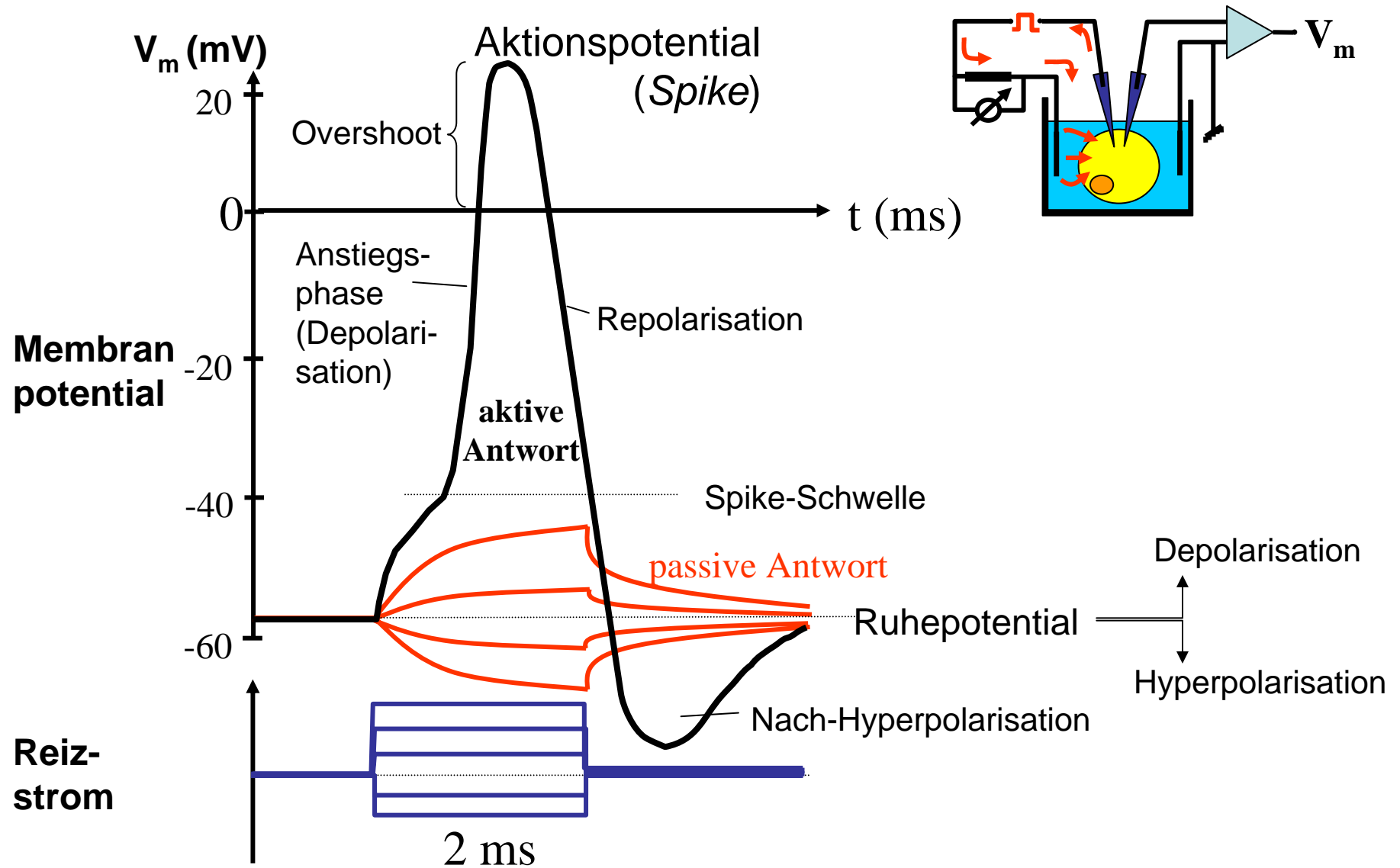
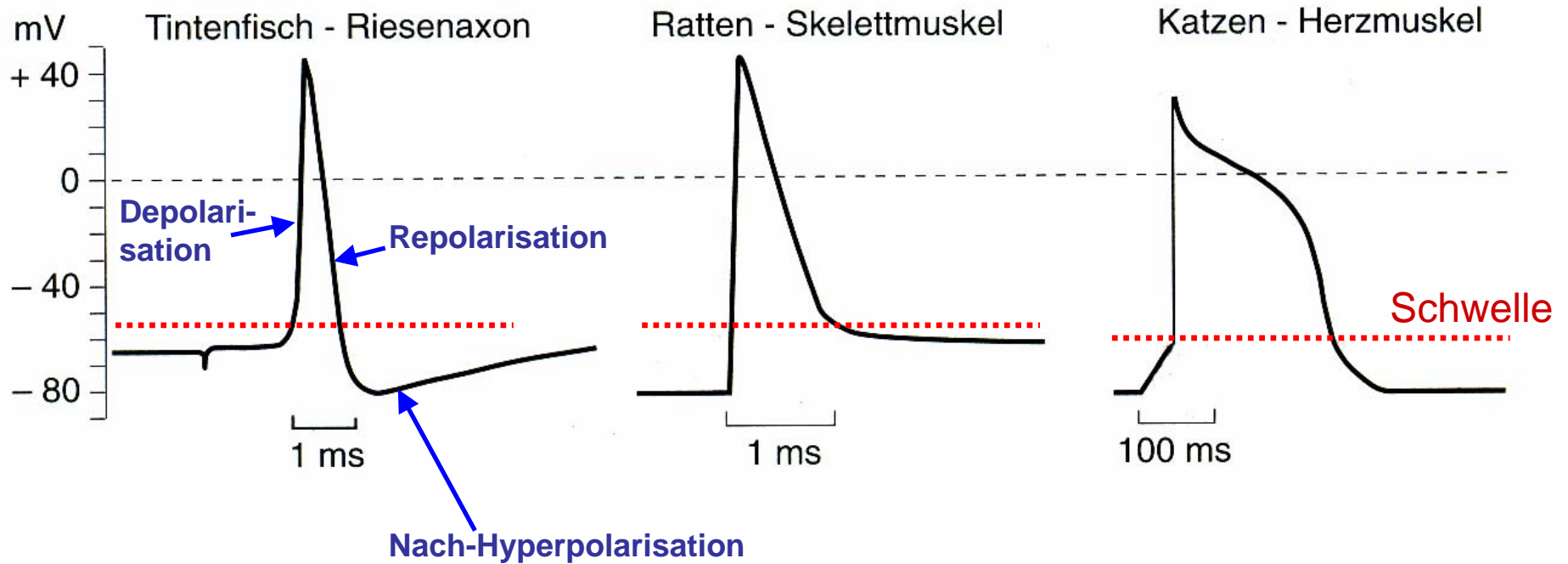


# **Aktionspotential**

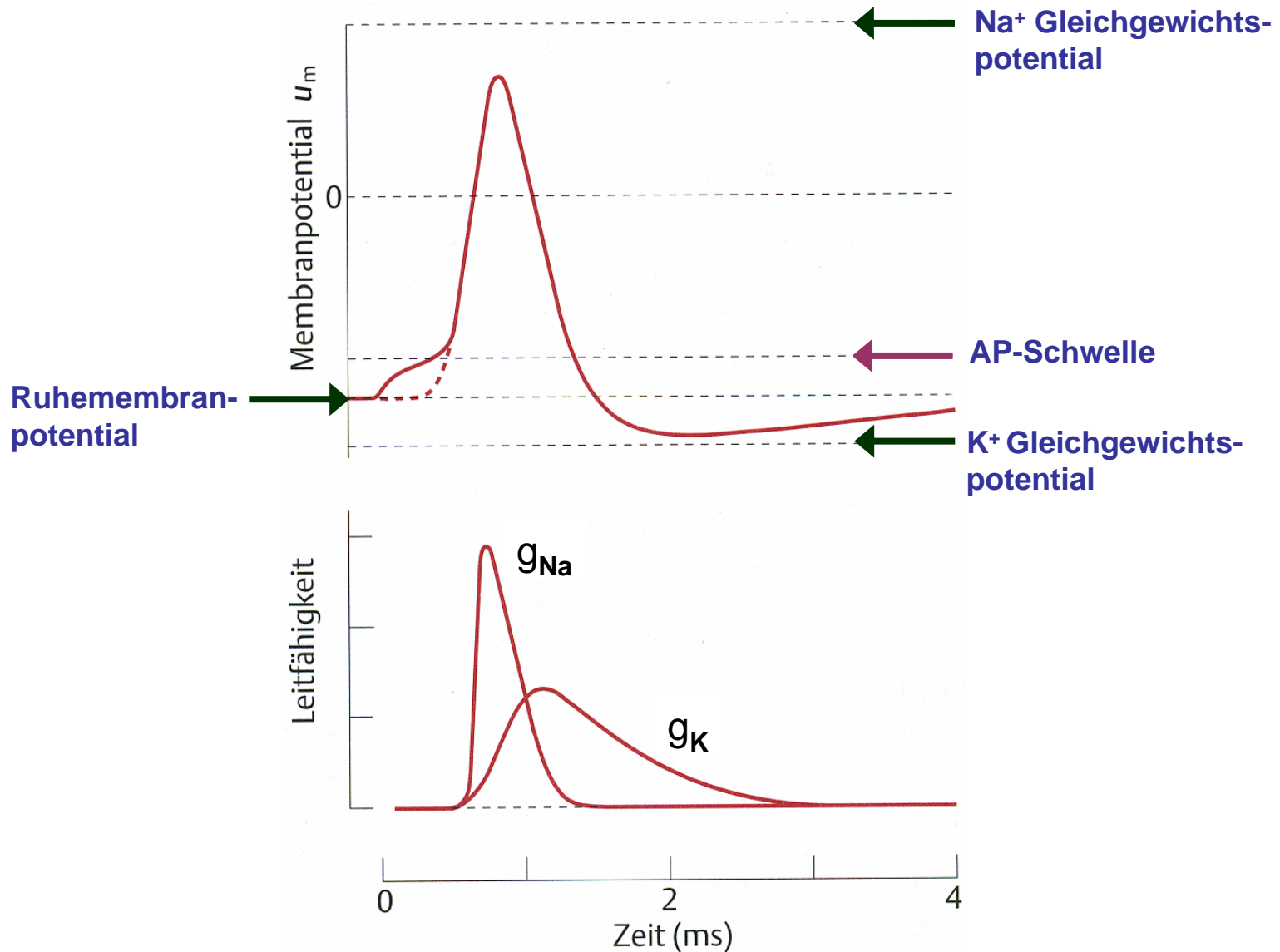
# Passive und aktive elektrische Membraneigenschaften



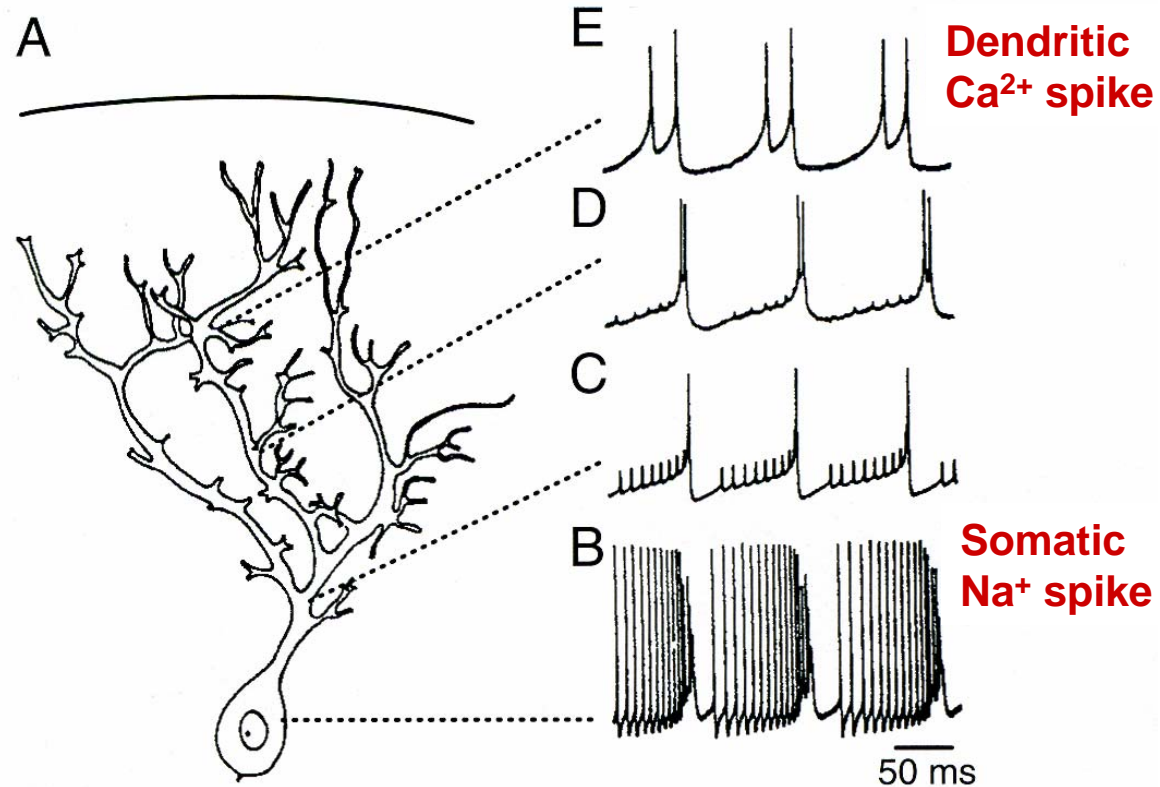
# Aktionspotential - Formen



# Aktionspotential - Erzeugung

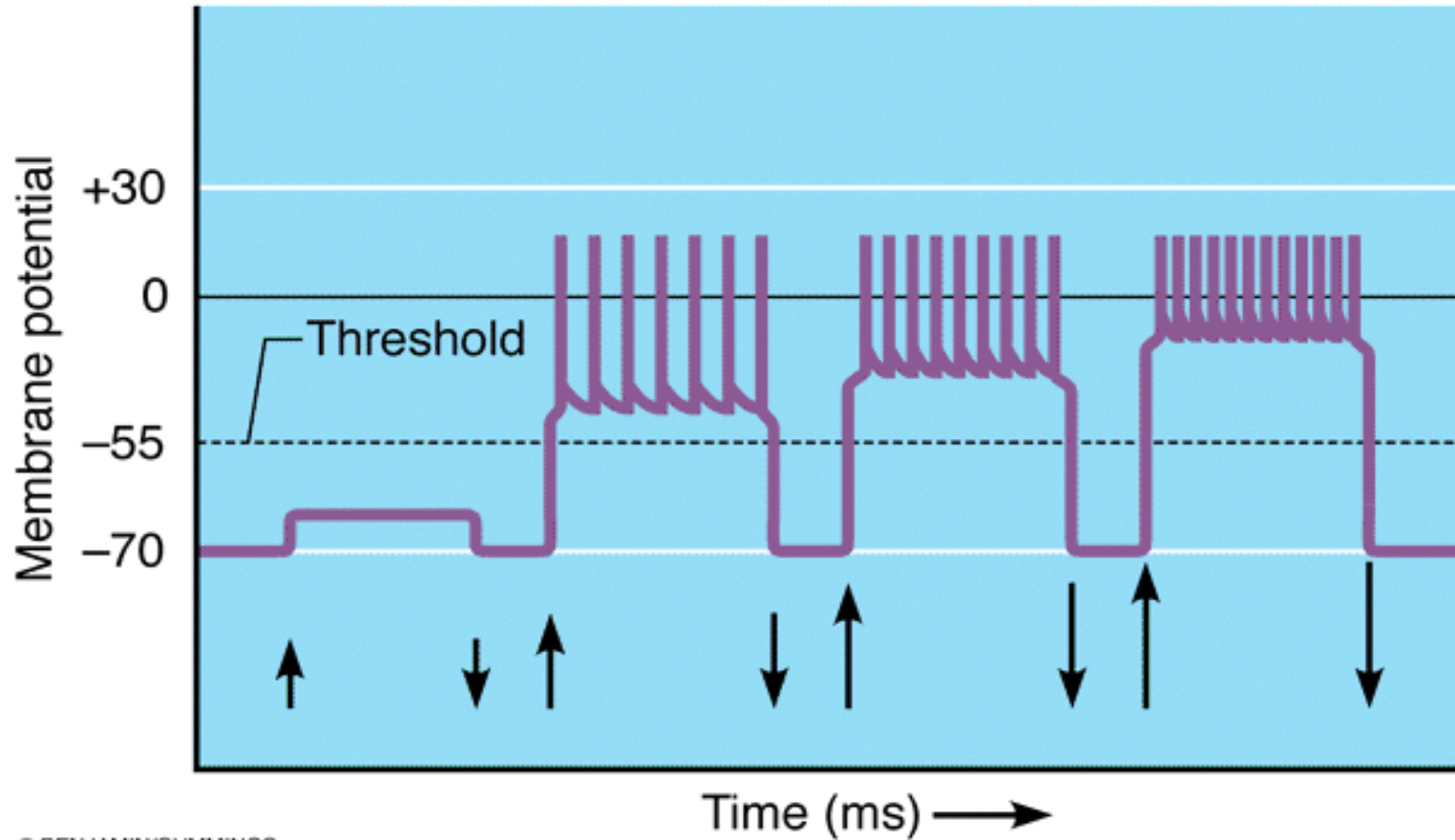


# Purkinje-Zelle im Kleinhirn: $\text{Ca}^{2+}$ versus $\text{Na}^{+}$ Aktionspotentiale

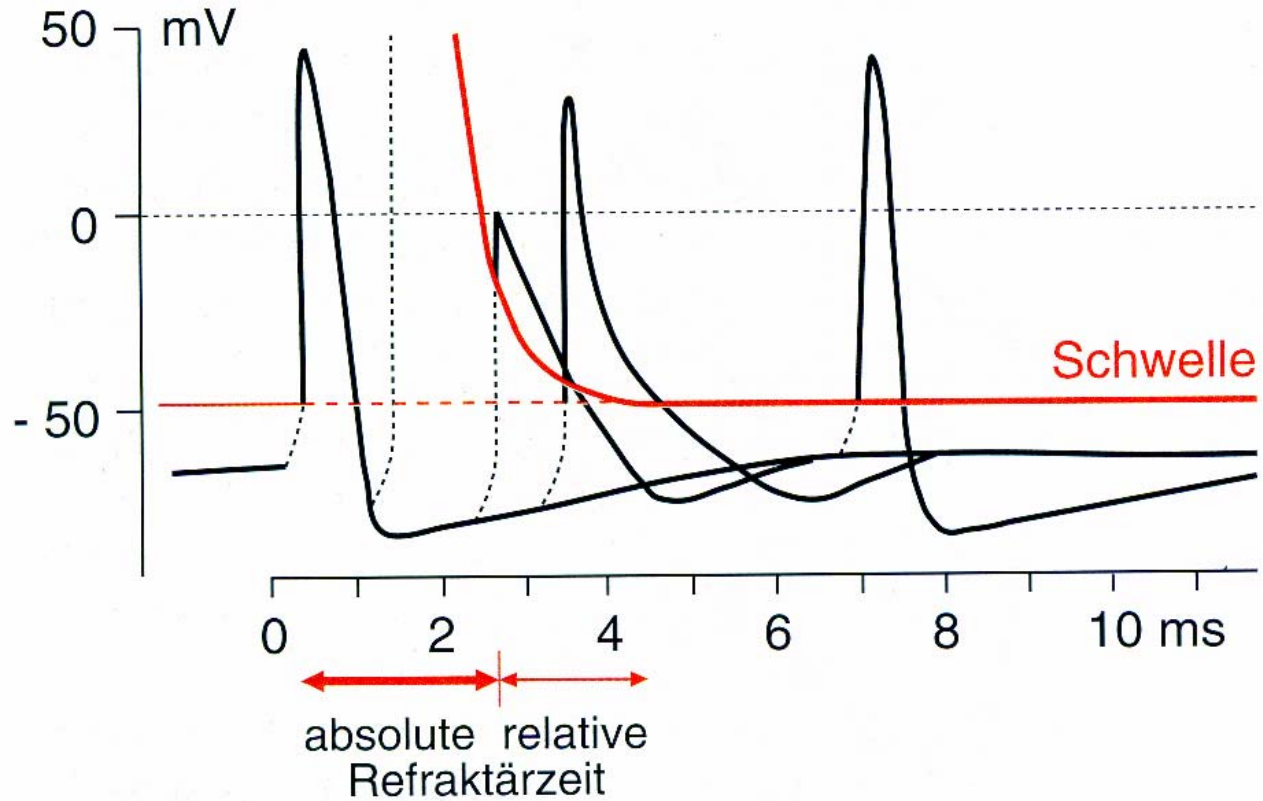


# AP-Rate hängt von Stärke der auslösenden Depolarisation ab

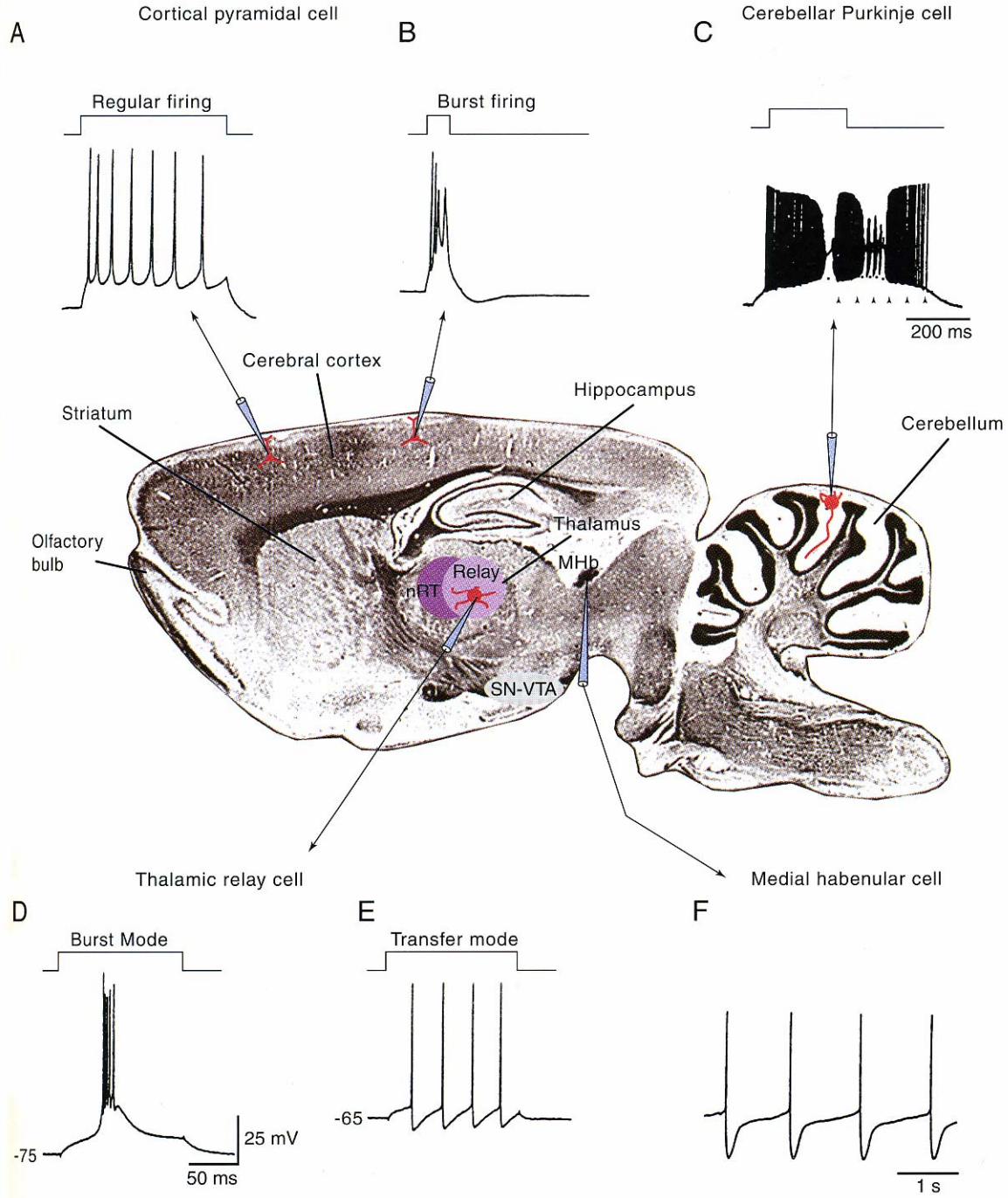
→ Rate kodiert Reizamplitude



# Aktionspotential - Refraktärzeit



# Aktionspotentiale im Säugerhirn



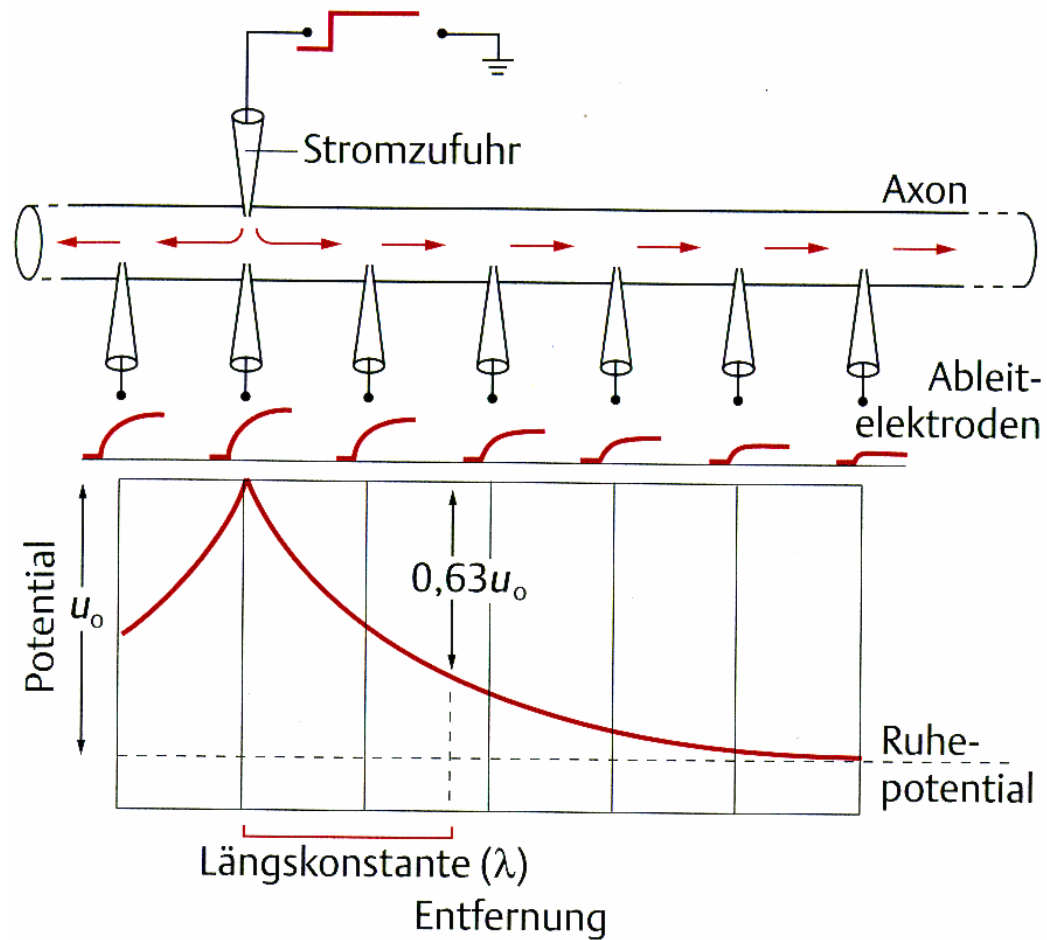


# Zusammenfassung: **Aktionspotential**

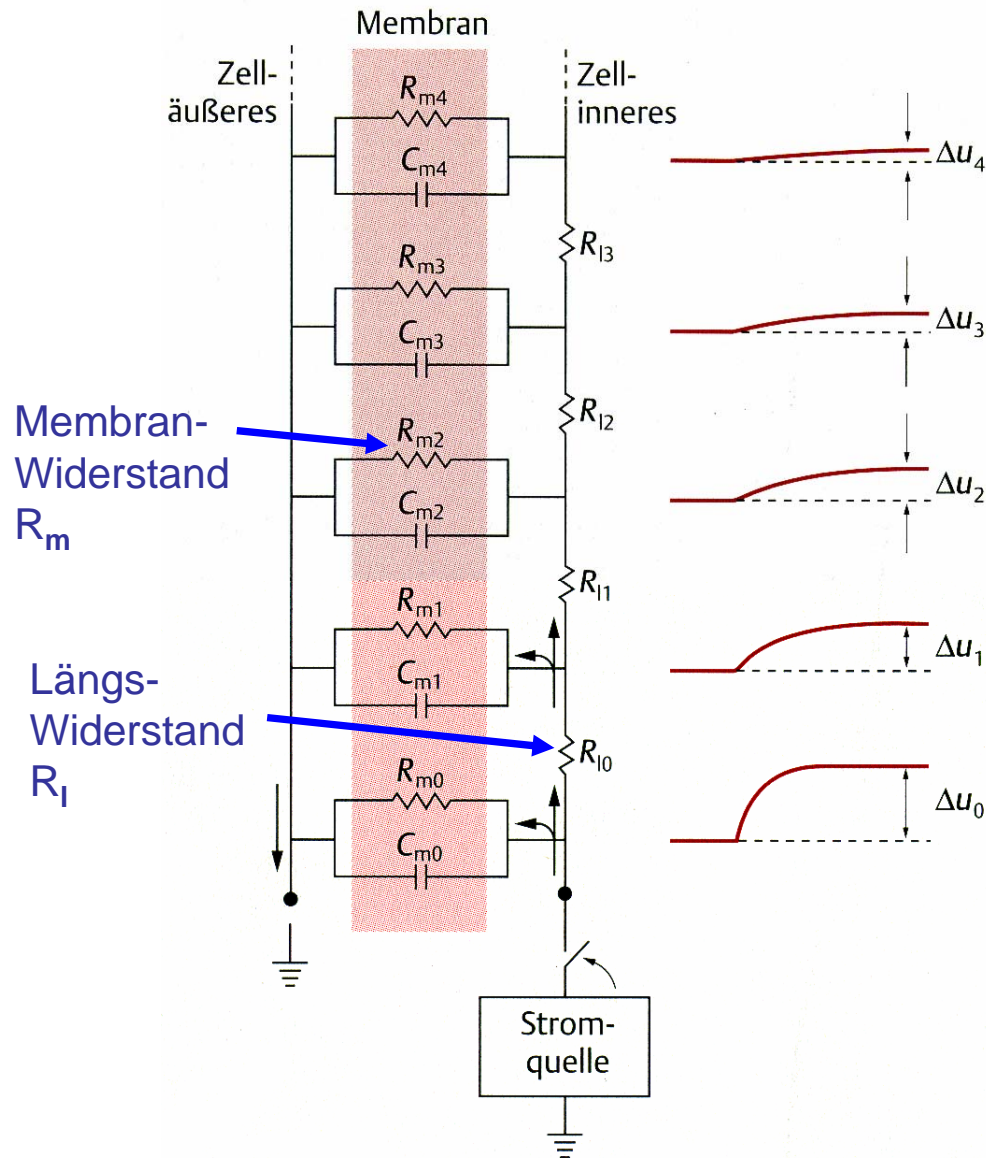
- AP stellt **aktive** Membranpotentialänderung dar
- AP wird erzeugt aufgrund von **V-abhängigen Na-Kanälen** (Depolarisationsphase) gefolgt von der Aktivierung V-abhängiger K-Kanäle (Repolarisationsphase, Hyperpolarisationsphase)
- AP-Amplitude erreicht fast den Wert des Na-Gleichgewichtspotential (+20 bis +50 mV)
- **Schwellenpotential** muss erreicht werden für AP-Auslösung
- **Alles oder Nichts** - Erregung
- Nach AP-Auslösung gilt **absolute und relative Refraktärzeit** für Auslösung des nächsten APs
- Energiequelle für AP sind ATP-getriebene NA/K Austauschpumpen

# **Erregungsleitung**

# Erregungsleitung in Neuronen: elektrotonische Ausbreitung

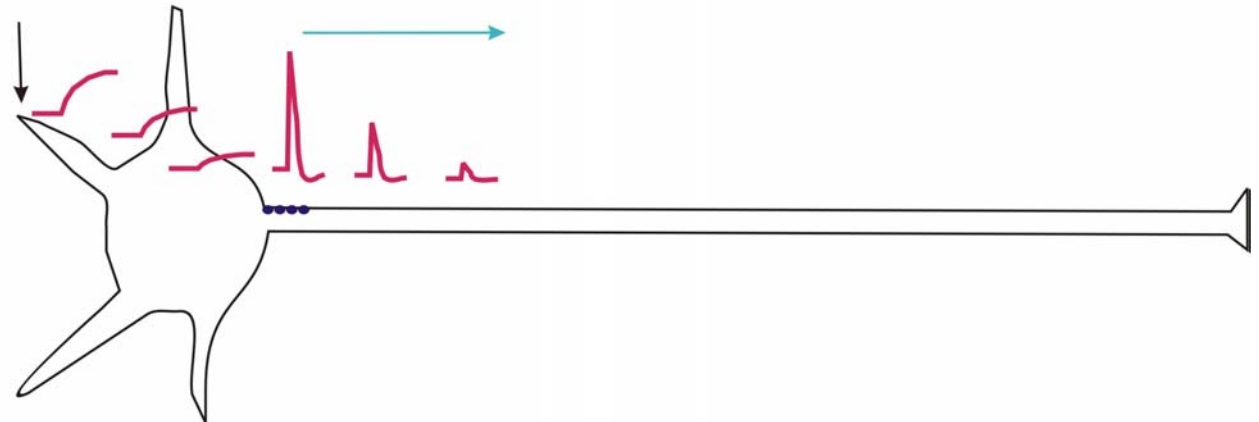
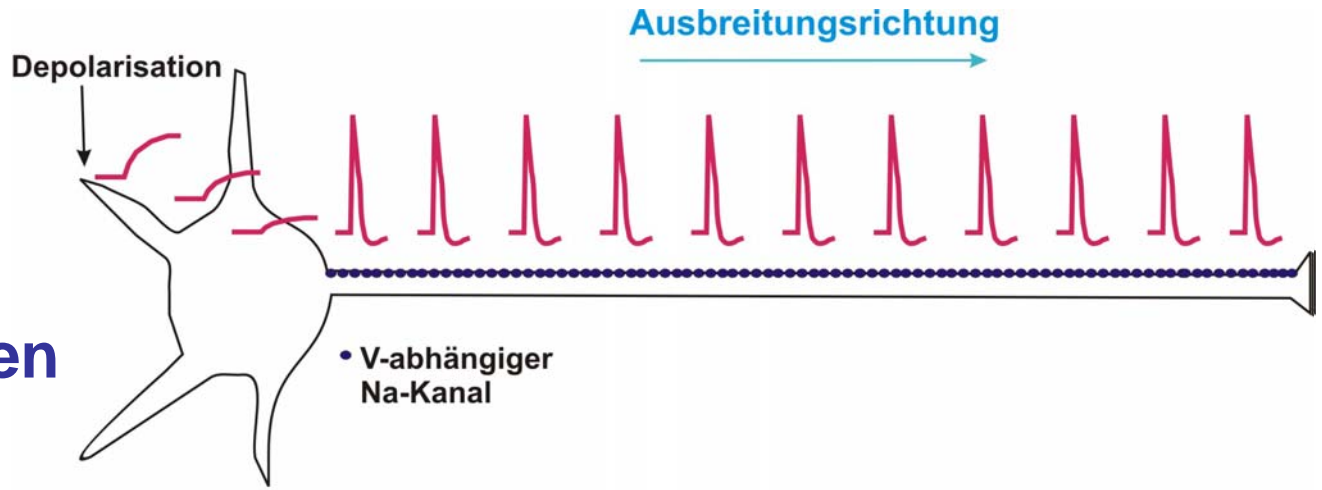


# Erregungsleitung in Neuronen: elektrotonische Ausbreitung

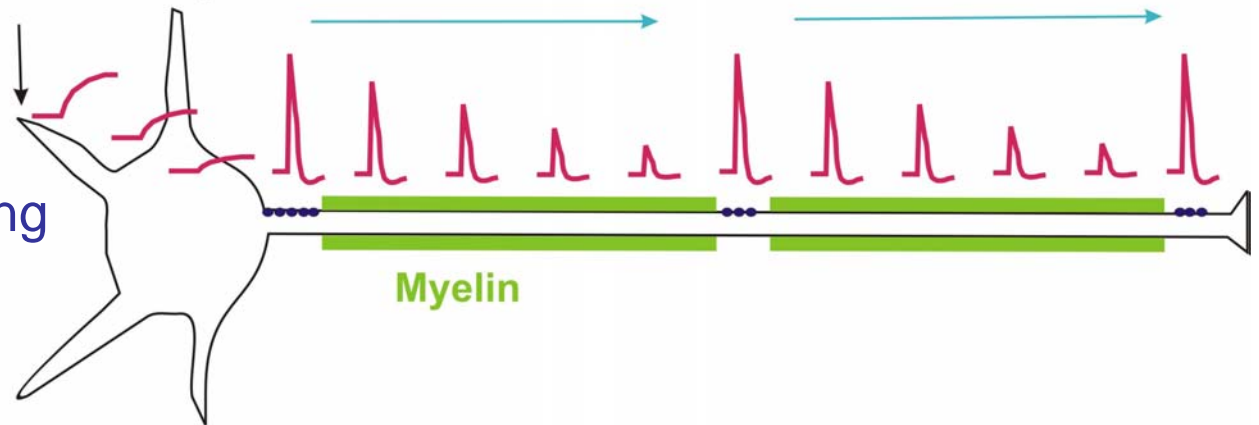


$$\lambda = \sqrt{R_m / R_l}$$

# Ausbreitung von Aktionspotentialen

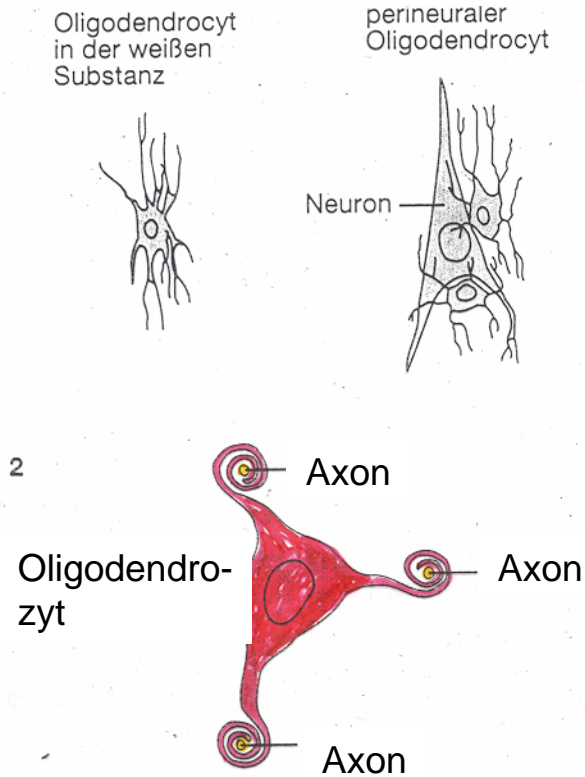


## Saltatorische Ausbreitung



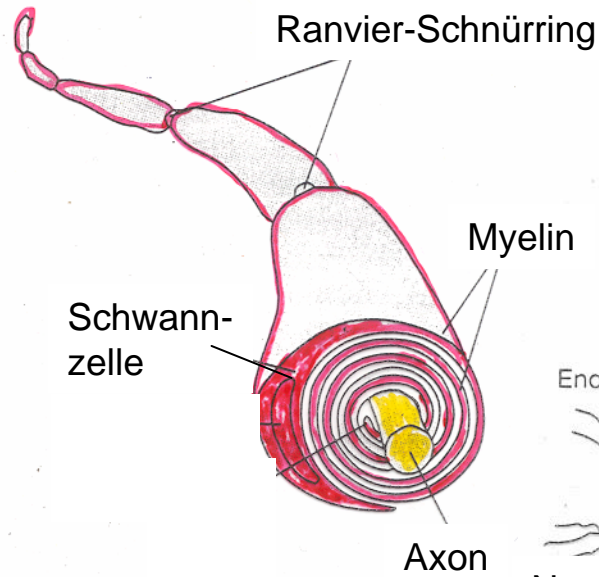
# Gliazellen

## Oligodendrozyten



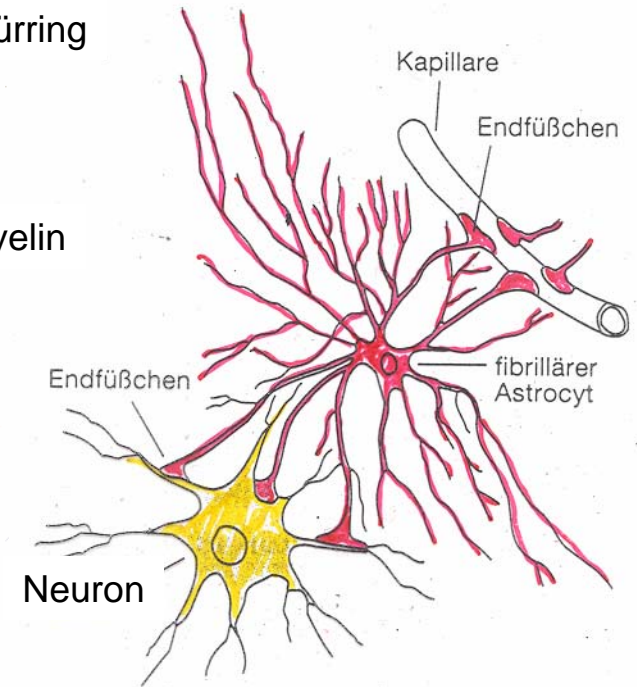
Bildung Myelinscheide  
Im Zentralnervensystem

## Schwannsche Zelle



Bildung Myelinscheide  
im peripheren Nervensystem

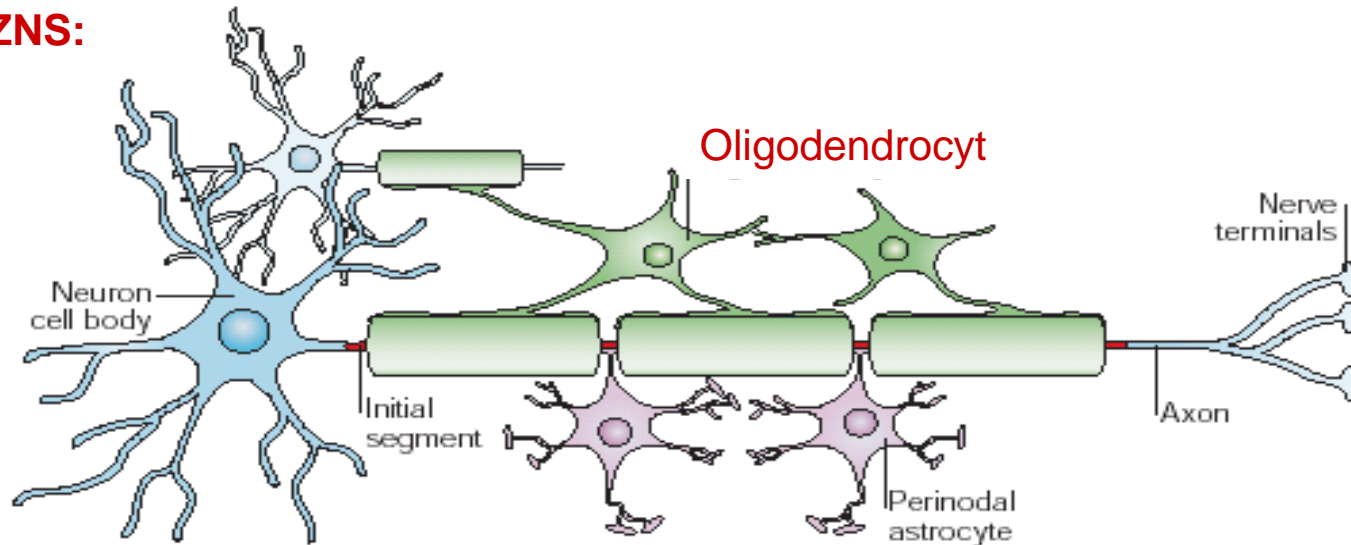
## Astrozyt



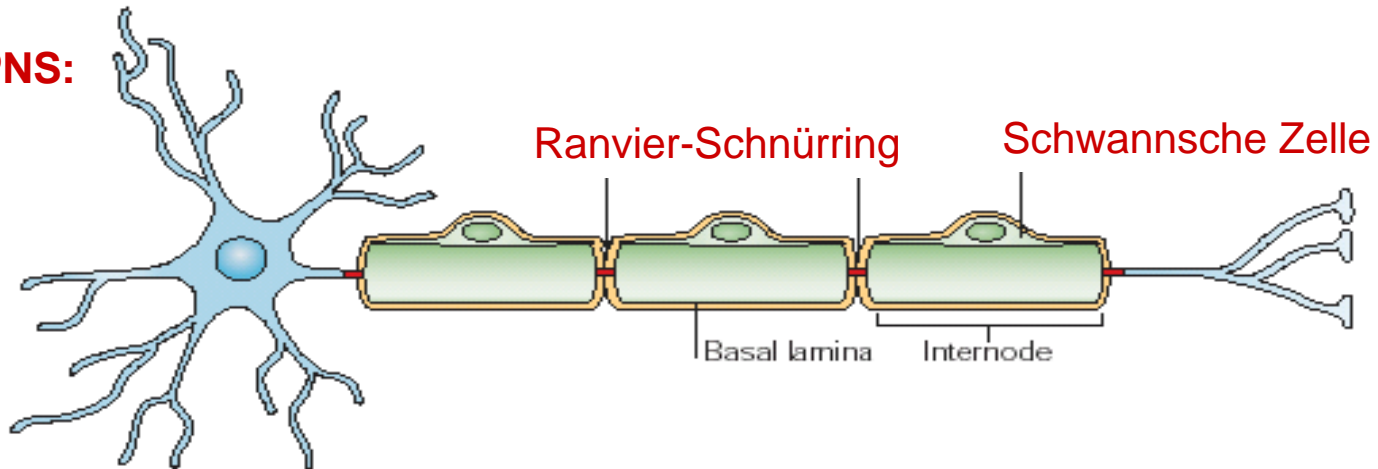
Ernährung, Konstant-  
haltung des extra-  
Zellulären Milieus

# Myelinbildung bei peripheren und zentralnervösen Neuronen

**ZNS:**



**PNS:**



## *Multiple Sklerose (MS)*

- Multiple Sklerose ist eine Krankheit des Zentralnervensystems.
- Es handelt sich dabei um eine Demyelinisierung und Entzündung von Axonbahnen in vielen Hirngebieten.
- Symptome: Monoculare Blindheit (Läsionen im optischen Nerven); motorische Schwächen und Paralyse (Läsionen im cortico-spinalen Trakt); abnormale somatische Empfindungen (Läsionen in den somatosensorischen Bahnen); Schwindelgefühl (Läsionen in den vestibulären Bahnen)
- Letzte Ursache für MS ist ungeklärt, aber Hypothese ist, dass es sich eventuell um eine Krankheit des Autoimmunsystems handelt.



# Zusammenfassung: **Erregungsleitung**

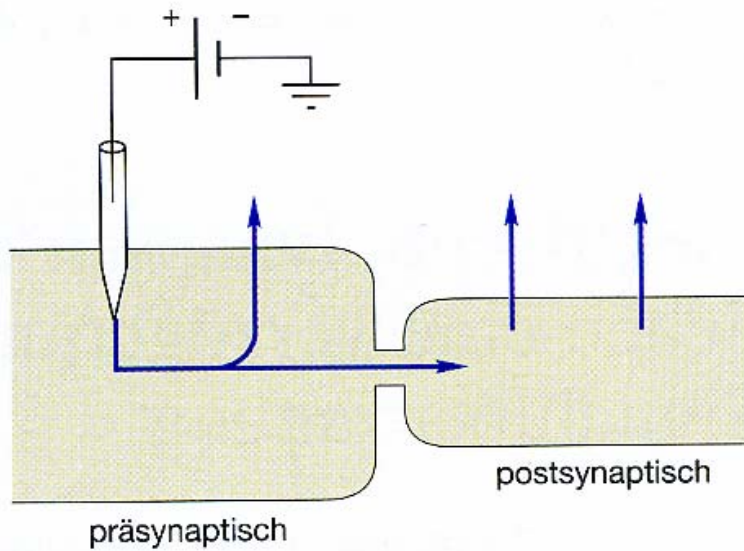
- **Elektrotonische Ausbreitung** von Membranpotentialänderungen ist passiver Ausbreitungsmodus, hängt ab von vom Membranwiderstand und dem Längswiderstand
- Reichweite der Ausbreitung wird durch **Längskonstante**  $\lambda$  angegeben
- **Saltatorische Ausbreitung** von APs in Axonen zwischen den **Ranvierschen Schürringen**
- **Myelin** als elektrischer Isolator
- Gliazellen (**Oligodendrocyten, Schwannsche Zellen**) bilden Myelin

# **Synaptische Übertragung**

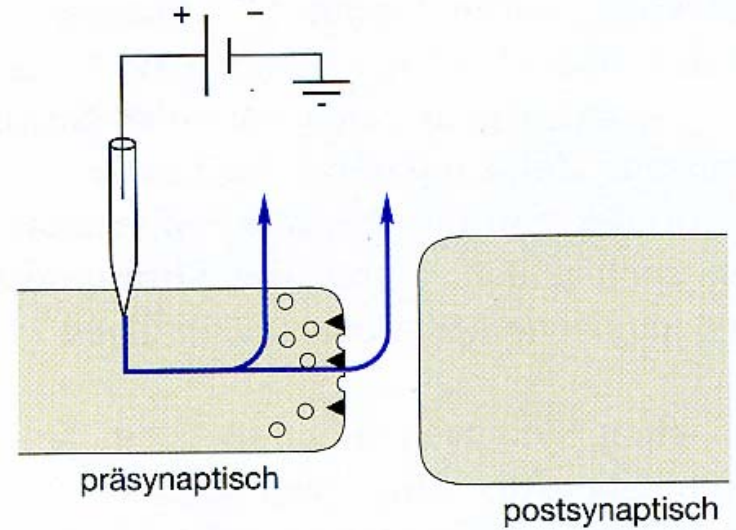
# Elektrische Synapsen

# chemische Synapsen

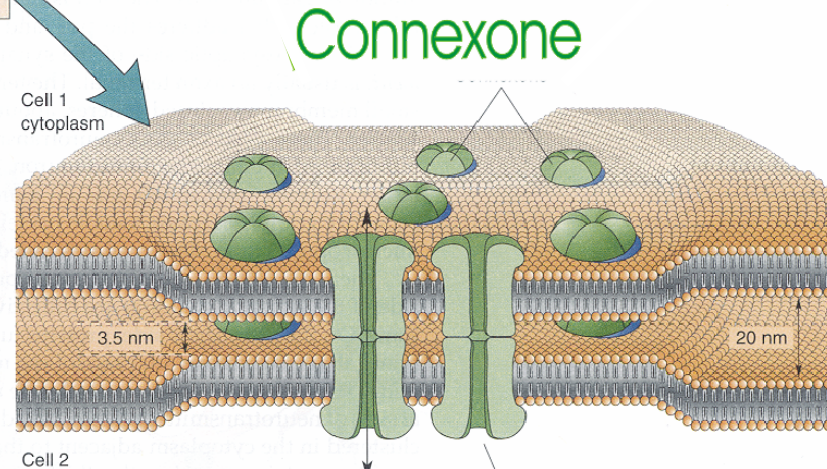
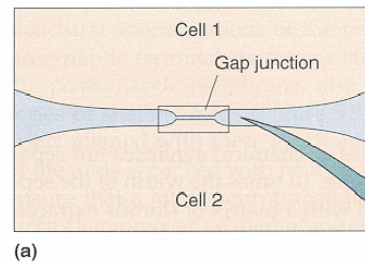
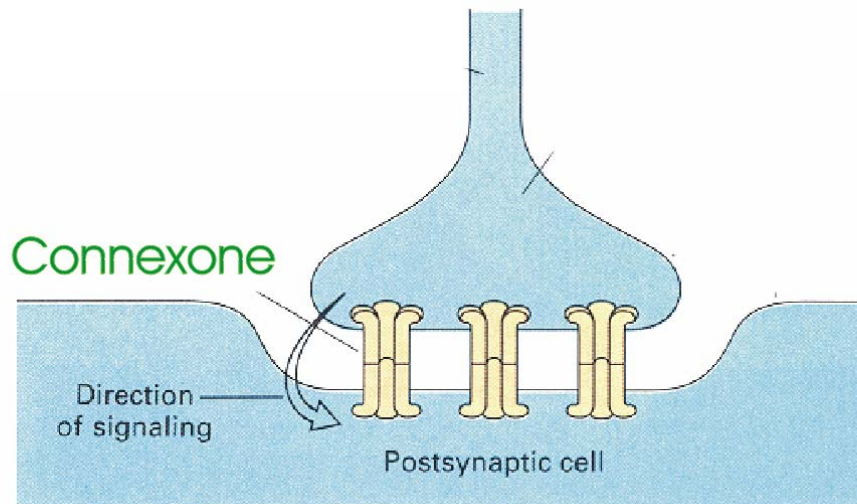
Strom an elektrischen Synapsen



Strom an chemischen Synapsen



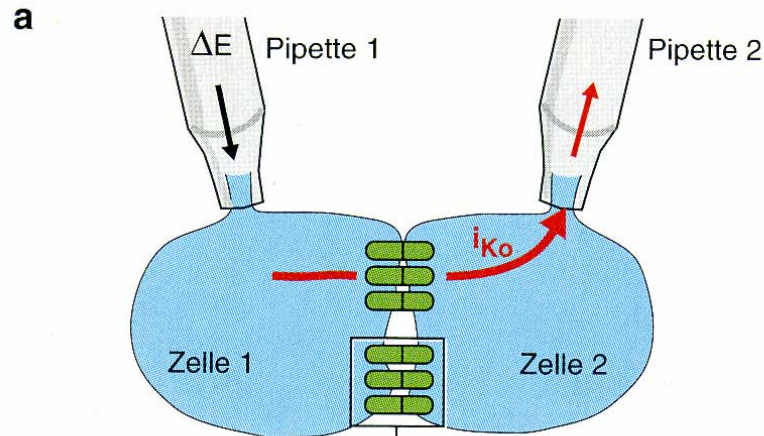
# Elektrische Synapsen (gap junctions)



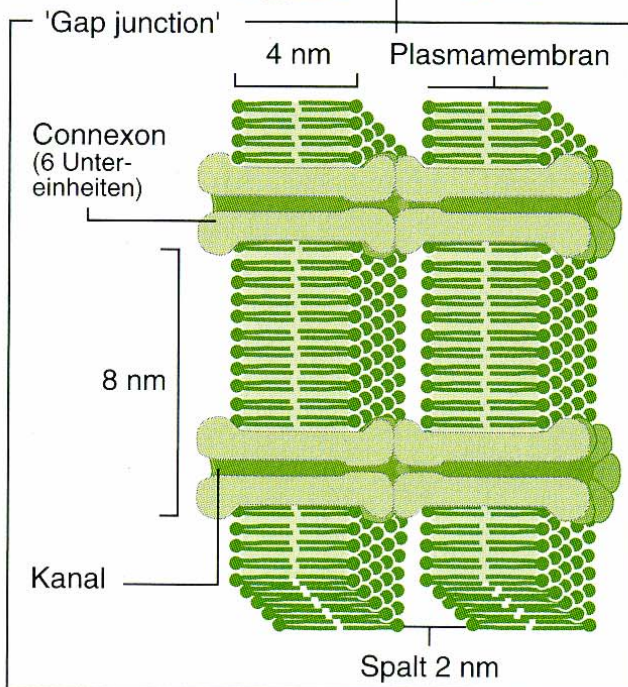
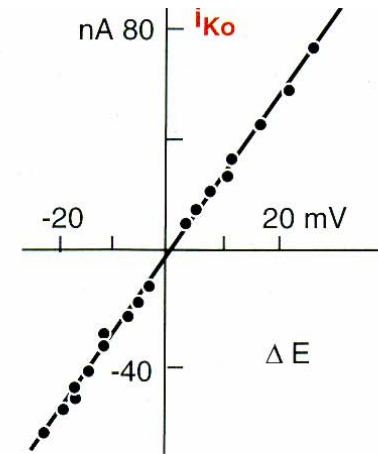
- Sehr schnelle, 1:1 Übertragung von Aktionspotentialen
- → schnelle Reflexschaltkreise
- → Verschaltungen mit hoher zeitlicher Genauigkeit
- → Synchroner neuronale Netzwerke

Selten zwischen Neuronen  
des erwachsenen ZNS  
von Wirbeltieren.  
Häufig zwischen Gliazellen

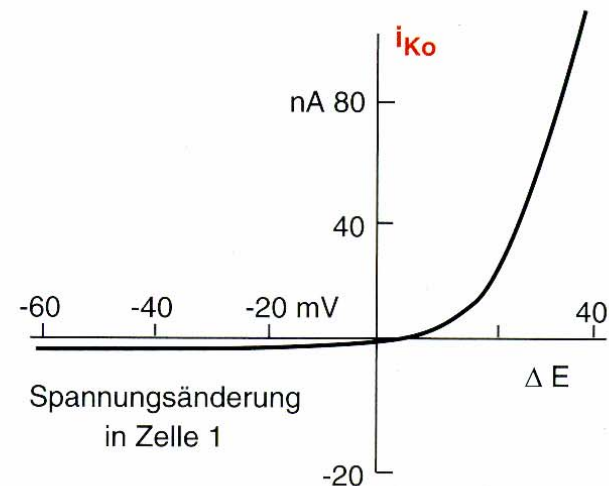
# Elektrische Synapsen: meist bidirektional



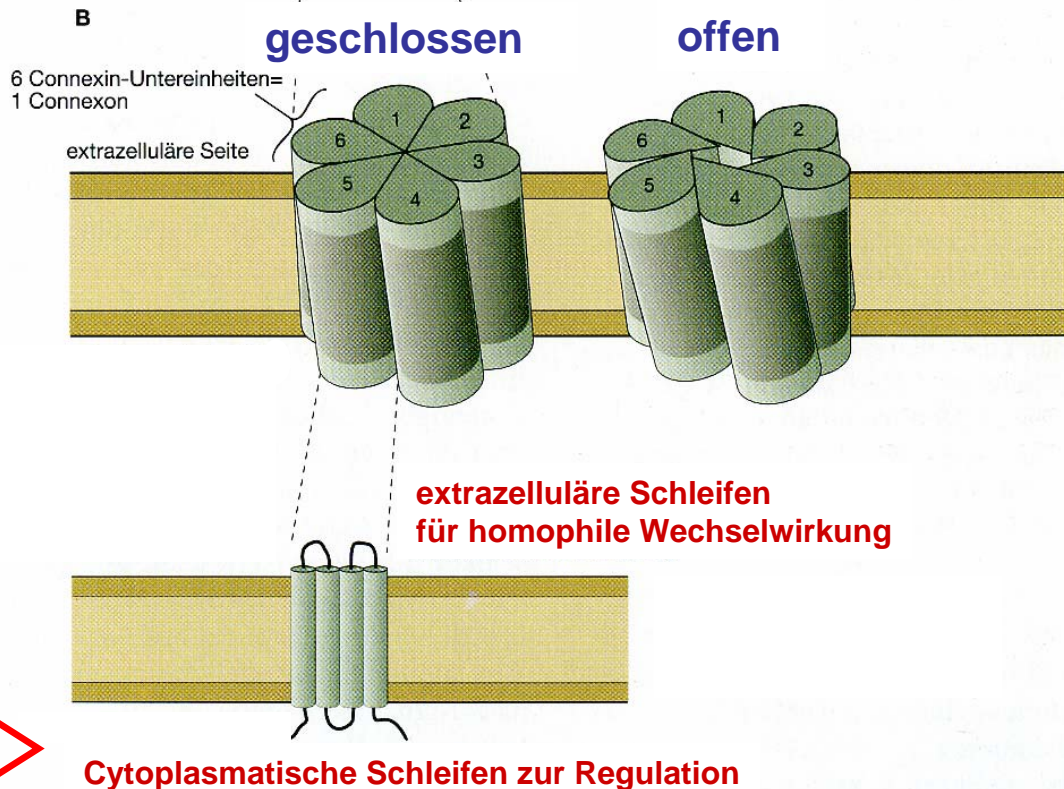
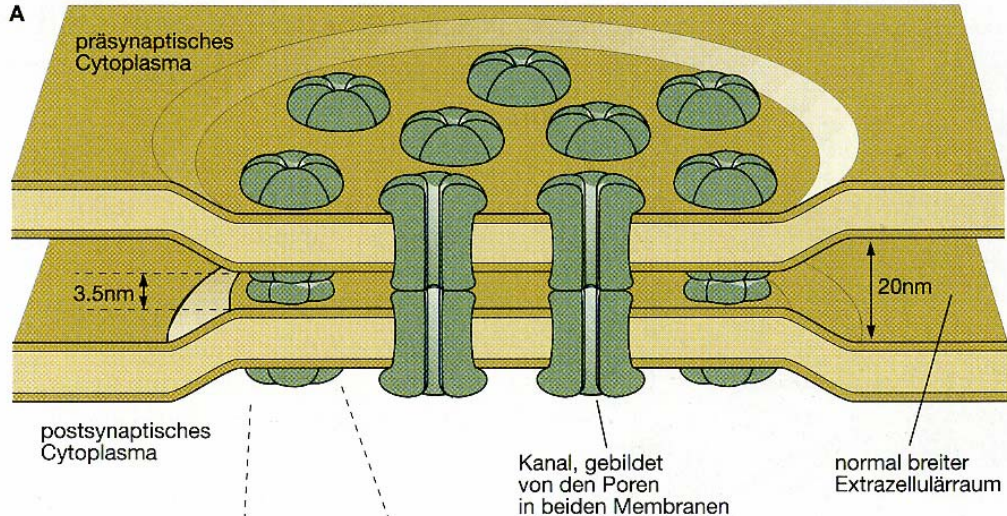
## Nichtgleichrichtende Synapse



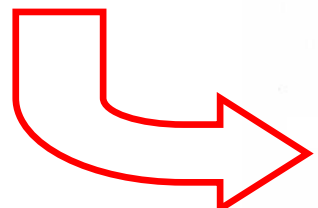
## Gleichrichtende Synapse



# Elektrische Synapsen sind regulierbar

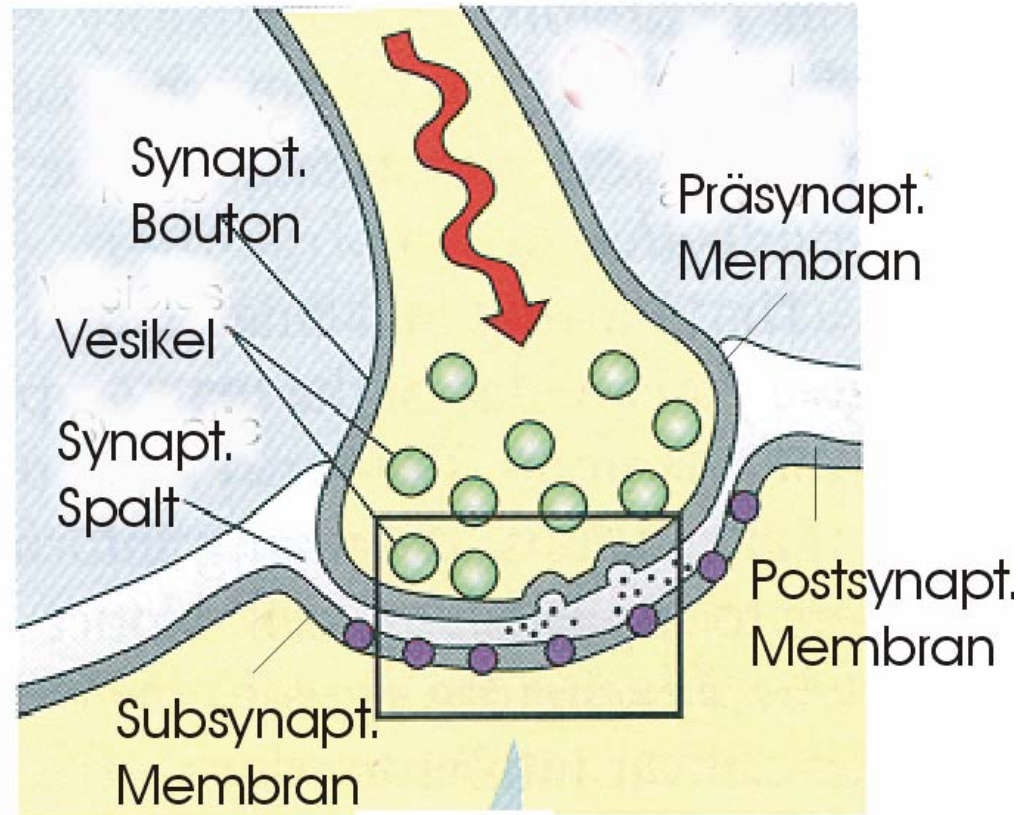
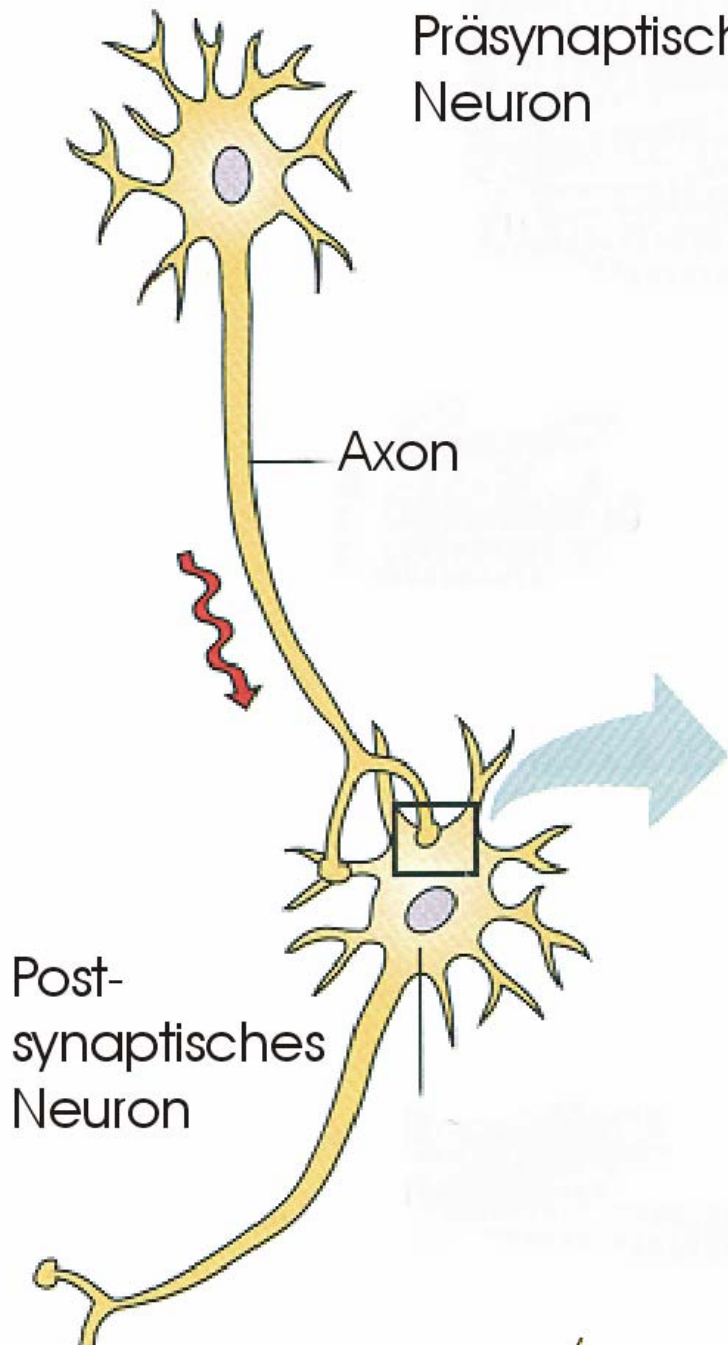


pH-Wert  
[Ca<sup>2+</sup>]  
Membranspannung

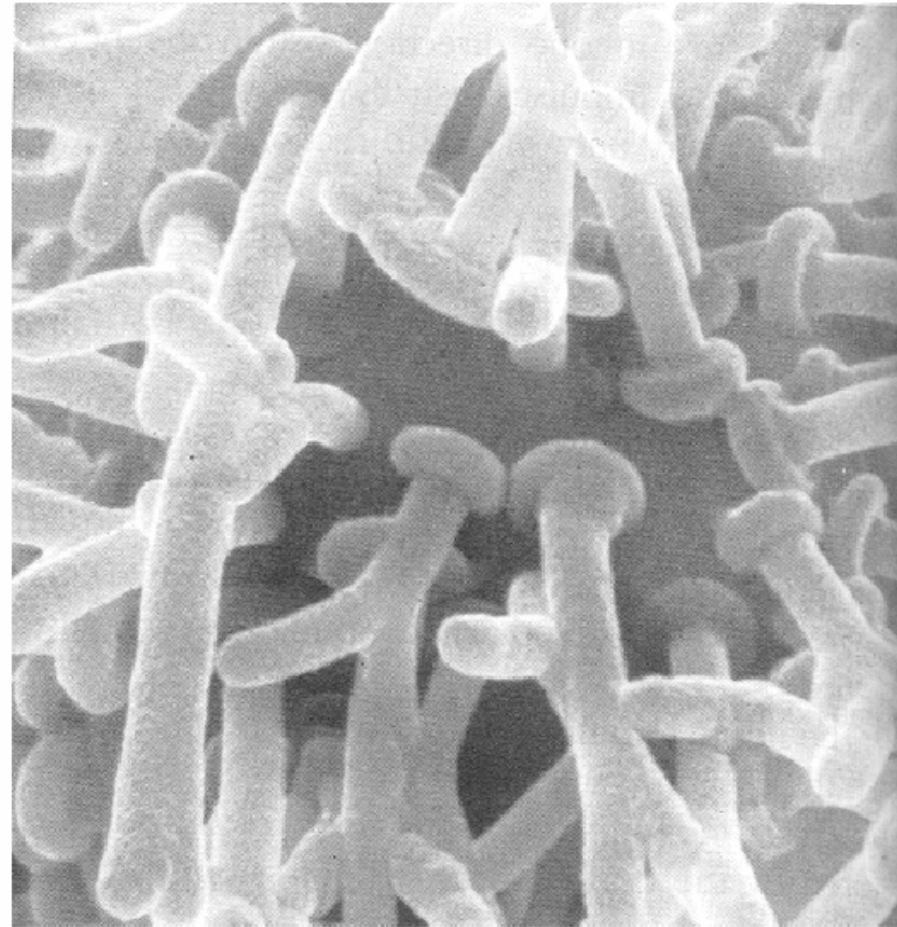
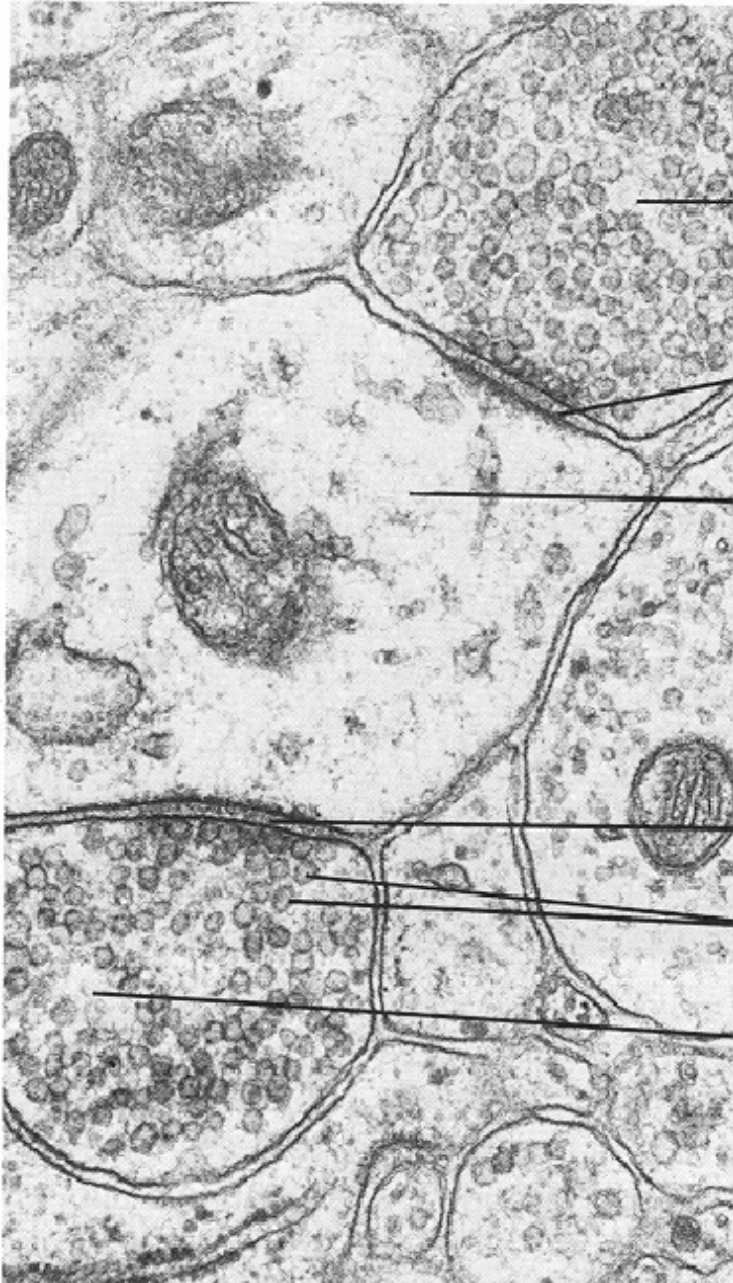


# Chemische Synapse

Präsynaptisches Neuron



# Ultrastruktur von Synapsen



Raster-EM

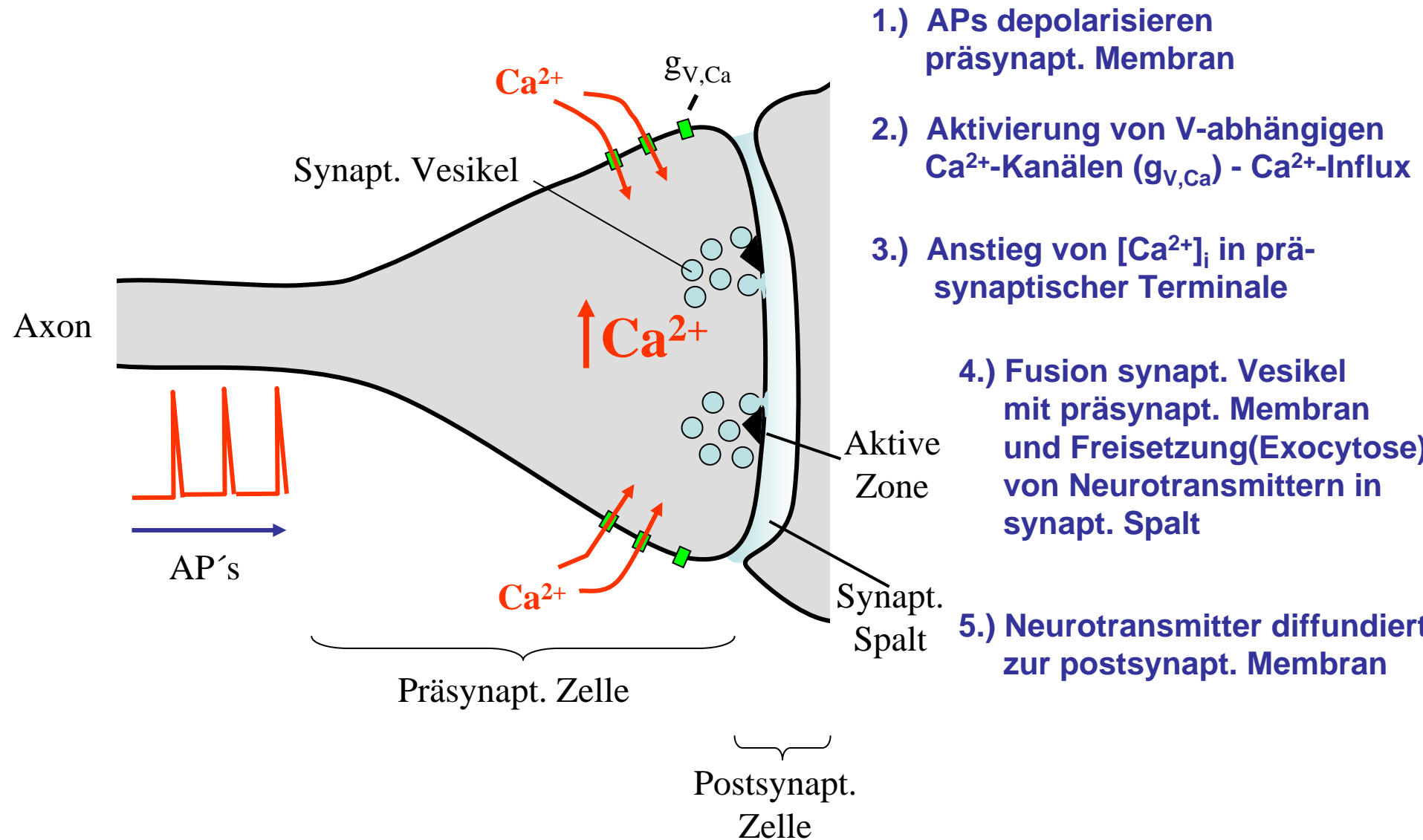
Transmissions EM



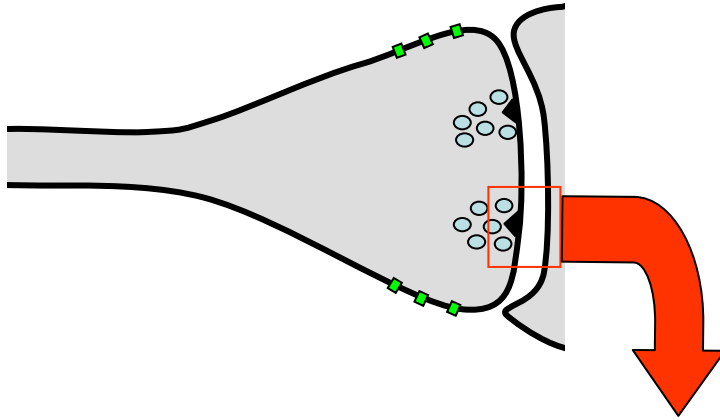
# Unterschiedliche Eigenschaften elektrischer und chemischer Synapsen

<i>Synapsentyp</i>	<i>Entfernung zwischen prä- und postsynaptischer Zellmembran</i>	<i>cytoplasmatische Kontinuität zwischen prä- und postsynaptischer Zelle</i>	<i>ultra-strukturelle Komponente</i>	<i>Übertragung durch</i>	<i>synaptische Verzögerung</i>	<i>Übertragungsrichtung</i>
elektrisch	3,5 nm	ja	Gap Junctions	Ionenstrom	praktisch verzögerungsfrei	gewöhnlich in beide Richtungen
chemisch	20–40 nm	nein	präsynaptische Vesikel und aktive Zone; postsynaptische Rezeptoren	chemische Transmitter	signifikant; mindestens 0,3 ms, gewöhnlich 1–5 ms oder mehr	nur in eine Richtung

# Abfolge von Ereignissen an der Präsynapse

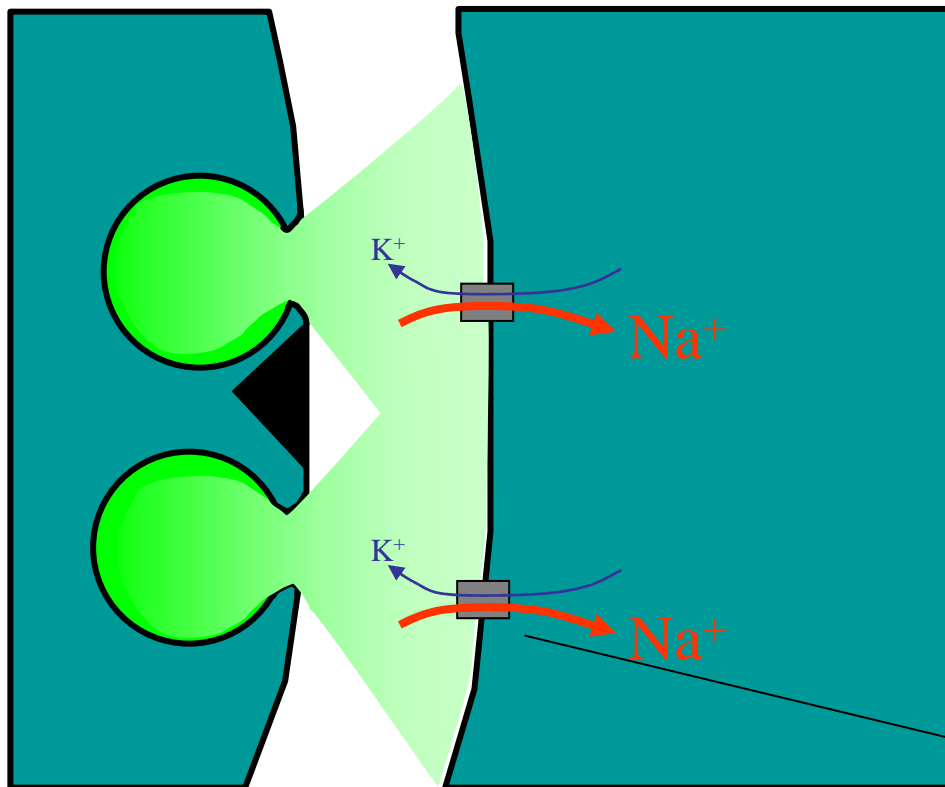


# Abfolge von Ereignissen an der Postsynapse



1.) Neurotransmitter diffundiert zur postsynaptischen Membran

2.) Transmitter bindet an Rezeptor-Ionenkanal  
→ Kanal öffnet sich



3.) Na<sup>+</sup>- einwärts Strom (stark)  
K<sup>+</sup>- auswärts Strom (schwach)

4.) Depolarisation der postsynaptischen Membran  
(EPSP = excitatory postsynaptic Potential)

5.) Aktivierung der Spannungsabhängigen Na<sup>+</sup>- Kanäle  
→ APs

Neurotransmitter-Rezeptor  
Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-channel

prä

post

# Abfolge von Ereignissen an einer erregenden Synapse

1. Depolarisation der präsynaptischen Membran (z.B. durch APs)
2. **V-abhängige Ca<sup>2+</sup>** Kanäle öffnen sich
3. Ca<sup>2+</sup> strömt in die präsynapt. Axonterminale → [Ca<sup>2+</sup>]<sub>i</sub> steigt an
4. Ca<sup>2+</sup> ermöglicht Fusionierung der Vesikel mit präsynaptischer Membran
5. Neurotransmitter wird in den synaptischen Spalt freigesetzt
6. Transmitter bindet an postsynaptischen **Rezeptor-Ionenkanal**  
→ Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-Kanal öffnet sich
7. Na<sup>+</sup> - einwärts Strom (stark), K<sup>+</sup> - auswärts Strom (schwach)
8. Depolarisation der postsynaptischen Membran  
(**EPSP** = excitatory postsynaptic Potential)
9. EPSP kann nun AP in der postsynaptischen Zelle auslösen