

# 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, Di 20.02.2024 16:15

## Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00  
Frühjahrssemester 2024

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

Datum/Woche	Dozent	Thema
→ 20.02.24 1	Wo	Allgemeine Anatomie I
27.02.24 2	Wo	Allgemeine Anatomie II
05.03.24 3	Wo	Allgemeine Anatomie III
12.03.24 4	Wo	Allgemeine Anatomie IV
19.03.24 5	Wo	Untere Extremität I
26.03.24 6	Wo	Untere Extremität II
02.04.24		keine Vorlesung (Osterferien)
09.04.24 7	Wo	Untere Extremität III
16.04.24 8	Wo	Untere Extremität IV
23.04.24 9	Wo	Rumpf I
30.04.24 10	Wo	Rumpf II
07.05.24 11	Am	Obere Extremität I
14.05.24 12	Am	Obere Extremität II
21.05.24 13	Am	Obere Extremität III
28.05.24 14		keine Vorlesung (Reservetermin)

# Inhalt der Vorlesung

- Thema: Organsystem Bewegungsapparat
  - nicht nur für Sport wichtig, essenziell 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
  - Leitungsbahnen: Gefässe, Nerven (hier nur am Rande)
  - Fokus auf Beziehung Struktur ↔ Funktion
- Programm
  - allgemeine (Grundlagen) / spezielle Anatomie
  - Dozierende: David Wolfer, Irmgard Amrein
- Prüfung
  - Prüfung am mobilen Gerät, 1 Stunde
  - 30 Fragen (1:1 Typ ETH SC und Kprim)
  - Sommer- und Wintersession selber Stoffumfang
  - Prüfungsstoff durch Vorlesung und Unterlagen bestimmt, Fragen im selben Stil wie online Übungsfragen

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00  
Frühjahrssemester 2024

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

Datum/Woche	Dozent	Thema
➔ 20.02.24	1 Wo	Allgemeine Anatomie I
27.02.24	2 Wo	Allgemeine Anatomie II
05.03.24	3 Wo	Allgemeine Anatomie III
12.03.24	4 Wo	Allgemeine Anatomie IV
19.03.24	5 Wo	Untere Extremität I
26.03.24	6 Wo	Untere Extremität II
02.04.24		keine Vorlesung (Osterferien)
09.04.24	7 Wo	Untere Extremität III
16.04.24	8 Wo	Untere Extremität IV
23.04.24	9 Wo	Rumpf I
30.04.24	10 Wo	Rumpf II
07.05.24	11 Am	Obere Extremität I
14.05.24	12 Am	Obere Extremität II
21.05.24	13 Am	Obere Extremität III
28.05.24	14	keine Vorlesung (Reservetermin)

07.02.24 D.P. Wolfer

# Weblinks und Bücher

- Moodle 376-0905-00L Funktionelle Anatomie
  - Programm der Vorlesung, Bücherliste
  - Aufzeichnungen der Vorlesungsstunden
  - Folien (sehr knapp → eigene Notizen & Zusammenfassung)
  - Link auf Groscurth-Anatomie (für Mediziner)
  - Link auf [www.dpwolfer.ch](http://www.dpwolfer.ch): Übungsfragen
  - via ETH-Bibliothek digitale Lehrbücher
- Bücherliste Funktionelle Anatomie
  - kein obligatorisches Referenzbuch für die Vorlesung
  - Buchempfehlungen zum Nachlesen und Vertiefen, Auswahl nach persönlicher Vorliebe der Studierenden
- Bücher Anatomie I+II
  - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
  - mehr Gewicht auf Anatomie der Leitungsbahnen
- Lehrbücher für Medizinstudierende
  - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
  - mehr Gewicht auf Anatomie der Leitungsbahnen
  - umfangreicher als diese Vorlesung, bei speziellem Interesse oder als Nachschalgewerk, selektiv Lesen

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Funktionelle Anatomie

Vorlesung 376-0905-00

Frühjahrssemester 2024

I. Amrein  
D.P. Wolfer

### Empfohlene Lehrbücher

#### *Lehrbücher Bewegungsapparat*

Schünke M: Topografie und Funktion des Bewegungssystems  
4. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2024

Gehrke T: Sportanatomie  
8. Auflage, Nikol Verlag, 2009

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

#### *Atlas*

Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus, LernAtlas der Anatomie  
Band I: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem  
6. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2022

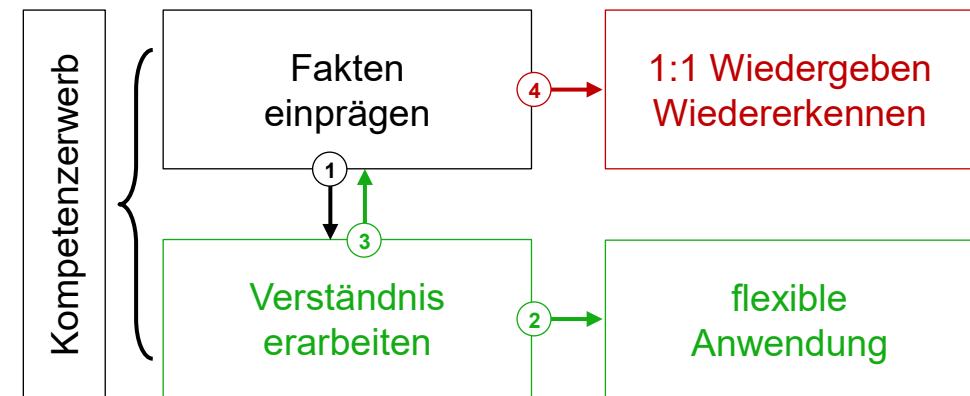
07.02.24, D.P. Wolfer

# Lernziele in Vorlesungen (der Anatomie des Bewegungsapparates)

- Vielfältige Lernziele im Studium
  - Wissenserwerb, Lernen von Fertigkeiten, Rollen, Haltungen
  - Vorlesungen dienen hauptsächlich dem Wissenserwerb
- Ziel ist Kompetenz
  - flexibel und kreativ anwendbares Wissen beruhend auf Verständnis von Sachverhalten und Zusammenhängen
  - Grundlage für weiteres Lernen (Biomechanik, Physiologie etc)
  - Analyse neuer Situationen, Entwickeln von Lösungen im Beruf
  - Weitergabe und Vermehrung von Wissen und Kompetenz
- Weg führt über zwei Stufen

- ① Fakten einprägen: Kompetenz setzt Faktenkenntnis voraus
- ② nur Verstehen der Zusammenhänge durch Auseinandersetzung mit Fakten gestattet flexible Anwendung: ein/ordnen, vernetzen, gewichten, strukturieren und zusammenfassen
- ③ Verstehen unterstützt das Gedächtnis: erleichtert das Einprägen von Fakten, verhindert deren Vergessen → Gehirn kann vernetzte und strukturierte Informationen effizienter verarbeiten und speichern
- ④ ohne Verstehen keine flexible Anwendung des Wissens, bestenfalls 1:1 Wiedergabe oder Wiedererkennen

- Fakten einprägen in der Anatomie
  - Einzelstrukturen: Definieren, Erkennen, Benennen
  - Systematik und Hierarchie von Strukturen und Namen
- Verstehen in der Anatomie
  - integrierte räumliche Vorstellung (3D Karte) → mentale Navigation im Inneren des Körpers
  - Verständnis des Zusammenhangs Struktur ↔ Funktion (Biophysik und Biomechanik, Physiologie, Zellbiologie)
  - Verständnis des Bauplans von Strukturen aus der embryonalen Entwicklung heraus



# Bestandteile anatomischer Namen I

lateinische  
Namen  
international  
anwendbar

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

- 3 knochengewebe-spezifische Zelltypen

- 1 95% Osteozyten (eingemauert, nicht teilungsfähig): mineralisieren Matrix
  - 2 Osteoblasten: bilden Osteoid (neue noch nicht mineralisierte Knochenmatrix) auf Knochenoberfläche (appositionelles Wachstum), sind Osteozyten-Vorläufer
  - 3 Osteoklasten (spezialisierte residente Makrophagen): Abbau mineralisierter Matrix von Knochenoberfläche aus ( $\text{Na}^+\text{H}^+$  Exchanger NHA2 → «Säure-Entkalkung»)
- Abstammung von skelettalen (1 2), bzw. hämatopoietischen (3) Stammzellen:
  - asymmetrische Teilung → Selbsterhaltung + Produktion von proliferierenden Osteo- bzw. myeloischen Progenitorzellen (ohne Fähigkeit zur Selbsterhaltung)

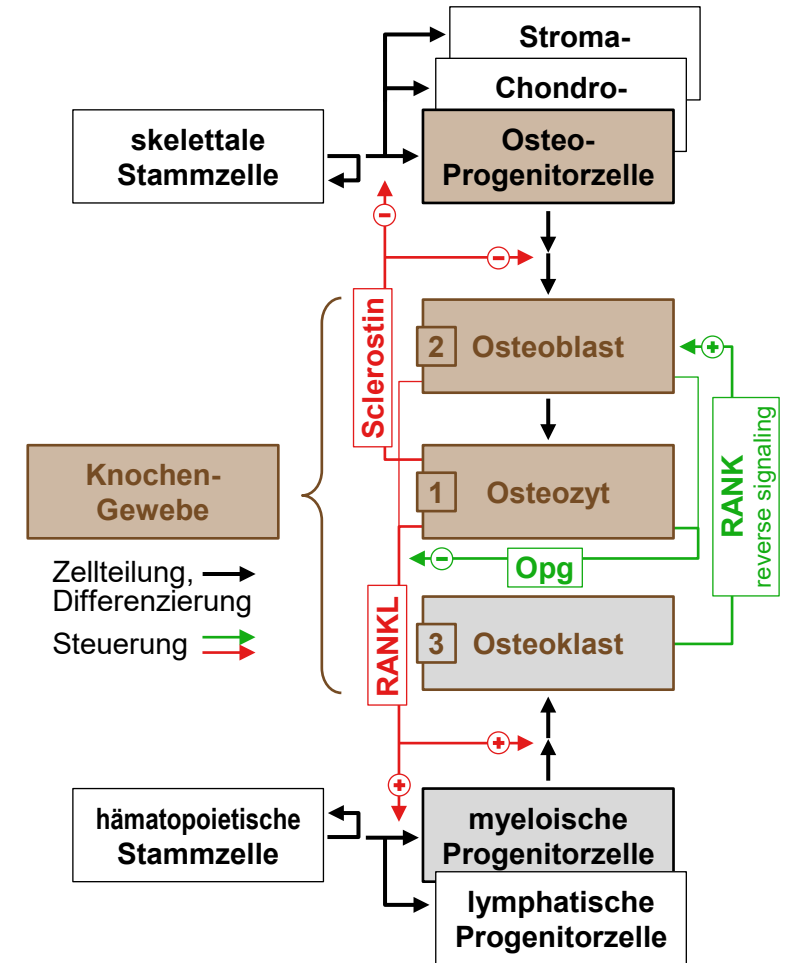
- Ossifikation

- Neubildung / Wachstum / Ersatz von Knochengewebe durch Osteoblasten, lebenslang möglich (Osteogenese, Knochenumbau und Frakturheilung)
- Auf/Abbau gesteuert via Zell-Zellkontakte und lösliche Faktoren, zB:
  - Sclerostin, RANKL\* (löslich) → RANK (auf Membran) → Knochenmasse ↓
  - Osteoprotegerin\*\*, RANK (löslich) → RANKL (auf Membran) → Knochenmasse ↑

\*Receptor Activator of Nuclear factor κB (Ligand) \*\*Opg

- Osteogenese

- Neubildung / Wachstum des Organs Knochen (Skeletteil = Skelettelement), bestehend aus Knochen-, Knorpel-, Binde- und anderen Geweben
- desmal = direkt: Mesenchym-Verdichtung → Knochen
- chondral = indirekt: Mesenchym → Modell aus hyalinem Knorpel → Knochen





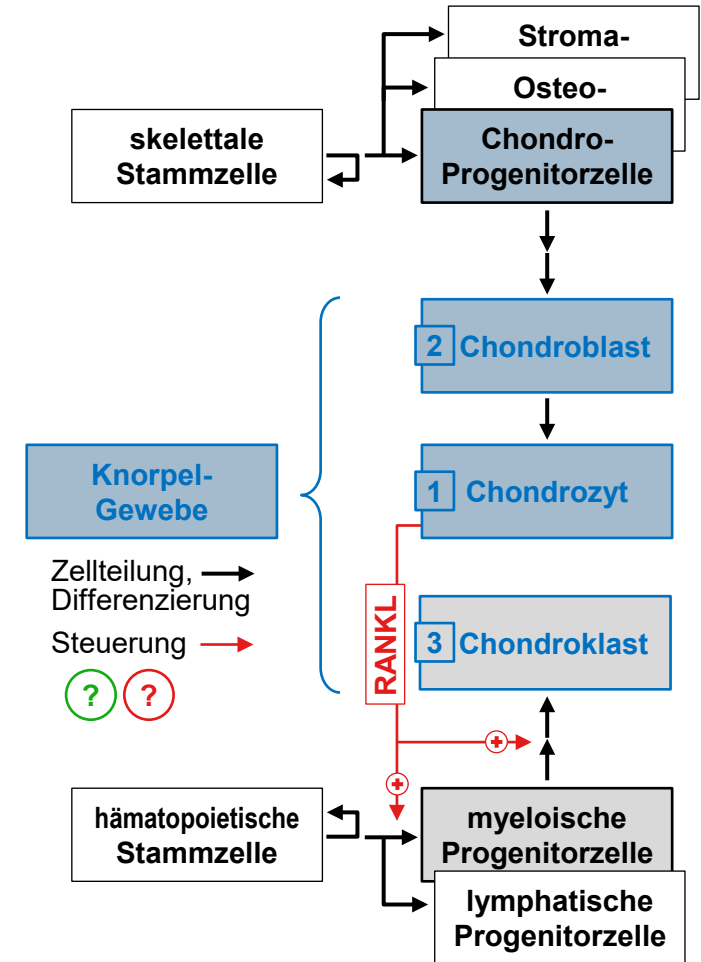
# Knorpelgewebe

- 3 knorpelgewebe-spezifische Zelltypen

- 1 95% Chondrozyten (eingemauert): Unterhalt und Vermehrung (interstitielles Wachstum), bei chondralen Osteogenese auch Mineralisation der Knorpelmatrix
- 2 Chondroblasten: bilden neue Knorpelmatrix auf Knorpeloberfläche (appositionelles Wachstum), sind Chondrozyten-Vorläufer
- 3 Chondroklasten: bauen bei chondraler Osteogenese von Knorpeloberfläche her mineralisierte Matrix ab (besitzen NHA2 wie Osteoklasten)
  - Abstammung von skelettalen (1 2), bzw. hämatopoietischen (3) Stammzellen: asymmetrische Teilung → Selbsterhaltung + Produktion von proliferierenden Chondro- bzw. myeloischen Progenitorzellen (ohne Fähigkeit zur Selbsterhaltung)

- Aufbau von Knorpelgewebe

- Neubildung von Knorpelgewebe nur während Entwicklung, im Gegensatz zu Knochen beim Erwachsenen kaum Umbau, keine Regeneration oder Reparatur!
- appositionelles Knorpelwachstum: Chondroblasten lagern neue Matrix auf Knorpeloberfläche ab
- interstitielles Knorpelwachstum: Chondrozyten im Knorpelinneren teilen sich und expandieren Matrix
- Steuerung schlechter bekannt, RANKL fördert auch Chondroklasten
- ≠ Knorpelgewebe wächst Knochengewebe nur appositionell: Osteozyten nicht teilungsfähig, mineralisierte Knochenmatrix starr und nicht expandierbar



# Chondrale Osteogenese: Röhrenknochen pränatal

- Chondrale Osteogenese
  - Beginn mit Bildung eines hyalinen Knorpelmodells mit Diaphyse und Epiphysen, ausgehend von Mesenchymverdichtung (5-6. SSW)
  - 2 Ossifikationszonen mit separaten Pools skelettaler Stammzellen

## Op Perichondrale Ossifikationszone

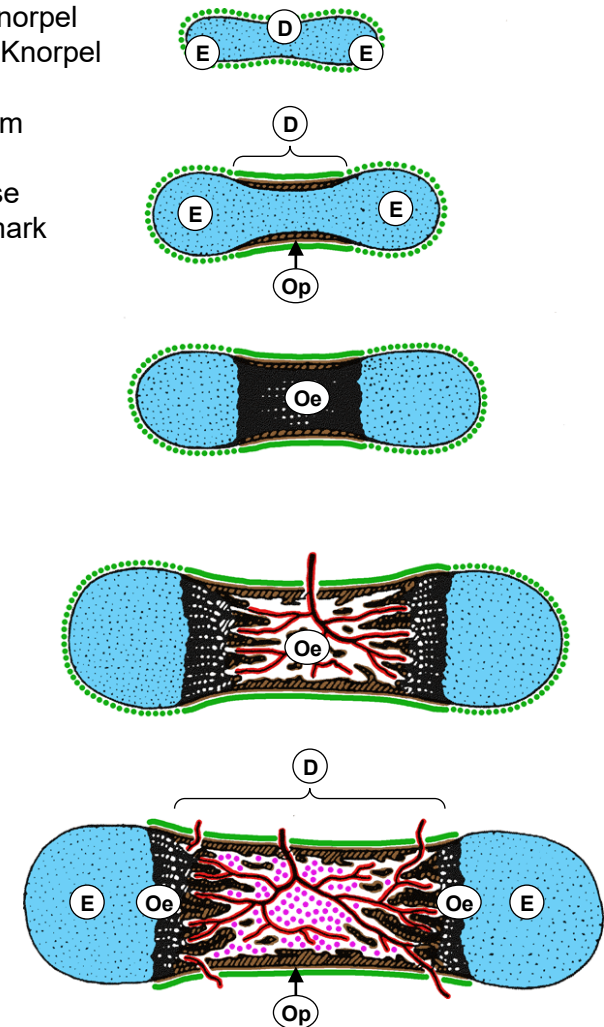
- mesenchymale perichondrale, später periostale skelettale Stammzellen
- zuerst aus Mesenchym Ablagerung von Knochengewebe auf Diaphyse des Knorpelmodells (ca. 8. SSW) → Knochenmanschette (Kompakta)
- Mesenchym um Diaphyse → Periost (Knochenhaut), Stammzellen darin → fortgesetztes appositionelles Knochenwachstum, plus Knochenabbau innen → langsames Dickenwachstum der Diaphyse

## Oe Enchondrale Ossifikationszone

- nach Stabilisierung durch Knochenmanschette Umprogrammierung der Chondrozyten in Diaphyse: Mineralisierung der Knorpelmatrix, Abgabe von VEGF (vascular endothelial growth factor) → Einwachsen von Blutgefäßen und Mesenchym, Abgabe von RANKL → Knorpelabbau
- enchondrale Stammzellen → primärer Knochenkern in der Diaphyse: mineralisierter Knorpel ersetzt durch Knochengewebe (Spongiosa)
- Fortsetzung des Prozesses am Übergang Diaphyse zu Epiphyse → schnelles Längenwachstum der Diaphyse, Bildung des roten Knochenmarks

- hyaliner Knorpel
- verkalkter Knorpel
- Knochen
- Mesenchym
- Periost
- Blutgefäße
- Knochenmark

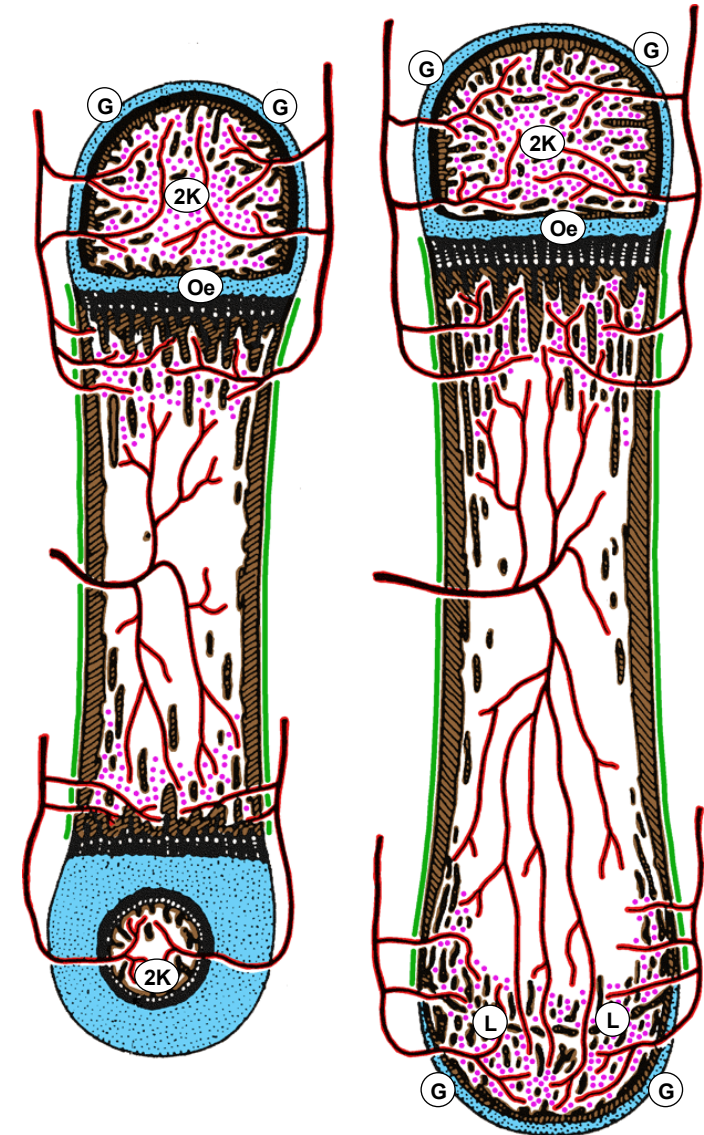
E Epiphyse  
D Diaphyse



# Chondrale Osteogenese: Röhrenknochen postnatal

## ②K Sekundäre Knochenkerne

- entstehen in Epiphysen durch Einwachsen von Gefäßen und Mesenchym, gefolgt von enchondraler Ossifikation (ähnlich wie primäre Knochenkerne)
- Knorpel wird reduziert auf ⑥ Gelenkknorpel (ruhend) und enchondrale ⑥e Ossifikationszone, radiologisch = Epiphysen«fuge» (nicht röntgendicht!)
- Knochenalter
  - Knochenkerne erscheinen nach bestimmtem Zeitplan, Muster definiert Entwicklungsstufe = biologisches Alter = Knochenalter
  - Vergleich mit chronologischem Alter: Wachstumsbeurteilung
- Pubertät
  - erhöhte Aktivität Epiphysenfuge → Längenwachstumsschub (zentripetal)
  - Stopp der Knorpelbildung, Verknöcherung der Wachstumszone → ⑥ Epiphysenlinie, nur hyaliner Gelenkknorpel und Faserknorpel bei chondral-apophysären Sehnenansätzen bleibt erhalten, nicht mehr fähig zu Proliferation oder Regeneration
- Chondrale Osteogenese häufiger und effizienter
  - chondral meiste Röhren- und Würfelknochen, Schädelbasis: ermöglicht interstitielles und schnelleres Wachstum
  - desmal nur Clavicula, Scapula, Gesichtsschädel, Schädelkalotte



# Enchondrale Ossifikation

## Ⓥ Reservezone

- hyaliner Knorpel mit enchondralen skelettalen Stammzellen für enchondrale Ossifikation → Chondrozyten, Osteoblasten, Knochenmarkstromazellen

## Ⓟ Proliferationszone (= Säulenknorpel)

- Mitosen, gerichtetes interstitielles Wachstum → Säulen aus Chondrozyten

## Ⓜ Hypertrophiezone (= Blasenknorpel)

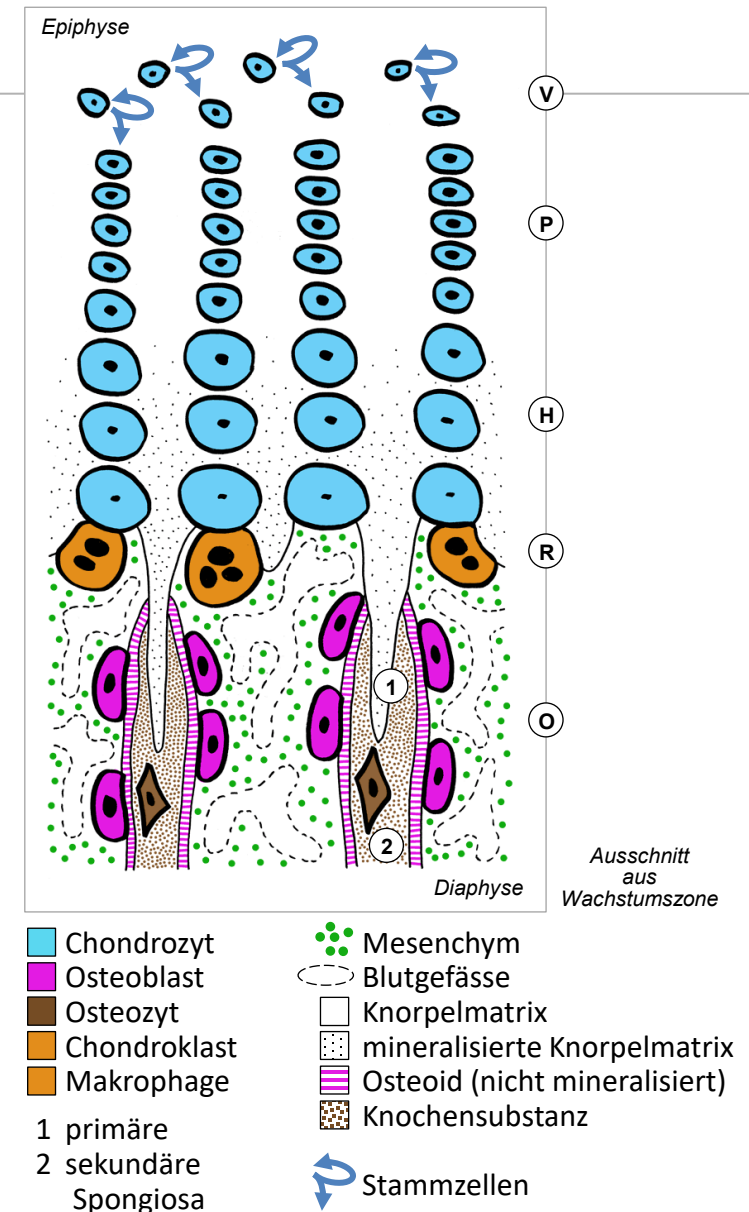
- Chondrozyten schwellen an → wesentliche Verstärkung des Wachstums, mineralisieren Knorpelmatrix, setzen VEGF und RANKL frei

## Ⓡ Resorptionszone (= Eröffnungszone)

- VEGF → Einwachsen von Mesenchym und Blutgefäßen, Einwanderung von Makrophagen, RANKL → Bildung und Aktivierung von Chondroklasten
- Makrophagen phagozytieren Chondrozyten, Chondroklasten bauen mittels  $\text{Na}^+\text{H}^+$  Exchanger NHA2 mineralisierte Matrix unvollständig ab

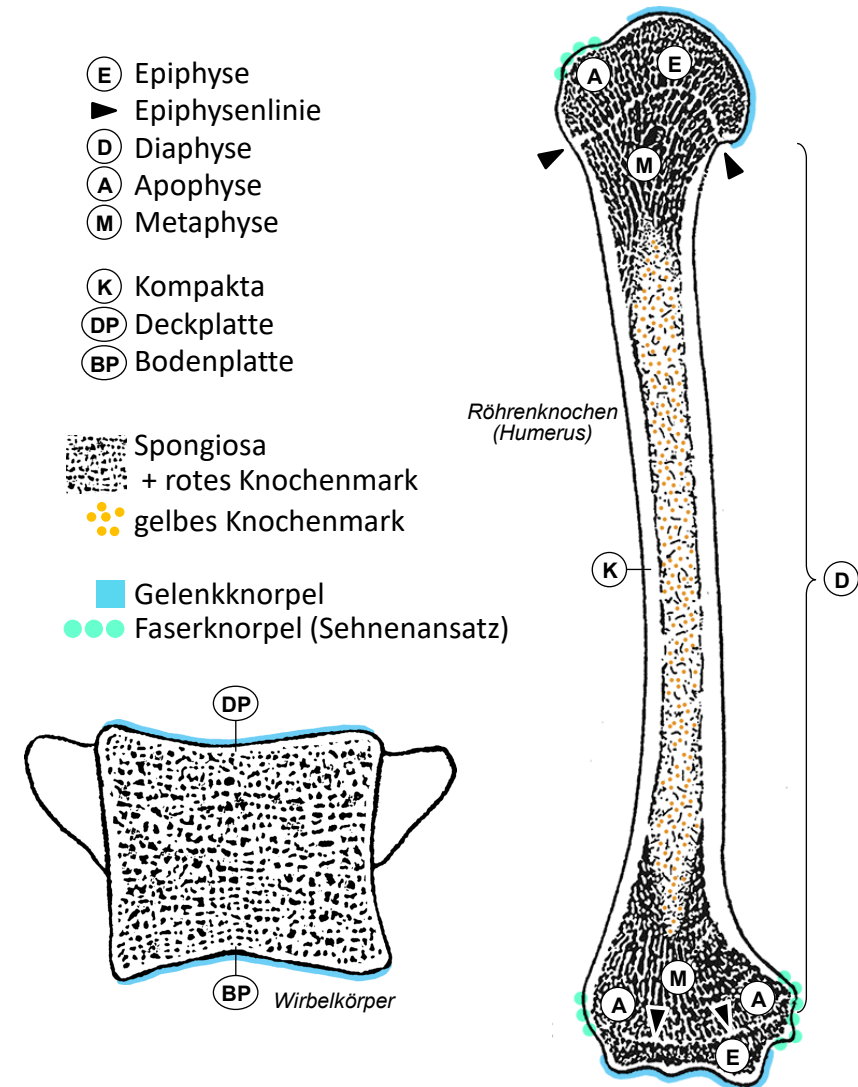
## Ⓞ Ossifikationszone

- Osteoblasten lagern Osteoid auf Resten mineralisierter Knorpelmatrix ab, wenn eingemauert → Osteozyten, mineralisieren Osteoid zu Knochenmatrix
- primäre Spongiosa: Knochenmatrix + Reste Knorpelmatrix, Elimination der Knorpelmatrix durch Umbau → sekundäre Spongiosa



# Kompakta und Spongiosa

- Optimierung und Dynamik
  - Gewährleistung erforderlicher Stabilität bei minimaler Masse
  - Ossifikation ( $\neq$  Knorpelneubildung) lebenslang möglich: Grundlage für permanenten Knochenumbau und dynamische Anpassung von Knochenmasse und Knochenstruktur an Belastung, Reparatur von Mikroschäden und Heilung von Frakturen
- 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 als Oberflächenvergrößerung für chondral-apophysäre Sehnenansätze
  - füllt Wirbelkörper ganz aus
  - zwischen Knochenbälkchen rotes = Blut bildendes Knochenmark
- Hohlräume
  - Grossteil der Diaphyse der Röhrenknochen
  - Orte ohne / mit minimaler Krafteinwirkung
  - gelbes = ruhendes Knochenmark (Fettmark)



# Organisation der Spongiosa

- Ausrichtung nach Kraftlinienverlauf
  - Knochengewebe optimal auf Zug- oder Druck belastbar
    - Minimierung von Scher- und Biegekräften durch Ausrichtung der Knochenbälkchen
  - 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 passt sich veränderter Geometrie der Kräfte an

