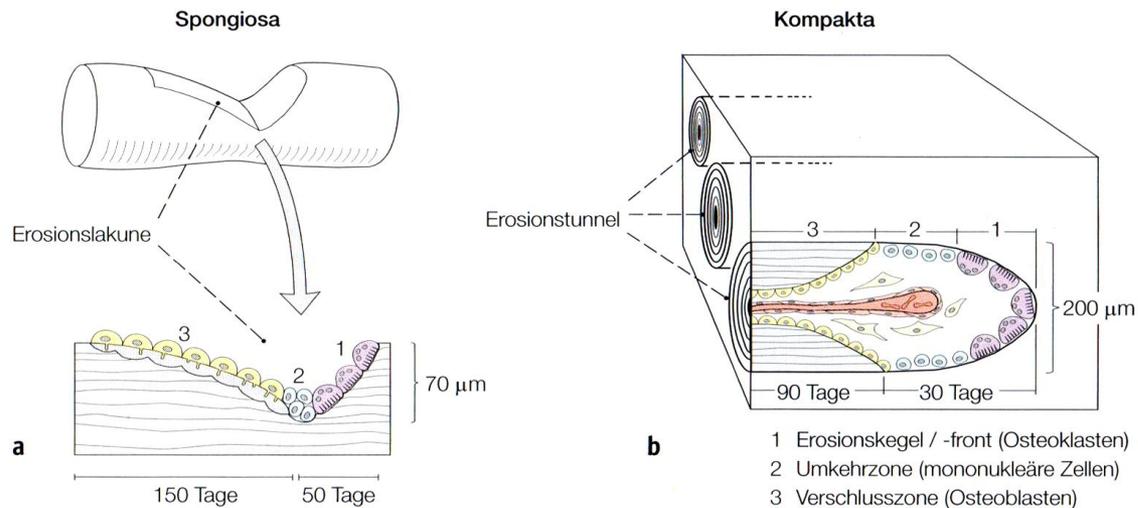
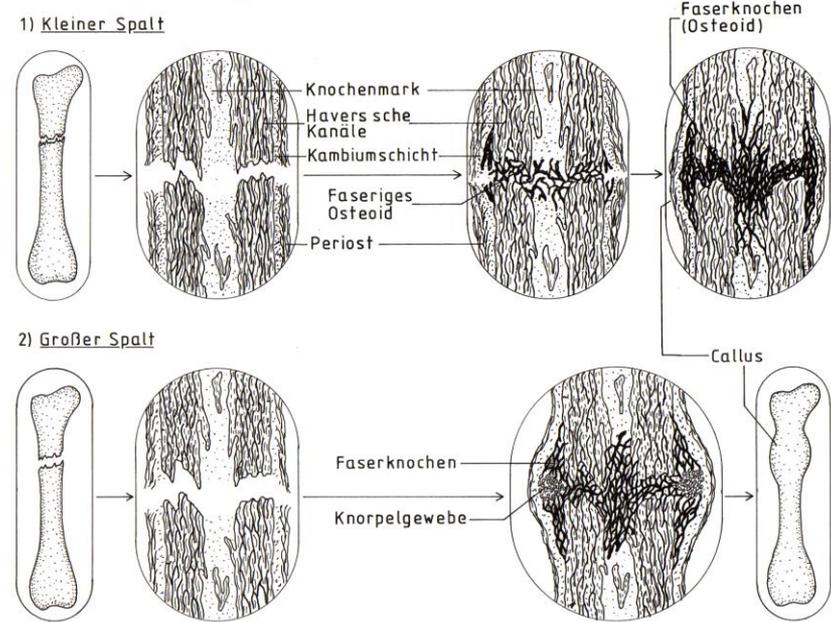


Abb. 3.2.56 Knochenumbau in der Abfolge Osteoklastenzone (1), Umkehrzone, hier beseitigen Makrophagen die von Osteoklasten abgeräumte Matrix (2) und Osteoblastenzone (3). **a:** Erosionslakune am Spongiosatrabekel. **b:** Erosionstunnel in der Kompakta. (Aus [3])

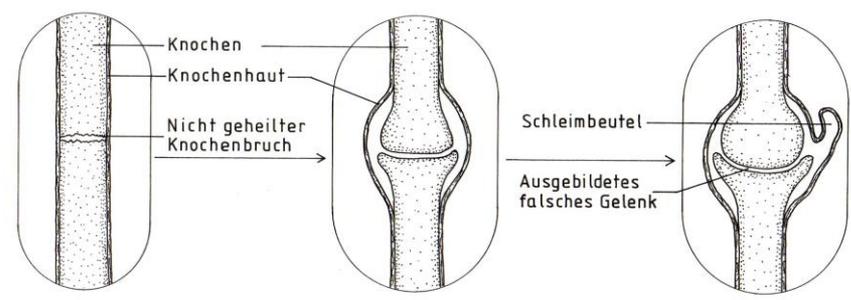
Frakturheilung

- primäre Form
 - Die Frakturrenden sind direkt und unter Druck aneinandergelagert.
 - Osteoklasten und Kapillaren wachsen in die Bruchfläche und bilden Resorptionskanäle.
 - Makrophagen abräumen die Reste der abgestorbene Zellen.
- sekundäre Form
 - Bei breitem Frakturspalt wird ein Bindegewebskallus gebildet (aus dem Frakturhämatom).
 - Wenn das Verhältnis stabil, entsteht Geflechtknochen durch desmale Ossifikation, das später umbaut wird.
 - Beim instabil Verhältnis wird Knorpelkallus gebildet, der später verknöchern kann. (mechanisch geschwächt)
 - Bei extremer Instabilität: Pseudoarthrose

Knochenbruchheilung



Pseudoarthrose (Falsches Gelenk)



Khaledpour

Pseudoarthrose

