

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



**Universität  
Zürich** UZH

---

# Allgemeine Anatomie IV

## Muskel, Sehne und Hilfseinrichtungen

---

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 11.03.2014

# Muskelfasertypen

- *Fasertypen*

- *bestimmt durch Isoform der schweren Myosinkette, Dilemma Geschwindigkeit ↔ Ausdauer*
- *I → hohe Ausdauer auf Kosten langsamer Kontraktion: oxidativer Stoffwechsel, Mitochondrien, Fetttropfen, Myoglobin*
- *IIX → rasche Kontraktion auf Kosten schneller Ermüdung: viel sarkoplasmatisches Retikulum, Parvalbumin = Ca<sup>++</sup>-Puffer, Glykolyse, Glykogen*
- *IIA → Kompromissform*

- *Fasertypenverteilung*

- *Muskeln alle gemischt, verteiltes Mosaik. Haltemuskeln (M. soleus, tibialis ant.) I:II=2:1; M. triceps brachii I<II. M. gastrocnemius individuell: Sprinter II>I, Ausdauersportler I>II*

- *Fasertransformation*

- *Physiologisch: Belastung IIX→IIA (fast to slow), Ruhe IIA→IIX (slow to fast), Anteil I bleibt.*
- *Lähmung: I → IIA; 10 Hz Tierexperiment: IIA→I?*

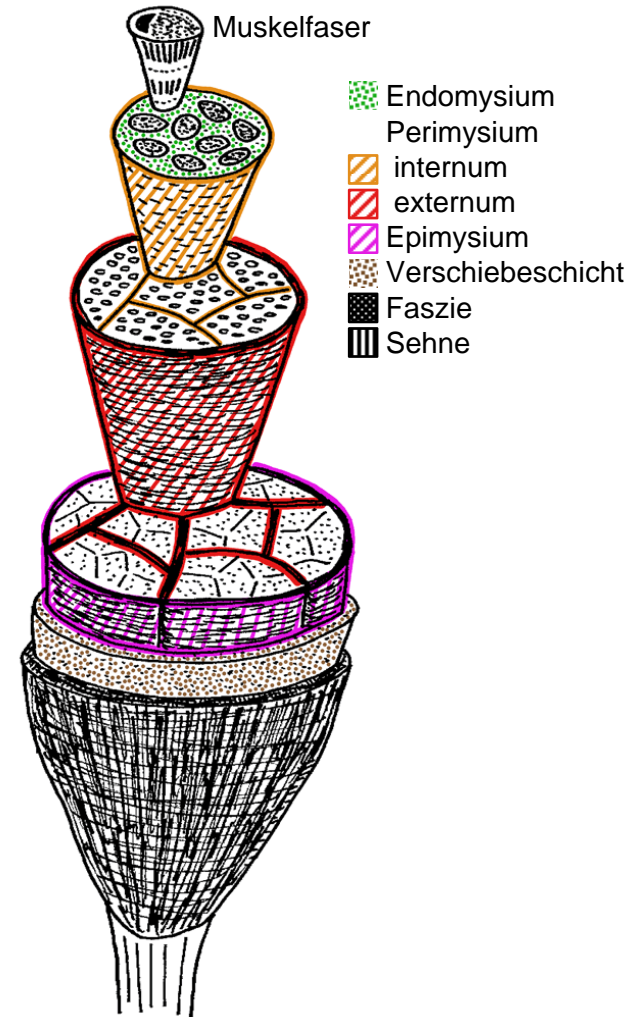
Faser-Typ	I	↔	IIA	↔	IIX
Schnelligkeit	-		+		++
Ausdauer	++		+		-
Oxidation	++		+		(+)
Glykolyse	(+)		+		++
Myoglobin	++		++		(+)
Mitochondrien	++		++		(+)
Fetttropfen	++		+		(+)
Glykogen	(+)		+		++
SR	(+)		+		++
Parvalbumin	-		(+)		++



Muskelfasertypen am Querschnitt

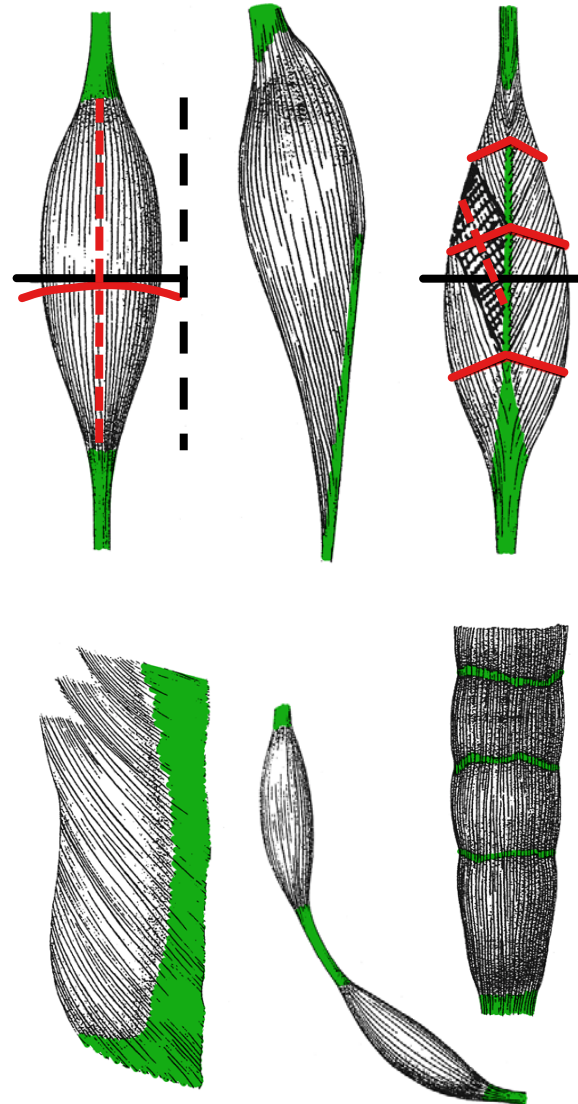
# Muskel

- *Muskel = Organ*
  - *Parenchym = Muskelfasern, Länge max 4-10 cm, myomyonale Verbindungen (End-End, End-Seit)*
  - *Stroma = Bindegewebe mit Leitungsbahnen*
- *Stroma*
  - *Epimysium (locker) um Muskel, Faszie (straff) → Loge (Verschiebeschicht), ev. als Muskelursprung dienend (keine Verschiebeschicht)*
  - *Perimysium externum um Sekundärbündel (makroskopische Fleischfaser)*
  - *Perimysium internum um Primärbündel = Faszikel (Querschnitt ca. 1 mm<sup>2</sup>, 150-250 Muskelfasern)*
  - *Endomysium umgibt Muskelfasern, führt Blutkapillaren, Nervenfasern(-Bündel)*
- *Trainingseffekte*
  - *Muskelfaser: Hypertrophie, mehr Mitochondrien. Inaktivität → Atrophie*
  - *Stroma: Zunahme Kapillardichte (Kapillaren / Muskelfasern) 1.5-2 → 2.5*



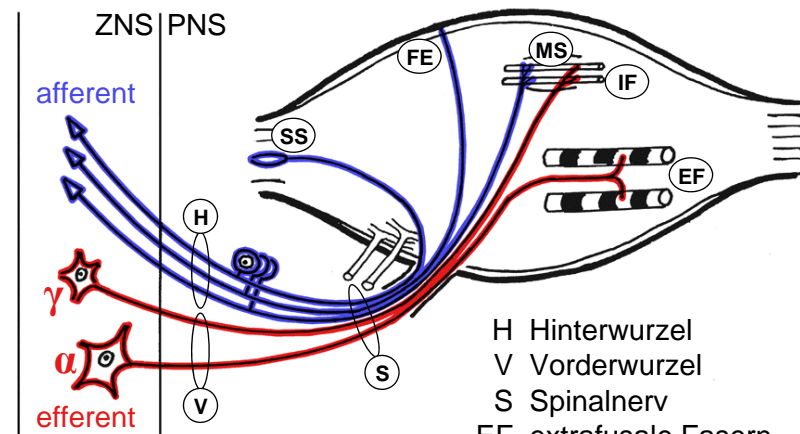
# Muskeltypen

- *Querschnittsmasse*
  - *anatomischer Querschnitt bestimmt Form (dickste Stelle)*
  - *physiologischer Querschnitt bestimmt Kraft (Zahl parallel geschalteter MF)*
- *Längenmasse*
  - - - *Muskellänge bestimmt Form*
  - - - *Faszikellänge bestimmt Hubhöhe*
- *Fiederung*
  - *keine = spindelförmiger Muskel: maximal mögliche Faszikellänge*
  - *einfache, doppelte Fiederung: durch Summation mehr physiologischer Querschnitt - auf Kosten der Faszikellänge*
- *Varianten*
  - *platte Muskeln, Aponeurose = platte Sehne*
  - *Zwischensehne(n)*



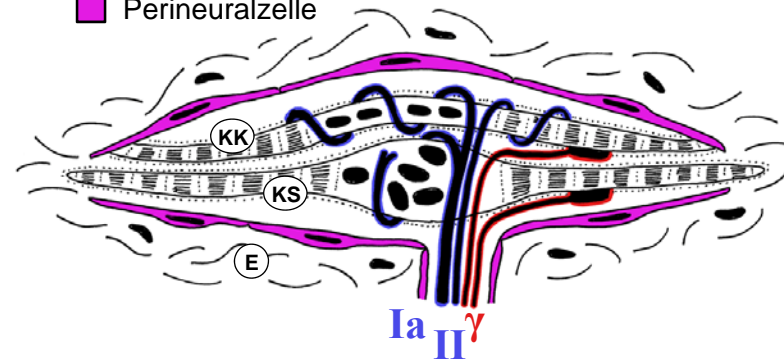
# Muskelninnervation

- *Efferente Innervation*
  - *Motoneuron: Zellkörper im ZNS, Faser → Spinalnerv oder Hirnnerv*
  - *α-Motoneuron → extrafusale Fasern*
  - *γ-Motoneuron → intrafusale Fasern*
- *Afferente Innervation*
  - *primärafferentes Neuron: Zellkörper in sensorischem Ganglion des PNS*
  - *Rezeptoren: Muskelspindel, Sehnenspindel, freie Endigungen*
- *Muskelspindel*
  - *Dehnungsrezeptor im Endomysium*
  - *intrafusale Muskelfasern: 2-5 Kernkettenfasern, 1-3 Kernsackfasern*
  - *Ia Afferenz → Geschwindigkeit*
  - *II Afferenz → Amplitude*
  - *γ-Motoneurone → Anpassung Spindellänge*



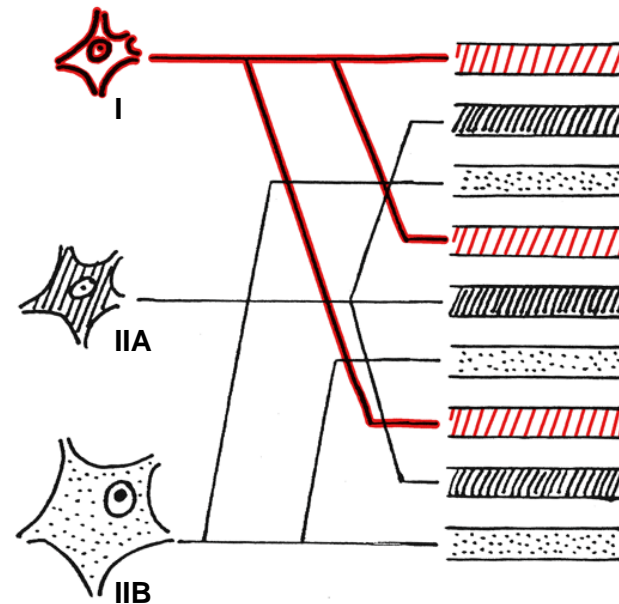
H Hinterwurzel  
 V Vorderwurzel  
 S Spinalnerv  
 EF extrafusale Fasern  
 IF intrafusale Fasern  
 MS Muskelspindel  
 SS Sehnenspindel  
 FE freie Endigung

KK Kernkettenfaser  
 KS Kernsackfaser  
 ..... Basallamina  
 E Endomysium  
 ■ Perineuralzelle



# Motorische Einheit

- *Definition*
  - $\gamma$ -Motoneuron plus alle über seine Axonkollateralen versorgte Muskelfasern
  - neuromuskuläre Synapse: ev. mehrere pro Muskelfaser durch Kollateralen des selben Motoneurons
  - gleicher Fasertyp in ganzer Einheit, vorübergehende Koexistenz während Transformation: Motoneuron steuert Fasertypen
- *kleine und grosse Einheiten*
  - klein = hohe Präzision (äussere Augenmuskeln 5-10 Muskelfasern/ME, Fingermuskeln 200-300)
  - grosse = viel Kraft (*M. triceps surae* ca. 2000 Muskelfasern/ME)
- *Muskelquerschnitt*
  - Fasern einer Einheit verstreut  $\rightarrow$  gleichmässige Kraftverteilung bei gestaffelter Rekrutierung
  - Muskelfaserverlust  $\rightarrow$  Gruppierung



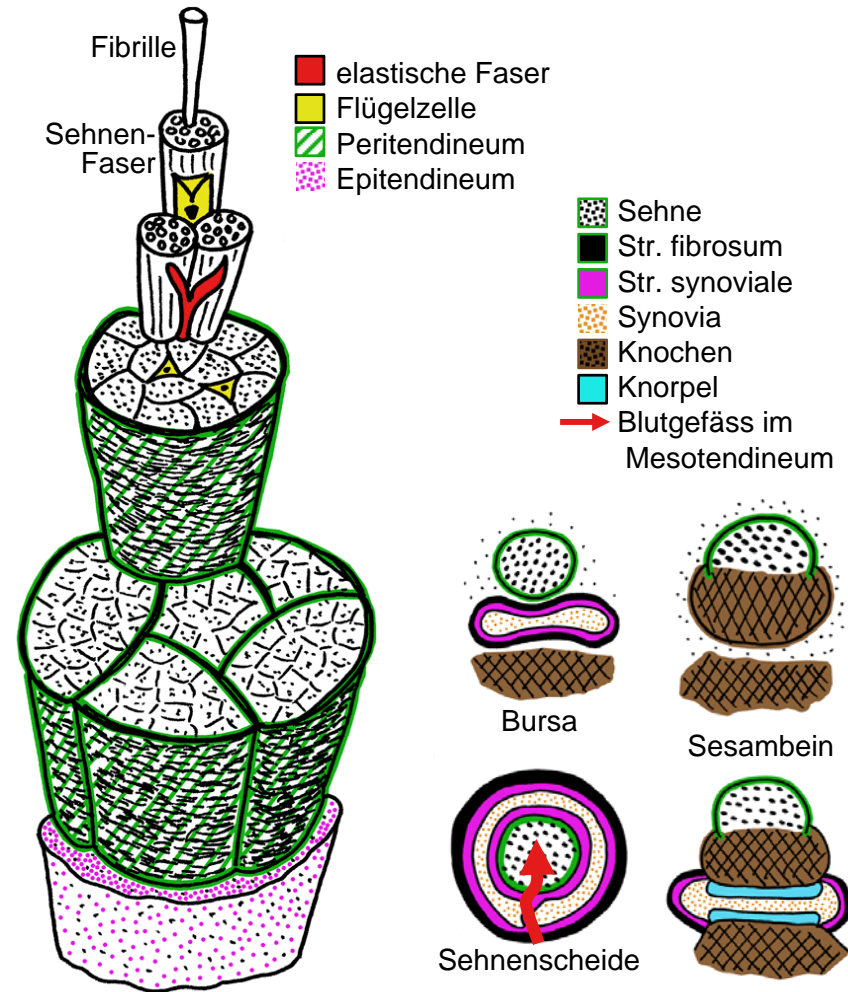
# Sehne & Hilfseinrichtungen

- *Sehne*

- *Parenchym: Sehnenfasern (Kollagen I)*  
→ Zugfestigkeit 1000kg/cm<sup>2</sup>, wenige elastische Fasern → 4% Dehnungsreserve, Flügelzellen = Fibroblasten
- *Stroma: Peritendineum um Sehnenfaserbündel (Leitungsbahnen), Epitendineum um ganze Sehne*

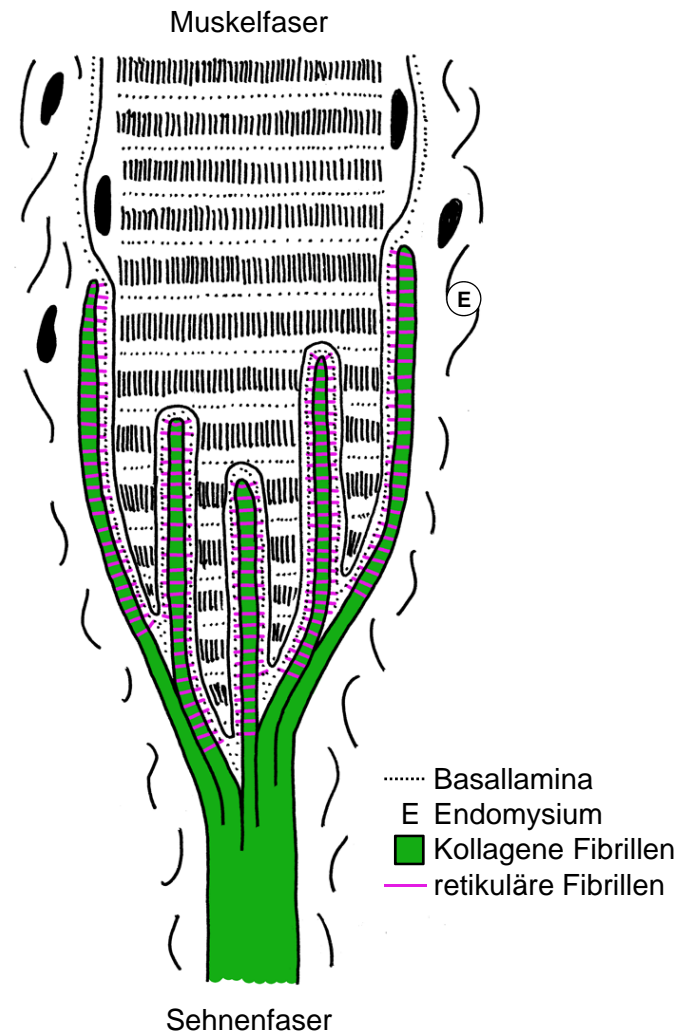
- *Hilfseinrichtungen*

- *Schleimbeutel (Bursa, Bursitis): Synovia, Wandaufbau wie Gelenkkapsel, verhindert Schaden durch Reibung, ev. mit Gelenkhöhle verbunden*
- *Sehnenscheide (Vagina tendinis, Tendovaginitis): Führung über lange Strecke, Versorgung der Sehne via Mesotendineum*
- *Sesambein: Verknöcherung gegen Schaden durch Druck. Druck + Reibung → planes Gelenk*



# Muskelsehnenübergang

- *Prinzip*
  - *1 Muskelfaser verbunden mit 1 Sehnenfaser*
  - *Vergrößerung Kontaktfläche durch fingerartige Fortsätze / Einstülpungen der Muskelfaser: Seit-zu-Seit-Kontakt*
- *Kontakte*
  - *Fokalkontakte mit Beteiligung endständigen sarkomerischen Aktins*
  - *erweiterte Fokalkontakte mit Beteiligung des subsarkolemmalen Zytoskeletts*
  - *retikuläre Fibrillen binden an Basallamina u sind mit Sehnenfasern verwoben*





# Sehnenansatz

- *Verbindung*
  - *Sehnenfasern strahlen in Periost und Knochen ein*
- *Dämpfung*
  - *Faserknorpel im Ansatzbereich, gewellter Verlauf der Sehnenfasern um Chondrone*
  - *Kompression + Deformation der Chondrone bei Erhöhung der Zugspannung und Streckung der Sehnenfasern (Druckkissen)*
  - *mineralisierte Zone: Abstufung der Materialeigenschaften*
- *Insertionstendinose*
  - *Entzündung und Schmerz bei (uniformer) Überbeanspruchung (zB Tennisarm)*

