

---

# 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 21.02.2017

# Einführung

- **Ziel**
  - *Grundkenntnisse Anatomie Bewegungsapparat*
    - *Verständnis der Beziehung Struktur ↔ Funktion*
    - *Physiologie, Biomechanik, Trainingslehre, Verletzungen*
- **Bewegungsapparat = Organsystem**
  - *essentiell für selbständiges Leben und Arbeitsfähigkeit*
  - *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**
  - *MC 1 Stunde / 30 Fragen, Sommer- und Wintersession*



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00  
Frühjahrssemester 2017

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
21.02.17	1 Wo	Allgemeine Anatomie I
28.02.17	2 Wo	Allgemeine Anatomie II
07.03.17	3 Wo	Allgemeine Anatomie III
14.03.17	4 Wo	Allgemeine Anatomie IV
21.03.17	5 Wo	Untere Extremität I
28.03.17	6 Wo	Untere Extremität II
04.04.17	7 Wo	Untere Extremität III
11.04.17	8 Wo	Untere Extremität IV
18.04.17		keine Vorlesung (Osterferien)
25.04.17	9 Wo	Rumpf I
02.05.17	10 Wo	Rumpf II
09.05.17	11 Am	Obere Extremität I
16.05.17	12 Am	Obere Extremität II
23.05.17	13 Am	Obere Extremität III
30.05.17	14	keine Vorlesung

23.01.17 D.P. Wolfer

# Bücher

- *Bücherliste Funktionelle Anatomie*
  - *Prüfungsstoff = Vorlesung & Unterlagen*
  - *Bücher fakultativ zum Nachlesen und Vertiefen, kein Referenzbuch, Empfehlungen nicht zwingend*
- *Bücher Anatomie I+II*
  - *Bewegungsapparat ebenfalls enthalten*
  - *mehr Gewicht auf Topographie und Leitungsbahnen, weniger Funktion*
- *Lehrbücher für Medizinstudierende*
  - *umfangreicher als diese Vorlesung*
  - *bei speziellem Interesse oder als Nachschalgewerk*
- *Anatomische Namen*
  - *wichtig primär 3D Vorstellung und Verständnis der Struktur und ihrer Beziehung zur Funktion*
  - *Namen kein Selbstzweck, benötigt zur Kommunikation*
  - *lateinisch (international) besser als deutsch, wo möglich in Vorlesung und Prüfung beides*
  - *Nomenklatur meistens aber nicht immer logisch*



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Funktionelle Anatomie

Vorlesung 376-0905 FS2017

### Empfohlene Lehrbücher

#### *Nur Bewegungsapparat*

Gehrke T: Sportanatomie

8. Auflage, 281 Seiten. Nikol Verlag, 2009 oder RoRoRo Taschenbuch 2008

Weineck J: Sportanatomie

18. Auflage, 396 Seiten. Spitta-Verlag, 2008

Appell H-J, Stang-Voss C: Funktionelle Anatomie

4. Auflage, 179 Seiten. Springer-Verlag, 2008

#### *Bewegungsapparat und Biomechanik*

Wirhed R: Sportanatomie und Bewegungslehre

3. Auflage, 168 Seiten. Schattauer Verlag, 2001

Ahonen J, Lahtinen T, Sandström M, Pogliani G: Sportmedizin und Trainingslehre

2. Auflage, 214 Seiten. Schattauer Verlag, 2003

#### *Bewegungsapparat und übrige Organsysteme*

Tittel K: Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen

16. Auflage, 512 Seiten. Kiener Verlag, 2016

#### *Atlas*

Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus, LernAtlas der Anatomie

Band I: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem

4. Auflage, 630 Seiten. Georg Thieme Verlag, 2014

23.01.17, D.P. Wolfer

# Bestandteile anatomischer Namen I

---

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

# 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*

*peripher, distal\**

*vom Rumpf (Zentrum) weg*

*\*va. bei Extremitäten*

# Bewegungen und Körperebenen

---

*Extension*

*Flexion*

*Abduktion*

*Adduktion*

*Rotation*

*Anteversio*

*Retroversio*

*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*

*Umführungsbewegung 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*

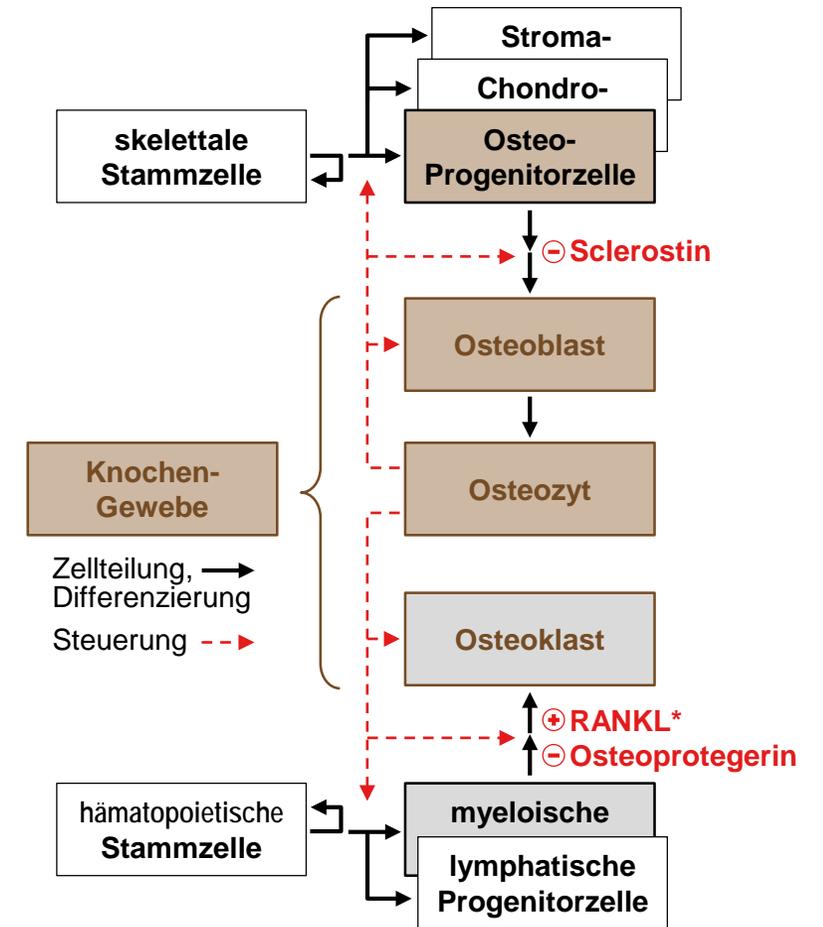
# Bildung von Knorpelgewebe und Knochen

- *Zellen*

- *Osteoblasten (oberflächlich): bilden Osteoid (nicht mineralisierte Matrix), sind Osteozyten-Vorläufer*
- *Osteozyten (95%, eingemauert): mineralisieren extrazelluläre Matrix*
- *Osteoklasten (oberflächlich): Knochenabbau inklusive mineralisierte extrazelluläre Matrix ( $H^+$  Pumpe → «Entkalkung» durch Ansäuern)*
- *Stammzellen (im Peri- und Endost): durch asymmetrische Teilung Selbsterneuerung & Produktion von proliferierenden Progenitorzellen*

- *Prozesse*

- *Ossifikation = Bildung von Knorpelgewebe, appositionell durch Osteoblasten: lebenslang! (prä- und postnatale Entwicklung, Knochenerneuerung, Knochenumbau und Frakturheilung)*
- *gesteuert durch Osteozyten via Zellkontakte und lösliche Faktoren*
- *Osteogenese = Entstehung von Skelettstücken (Knochen als Organ) in Entwicklung bis Pubertät, desmal oder chondral*
- *desmal = direkt: Mesenchym-Verdichtung*  
→ *Knochen (Clavicula, Scapula, Gesichtsschädel, Schädelkalotte)*
- *chondral = indirekt: Mesenchym → Modell aus hyalinem Knorpel*  
→ *Knochen (meiste Röhren- und Würfelknochen, Schädelbasis)*



\*Rephositor Activator of Nuclear factor κB Ligand

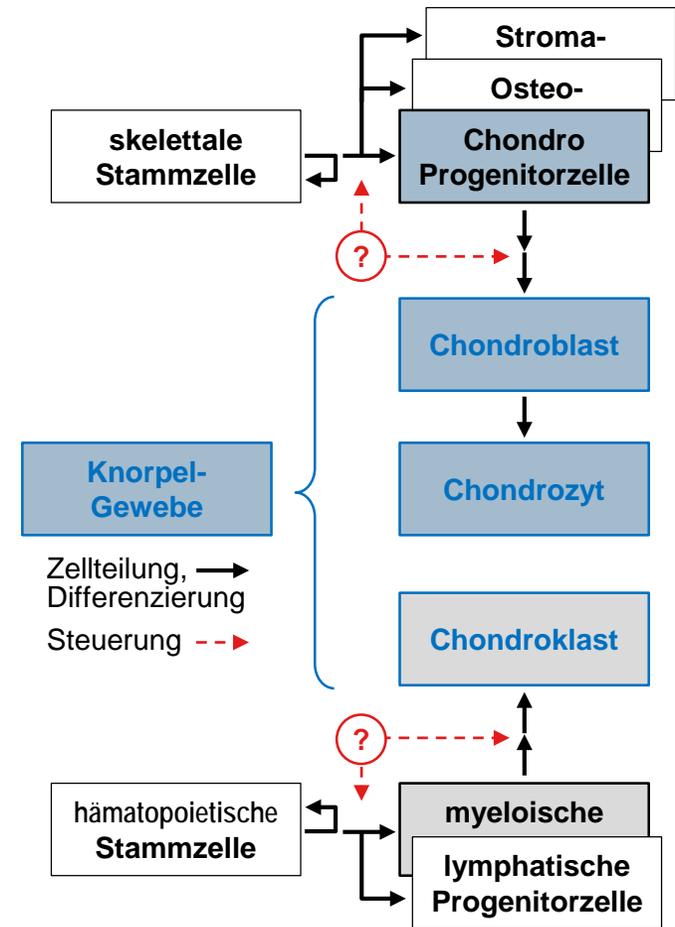
# Bildung von Knorpelgewebe

- **Zellen**

- *Chondroblasten (oberflächlich): bilden Knorpelmatrix, sind Chondrozyten-Vorläufer*
- *Chondrozyten (eingemauert): Unterhalt und Vermehrung der Knorpelmatrix, eventuell Mineralisation der Knorpelmatrix*
- *Chondroklasten (oberflächlich): bauen bei chondraler Osteogenese mineralisierte Matrix ab (besitzen  $H^+$  Pumpe wie Osteoklasten)*
- *Stammzellen (Perichondrium): durch asymmetrische Teilung Selbst-Erneuerung & Produktion von Progenitorzellen*

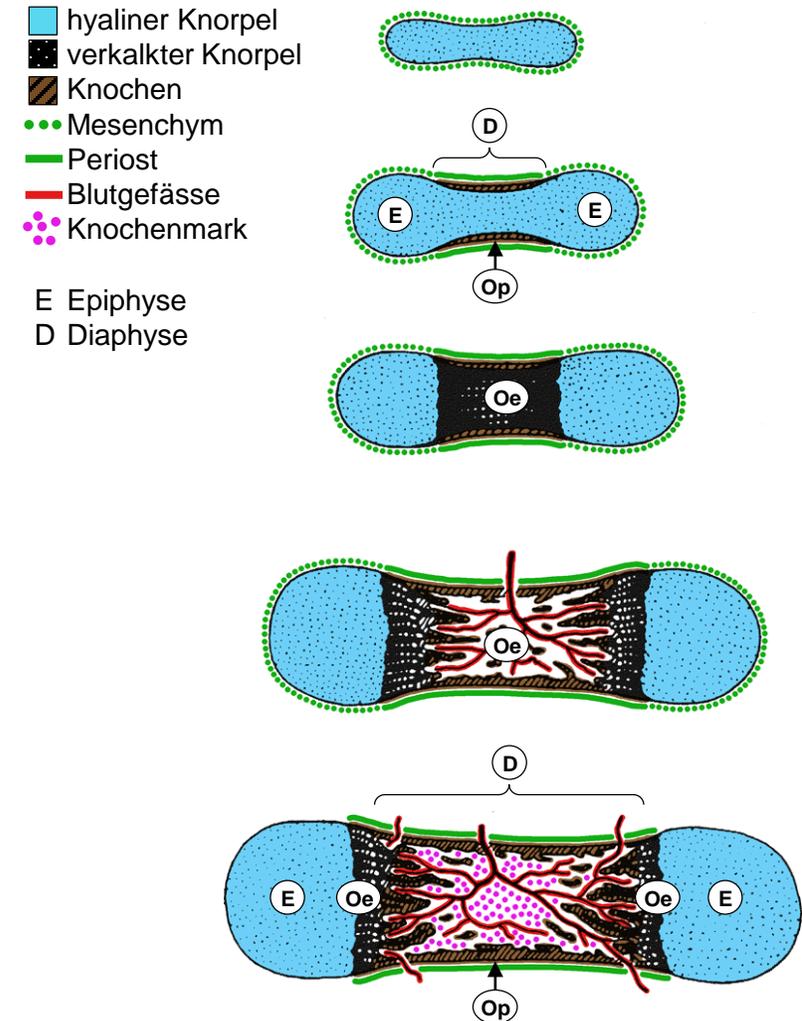
- **Prozesse**

- *Neubildung von Knorpelgewebe nur während Entwicklung, beim Erwachsenen kaum Umbau und keine Regeneration oder Reparatur*
- *Appositionelles Knorpelwachstum: oberflächliche Matrixanlagerung durch Chondroblasten*
- *Interstitielles Knorpelwachstum: Teilung von Chondrozyten im Knorpelinneren und Matrixexpansion*
- *Knochen wächst nur appositionell, kein interstitielles Knochenwachstum: Osteozyten sind teilungsunfähig, mineralisierte Matrix nicht mehr expandierbar*



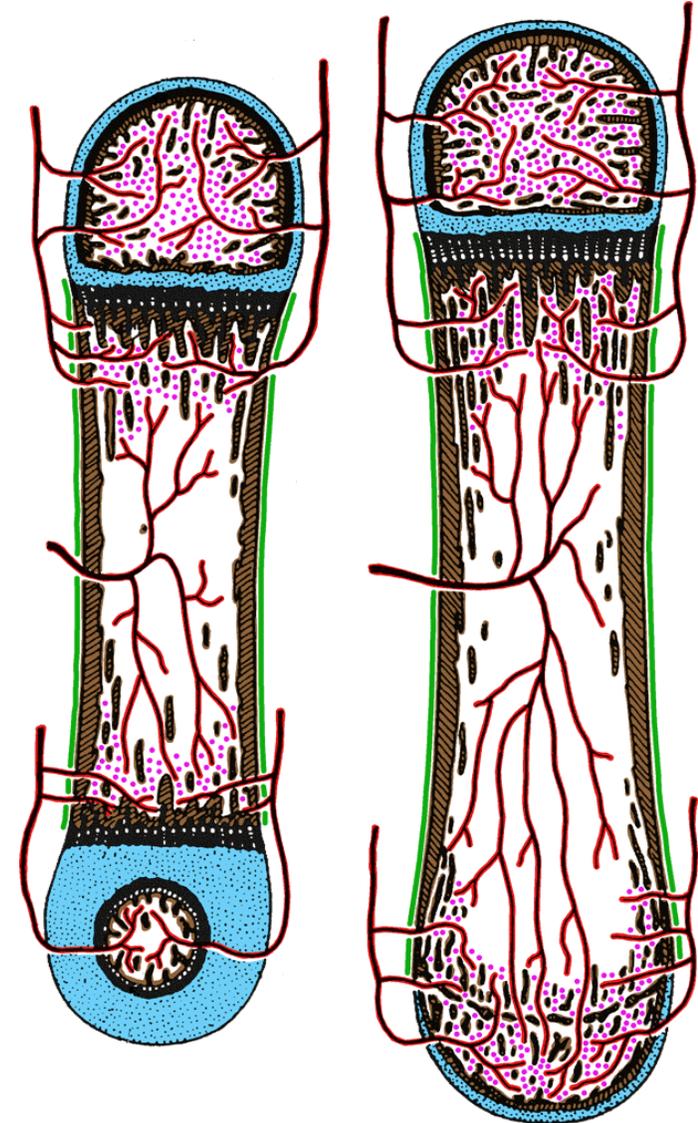
# Röhrenknochen pränatal

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



# 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

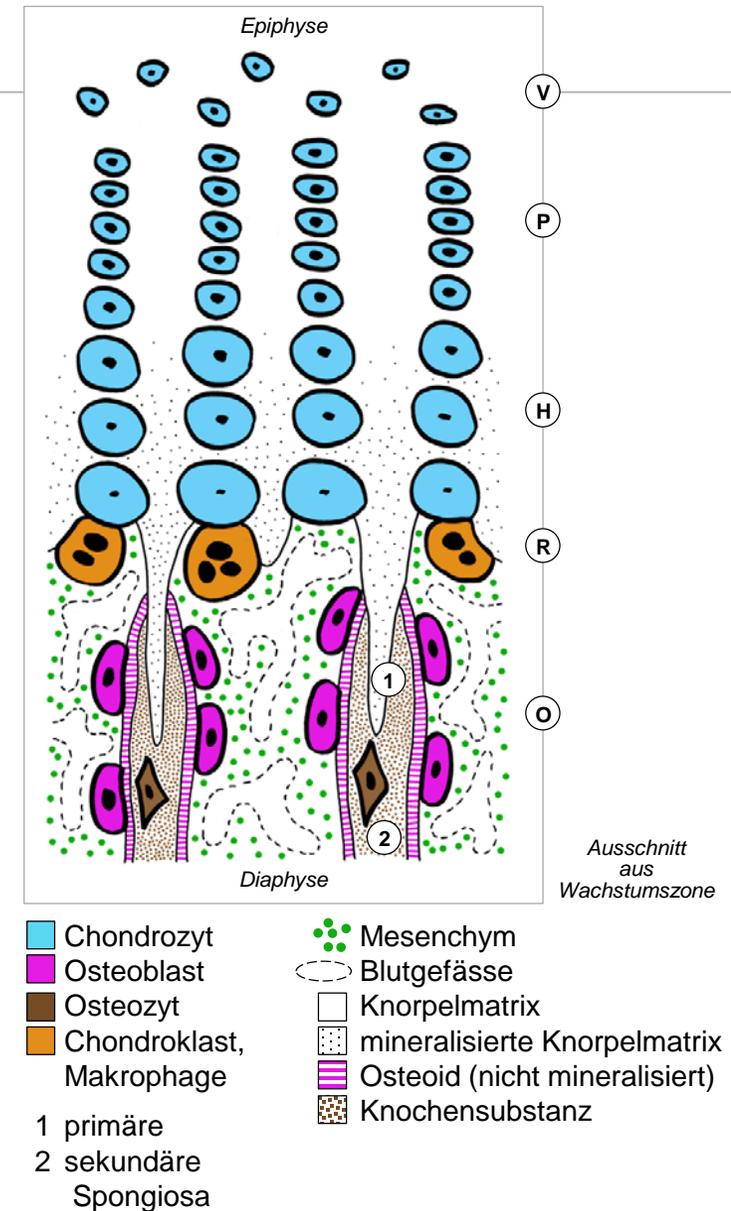
- Chondrozyten schwellen an (Verstärkung des Wachstums), induzieren Matrixmineralisation, bilden VEGF (vascular endothelial growth factor)

## Ⓡ Resorptionszone

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

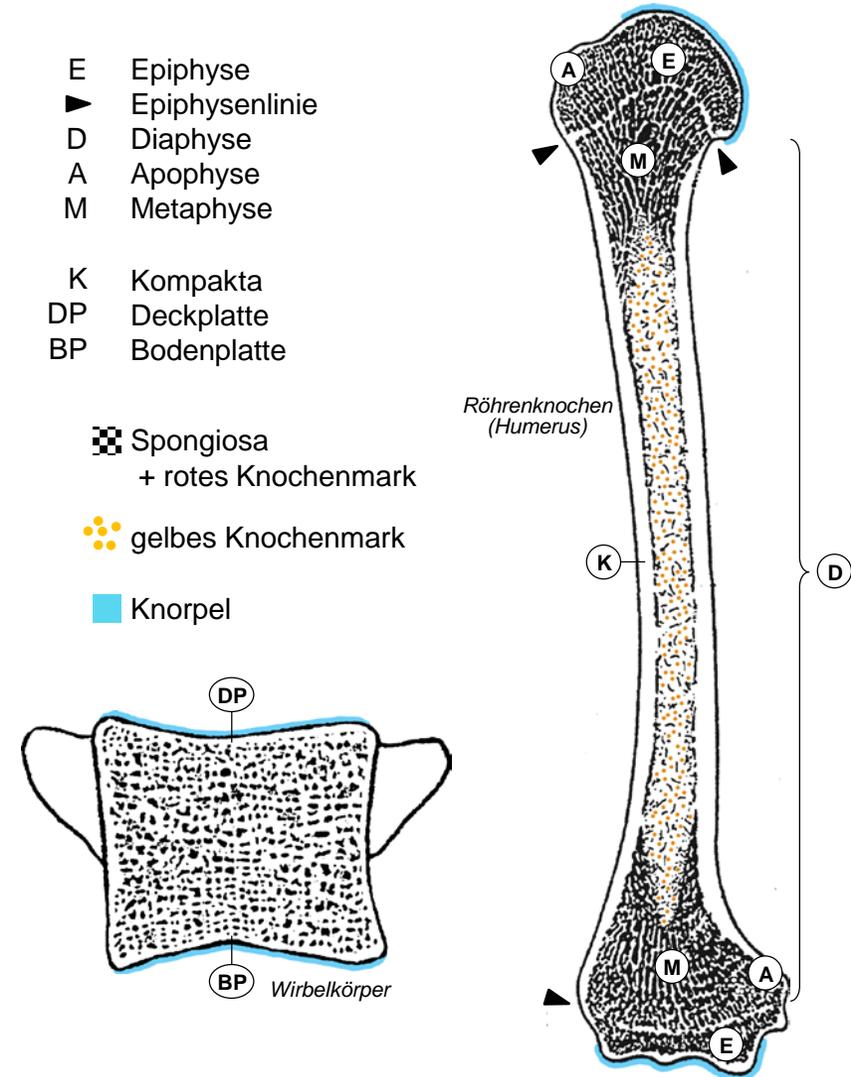
## Ⓞ Ossifikationszone

- 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 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*

