

---

# Allgemeine Anatomie IV

## Muskel, Sehne und Hilfseinrichtungen

---

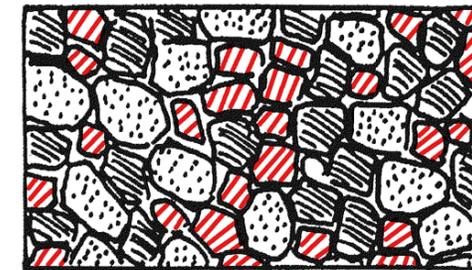
David P. Wolfer  
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich  
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates  
Di 14.03.2017

# Muskelfasertypen

- *Fasertypen*
  - *keine Faser kann alles: Dilemma Geschwindigkeit ↔ Ausdauer*
  - *Fasertypen bestimmt durch Isoform der schweren Myosinkette*
  - *I → hohe Ausdauer auf Kosten langsamer Kontraktion: oxidativer Stoffwechsel, Mitochondrien, Fetttropfen, Myoglobin (rote Farbe)*
  - *IIX → rasche Kontraktion auf Kosten schneller Ermüdung: viel sarkoplasmatisches Retikulum, Parvalbumin =  $Ca^{++}$ -Puffer, glykolytischer Stoffwechsel, viel Glykogen-Reserven*
  - *IIA → Kompromissform*
- *Fasertypenverteilung*
  - *Muskeln alle gemischt, verteiltes Mosaik.*
  - *Haltemuskeln (M. soleus, M. tibialis ant., M. erector spinae) I:II=2:1, phasisch aktivierter M. triceps brachii I<II.*
  - *interindividuelle Unterschiede: zB M. gastrocnemius Sprinter II>I, Ausdauersportler I>II (Konstitution? Training?)*
- *Fasertransformation*
  - *Physiologisch: Belastung IIX→IIA (fast to slow), Ruhe IIA→IIX (slow to fast), Anteil I bleibt.*
  - *Lähmung: I → IIA; chronisch 10 Hz Tierexperiment: IIA→I?*

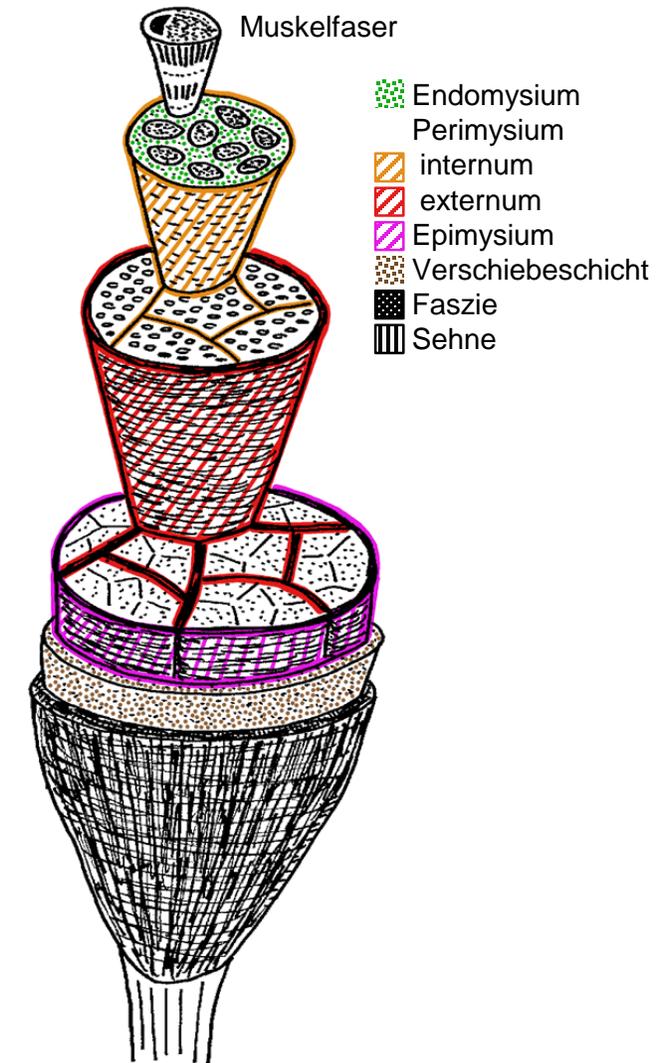
Faser-Typ	I	↔ IIA ↔	IIX
Schnelligkeit	-		++
Ausdauer	++		-
Oxidation	++		(+)
Glykolyse	(+)		++
Myoglobin	++		(+)
Mitochondrien	++		(+)
Fetttropfen	++		(+)
Glykogen	(+)		++
SR	(+)		++
Parvalbumin	-		++



Muskelfasertypen am Querschnitt

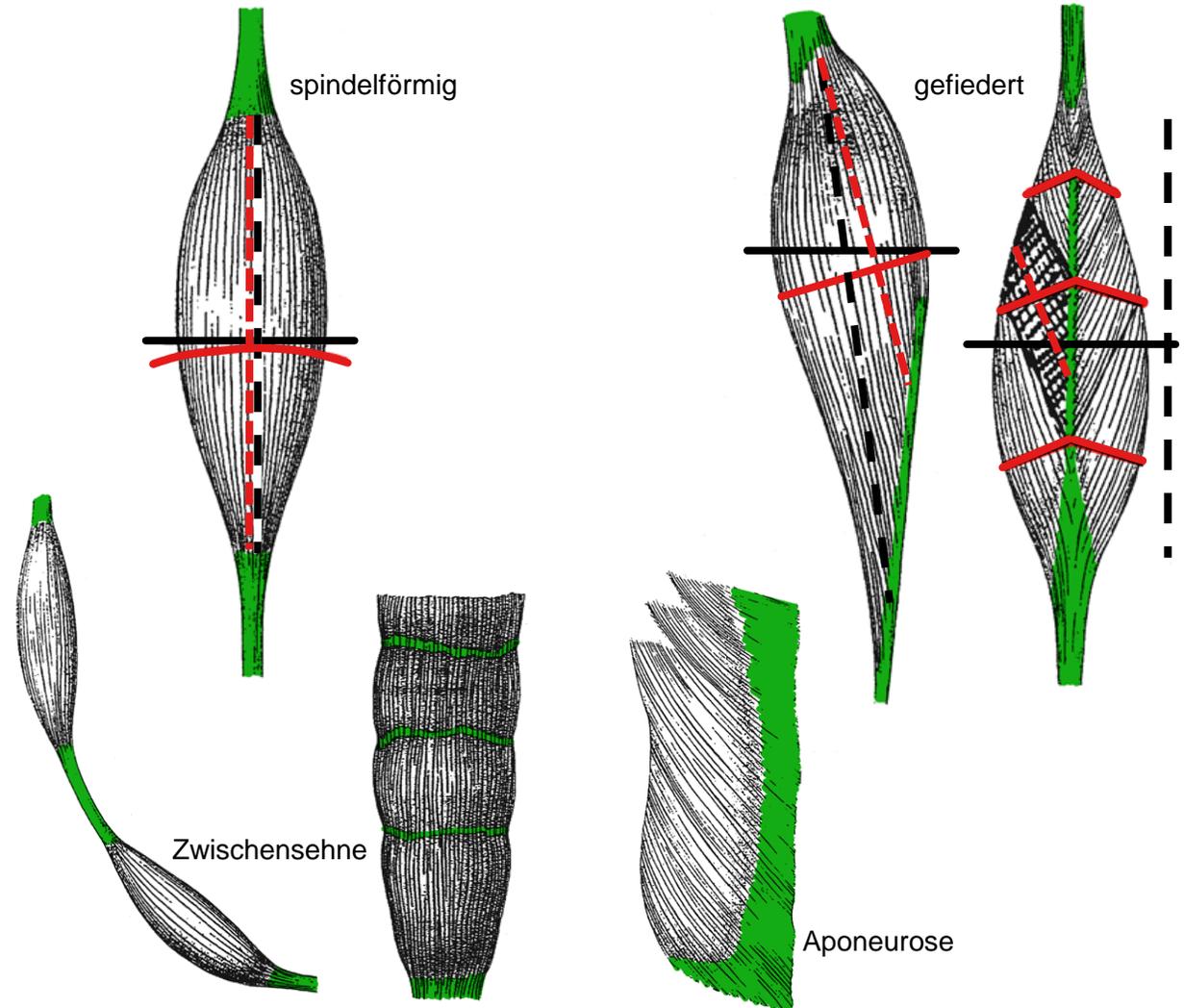
# Muskel

- *Muskel = Organ*
  - *Parenchym = Muskelfasern, Länge max 4-10 cm, myomyonale Verbindungen (End-End, End-Seit)*
  - *Stroma = Bindegewebe mit Leitungsbahnen*
- *Stroma*
  - *Faszie (straff) → Muskelloge, auch Muskelursprung*
  - *Epimysium (locker) bedeckt Oberfläche, mit Faszie verwachsen oder durch Verschiebeschicht getrennt*
  - *Perimysium externum um/zwischen Sekundärbündel (makroskopisch erkennbare Fleischfaser)*
  - *Perimysium internum um/zwischen Primärbündel = Faszikel (Querschnitt ca. 1 mm<sup>2</sup>, 150-250 Muskelfasern)*
  - *Endomysium umgibt einzelne Muskelfasern, führt Blutkapillaren, Nervenfasern(-Bündel)*
- *Trainingseffekte*
  - *Krafttraining → Faserhypertrophie, Aktivierung Satellitenzellen. Inaktivität → Faseratrophie. Keine Hyperplasie.*
  - *Ausdauertraining → mehr Mitochondrien, Gefäßneubildung: Kapillaren / Muskelfasern 1.5-2 → 2.5)*



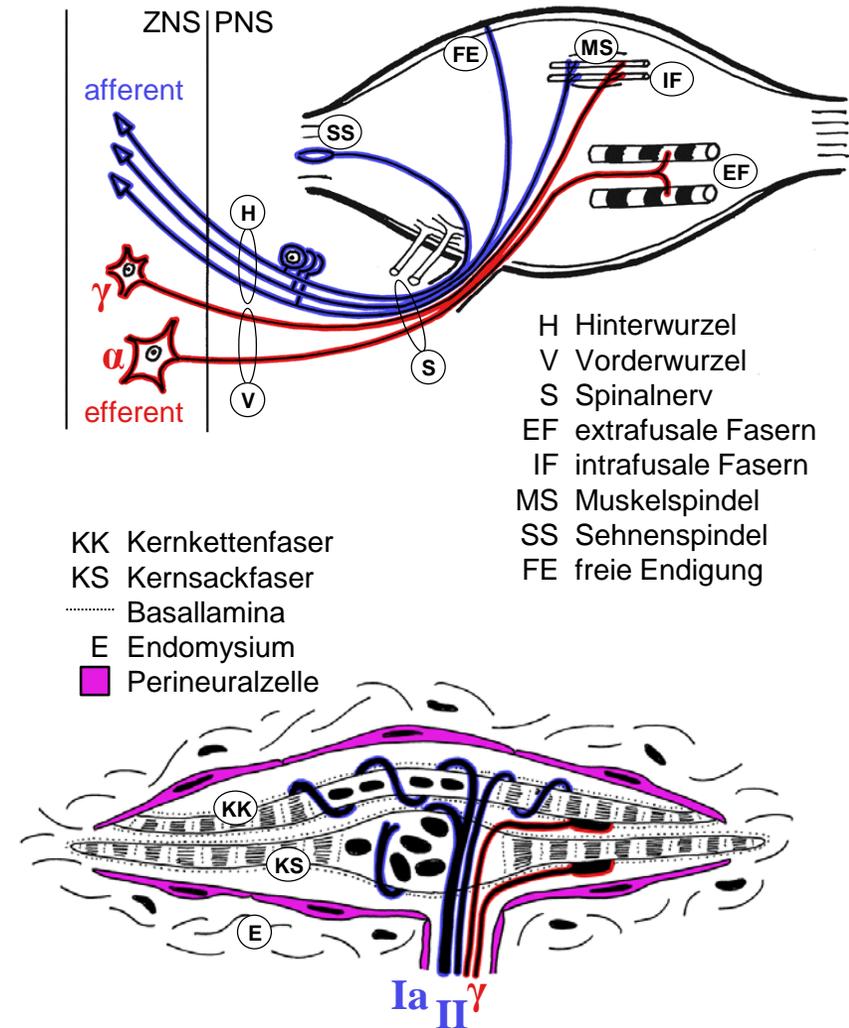
# Muskeltypen

- *Anatomische Masse*
  - anatomischer Querschnitt (dickste Stelle)
  - Muskellänge
    - bestimmen Form aber nicht Funktion
- *Physiologische Masse*
  - physiologischer Querschnitt
    - bestimmt Kraft (Zahl parallel geschalteter MF)
  - Faszikellänge
    - bestimmt Hubhöhe (Anzahl Sarkomere in Serie)
- *Anordnung der Faszikel*
  - spindelförmiger Muskel:
    - maximal mögliche Faszikellänge und Hubhöhe
  - einfache, doppelte Fiederung:
    - durch Summation mehr physiologischer Querschnitt - auf Kosten der Faszikellänge
- *Varianten*
  - platte Muskeln, Aponeurose = platte Sehne
  - Zwischensehne(n)



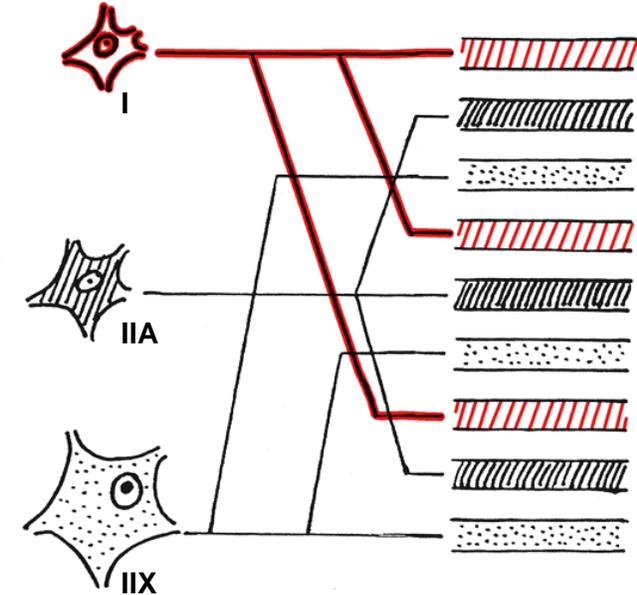
# Muskelninnervation

- *Efferente Innervation*
  - *Motoneuron: Zellkörper in Rückenmark oder Hirnstamm, Faser → Spinalnerv oder Hirnnerv*
  - *α-Motoneuron → extrafusale Fasern*
  - *γ-Motoneuron → intrafusale Fasern*
- *Afferente Innervation*
  - *primärafferentes Neuron: Zellkörper in sensorischem Ganglion des PNS*
  - *Rezeptoren:*
    - *Muskelspindel: Dehnungsrezeptor*
    - *Sehnenspindel: Spannungsrezeptor*
    - *freie Endigungen: Dehnungsrezeptor, Nozizeption*
- *Muskelspindel*
  - *im Endomysium eingebettet, Hülle aus Perineuralzellen*
  - *intrafusale Muskelfasern mit Kernen im Äquatorbereich: 2-5 Kernkettenfasern, 1-3 Kernsackfasern*
  - *Ia Afferenz → Geschwindigkeit (rasch adaptierend)*
  - *II Afferenz → Amplitude (langsam/nicht adaptierend)*
  - *γ-Motoneurone → Längen Anpassung*



# Motorische Einheit

- *Definition*
  - *$\alpha$ -Motoneuron plus alle über seine Axonkollateralen und neuromuskuläre Synapsen versorgte Muskelfasern*
  - *Keine Muskelfaser durch  $>1$   $\alpha$ -Motoneuron innerviert*
  - *neuromuskuläre Synapse: bei langen Fasern mehrere pro Muskelfaser durch Kollateralen des selben Motoneurons*
  - *Motoneuron bestimmt Fasertypen: gleicher Typ in ganzer Einheit, vorübergehende Typen-Koexistenz nur während Transformation: IIA+IIX, ev I+IIA, nie I+IIX*
- *kleine und grosse Einheiten*
  - *klein = hohe Präzision (äussere Augenmuskeln 5-10 Muskelfasern/ME, Fingermuskeln 200-300)*
  - *grosse = viel Kraft, grobe Abstufung (M. triceps surae, M. quadriceps femoris ca. 2000 Muskelfasern/ME)*
- *Muskelquerschnitt*
  - *Fasern einer Einheit verstreut  $\rightarrow$  gleichmässige Kraftverteilung bei gestaffelter Rekrutierung*
  - *Verlust von motorischen Einheiten + kompensatorische Hypertrophie der verbleibenden  $\rightarrow$  Faser-Gruppierung*



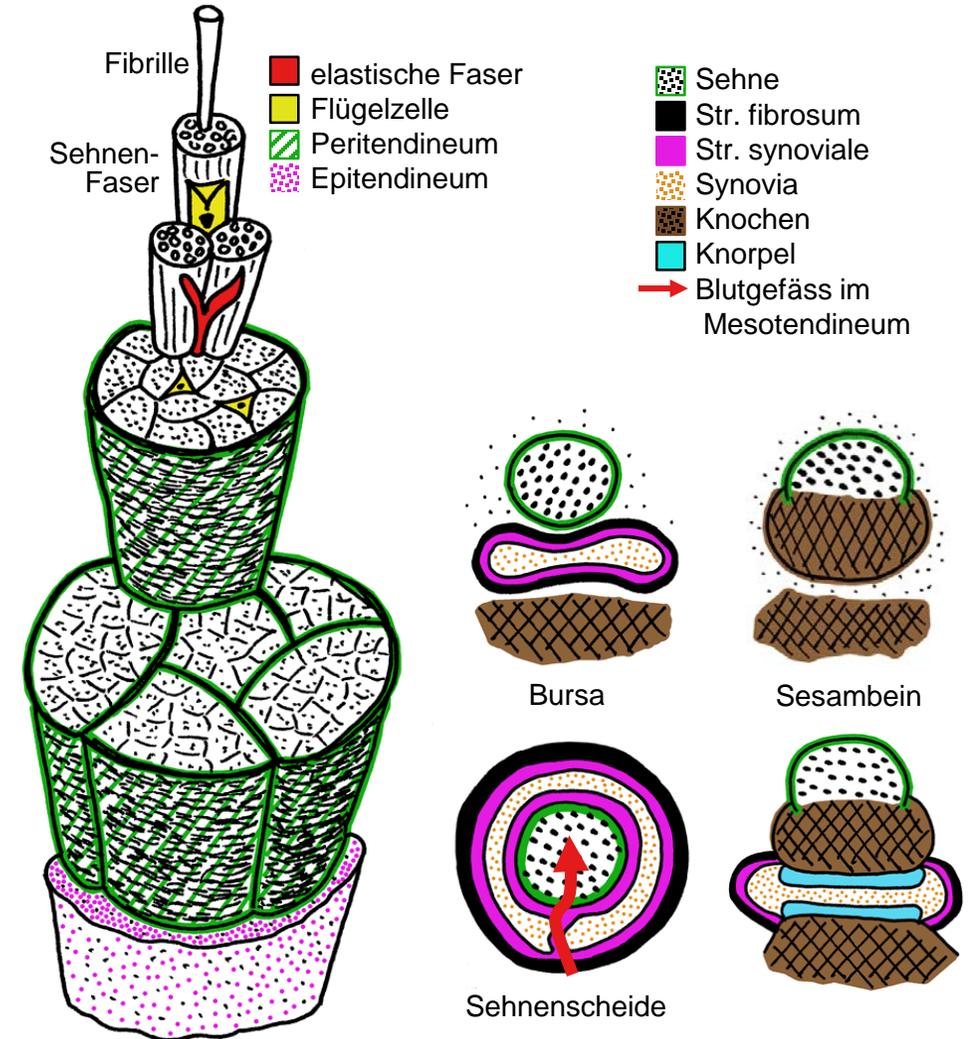
# Sehne & Hilfseinrichtungen

- *Sehne*

- *eindimensionale Zugbelastung*
- *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*
- *gerissene Sehnen meist vorgeschädigt*

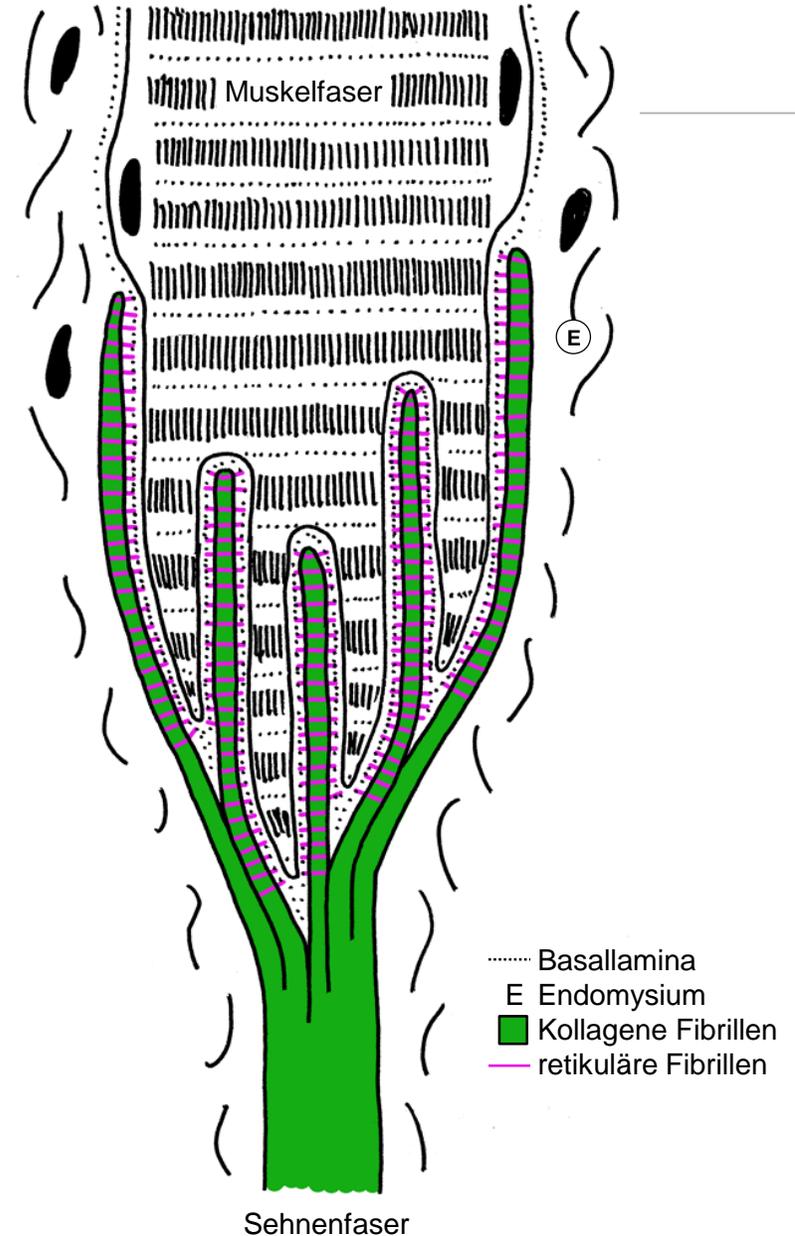
- *Hilfseinrichtungen*

- *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*
  - *stets Basallamina dazwischen*
  - *Vergrößerung Kontaktfläche durch fingerartige Fortsätze und Einstülpungen der Muskelfaser: Seit-zu-Seit-Kontakt*
- *Kontakte*
  - *Fokalkontakte mit Beteiligung endständigen sarkomerischen Aktins (via Integrin)*
  - *erweiterte Fokalkontakte mit Beteiligung des subsarkolemmalen Zytoskeletts: nicht sarkomerisches Aktin (via Integrin), Dystrophin (via Dystroglycan)*
  - *retikuläre Fibrillen binden an Basallamina und sind mit Sehnenfasern verwoben*



# Sehnenansatz

- *Verbindung*
  - *Sehnenfasern strahlen in Periost und Knochen ein*
  - *Trauma: kaum Abriss der Verbindung, eher Ausriss mitsamt Knochen*
- *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)*

