

---

# Allgemeine Anatomie III

## Gelenke, Muskel

---

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich  
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

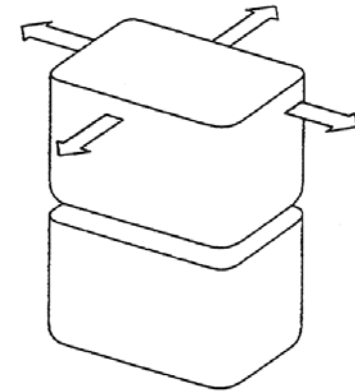
376-0905-00

Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates

Di 08.03.2016

# Systematik der Diarthrosen, Kugelgelenk

- *Freie Bewegung: Komponenten*
  - *3 Freiheitsgrade Rotation (3 zueinander senkrechte Achsen): konvex-konkave Gelenkflächen, bei meisten Gelenken für Bewegungsumfang bestimmend*
  - *3 Freiheitsgrade Translation (3 zueinander senkrechte Richtungen): in Translationsrichtung plane Gelenkflächen, anatomisch max. 2 Freiheitsgrade*
- *7 Gelenktypen: Geometrie und Anatomie*
  - *geometrische Modelle nur Näherung*
  - *Einschränkung der Bewegung: knöcherner und Bandführung; sowie Weichteile, fehlende Muskelkraft, zusammengesetzte und verbundene Gelenke*
  - *auch «unmögliche» Bewegungen z.T. möglich: Gelenkknorpel deformierbar, bewegliche Disci articulares / Menisken, Bandführung mit Spiel*
- *3 Rotations-Freiheitsgrade*
  - *Kugelgelenk: max Rotation aber keine Translation*
  - *Kopf: kugelförmig, konvex; Pfanne: kugelförmig, konkav*
  - *Schultergelenk, Humeroradialgelenk, Fingergrundgelenke, Hüftgelenk, Zehengrundgelenke*



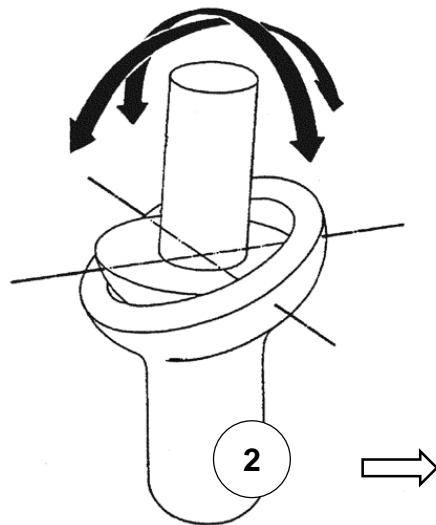
⇨ Translation  
↻ Rotation



# Diarthrosen mit 2 Rotationsfreiheitsgraden

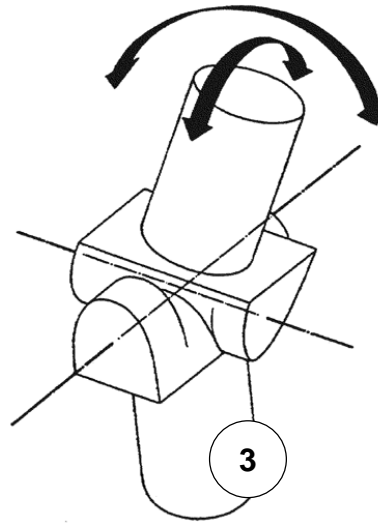
- *Eigelenk*

- keine Translation, keine Rotation um Längsachse
- Kopf und Pfanne eiförmig (Ellipse), Pfanne stark deformierbar
- Radiokarpalgelenk



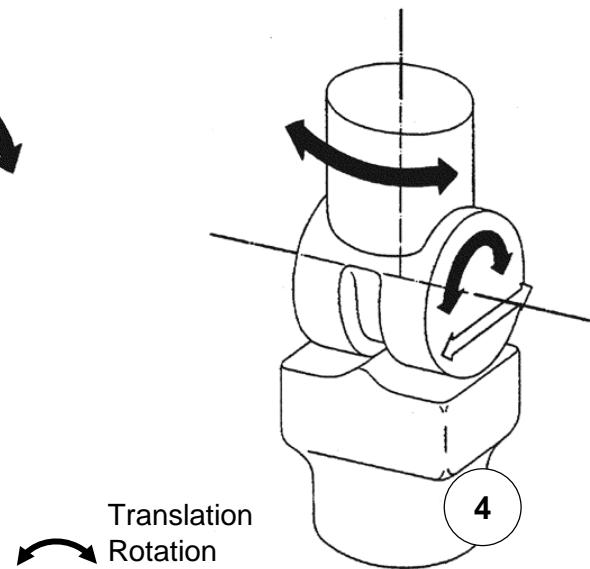
- *Sattelgelenk*

- keine Translation
- Kopf und Pfanne über Kreuz konvex-konkav
- Daumensattelgelenk, 3. Rotationsachse: geringe Bewegung durch lockere Bandführung



- *Kondylengelenk*

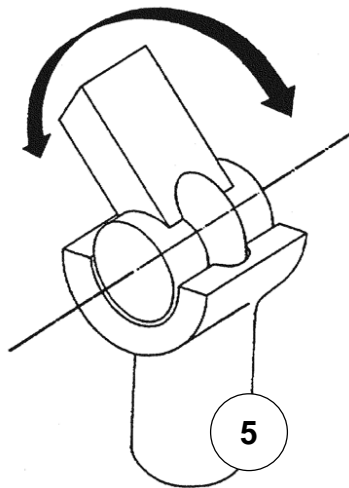
- max. 1 FG Translation
- Condylus = Gelenkrolle, typisch 2 (bikondyläres Gelenk), Pfanne plan
- 1 Kammer: Kniegelenk, 2 Kammern: Kiefer- und Atlantookzipitalgelenk



# Diarthrosen mit 1 Rotationsfreiheitsgrad

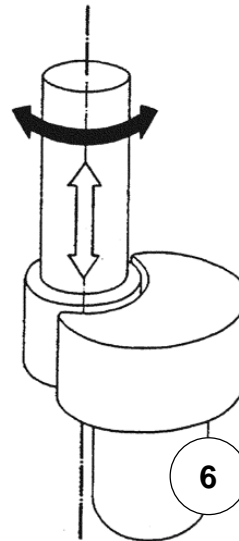
- *Scharniergelenk*

- *Translation verhindert*
- *Kopf (Trochlea) und Pfanne walzenförmig*
- *Humeroulnargelenk, Interphalangealgelenke, oberes Sprunggelenk*



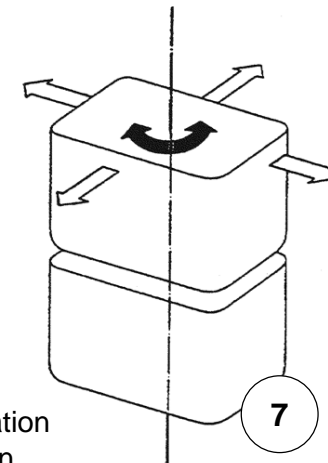
- *Rad- = Zapfengelenk*

- *Translation verhindert*
- *Kopf rad- oder zapfenförmig, Rotation um Längsachse*
- *proximales Radioulnargelenk, Atlantoaxialgelenk*



- *Planes Gelenk*

- *max. 2 FG Translation, Rotation oft blockiert*
- *± plane Gelenkfläche*
- *Femoropatellargelenk, Facettengelenke; Amphiarthrosen: Hand- und Fusswurzel, Iliosakralgelenk*

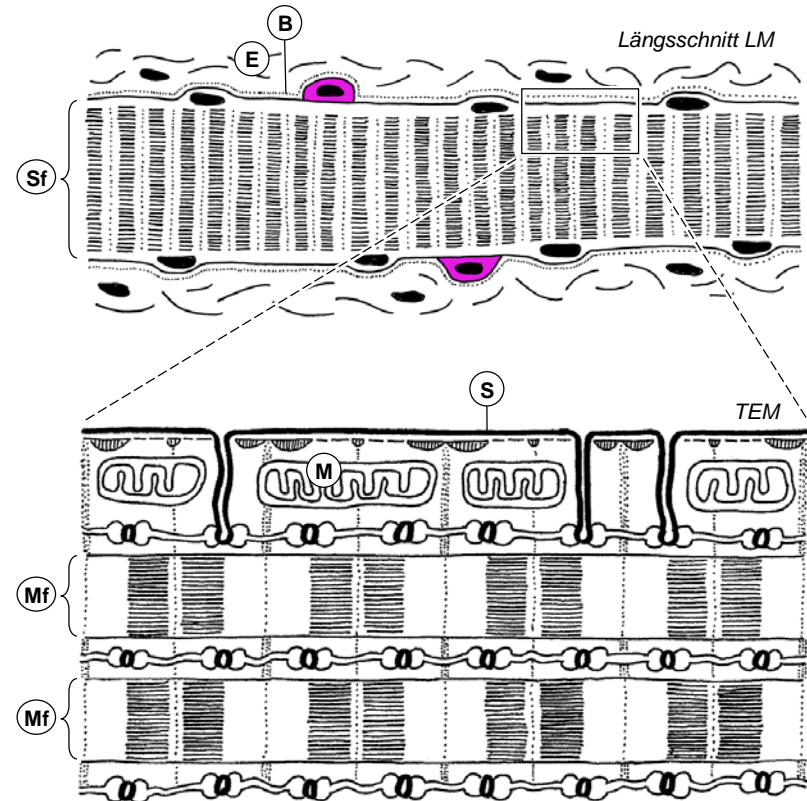


# Skelettmuskelfaser

- *Entwicklung bis 1. Jahr*
  - *Myoblasten aus Somit / Myotom (Spinalnerven →) und Schlundbogen-Mesenchym (Hirnnerven →): Proliferation, Migration*
  - *muskelspezifische Transkriptionsfaktoren (MyoD, Myf5, Myogenin, MFR4) → Differenzierung*
  - *Fusion zu Myotuben (Synzytium), Aufbau von Myofibrillen → Faser*
- *Morphologie*
  - *Faser 10-100 µm x bis 10 cm, 50/mm Kerne peripher unter Sarkolemm*
  - *85% Sarkoplasma → Myofibrillen → Querstreifung (ab Ende 3. SS Monat)*
- *Satellitenzellen*
  - *ruhende Myoblasten & Stammzellen, zwischen Sarkolemm und Basallamina, 1% der Zellkerne, ca. 800/mm<sup>3</sup>*
  - *Muskelhypertrophie, Faserreparatur*

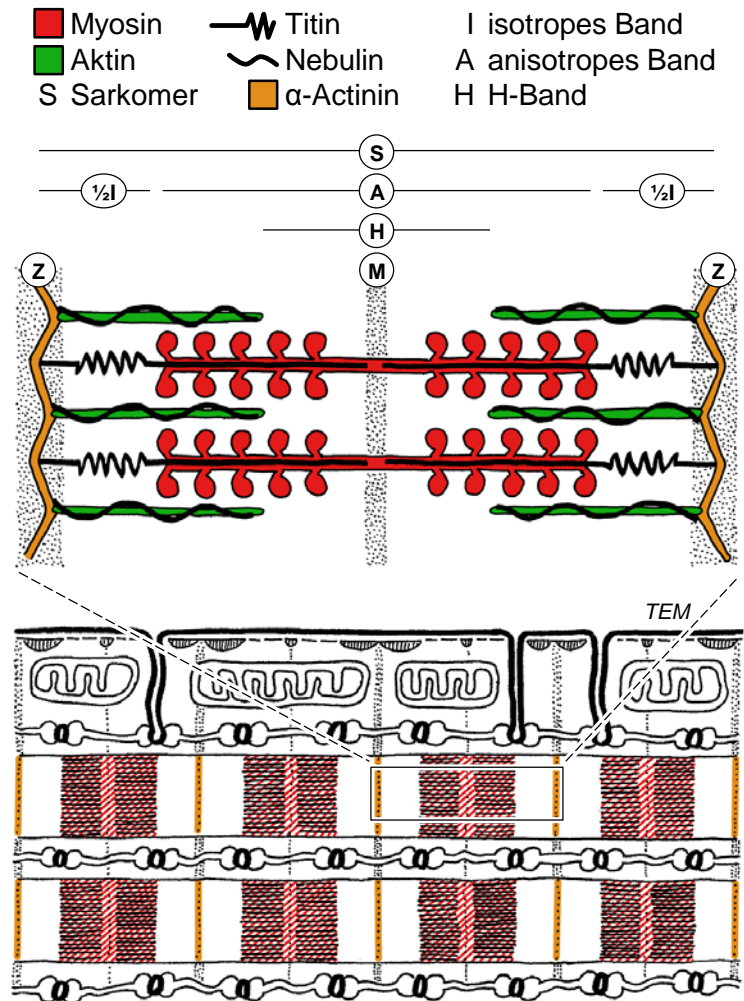
Sf	Skelettmuskelfaser	E	Endomysium
Mf	Myofibrille	B	Basallamina
		S	Sarkolemm
		●	Zellkerne
		M	Mitochondrien

○ Satellitenzelle



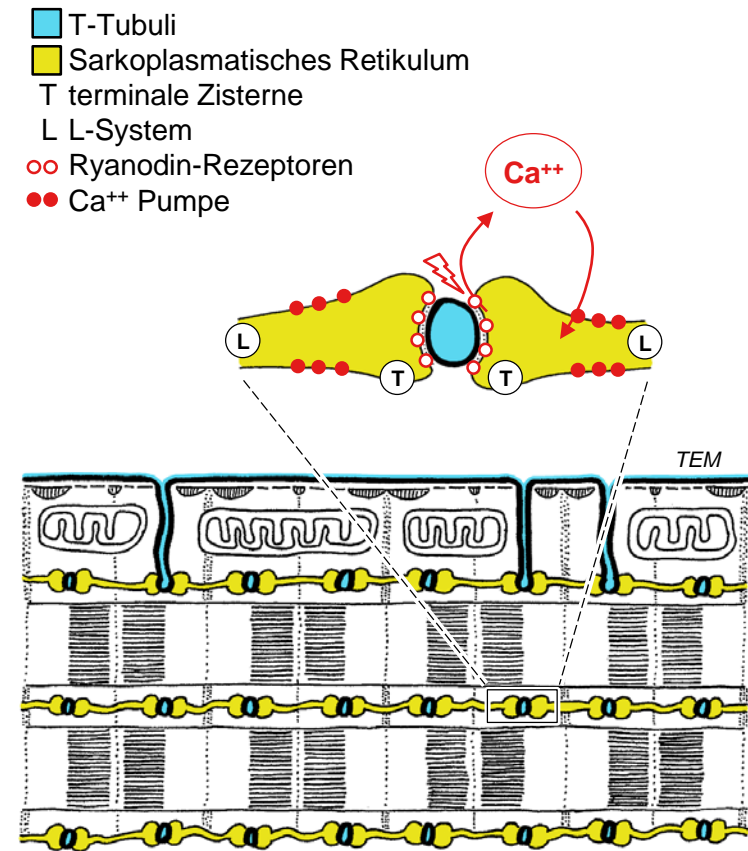
# Myofibrille

- *Sarkomer*
  - *repetierte Grundeinheit der Myofibrille*
  - *Aktin- (7nm x 1µm) ↔ Myosinfilamente (15nm x 1.5µm), Verhältnis 6:3, A/H/I Band*
  - *Myosin: 300 Schwänze → Filament, Köpfe → Kontakt mit Aktin, moduliert durch Tropomyosin & Troponin C*
  - *Aktin verankert in Z-Scheibe (α-Actinin, Cap Z), stabilisiert durch Nebulin*
  - *Titin: 10% Muskelprotein, >30,000 AS, Rückstellfeder, Überdehnungsbremse*
  - *Myosin querverbunden in M-Scheibe*
- *Myofibrille*
  - *Durchmesser 0.5-1µm*
  - *2500-3500 / Faser, so lang wie diese*
- *Kontraktion*
  - *Aktin gegen Myosin verschoben, A-Band wird NICHT schmaler*
  - *max Verkürzung 40%, 3.3 → 2.0µm*



# Elektromechanische Koppelung

- *Elektromechanische Koppelung*
  - *Erregung (Aktionspotential am Sarkolemm) führt zur Kontraktion*
- *T-Tubuli*
  - *tubuläre Einsenkungen des Sarkolemm*
  - *umgeben Myofibrille am A-I Übergang*
  - *leiten Aktionspotential ins Zellinnere*
- *Sarkoplasmatisches Retikulum*
  - *vom endoplasmatischen Retikulum abgeleiteter intrazellulärer  $Ca^{++}$  Speicher*
  - *2 Terminale Zisternen begleiten T-Tubuli um Myofibrille: Triade*
  - *L-System longitudinal, verbindet terminale Zisternen*
  - *Ryanodin Rezeptoren:  $Ca^{++}$  Kanal in terminaler Zisterne, aktiviert durch Depolarisation des T-Tubulus*
  - *$Ca^{++}$  Pumpen im L-System: sofortige Wiederaufnahme des  $Ca^{++}$*





# 3 Zytoskelettsysteme der Skelettmuskelfaser

- *subsarkolemmal = kortikal*
  - *speziell ausgebautes Membranskelett mit 3 Filamentsystemen*
  - *reifenartige Verstärkung: starker Doppelreifen um Z-Scheibe (Costamere), feines Band um M-Scheibe*
  - *laterale Kraftübertragung auf Basallamina/EZM, Plissieren des Sarkolemm bei Kontraktion*
- *perisarkomerisch*
  - *Schlingen um Myofibrillen, Brücken zwischen Fibrillen und zu Sarkolemm*
  - *Ausrichtung der Myofibrillen, intrazelluläre Kraftübertragung*
- *sarkomerisch (Myofibrille)*
  - *Zytoskelettproteine der Myofibrillen*
  - *Krafterzeugung für Kontraktion*
  - *terminale Kraftübertragung auf Basallamina/EZM durch Fokalkontakte*

subsarkolemmal

- **Aktin**\* ↔ Talin/Vinculin<sup>1</sup> ↔ Integrin<sup>2</sup> ↔ BL/EZM
  - **Dystrophin** ↔ Dystroglycan/Sarcoglycan<sup>2</sup> ↔ BL/EZM (Utrophin: neuromuskuläre Synapse)
  - **Spektrin** ↔ Ankyrin<sup>1</sup> ↔ Aktin/Dystrophin
- \*nicht sarkomerisch



peri-sarkomerisch

- **Desmin** (va. Z-Scheibe), **Keratin** (va. M-Scheibe)



sarkomerisch

- **Aktin**\*, Nebulin, α-Actinin<sup>1</sup>, Titin, **Myosin**
  - Fokalkontakte: Aktin\* ↔ α-Actinin<sup>1</sup> ↔ Integrin<sup>2</sup> ↔ BL/EZM
- \*sarkomerisch

<sup>1</sup>Adaptorproteine, <sup>2</sup>Transmembranproteine

