

---

# Allgemeine Anatomie III

## Gelenke, Muskel

---

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich

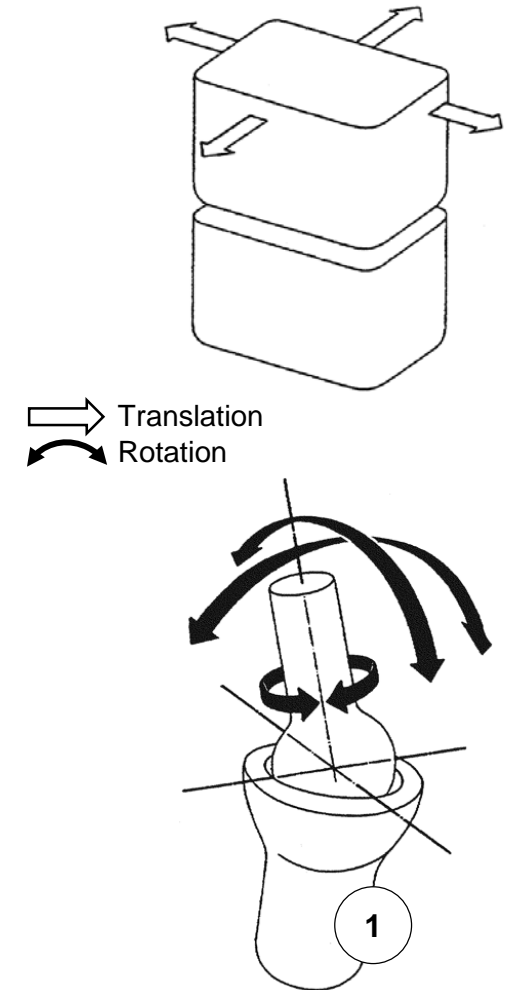
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates

Di 07.03.2017

# Systematik der Diarthrosen, Kugelgelenk

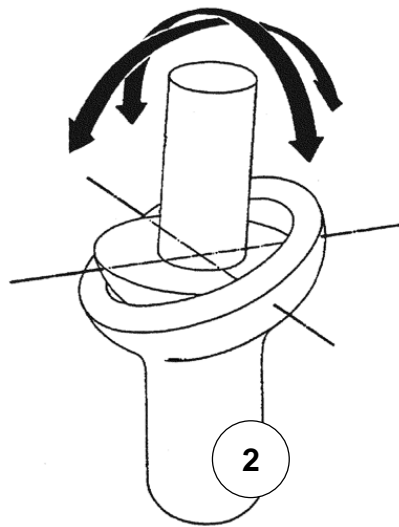
- *Theoretische maximale Freiheitsgrade freier Bewegung*
  - *3 Freiheitsgrade Rotation (3 zueinander senkrechte Achsen):  
konvex-konkave Gelenkflächen, bei meisten Gelenken für Bewegungsumfang bestimmend*
  - *3 Freiheitsgrade Translation (3 zueinander senkrechte Richtungen):  
in Translationsrichtung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



# Diarthrosen mit 2 Rotationsfreiheitsgraden

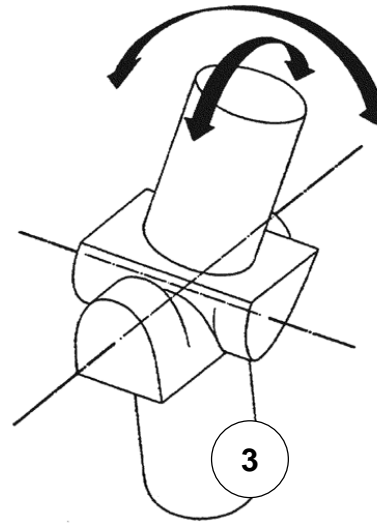
- *Eigelenk*

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



- *Sattelgelenk*

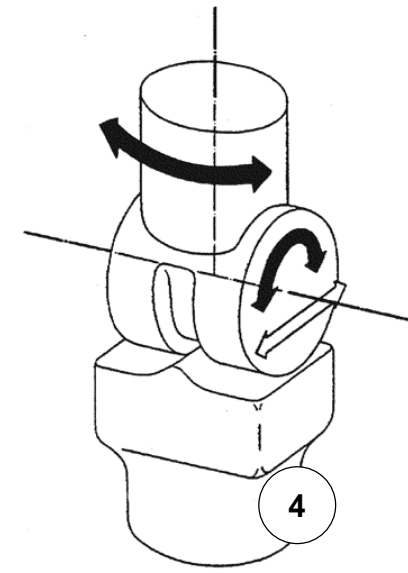
- *keine Translation*
- *Kopf und Pfanne über Kreuz konvex-konkav*
- *Daumensattelgelenk, 3. Rotationsachse: geringe Bewegung durch lockere Bandführung*



→ Translation  
↺ Rotation

- *Kondylengelenk*

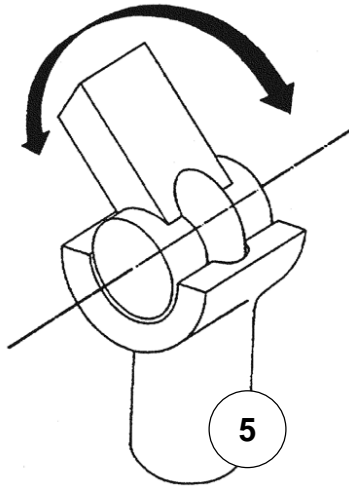
- *max. 1 FG Translation*
- *Condylus = Gelenkrolle, typisch 2 (bikondyläres Gelenk), entsprechende Pfannen  $\pm$ plan*
- *1 Kammer: Kniegelenk, 2 Kammern: Kiefer- und Atlantookzipitalgelenk*



# Diarthrosen mit 1 Rotationsfreiheitsgrad

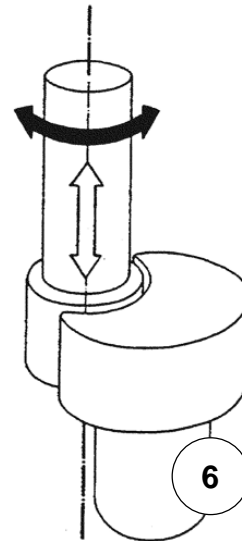
- *Scharniergelenk*

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



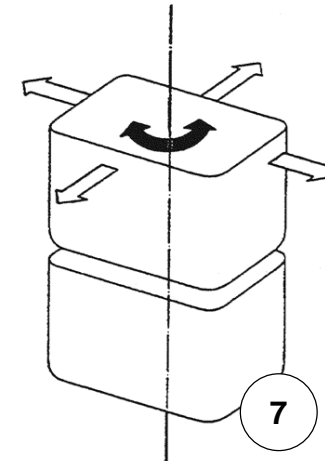
- *Rad- = Zapfengelenk*

- *max 1 FG Translation (verhindert durch Bandapparat)*
- *Kopf rad- oder zapfenförmig, Rotation um Längsachse*
- *proximales Radioulnargelenk, Atlantoaxialgelenk*



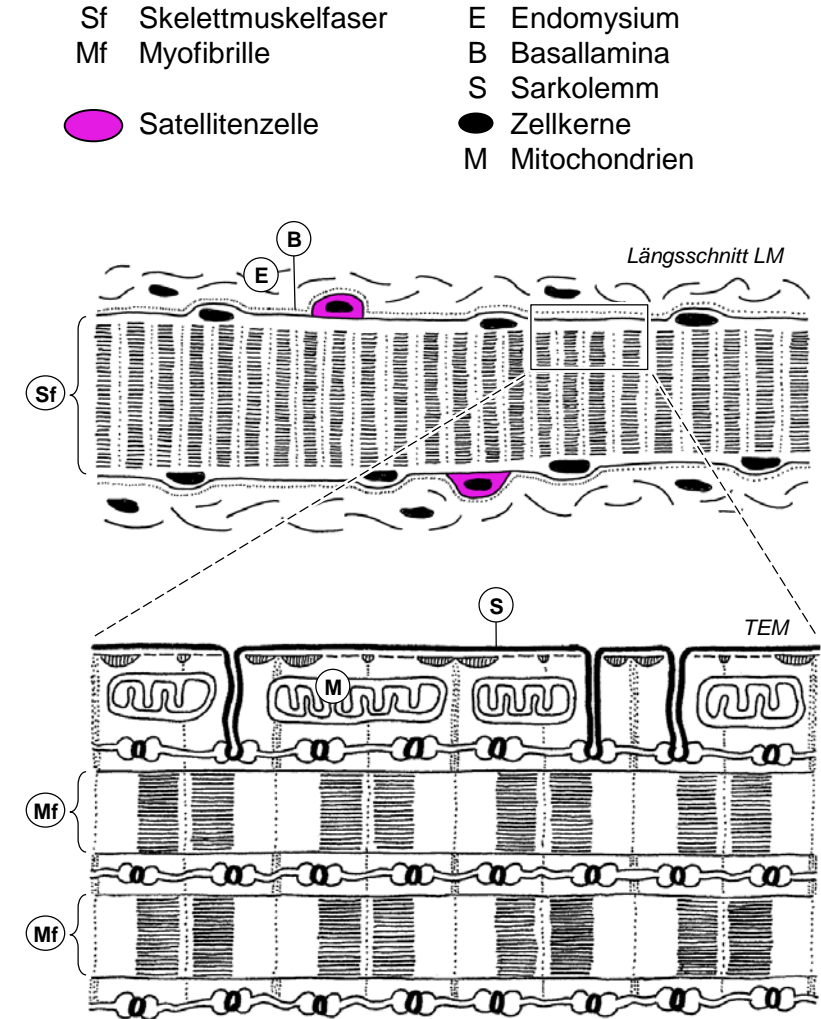
- *Planes Gelenk*

- *max. 2 FG Translation, 1 FG Rotation (oft blockiert)*
- *± plane Gelenkfläche*
- *Femoropatellargelenk, Facettengelenke; Amphiarthrosen: Hand- und Fusswurzel, Iliosakralgelenk*



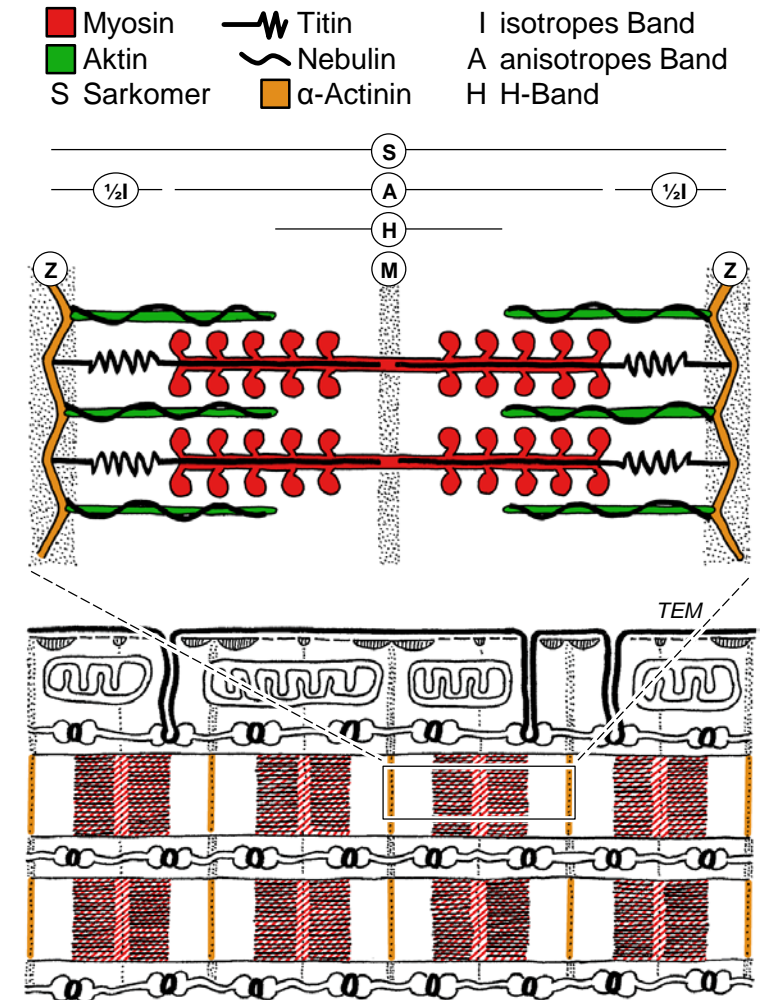
# Skelettmuskelfaser

- *Entwicklung*
  - *Myoblasten aus Myotom der Somiten (Spinalnerven →) und Schlundbogen-Mesenchym (Hirnnerven →): Proliferation, Migration zum Bestimmungsort*
  - *muskelspezifische Transkriptionsfaktoren (MyoD, Myf5, Myogenin, MFR4) → Differenzierung*
  - *Fusion zu Myotuben (Synzytium), Synthese von Myofibrillen → Skelettmuskelfaser = zelluläre Einheit des Skelettmuskels*
  - *Endzahl Skelettmuskelfasern im 1. Lebensjahr erreicht, keine Fasermehrung (Hyperplasie) oder -Ersatz beim Erwachsenen*
- *Morphologie*
  - *Faser Ø10-100 µm x Länge bis 10 cm, 50/mm platte Kerne peripher unter Sarkolemm*
  - *85% Sarkoplasma = Myofibrillen, Querstreifung (ab 13 SSW)*
- *Satellitenzellen*
  - *ruhende Myoblasten & Stammzellen, zwischen Sarkolemm und Basallamina, 1% der Zellkerne, ca. 800/mm<sup>3</sup>*
  - *Teilung → zusätzliche Zellkerne für Faserhypertrophie (Krafttraining, Kompensation) oder Faserreparatur*



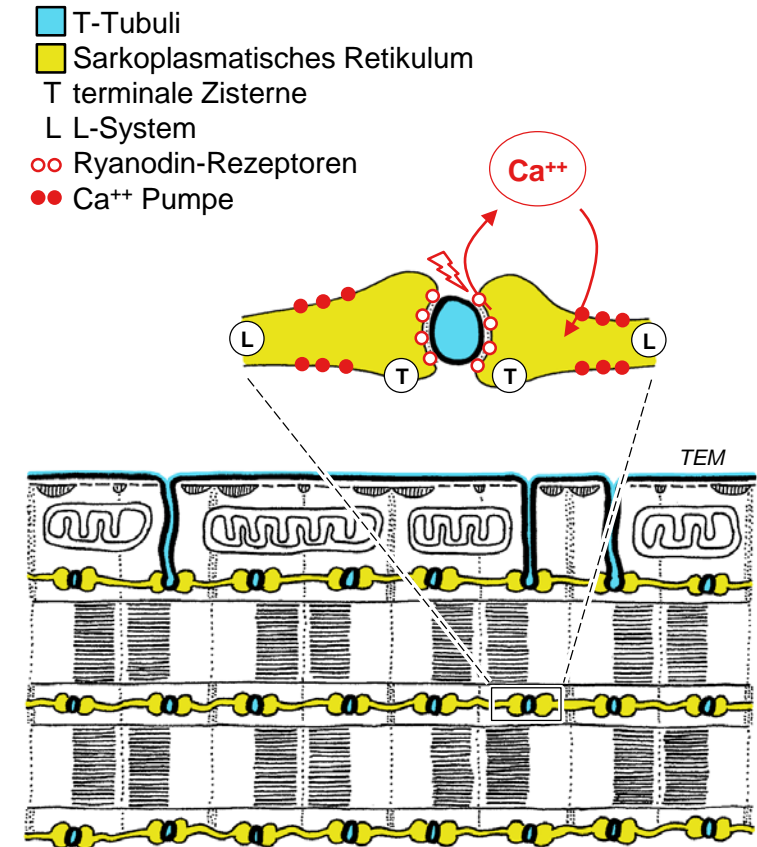
# Myofibrille

- *Sarkomer*
  - *repetierte Grundeinheit der Myofibrille, zwischen Z-Scheiben*
  - *Aktinfilamente (7nm x 1µm) ↔ Myosinfilamente (15nm x 1.5µm), Verhältnis am Querschnitt 6 Aktin : 3 Myosin, A/H/I Band*
  - *Myosin: 300 Schwänze → Filament, Köpfe → Kontakt mit Aktin*
  - *Tropomyosin blockiert Bindung von Myosin an Aktin, Freigabe durch  $Ca^{++}$  Bindung an Troponin C → Kontraktion*
  - *Aktin verankert in Z-Scheibe (α-Actinin, Cap Z), stabilisiert durch Nebulin-Filamente*
  - *Myosin verankert und querverbunden in M-Scheibe*
  - *Titin: 10% Muskelprotein, superdünne Filamente >30,000 AS, Rückstellfeder und Überdehnungsbremse für Sarkomer*
- *Myofibrille*
  - *Durchmesser 0.5-1µm*
  - *2500-3500 pro Skelettmuskelfaser, so lang wie diese*
- *Kontraktion*
  - *Aktin zwischen Myosin-Filamente zum M-Streifen hin gezogen, A-Band wird NICHT schmaler, nur I-Band und H-Band*
  - *max Verkürzung um 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 vom Sarkolemm in Faser hinein*
- *Sarkoplasmatisches Retikulum*
  - *vom endoplasmatischen Retikulum abgeleiteter intrazellulärer  $\text{Ca}^{++}$  Speicher*
  - *2 Terminale Zisternen begleiten T-Tubuli um Myofibrille: Triade*
  - *L-System longitudinal, verbindet terminale Zisternen*
  - *Ryanodin Rezeptoren: spannungsgesteuerter  $\text{Ca}^{++}$  Kanal in terminaler Zisterne, aktiviert durch Depolarisation des T-Tubulus*
  - *$\text{Ca}^{++}$  Pumpen im L-System: sofortige Wiederaufnahme des  $\text{Ca}^{++}$*





# 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 und EZM, geordnetes Plissieren des Sarkolemm bei Kontraktion*
- *perisarkomerisch*
  - *Schlingen um Myofibrillen, Brückenbildung zwischen Fibrillen, Verbindung von Fibrillen zu Sarkolemm*
  - *Ausrichtung der Myofibrillen, intrazelluläre Kraftübertragung*
- *sarkomerisch (Myofibrille)*
  - *Zytoskelettproteine, die Myofibrillen aufbauen*
  - *Krafterzeugung für Kontraktion*
  - *endständiges sarkomerisches Aktin: Kraftübertragung von Fibrillenende auf Basallamina und EZM via Fokalkontakte*
- *Duchenne-Muskeldystrophie*
  - *Mutation im Gen für Dystrophin (X-Chromosom)*
  - *insuffizientes kortikales Zytoskelett, ev. auch Dysfunktion der Satellitenzellen → Faserdegeneration, Muskelschwund*

