
Allgemeine Anatomie I

Einführung, Knochen

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 20.02.2018

Lernziele der Vorlesung

- strukturelle Grundlagen von Bewegungen verstehen und erklären können ...
 - Fokus auf gesundem Bewegungssystem
 - punktuelle Einblicke in Krankheitsprozesse und Verletzungsmechanismen
 - hilft für Physiologie, Biomechanik, Trainingslehre
- ... Dazu braucht es
 - ① räumliche Vorstellung der involvierten Strukturen
 - ② Begriffe um diese Vorstellung zu kommunizieren
 - ③ Verständnis für Beziehung zwischen Struktur und Funktion
- Stufen des Lernens
 - optimal aber leider meist nicht möglich: selber entdecken und erfinden
 - so viel wie möglich: nachvollziehend verstehen und sich aneignen
 - so wenig wie möglich: auswendig lernen – ist höchstens der erster Schritt
- Nachhaltiges Lernen
 - Inhalte vernetzen: Gegensätze/Gemeinsamkeiten und Kausalzusammenhänge herausarbeiten
 - vertikal strukturieren: vom Detail bis zur Vogelperspektive, eigene Zusammenfassungen und Darstellungen erarbeiten
 - eigene Ziele und Schwerpunkte setzen
 - wiederholen mit zeitlichem Abstand
 - Wissen anwenden, zB anderen erklären, Selbsttests
- Anatomische Namen
 - lateinische Namen besser als deutsche, weil international verwendbar
 - In Vorlesung und Prüfung beide erwähnt, sofern vorhanden
 - Nomenklatur meistens aber leider nicht immer eindeutig und logisch

Inhalt der Vorlesung

- Thema: Organsystem Bewegungsapparat
 - essentiell für selbständiges Leben und Arbeitsfähigkeit: 40% der Arztkonsultationen, 27% der Gründe für Arbeitsunfähigkeit, Verletzungen & degenerative Erkrankungen
 - aktiv Kraft erzeugende Elemente: Muskeln
 - mechanisch aber nicht biologisch passive Elemente: Knochen, Gelenke, Sehnen, Hilfseinrichtungen
 - master piece of engineering mit Schwachstellen
 - Leitungsbahnen: Gefässe, Nerven (hier nur am Rande)
- Programm
 - allgemeine / spezielle Anatomie
 - Dozenten: David Wolfer, Irmgard Amrein
- Prüfung
 - Prüfung am PC, 1 Stunde
 - 30 MC Fragen (Typ A und Kprim)
 - Sommer- und Wintersession selber Stoffumfang
 - Prüfungsstoff durch Vorlesung und Unterlagen bestimmt



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00
Frühjahrssemester 2018

Hörsaal Y15-G40, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstrasse 190
Zeit Dienstag 15:00-16:45
Dozenten I. Amrein (Am), D.P. Wolfer (Wo)

Datum/Woche	Dozent	Thema
→ 20.02.18	1 Wo	Allgemeine Anatomie I
27.02.18	2 Wo	Allgemeine Anatomie II
06.03.18	3 Wo	Allgemeine Anatomie III
13.03.18	4 Wo	Allgemeine Anatomie IV
20.03.18	5 Wo	Untere Extremität I
27.03.18	6 Wo	Untere Extremität II
03.04.18		keine Vorlesung (Osterferien)
10.04.18	7 Wo	Untere Extremität III
17.04.18	8 Wo	Untere Extremität IV
24.04.18	9 Wo	Rumpf I
01.05.18	10	keine Vorlesung (Tag der Arbeit)
08.05.18	11 Wo	Rumpf II
15.05.18	12 Am	Obere Extremität I
22.05.18	13 Am	Obere Extremität II
29.05.18	14 Am	Obere Extremität III

13.02.18 D.P. Wolfer

Bücher und Weblinks

- Bücherliste Funktionelle Anatomie
 - kein Referenzbuch für die Vorlesung
 - Buchempfehlungen zum Nachlesen und Vertiefen, Auswahl nach persönlicher Vorliebe
- Bücher Anatomie I+II
 - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
 - mehr Gewicht auf Topographie und Leitungsbahnen
- Lehrbücher für Medizinstudierende
 - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
 - mehr Gewicht auf Topographie und Leitungsbahnen
 - umfangreicher als diese Vorlesung, bei speziellem Interesse oder als Nachschalgewerk
- Weblinks
 - Moodle-Kurs
376-0905-00L Funktionelle Anatomie FS2018:
Programm, Bücherliste und Unterlagen
 - www.dpwolfer.ch/deutsch: Übungsfragen
 - Groscurth-Anatomie (für Mediziner)

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionelle Anatomie

Vorlesung 376-0905-00 FS2018

Empfohlene Lehrbücher

Nur Bewegungsapparat

Schünke M: Funktionelle Anatomie, Topografie und Funktion des Bewegungssystems
2. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2014

Gehrke T: Sportanatomie
8. Auflage, Nikol Verlag, 2009 oder RoRoRo Taschenbuch 2008

Weineck J: Sportanatomie
18. Auflage, Spitta-Verlag, 2008

Bewegungsapparat und Biomechanik

Wirhed R: Sportanatomie und Bewegungslehre
3. Auflage, Schattauer Verlag, 2001

Ahonen J, Lahtinen T, Sandström M, Pogliani G: Sportmedizin und Trainingslehre
2. Auflage, Schattauer Verlag, 2003

Bewegungsapparat und übrige Organsysteme

Appell H-J, Stang-Voss C: Funktionelle Anatomie
4. Auflage, Springer-Verlag, 2008

Tittel K: Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen
16. Auflage, Kiener Verlag, 2016

Atlas

Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus, LernAtlas der Anatomie
Band I: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem
4. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2014

13.02.18, D.P. Wolfer

Bestandteile anatomischer Namen I

anterior (ant.)	nach vorne, vordere(r)
posterior (post.)	nach hinten, hintere(r)
ventralis	ventral, bauchwärts
dorsalis	dorsal, rückenwärts
transversus	quer, quer verlaufend
rectus	gerade
obliquus	schräg
ulnaris	ulnar, ellenseitig
radialis	radial, speichenseitig
palmaris = volaris	palmar, in oder nach der Hohlhand hin
tibialis	tibial, nach dem Schienbein hin
fibularis = peronaeus	fibular, peroneal, nach dem Wadenbein hin
plantaris	plantar, in oder nach der Fusssohle hin
longus, brevis	lang, kurz
magnus, parvus	gross, klein
major, minor	grösser, kleiner
maximus, minimus	grösster, kleinster

Bestandteile anatomischer Namen II

cranialis	kranial, schädelwärts
caudalis	kaudal, steisswärts
superior (sup.)	nach oben (aufrechter Körper), obere(r)
inferior (inf.)	nach unten (aufrechter Körper), untere(r)
medialis (med.)	medial, zur Medianebene hin
medius (med.)	in der Mitte, mittlerer
lateralis (lat.)	lateral, seitlich, von der Medianebene weg
profundus	auf das Innere des Körpers zu, tief
superficialis	auf die Oberfläche zu, oberflächlich
internus (int.)	innen, innere(r)
externus (ext.)	aussen, äussere(r)
ipsilateral	zur / auf der gleichen Seite
kontralateral	zur / auf der Gegenseite
zentral, proximal	zum Rumpf (Zentrum) hin (Extremitäten)
peripher, distal	vom Rumpf (Zentrum) weg (Extremitäten)

Bewegungen und Körperebenen

Extension

Flexion

Abduktion

Adduktion

Rotation

Anteversion

Retroversion

Zirkumduktion

Opposition

Reposition

Medianebene

Mediansagittalebene

Sagittalebene

Frontalebene

koronale Ebene

Transversalebene

Horizontalebene

Streckung

Beugung

Wegführen der Gliedmassen

Heranführen der Gliedmassen

Drehung, Kreiselung um Längsachse

Vorführen

Rückführen

Umführbewegung der Gliedmassen, Kreisen

Daumen / Grosszehe gegenüberstellen

Daumen / Grosszehe zurückführen

teilt den Körper in zwei annähernd gleiche Hälften

= Medianebene

parallel zur Medianebene

parallel zur Stirn

= Frontalebene

senkrecht zu Sagittal- und Frontalebene

Transversalebene im Stehen

Knochengewebe und Knochen

- Zellen des Knochengewebes und ihre Herkunft

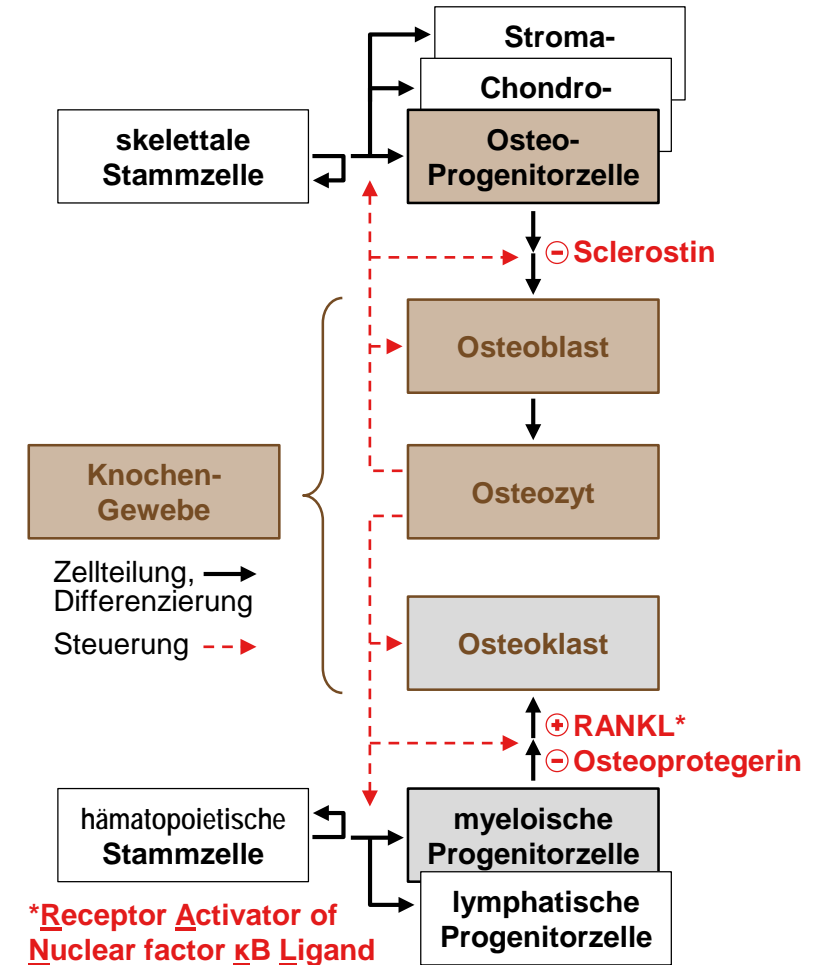
- 95% Osteozyten (eingemauert, nicht teilungsfähig): mineralisieren Matrix
- Osteoblasten: bilden Osteoid (neue noch nicht mineralisierte Knochenmatrix) auf Knochenoberfläche (appositionelles Wachstum), sind Osteozyten-Vorläufer
- Osteoklasten (spezialisierte Makrophagen): Knochenabbau von Oberfläche her, inklusive mineralisierte Matrix (H^+ Pumpe \rightarrow «Entkalkung» durch Ansäuern)
- skelettale und hämatopoietische Stammzellen: durch asymmetrische Teilung Selbsterneuerung & Produktion von proliferierenden Osteo- und myeloischen Progenitorzellen

- Osteogenese

- Entstehung und Wachstum von Skelettstücken (Knochen als Organ)
- desmal = direkt: Mesenchym-Verdichtung \rightarrow Knochen (Clavicula, Scapula, Gesichtsschädel, Schädelkalotte)
- chondral = indirekt: Mesenchym \rightarrow Modell aus hyalinem Knorpel \rightarrow Knochen (meiste Röhren- und Würfelknochen, Schädelbasis)

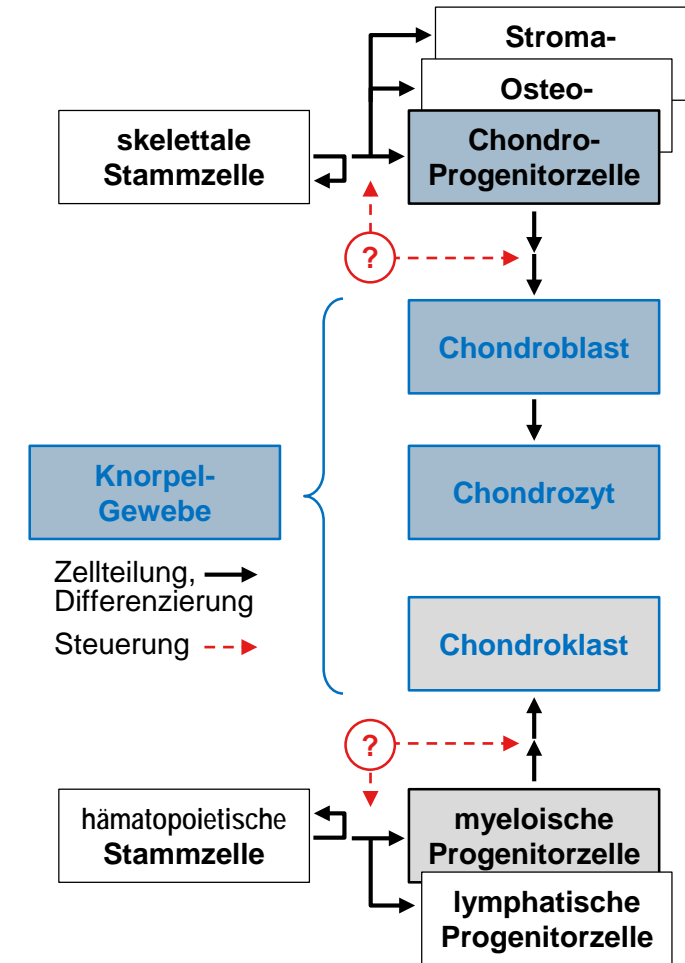
- Ossifikation

- Ossifikation = Aufbau von Knochengewebe, immer appositionell durch Osteoblasten: lebenslang! (Osteogenese, Knochenerneuerung, Knochenumbau und Frakturheilung) \leftrightarrow dynamisches Gleichgewicht mit Knochenabbau
- gesteuert durch Osteozyten via Zellkontakte und lösliche Faktoren



Knorpelgewebe

- Zellen des Knorpelgewebes und ihre Herkunft
 - 95% Chondrozyten (eingemauert): Unterhalt und Vermehrung (interstitielles Wachstum) der Knorpelmatrix, eventuell Mineralisation der Knorpelmatrix
 - Chondroblasten: bilden neue Knorpelmatrix auf Knorpeloberfläche (appositionelles Wachstum), sind Chondrozyten-Vorläufer
 - Chondroklasten: bauen bei chondraler Osteogenese von Oberfläche her mineralisierte Matrix ab (besitzen H^+ Pumpe wie Osteoklasten)
 - skelettale und hämatopoietische Stammzellen: durch asymmetrische Teilung Selbsterneuerung & Produktion von proliferierenden Chondro- und myeloischen Progenitorzellen
- Aufbau von Knorpelgewebe
 - Neubildung von Knorpelgewebe nur während Entwicklung, im Gegensatz zu Knochen beim Erwachsenen kaum Umbau, keine Regeneration oder Reparatur!
 - Appositionelles Knorpelwachstum: oberflächliche Matrixanlagerung durch Chondroblasten
 - Interstitielles Knorpelwachstum: Teilung von Chondrozyten im Knorpelinneren und Matrixexpansion
 - im Gegensatz zu Knorpel wächst Knochen nur appositionell: Osteozyten sind teilungsunfähig, mineralisierte Matrix nicht mehr expandierbar



Osteogenese: Röhrenknochen pränatal

- Chondrale Osteogenese
 - Beginn mit Bildung eines hyalinen Knorpelmodells mit Diaphyse und Epiphysen aus Mesenchymverdichtung (5-6. SSW)
 - 2 Ossifikationszonen: peri/enchondral

Op Perichondrale Ossifikationszone

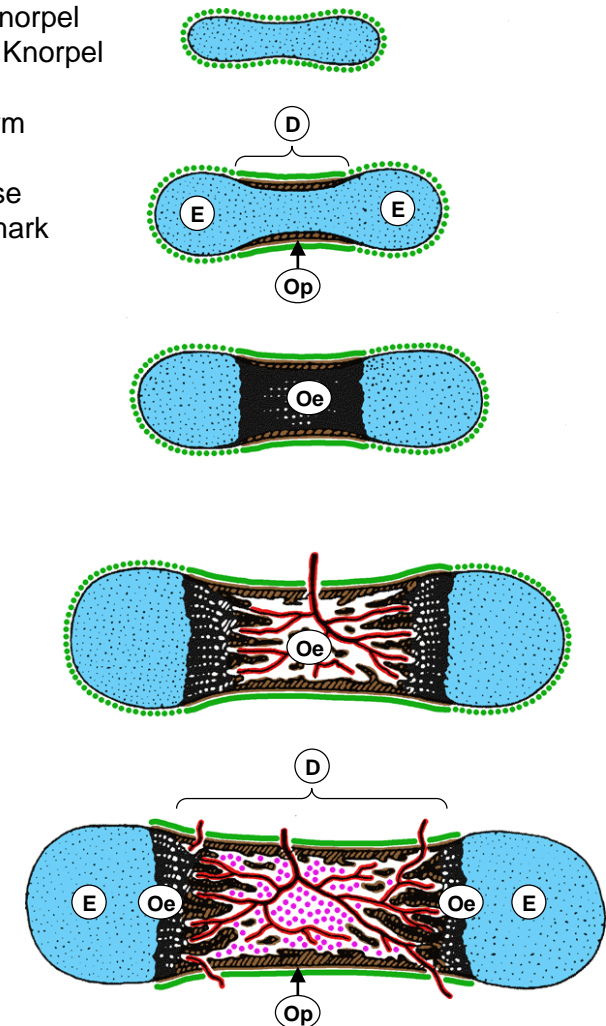
- erste Ablagerung von Knochengewebe auf Knorpelmodell (ca. 8. SSW) → kompakte Knochenmanschette um Diaphyse
- fortgesetztes appositionelles Knochenwachstum aus Periost plus Knochenabbau innen → langsames Dickenwachstum der Diaphyse

Oe Enchondrale Ossifikationszone

- sobald Knochenmanschette etabliert: Knorpelmineralisierung, Abgabe von VEGF (vascular endothelial growth factor) durch Chondrozyten, Einwachsen von Mesenchym und Blutgefäßen
- mineralisierter Knorpel ersetzt durch Knochengewebe (Spongiosa) → primärer Knochenkern in der Diaphyse
- Fortsetzung des Prozesses am Übergang von Diaphyse zu Epiphyse → schnelles longitudinales Wachstum der Diaphyse
- Periost
 - entsteht aus Mesenchym an Knochenoberfläche der Diaphyse

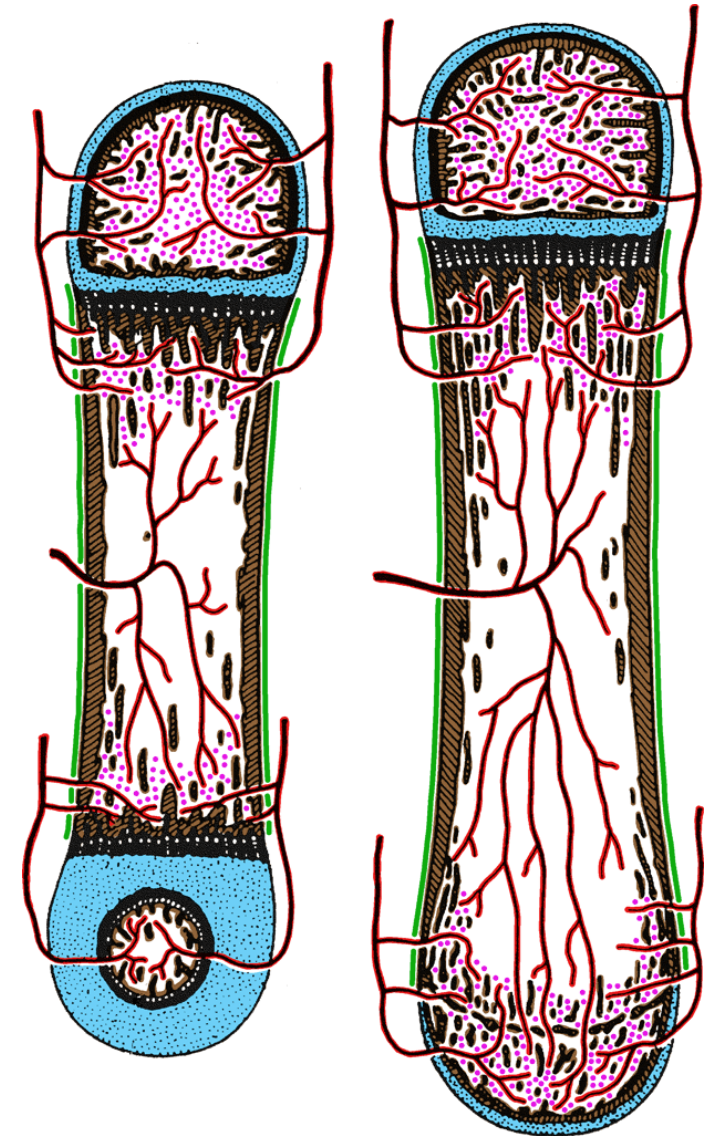


E Epiphyse
D Diaphyse



Osteogenese: Röhrenknochen postnatal

- Sekundäre Knochenkerne
 - entstehen in Epiphysen durch Einwachsen von Gefäßen und Mesenchym, gefolgt von enchondraler Ossifikation
 - Knorpel wird reduziert auf Gelenkknorpel (ruhend) und Epiphysenfuge (Knorpel nicht röntgendicht!) = Wachstumszone
- Knochenalter
 - Knochenkerne erscheinen nach bestimmtem Zeitplan, Muster definiert Entwicklungsstufe = biologisches Alter = Knochenalter
 - Vergleich mit chronologischem Alter: Wachstumsbeurteilung
- Pubertät
 - erhöhte Aktivität Epiphysenfuge
 - zentripetaler Längenwachstumsschub
 - Stopp der Knorpelproliferation
 - Verknöcherung, Epiphysenlinie statt Wachstumszone
 - nur Gelenkknorpel bleibt erhalten, nicht mehr fähig zu Proliferation oder Regeneration



Enchondrale Ossifikation

Ⓥ Reservezone

- ruhender hyaliner Knorpel

Ⓟ Proliferationszone

- gerichtetes interstitielles Wachstum → Säulen aus Chondrozyten

Ⓜ Hypertrophiezone

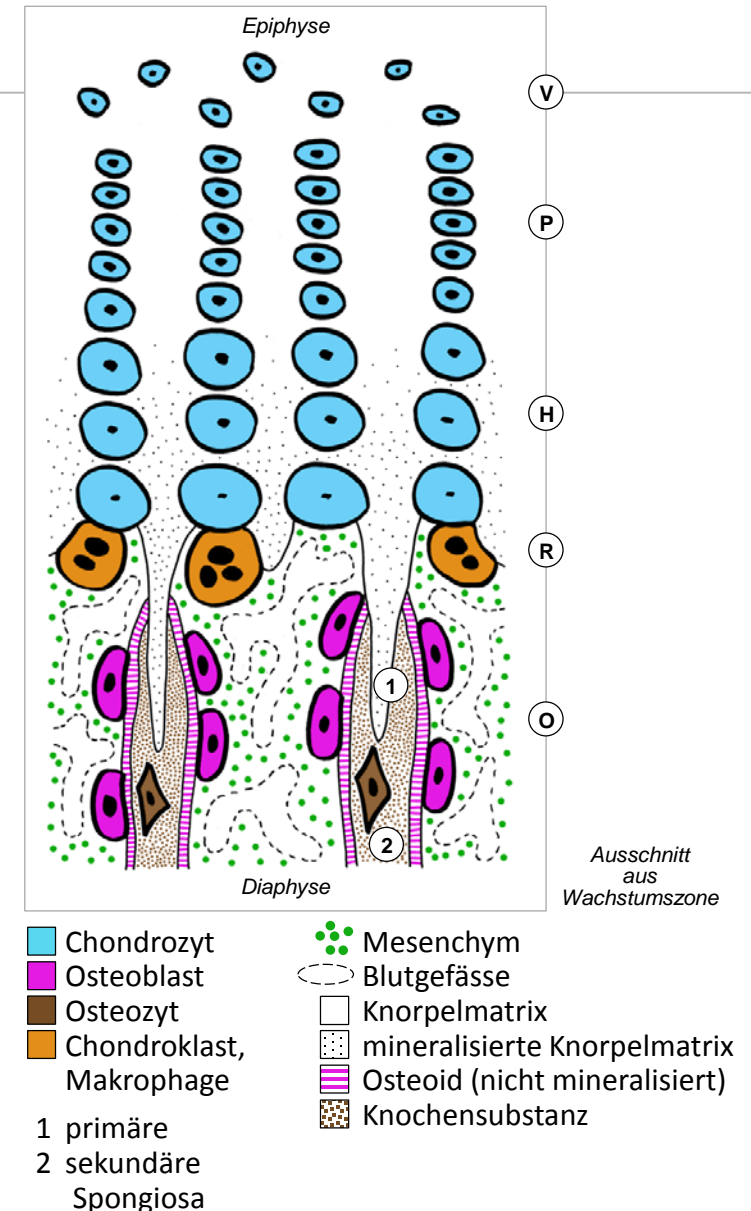
- Chondrozyten schwellen an (Verstärkung des Wachstums), induzieren Matrixmineralisation, bilden VEGF (vascular endothelial growth factor)

Ⓡ Resorptionszone

- Einwachsen von Mesenchym und Blutgefäßen durch VEGF Wirkung, Einwanderung von Makrophagen und Chondroklasten
- Makrophagen phagozytieren Chondrozyten, Chondroklasten bauen mineralisierte Matrix teilweise ab

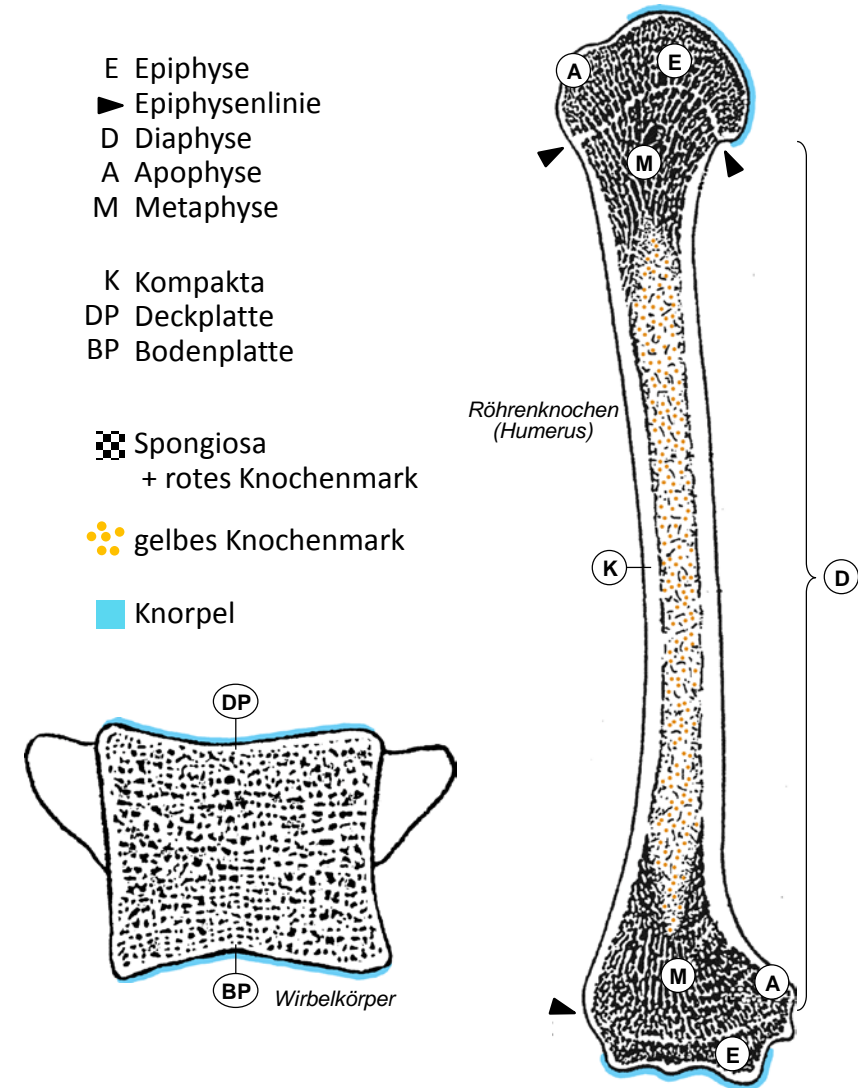
Ⓞ Ossifikationszone

- Osteoblasten lagern Osteoid auf verbleibender Knorpelmatrix ab
- Wenn eingemauert → Osteozyten, durch Mineralisation Osteoid → Knochenmatrix (primäre → sekundäre Spongiosa)
- Längenwachstum
 - Proliferation und Umwandlung parallel mit gleicher Rate



Kompakta und Spongiosa

- Optimierung
 - maximale Stabilität bei minimaler Masse
 - lebenslang durch permanenten Umbau dynamische Anpassung von Knochenmasse und Knochenstruktur an Belastung
- Kompakta = Kortikalis aussen
 - Röhrenknochen: Diaphyse dicker als Epiphyse, Wirbelkörper: Deck- und Bodenplatten dicker als Seitenwand
- Spongiosa innen
 - Röhrenknochen: Epiphyse, Metaphyse = proximales und distales Ende der Diaphyse, Apophysen = Knochenvorsprünge
 - ganzer Wirbelkörper
 - zwischen Knochenbälkchen rotes = aktives Blut bildendes Knochenmark
- Hohlräume
 - Diaphyse der Röhrenknochen
 - Orte ohne Krafteinwirkung
 - gelbes = ruhendes Knochenmark (Fettmark)



Organisation der Spongiosa

- Ausrichtung nach Kraftlinienverlauf
 - Minimierung von Scherkräften
 - Knochenbälkchen parallel zu Verlauf der Druckkräfte = Drucktrajektorien
 - Knochenbälkchen parallel zu Verlauf der Zugkräfte = Zugtrajektorien
- Dynamik
 - laufender Turnover der Spongiosa
 - Dicke und Zahl der Bälkchen passt sich Stärke der Belastung an
 - Richtung der Bälkchen ändert mit Geometrie der Kräfte
 - Osteozyten messen Knochenverformung mittels Mechanorezeptoren, steuern Stammzellen, Progenitorzellen, Osteoblasten und Osteoklasten

