

MUSKEL und MOTORIK

PD Dr. B. Gaese

**Inst. Zellbiologie und Neurowissenschaft
Geb. A, Raum 110**

Struktur der Vorlesung

- 1) Einführung, Überblick, Muskeltypen**
- 2) Elektromechanische Kopplung (Skelettmuskulatur)**
- 3) Das Skelettmuskelsystem: Spinale Kontrolle**
- 4) Zentrale motorische Kontrolle**

Grundlage der Muskelbewegung

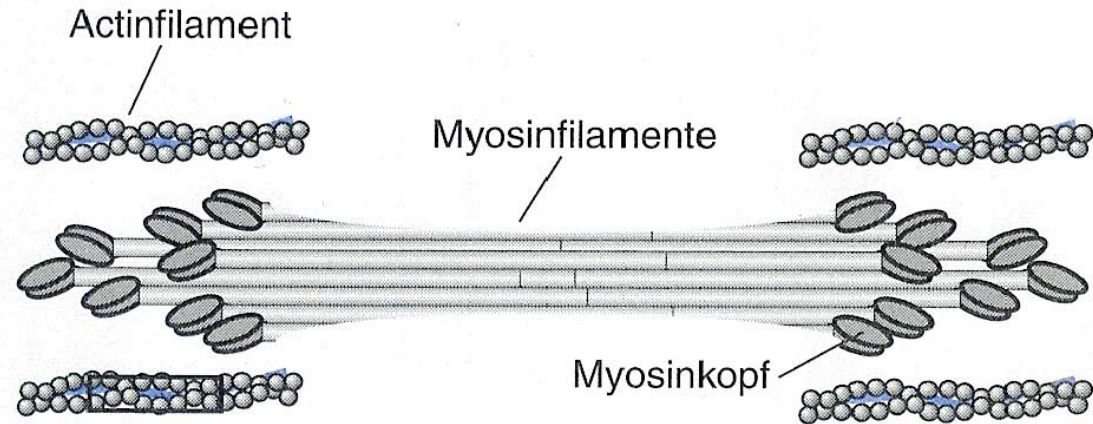
Muskelproteine:

Actin: dünnes Filament
Myosin: dickes Filament

"kontraktilen Element"

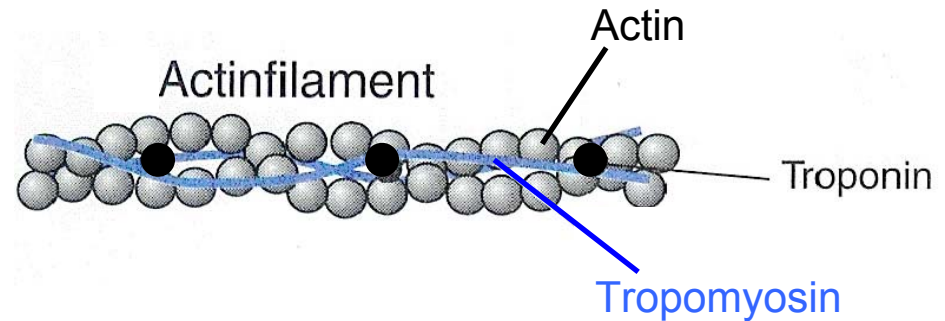
Sarkomer

Myosin: Kraftentfaltung



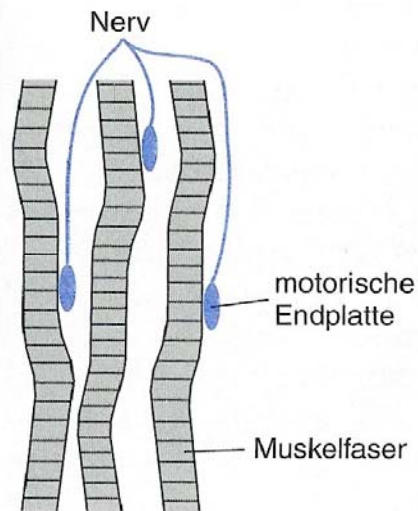
Actinfilament:

Kontrolle der Bindungsstelle
(Troponin C und Tropomyosin)



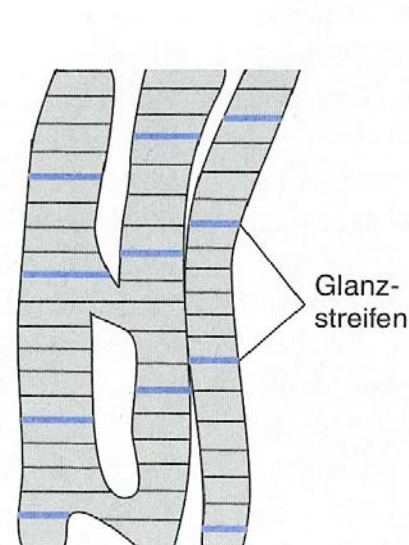
Muskeltypen

a Skelettmuskulatur



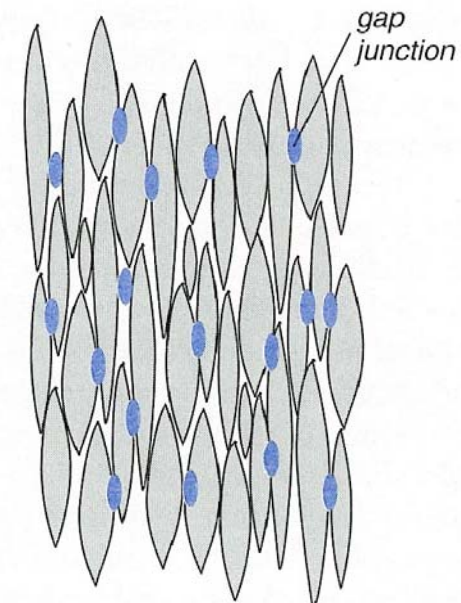
- **quergestreifte** Muskulatur
- Actin u. Myosin streng geordnet (Sarkomer)
- Muskelfaser: vielkernige "Zelle", Fusion aus Myoblasten

b Herzmuskulatur



- Spezialform der quergestreiften Muskulatur
- Zellverband
- Verbindung durch Glanzstreifen

c glatte Muskulatur



- Eingeweidemuskulatur
- spindelförmige Zellen
- **glatt**: Actin, Myosin sind ungeordnet
- Elektrische Verbindungen: gap junctions

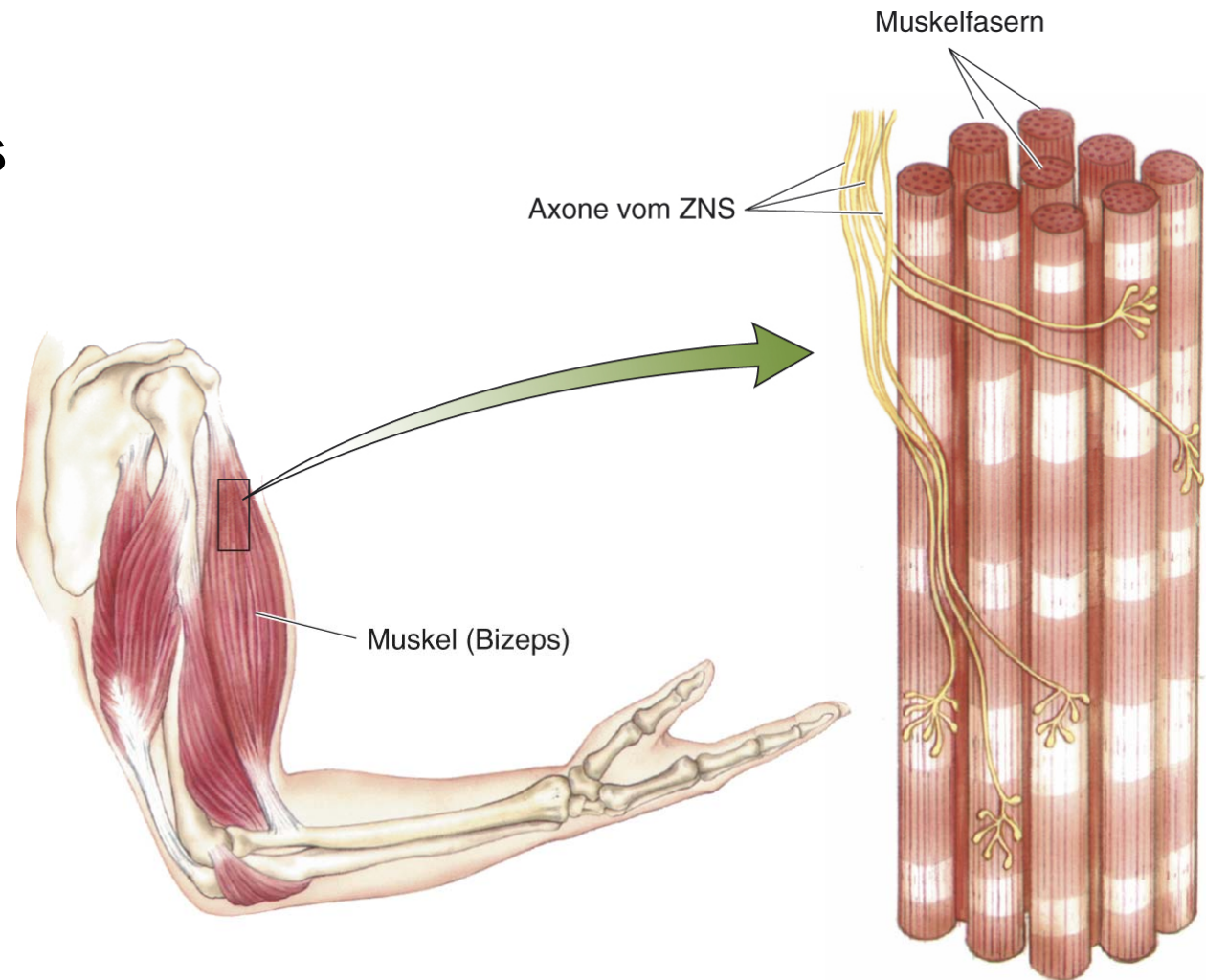
Elektromechanische Kopplung

Aufbau eines Skelettmuskels

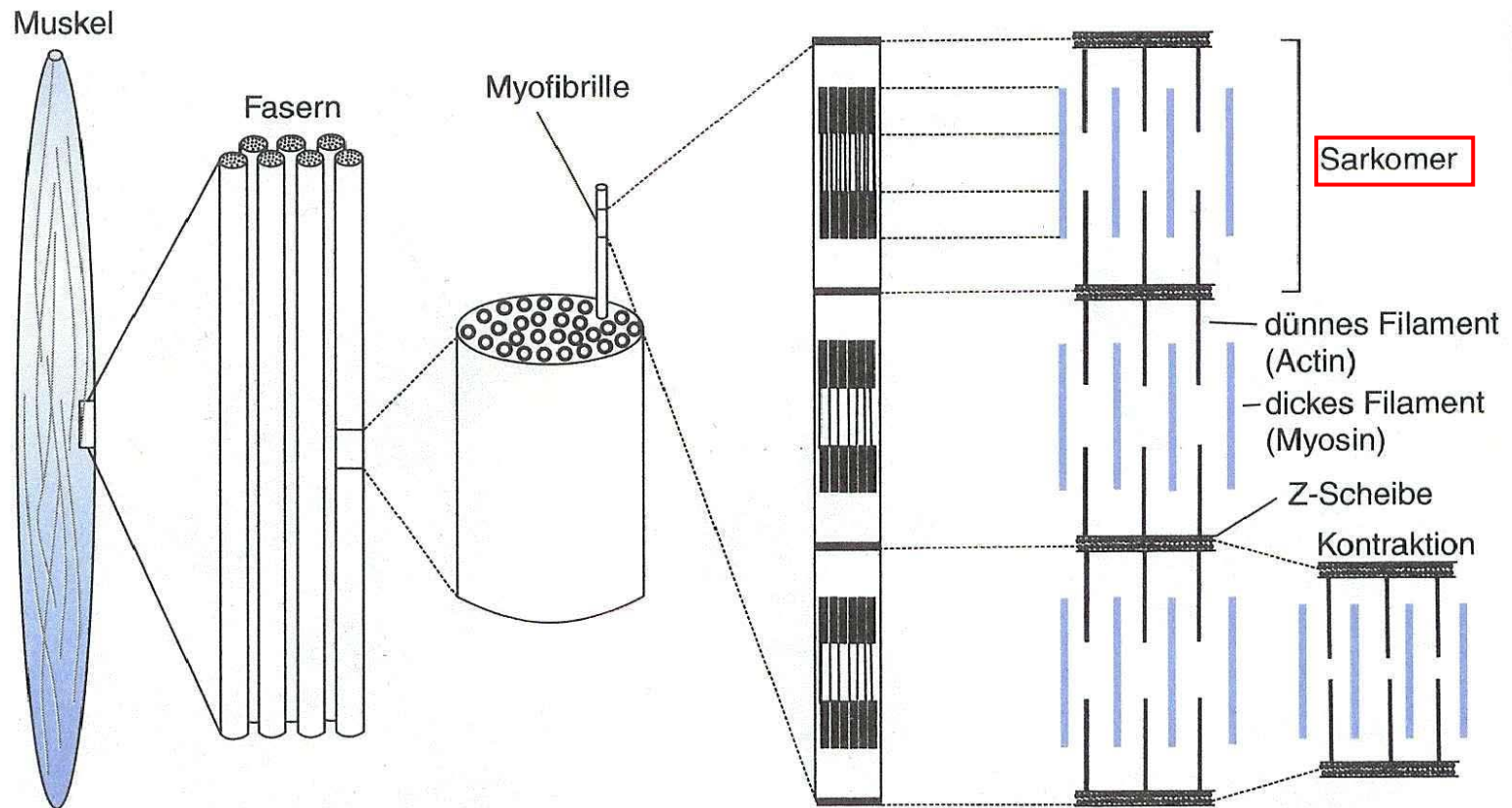
- Muskel
- Muskelfaser (quergestreift)

dazu:

- α -Motoneuron mit motorischer Endplatte

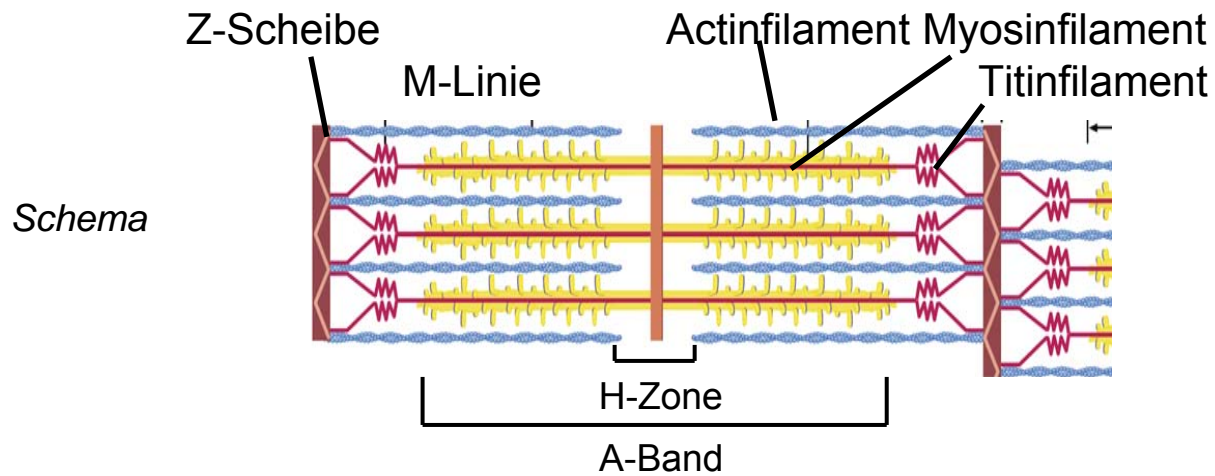
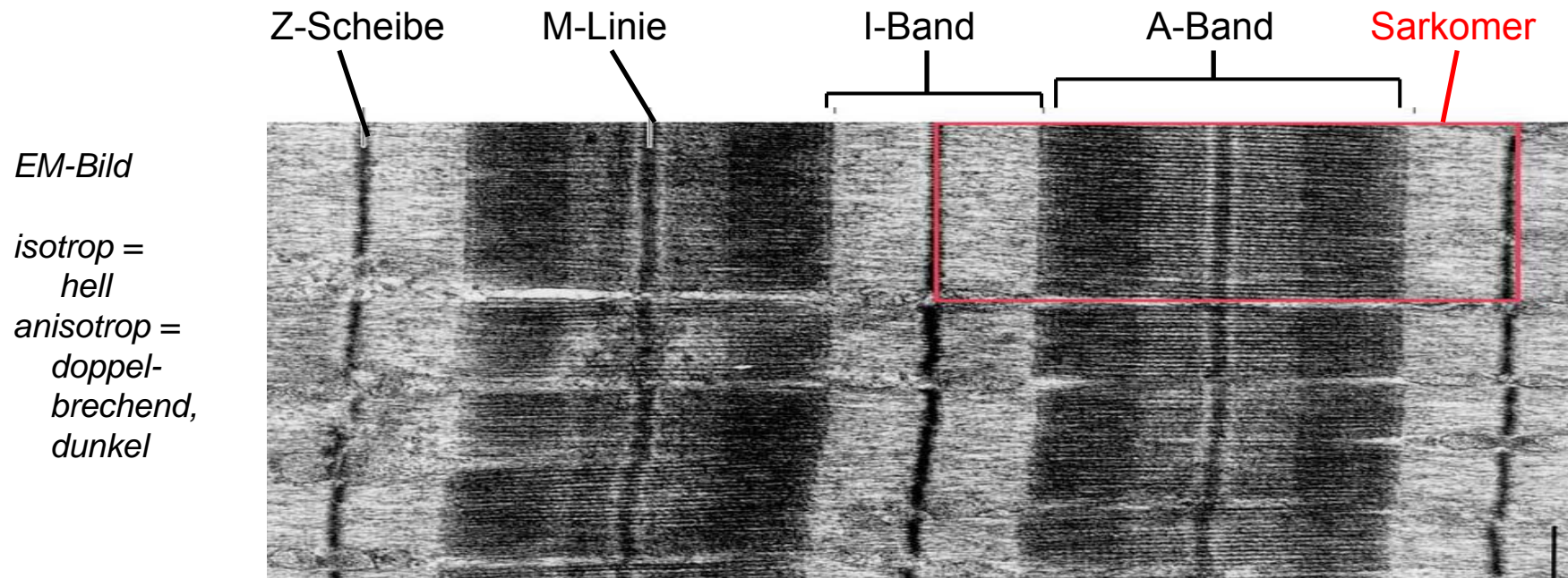


Aufbau eines Skelettmuskels



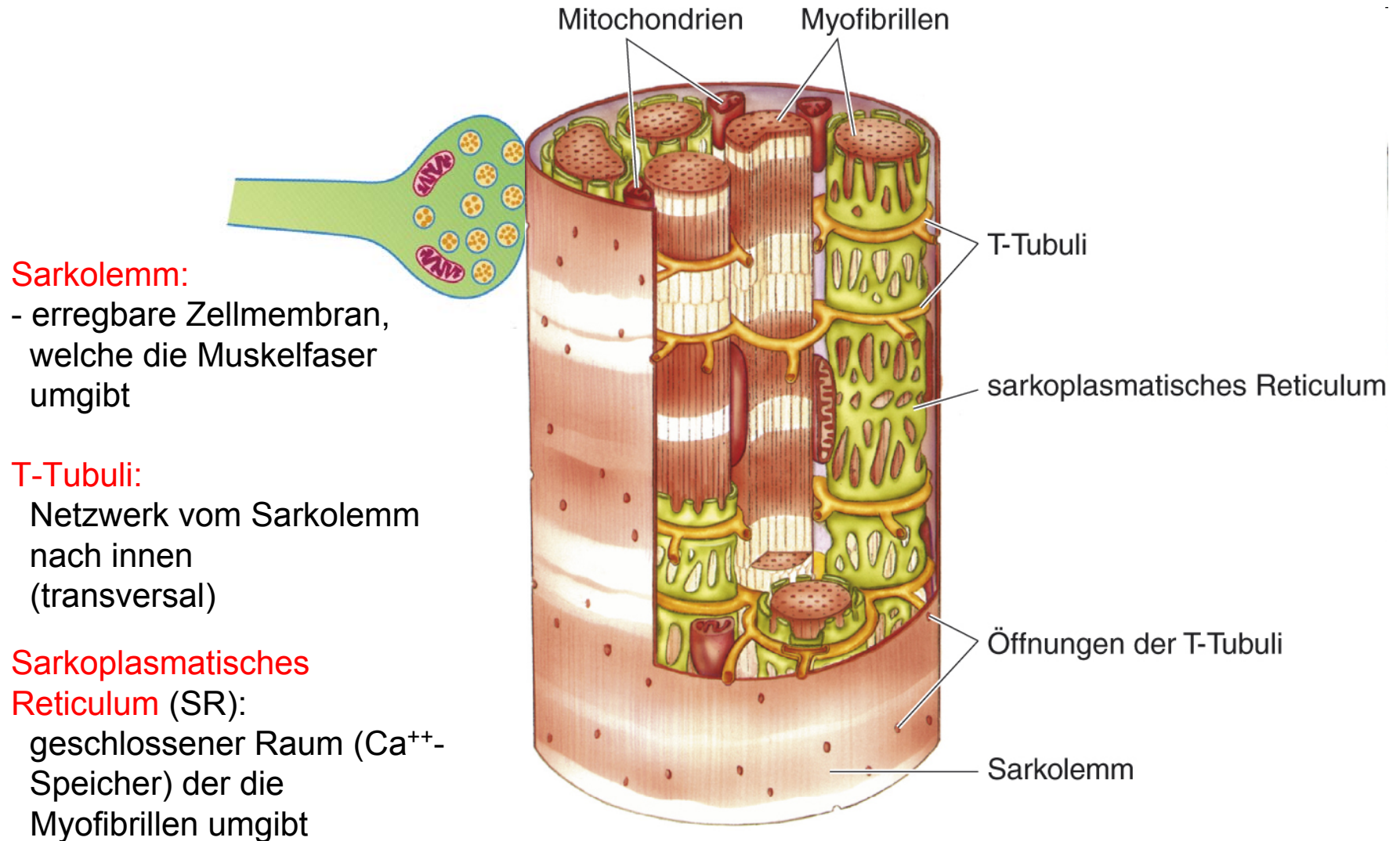
- **Muskelfaser** (Dicke ca. 80 μm) besteht aus vielen
- **Myofibrillen** (Dicke ca. 1 μm). In Längsrichtung enthält diese viele
- **Sarkomere** (Länge ca. 2 μm)

Aufbau eines Sarkomers



(Wehner/Gehring, 24. Aufl., 2007)

Sarkolemm und Sarkoplasmat. Reticulum



Sarkolemm:

- erregbare Zellmembran, welche die Muskelfaser umgibt

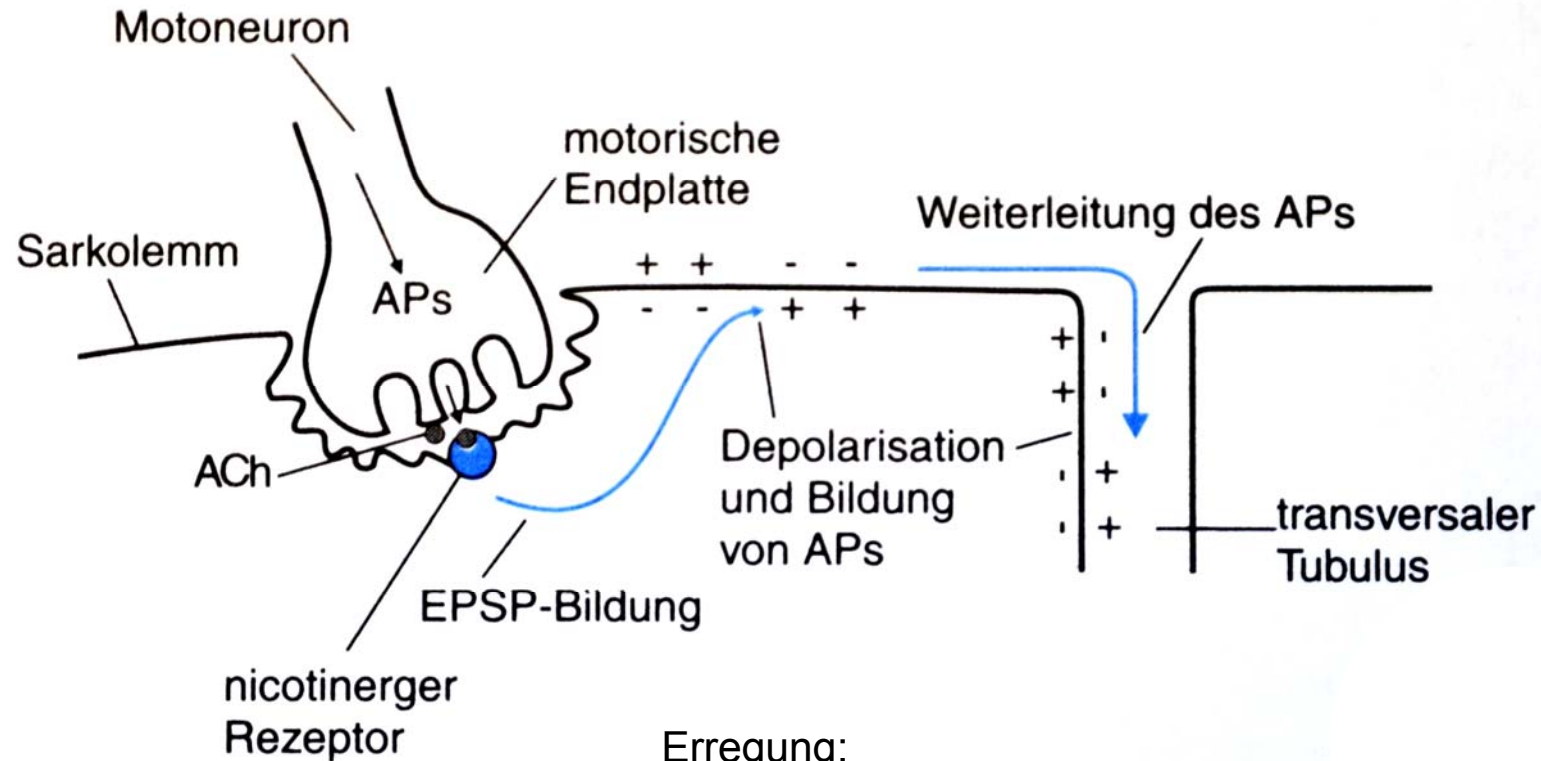
T-Tubuli:

Netzwerk vom Sarkolemm nach innen (transversal)

Sarkoplasmatisches Reticulum (SR):

geschlossener Raum (Ca^{++} -Speicher) der die Myofibrillen umgibt

Erregung des Sarkolemm



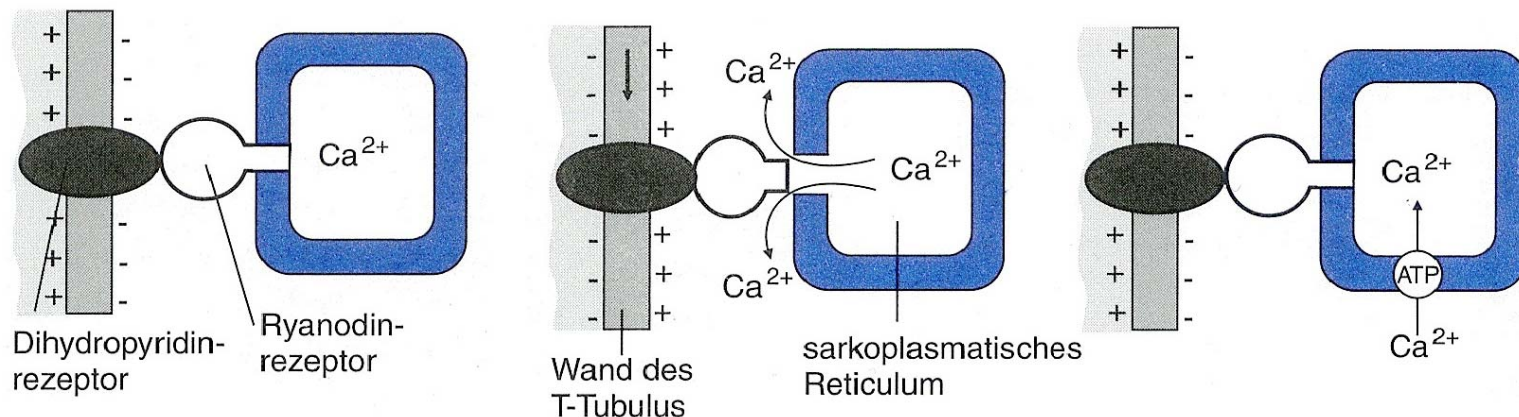
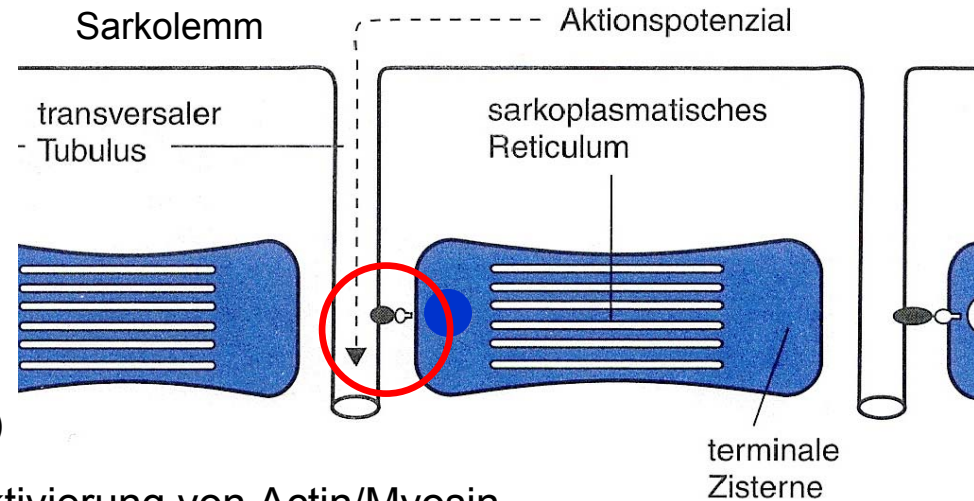
Erregung:

- 1) Ankommendes AP an motorischer Endplatte
- 2) Ausschüttung von Acetylcholin
- 3) EPSP durch nikotinischen ACh-Rezeptor
- 4) AP (Natrium !) über das Sarkolemm bis in die T-Tubuli

Sarkoplasmatisches Reticulum: Ca⁺⁺

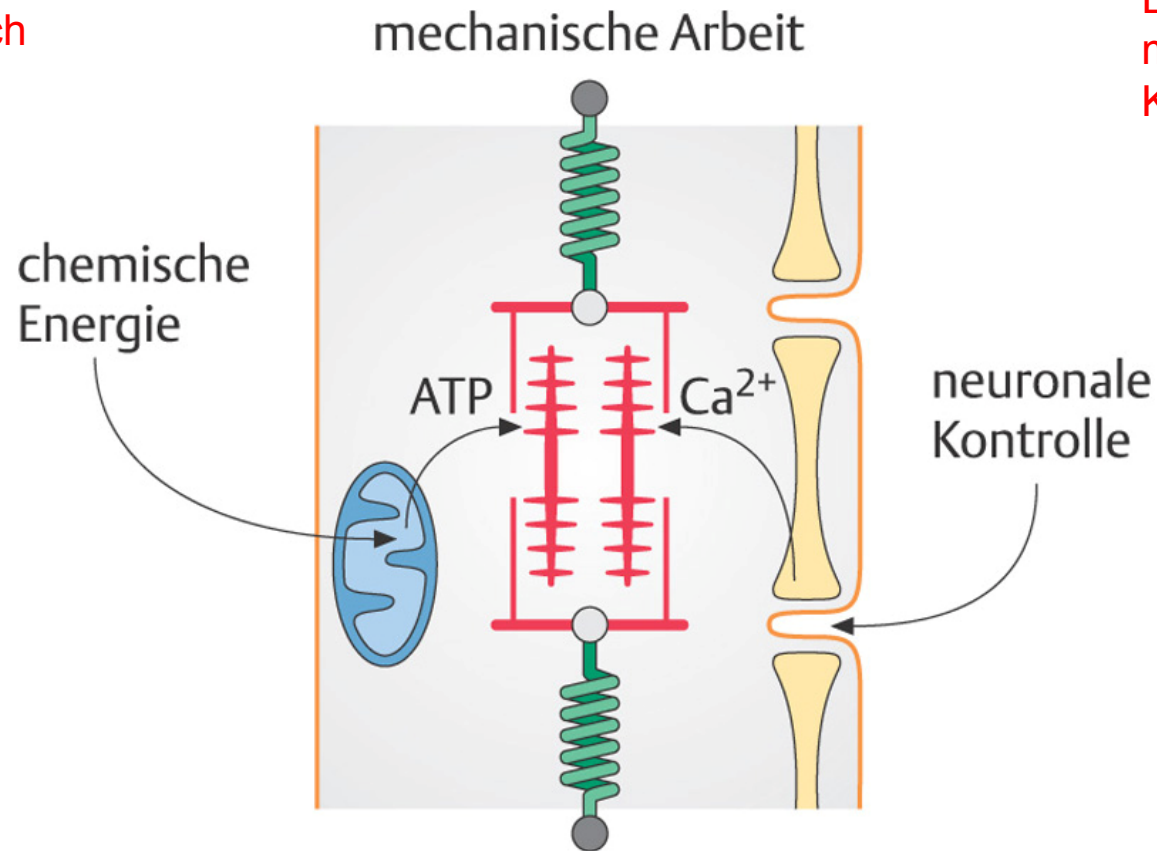
Ca⁺⁺-Freisetzung:

- 1) Akommendes AP im T-Tubulus
- 2) Aktivierung des Dihydropyridinrezeptor (DHPR, spannungsensitiv)
- 3) Aktivierung des Ryanodinrezeptors (mechanischer Kontakt, Ca⁺⁺-Kanal)
- 4) Ca⁺⁺-Freisetzung aus dem SR -> Aktivierung von Actin/Myosin
- 5) Wiederaufnahme von Ca⁺⁺ -in das SR (ATP-Verbrauch!)



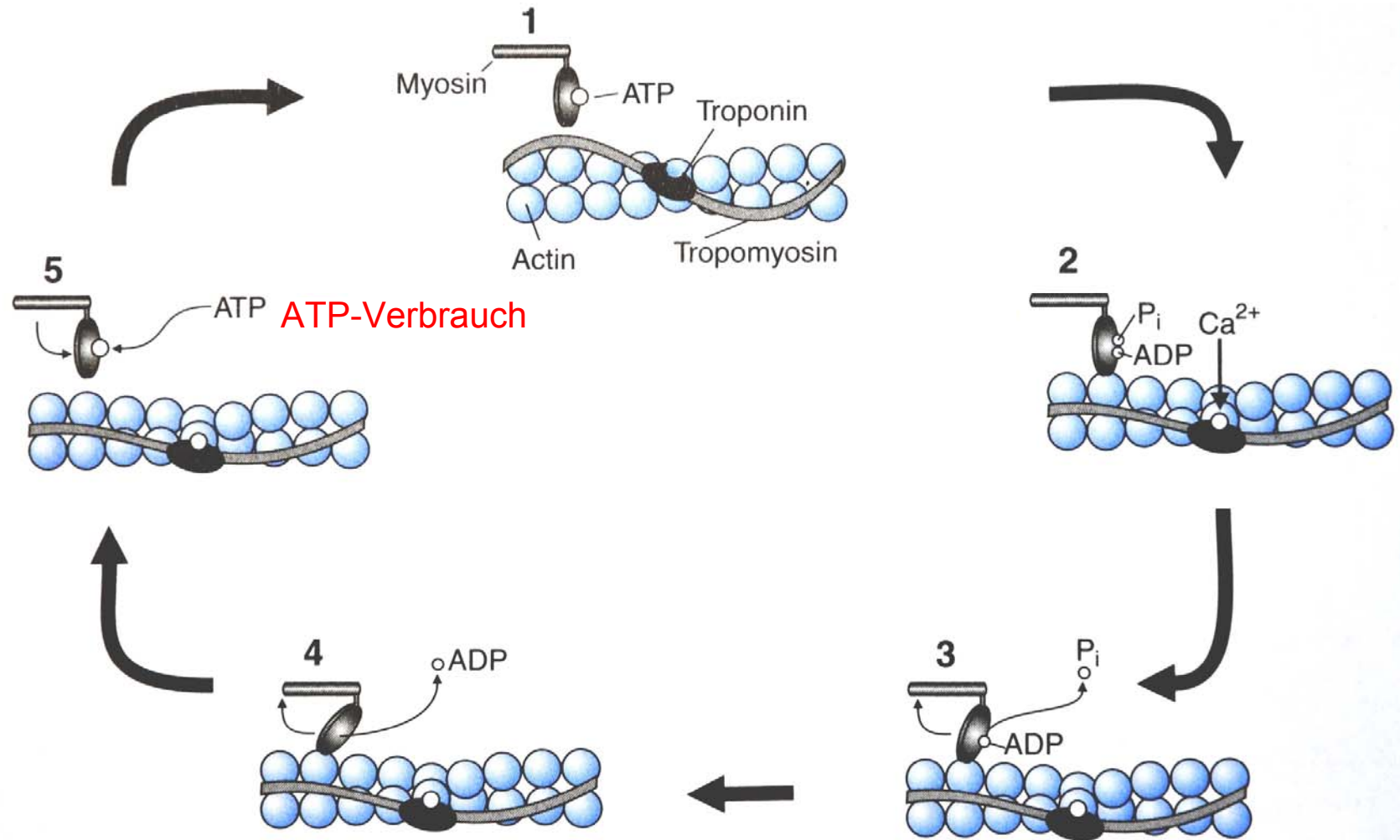
Muskularbeit: Energie und Kontrolle

ATP-Verbrauch
(1)

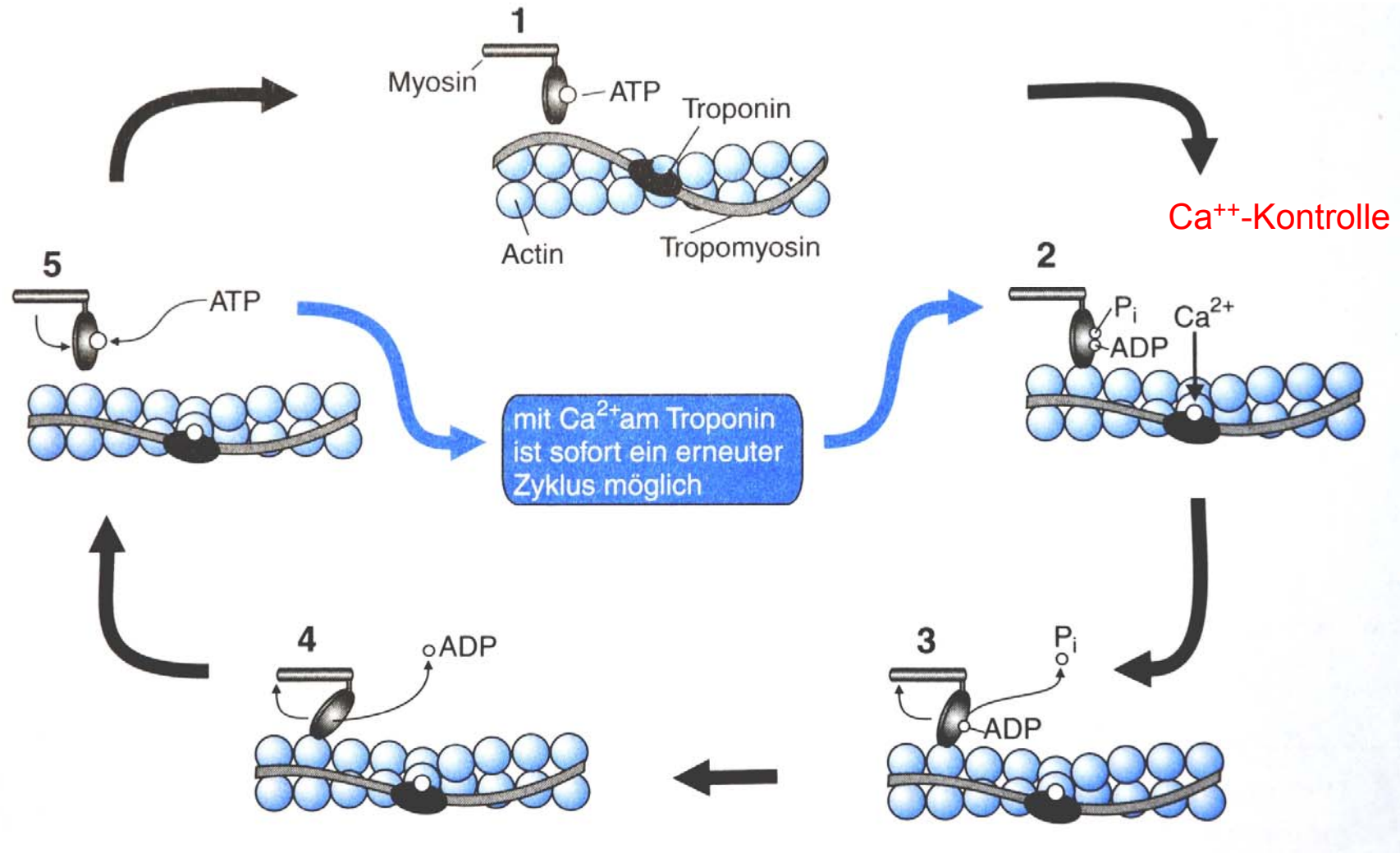


Elektro-
mechanische
Kopplung
(2)

Ablauf des Querbrückenzyklus (1)

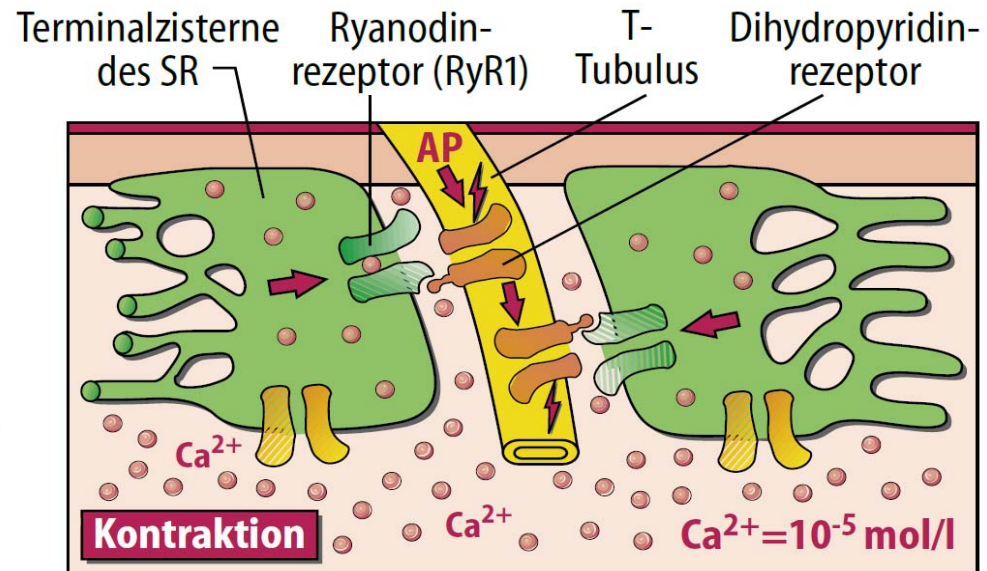


Kontrolle des Querbrückenzyklus (2)

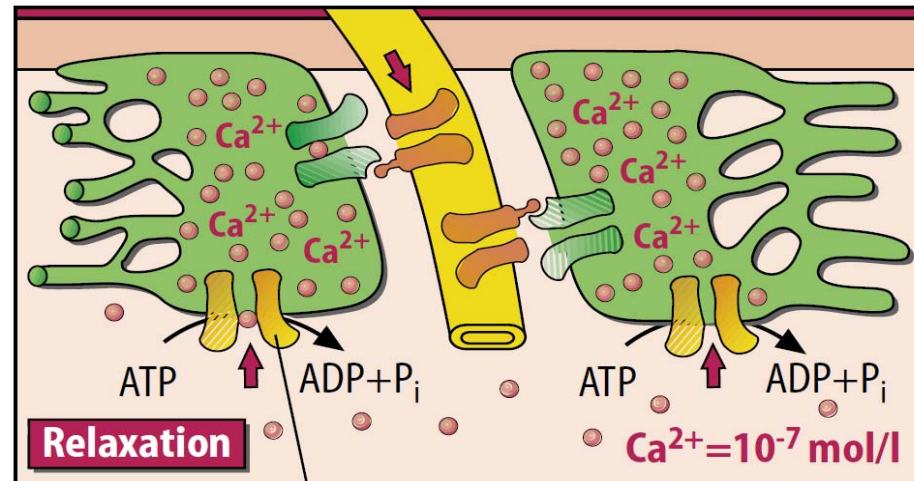


Kontrolle des Querbrückenzyklus (2)

Freisetzung von Ca^{2+} aus SR durch neuronale Aktivierung



Wiederaufnahme von Ca^{2+} in SR durch Kalziumpumpe (ATPase)

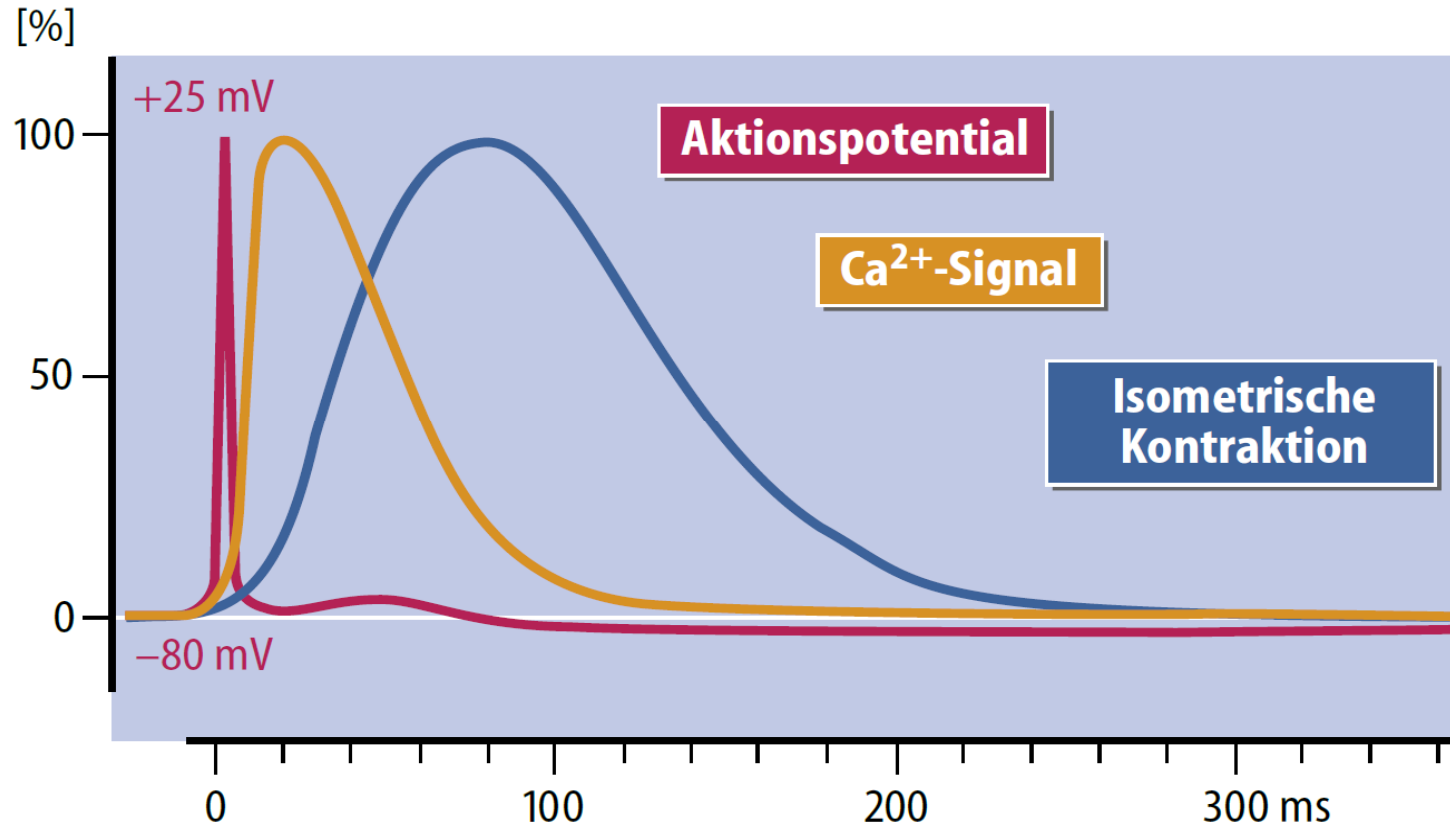


SR: Sarkoplasmatisches Reticulum

Ca^{2+} -ATPase

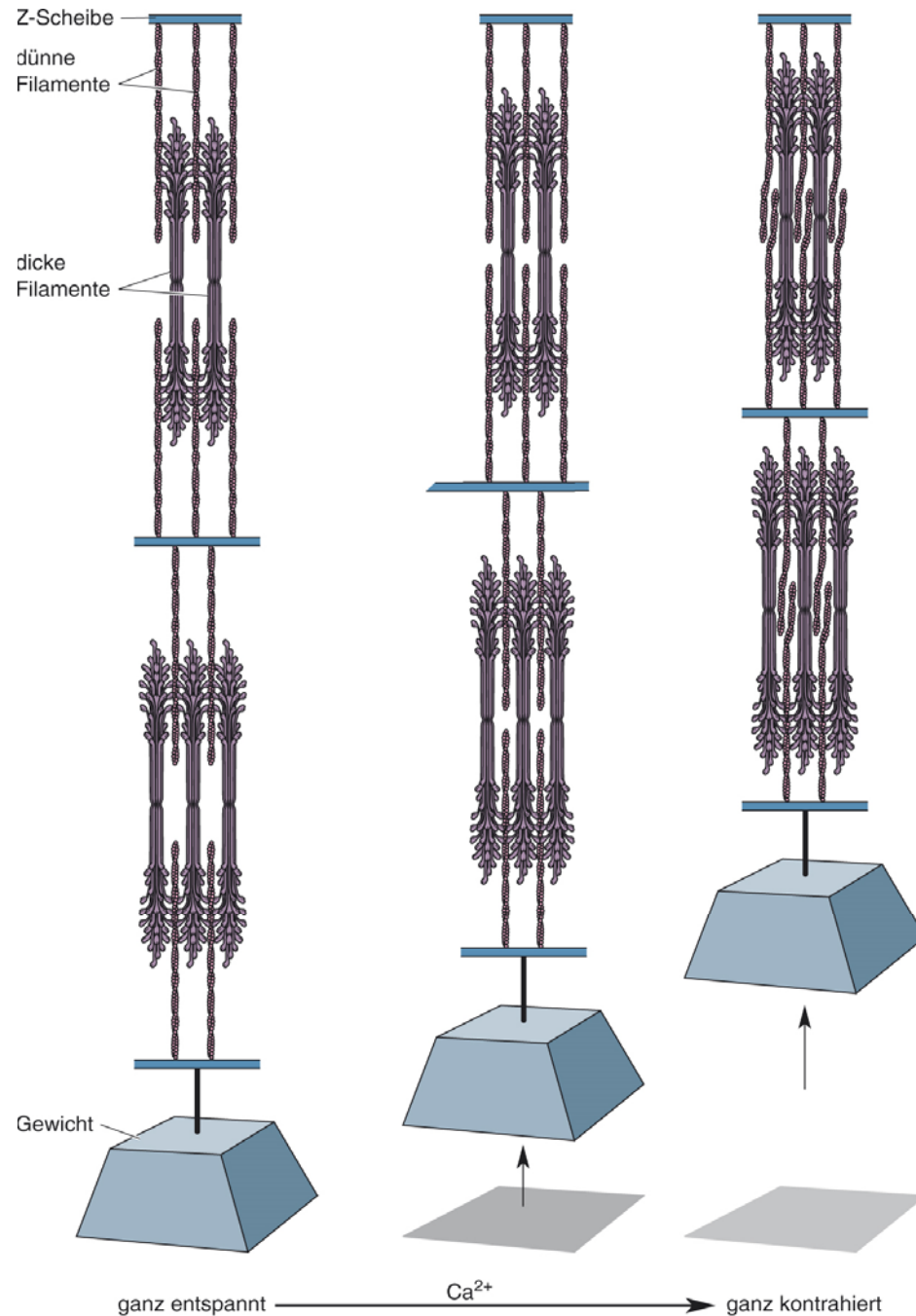
(Schmidt/Lang, 30. Aufl., 2007)

Elektromechanische Kopplung: Zeitverlauf

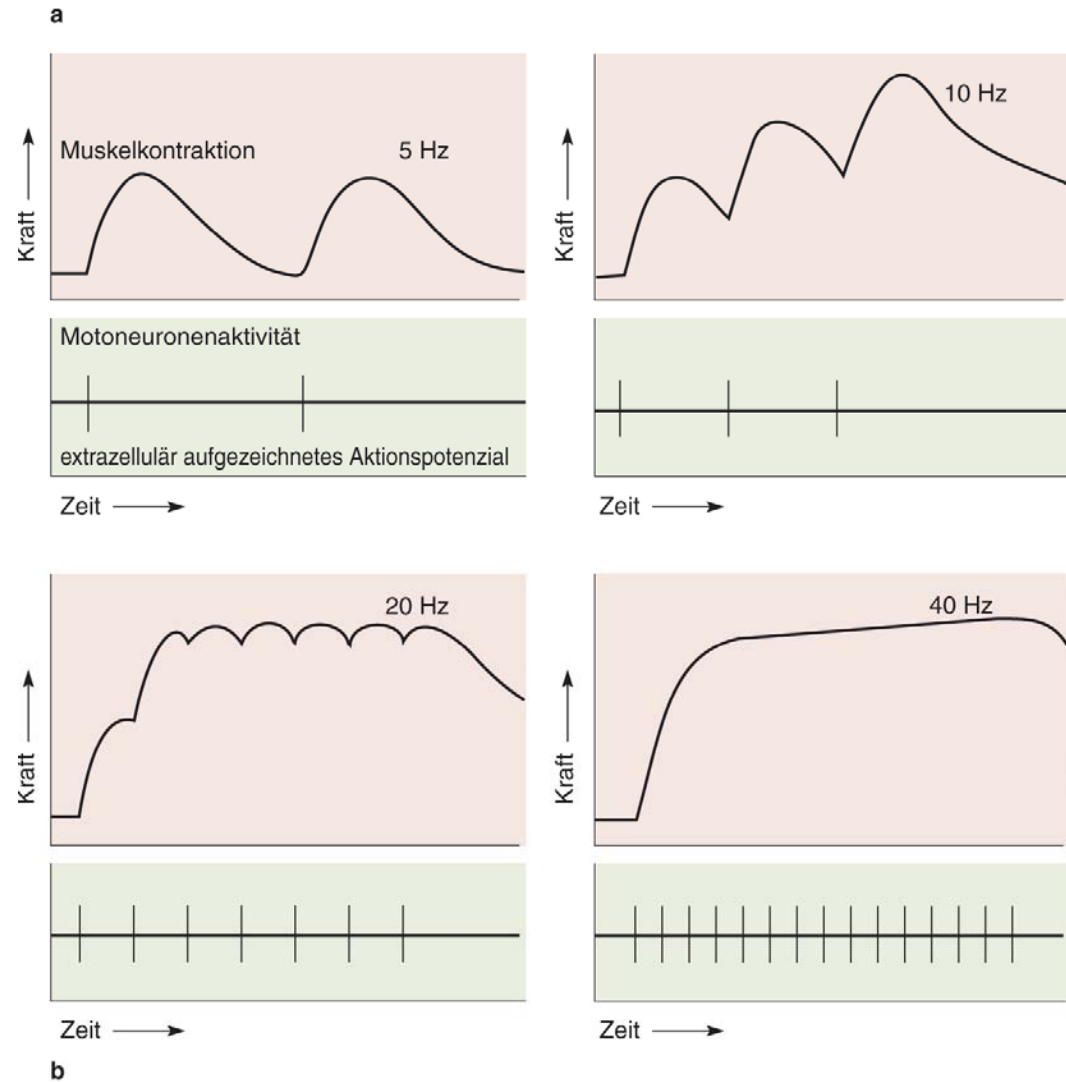
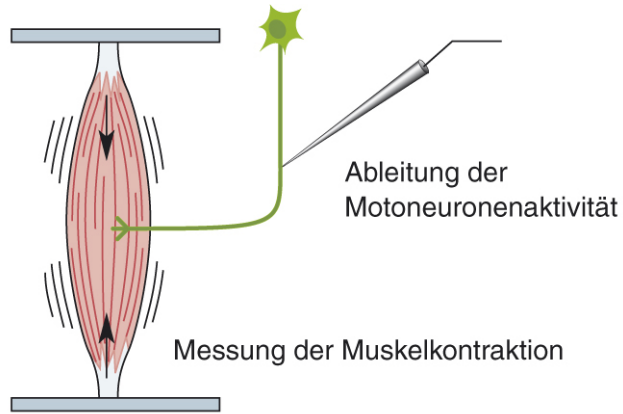


Gleitfilament- mechanismus

Muskelkontraktion durch den
Gleitfilament-Mechanismus:
bis zu 100 Querbrückenschläge
pro Sekunde

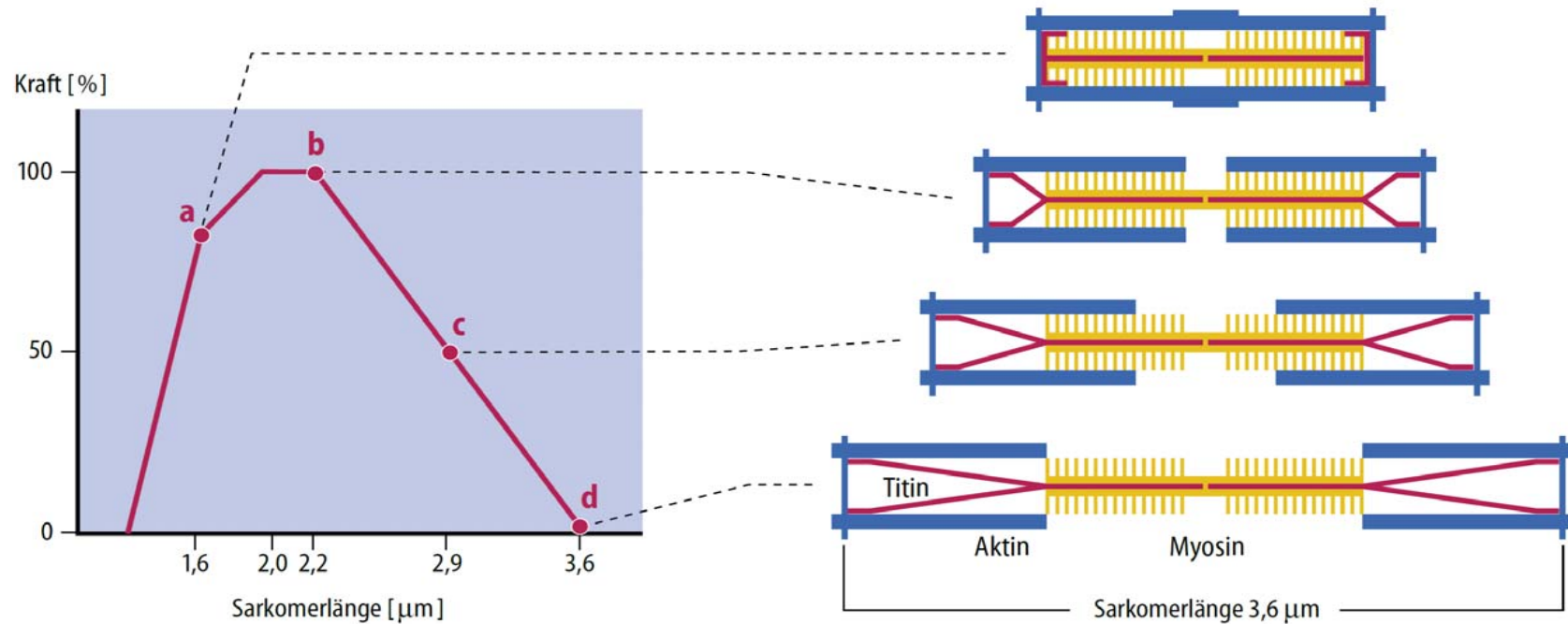


Von der Zuckung zur Kontraktion



Verlauf der freien Ca^{++} -Konzentration entspricht dem Kraftverlauf

Kraft abhängig von Muskellänge

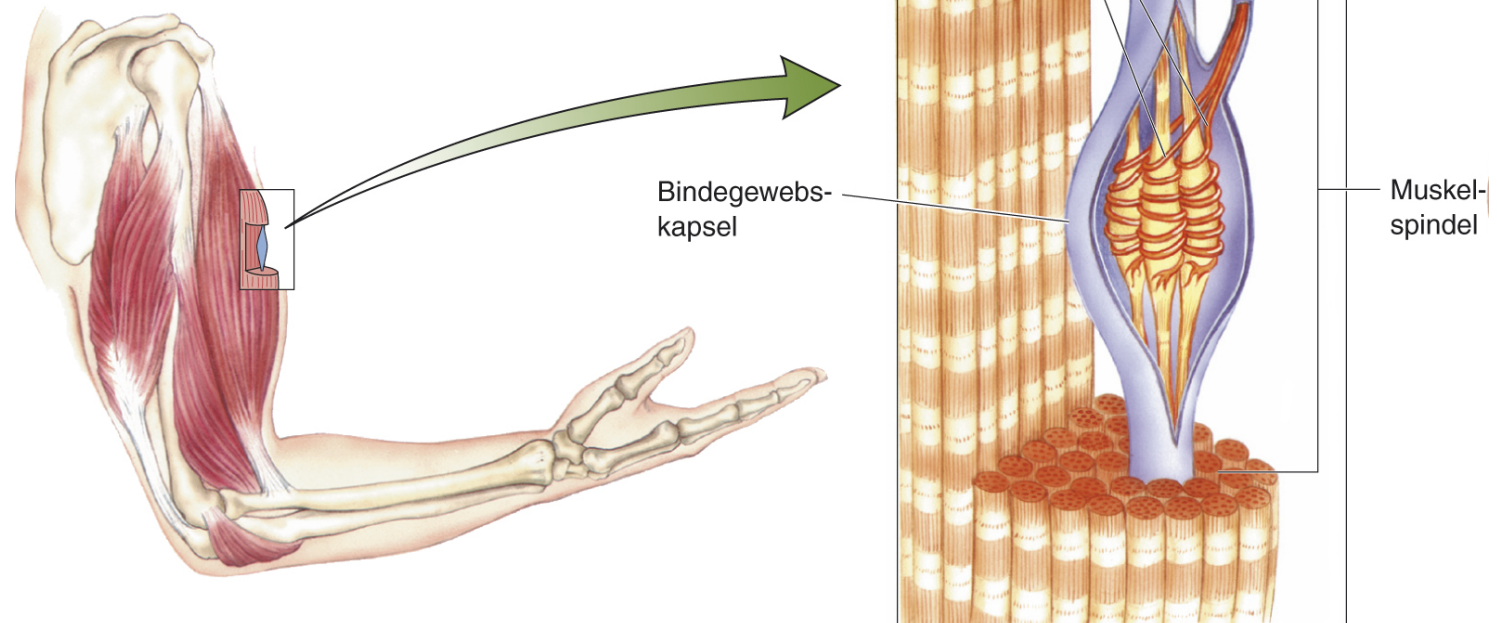


Kontraktionskraft ändert sich mit der Sarkomerlänge:
Grad der Filamentüberlappung ist wichtig!

Skelettmuskelsystem: Spinale Kontrolle

Messung der Muskeldehnung:
Muskelspindeln als Propriozeptoren

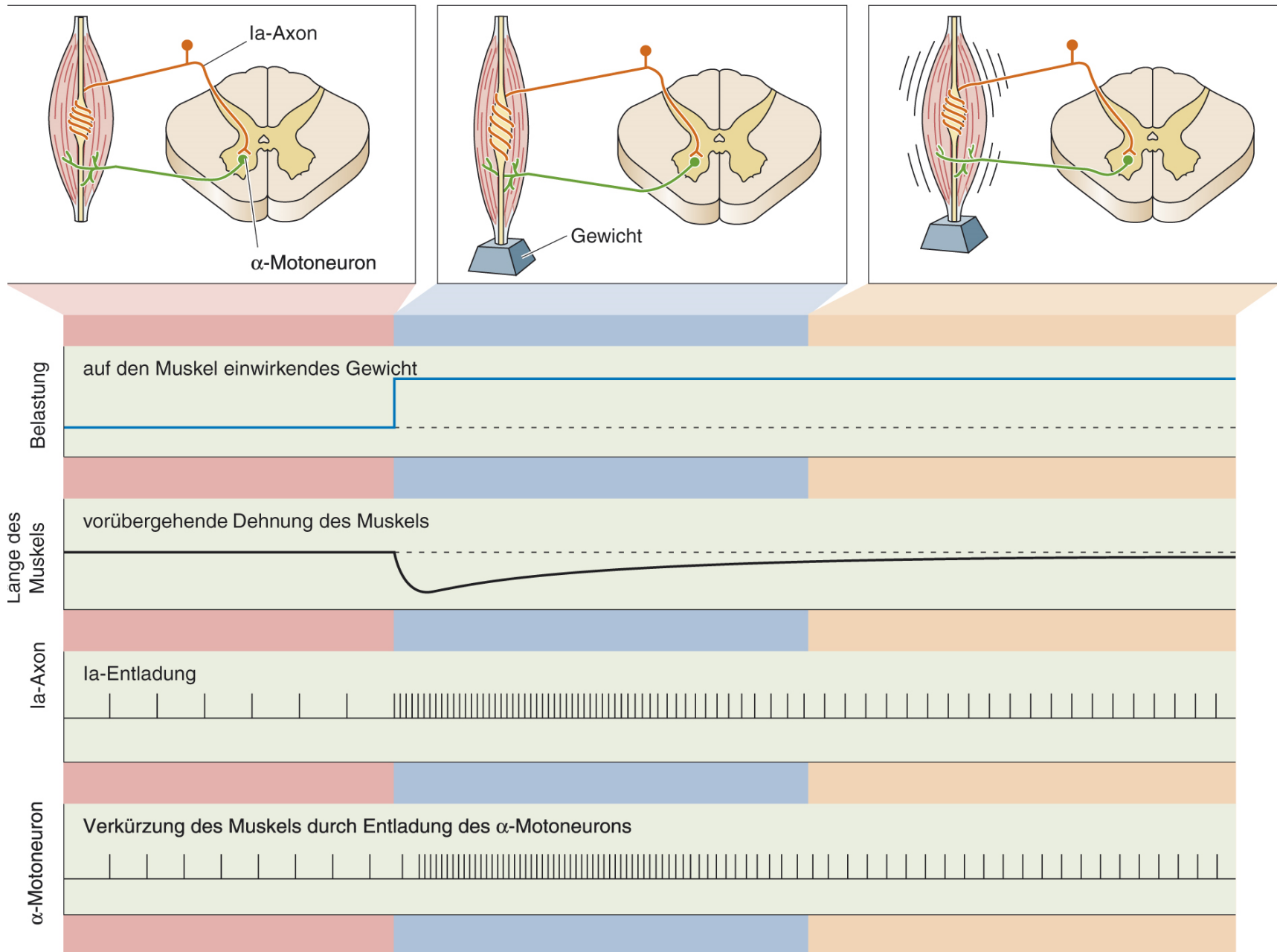
- Teil der (seltenen) intrafusalen Muskelfasern
- innerviert von Typ 1a sensorischen Fasern
- Grundlage reflektorischer Bewegungskontrolle



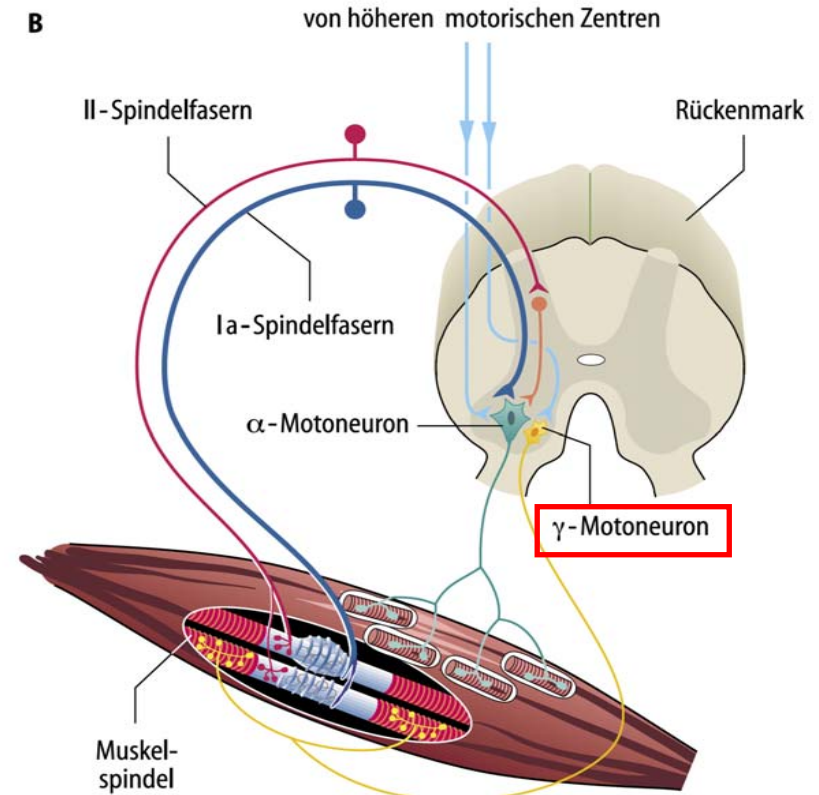
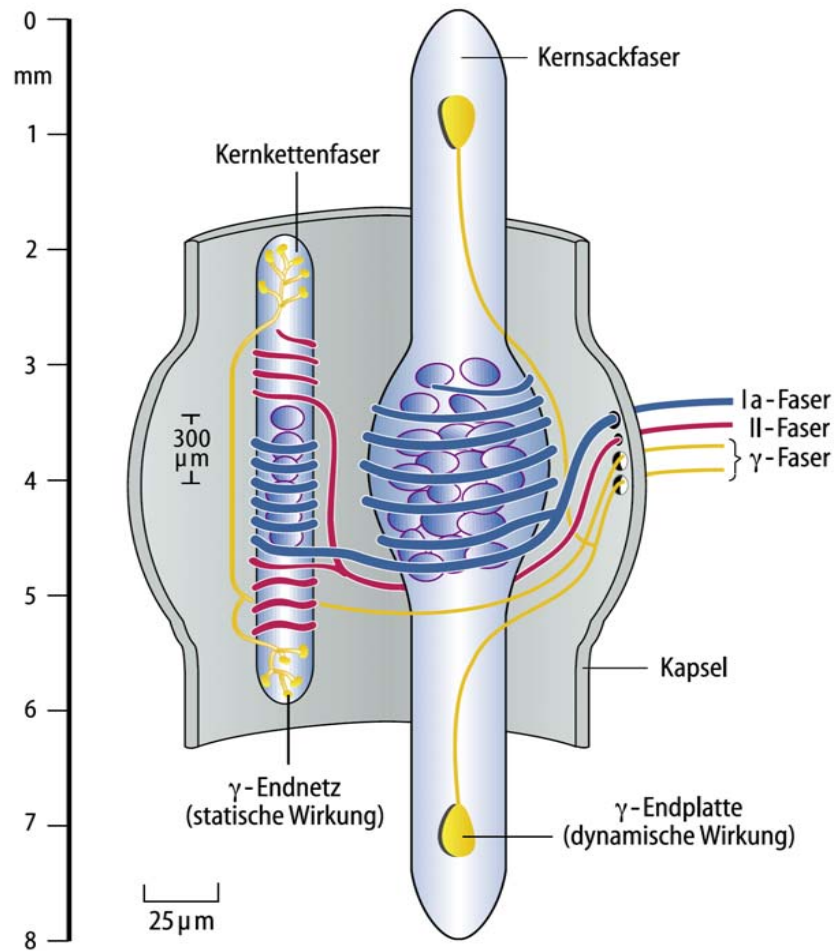
Spinale Kontrolle: Dehnungsreflex

Wie reagieren das (sensorische) 1a-Neuron und das α -Motoneuron auf das plötzliche Einwirken eines Gewichts?

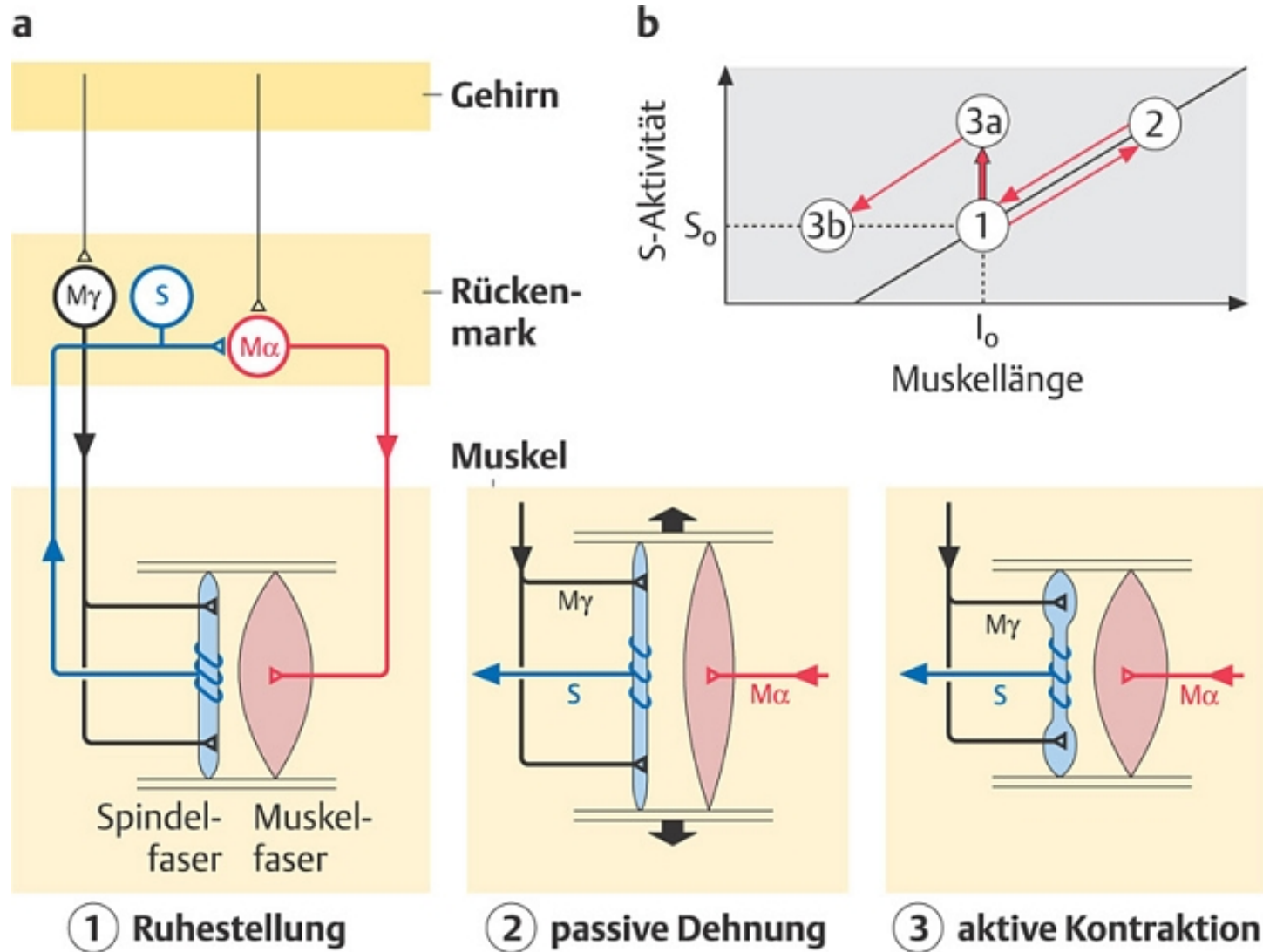
Monosynaptischer Dehnungsreflex ist ein Beispiel für einen "Eigenreflex" (z.B. Patellarsehnenreflex)



Zentrale Kontrolle: indirekt

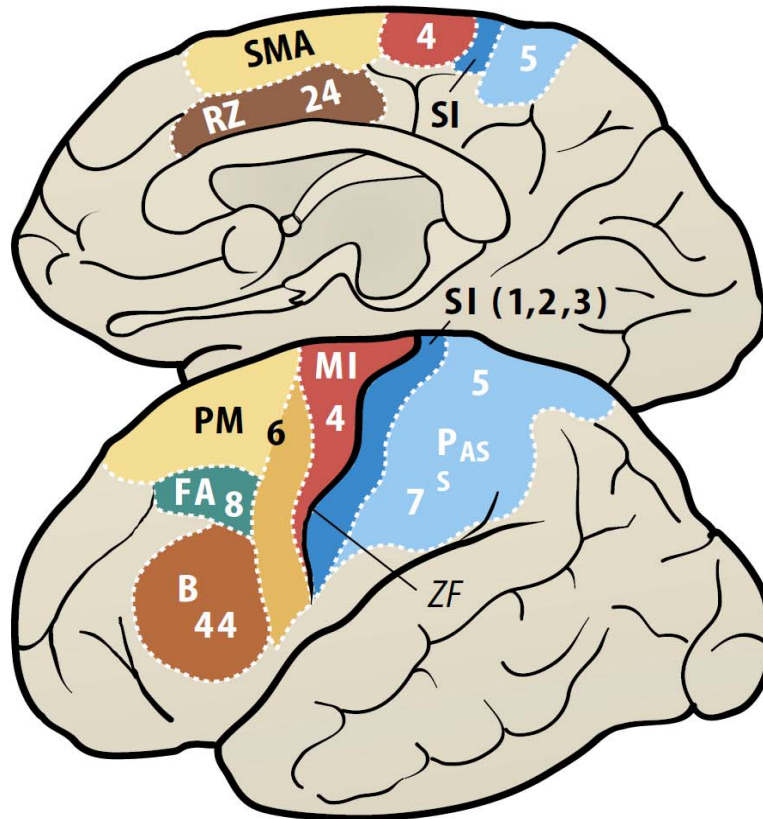


Zentrale Kontrolle: indirekt

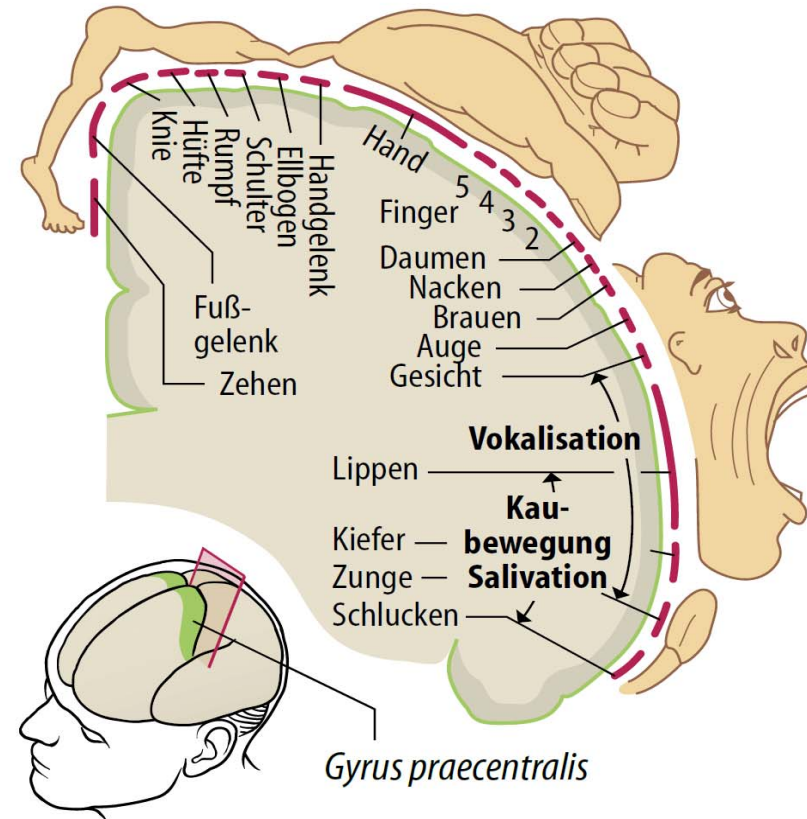


Zentrale Kontrolle: Willkürmotorik

A



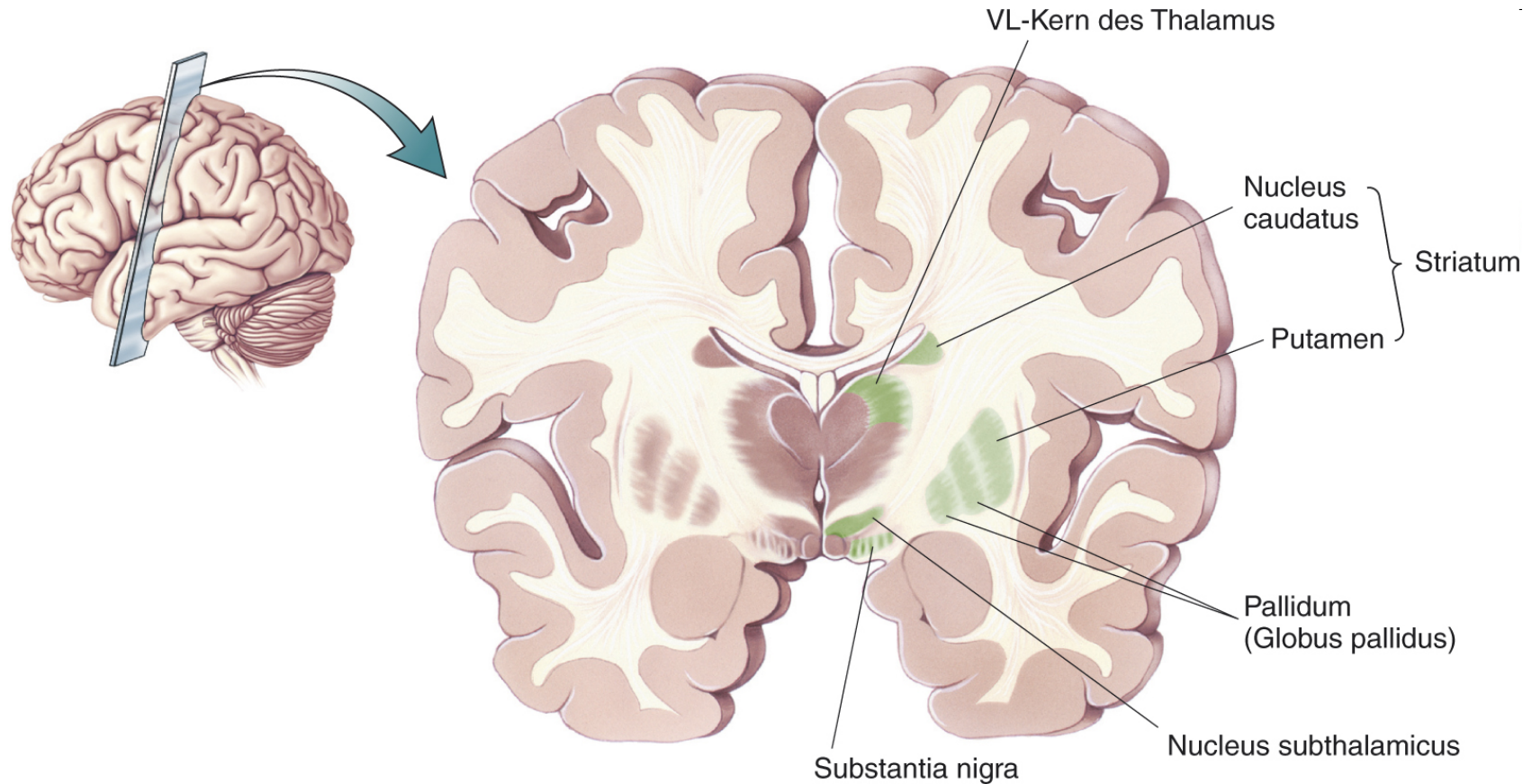
B



- Der Motorkortex liegt auf dem Gyrus praecentralis
- Motorkortex (Area 4, Area 6) enthält einen "motorischen Homunculus"
- Ursprung der Pyramidenbahn

(Schmidt/Lang, 30. Aufl., 2007)

Basalganglien: Initiation von Bewegungen

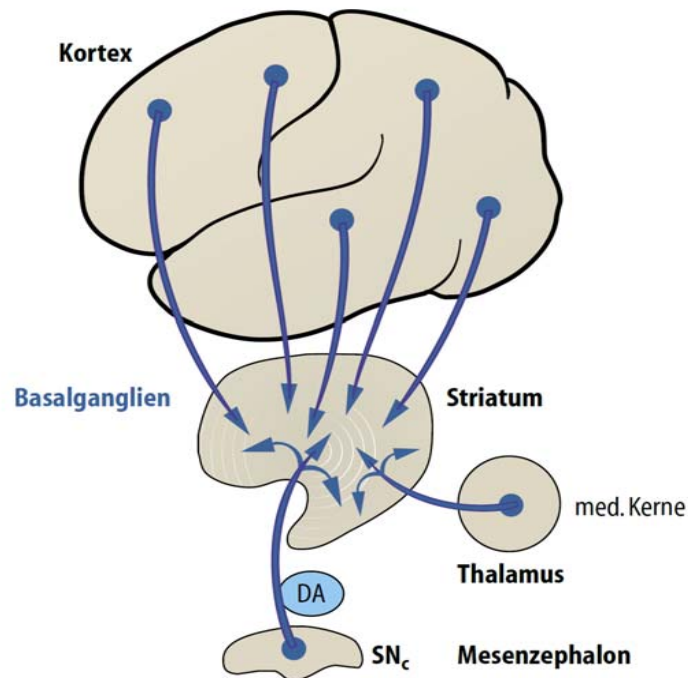


Aus: Bear et al., *Neurowissenschaften*, 3. Aufl.
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2009

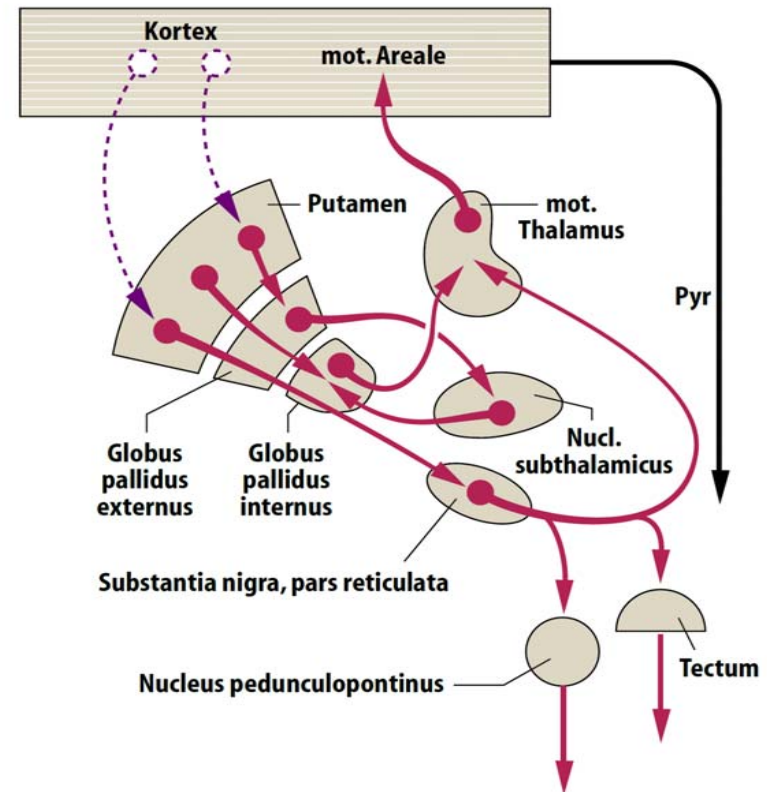
Substantia nigra: Dopaminerge Neurone
(-> Parkinson-Krankheit)

Basalganglien: Initiation von Bewegungen

A Zuflüsse der Basalganglien



B Ausgänge der Basalganglien



- Initiation beabsichtigter Bewegungen

Kleinhirn: Koordination, Kontrolle

