

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



**Universität  
Zürich** <sup>UZH</sup>

---

# Allgemeine Anatomie III

## Gelenke, Muskel

---

David P. Wolfer

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

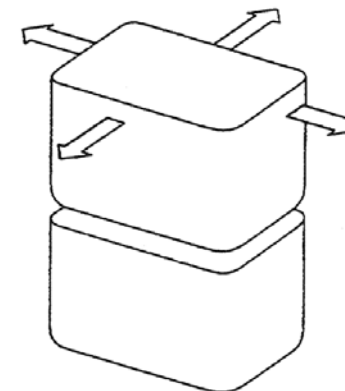
376-0905-00

Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates

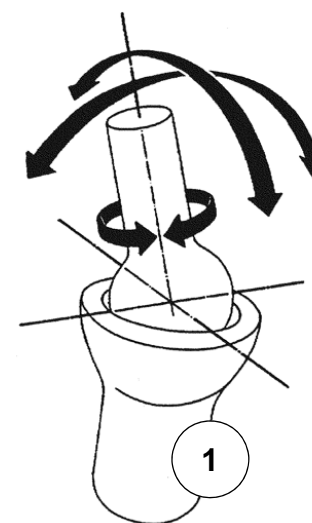
Di 04.03.2014

# Systematik der Diarthrosen, Kugelgelenk

- *Freie Bewegung: 6 Freiheitsgrade*
  - *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: knöcherne und Bandführung, fehlende Muskelkraft, zusammengesetzte und verbundene Gelenke*
  - *«unmögliche» Bewegungen sind 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*



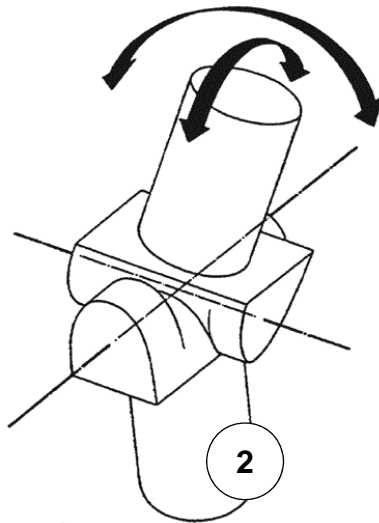
→ Translation  
↻ Rotation



# Diarthrosen mit 2 Rotationsfreiheitsgraden

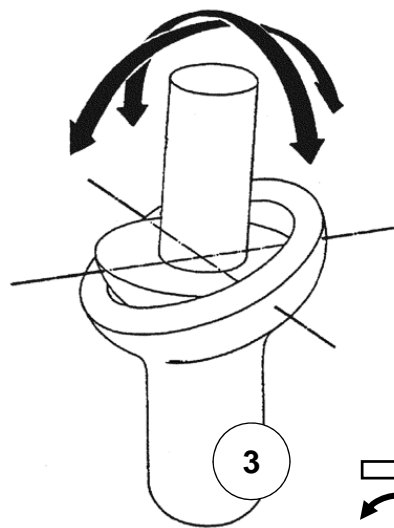
- *Sattelgelenk*

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



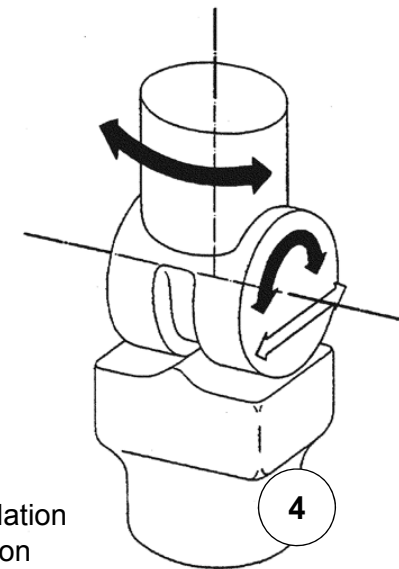
- *Eigelenk*

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



- *Kondylengelenk*

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

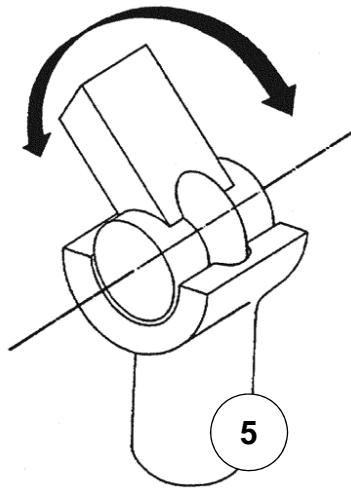


→ Translation  
↺ Rotation

# Diarthrosen mit 1 Rotationsfreiheitsgrad

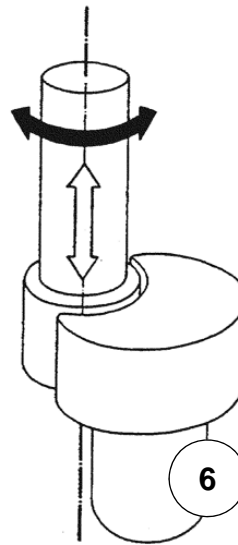
- *Scharniergelenk*

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



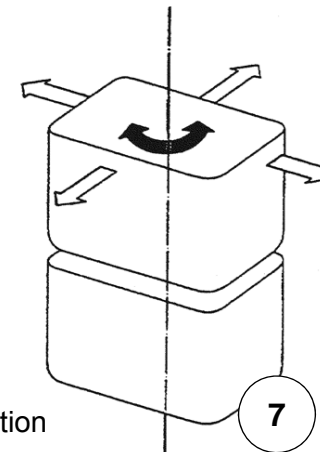
- *Rad- = Zapfengelenk*

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



- *Planes Gelenk*

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



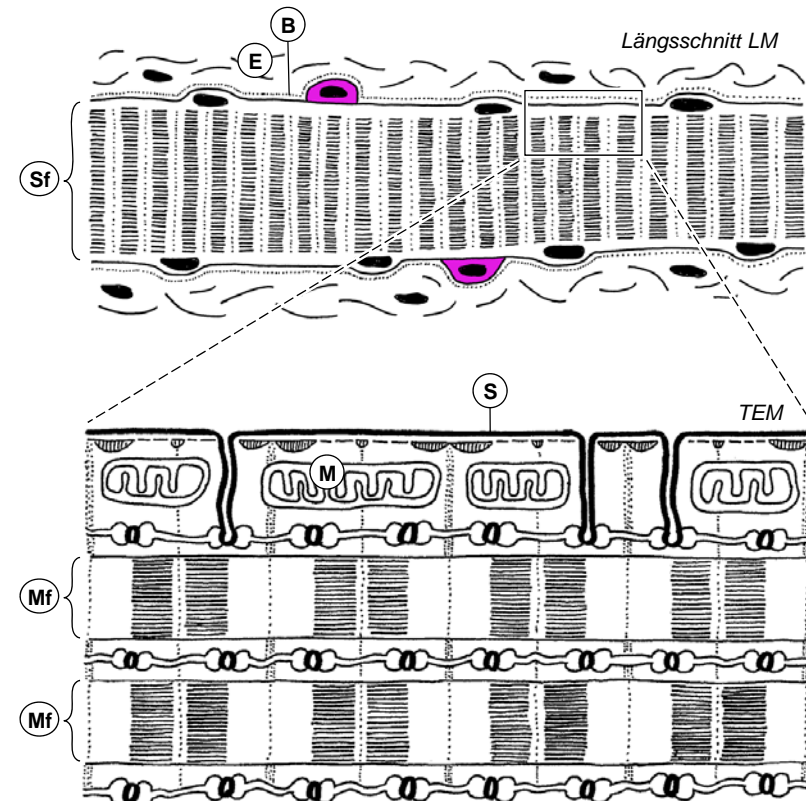
# Skelettmuskelfaser

- *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*
- *Morphologie*
  - *Faser 10-100  $\mu\text{m}$  x bis 10 cm, 50/mm Kerne peripher unter Sarkolemm*
  - *85% Sarkoplasma → Myofibrillen → Querstreifung (ab Ende 3. SS Monat)*
- *Satellitenzellen*
  - *ruhende Myoblasten, zwischen Sarkolemm und Basallamina, 1% der Zellkerne, ca. 800/mm<sup>3</sup>*
  - *Muskelhypertrophie, Faserreparatur*

Sf Skelettmuskelfaser  
Mf Myofibrille

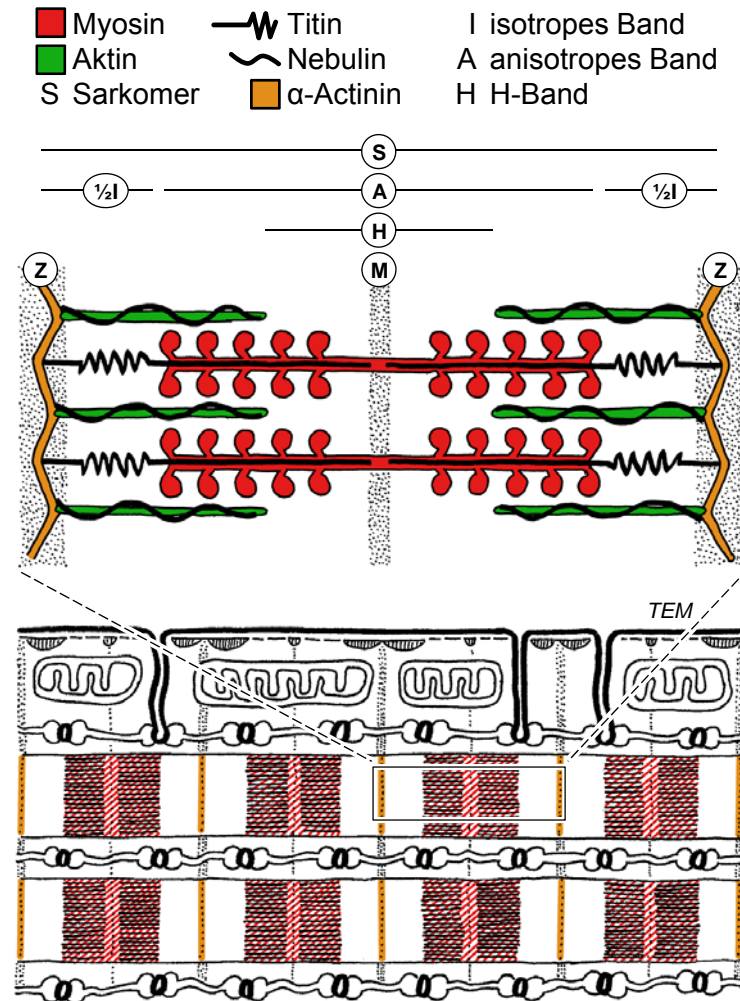
 Satellitenzelle

E Endomysium  
B Basallamina  
S Sarkolemm  
● Zellkerne  
M Mitochondrien



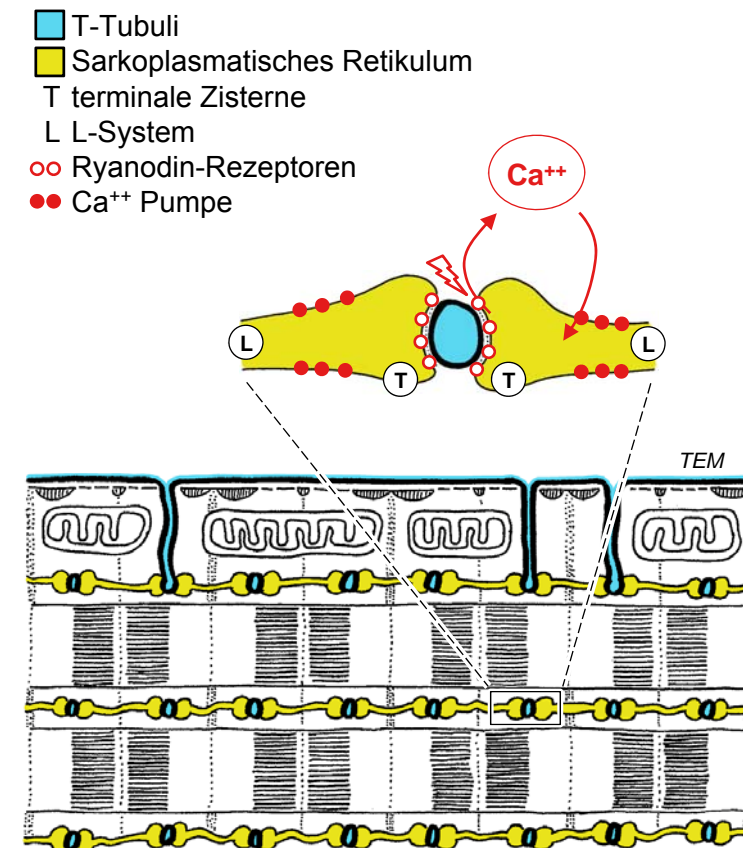
# Myofibrille

- *Sarkomer*
  - *repetierte Grundeinheit*
  - *6 Aktinfilamente (7 nm x 1 µm) um 1 Myosinfilament (15 nm x 1.5 µm)*
  - *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 0.5-1 µm*
  - *2500-3500 / Faser, so lang wie diese*
- *Kontraktion*
  - *Aktin gegen Myosin verschoben, A-Band wird nicht schmaler*
  - *max Verkürzung 40%, 3.3 → 2.0 µm*



# 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  $Ca^{++}$*



# 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

