

# Vorlesung Neurobiologie SS10

<b>1</b>	<b>Das Neuron, Invertebraten NS</b>	<b>Ko</b>	<b>13.4</b>	<b>10h</b>
<b>2</b>	<b>Vertebraten NS</b>	<b>Ko</b>	<b>16.4</b>	<b>8h</b>
<b>3</b>	<b>Membranpotential, Aktionspotential, Erregungsleitung</b>	<b>Ko</b>	<b>20.4</b>	<b>10h</b>
<b>4</b>	<b>Sehen 1: Optik, Transduktion</b>	<b>Ko</b>	<b>23.4</b>	<b>8h</b>
<b>5</b>	<b>Sehen 2: Farbsehen, Retina, Sehbahn</b>	<b>Ko</b>	<b>27.4</b>	<b>10h</b>
<b>6</b>	<b>Hören</b>	<b>Ga</b>	<b>30.5</b>	<b>8h</b>
<b>7</b>	<b>Synapsen 1</b>	<b>Gr</b>	<b>4.5</b>	<b>10h</b>
<b>8</b>	<b>Synapsen 2</b>	<b>Gr</b>	<b>7.5</b>	<b>8h</b>
<b>9</b>	<b>Lernen, Gedächtniss, Verhalten</b>	<b>Gr</b>	<b>11.5</b>	<b>10h</b>
<b>10</b>	<b>Riechen und Schmecken</b>	<b>Gr</b>	<b>14.5</b>	<b>8h</b>
<b>11</b>	<b>Muskel, Motorik</b>	<b>Ga</b>	<b>18.5</b>	<b>10h</b>
<b>12</b>	<b>Verhaltensökologie</b>	<b>Ga</b>	<b>21.5</b>	<b>8h</b>

Dozenten: Ko: Kössl Gr: Grünewald Ga: Gaese

Klausur

26.5.10 10.00h

## **Lehrbücher einführend:**

Eckert – Tierphysiologie, Thieme (2000)

Reichert – Neurobiologie, Thieme (2000)

## **Lehrbücher umfassend:**

Dudel, Menzel, Schmidt – Neurowissenschaft: vom Molekül zur Kognition,  
Springer (2001)

Heldmaier, Neuweiler – Vergleichende Tierphysiologie:  
Neuro- und Sinnesphysiologie, Springer (2003)

Kandel, Schwartz, Jessell – Principles of Neural Science, McCraw-Hill  
(2000, neue Auflage: 2010)

Squire et al. – Fundamental Neuroscience, Academic Press (2008)

# Nervensysteme

## Gehirn



Das älteste geschriebene Wort für Gehirn  
(Edwin Smith surgical papyrus 17. Jahrhundert vor Christus)

# Woraus bestehen Nervensysteme ?

→ **Neurone und Gliazellen**

## Funktion dieser beiden Zelltypen ?

**Neurone:** schnelle bioelektrische Informationsverarbeitung

→ hierfür **Aktionspotentiale** als binäre Informationseinheit

→ **Synapsen** für Zellkontakt, gewichtete Informationsweitergabe,  
Speicherung

**Gliazellen:**

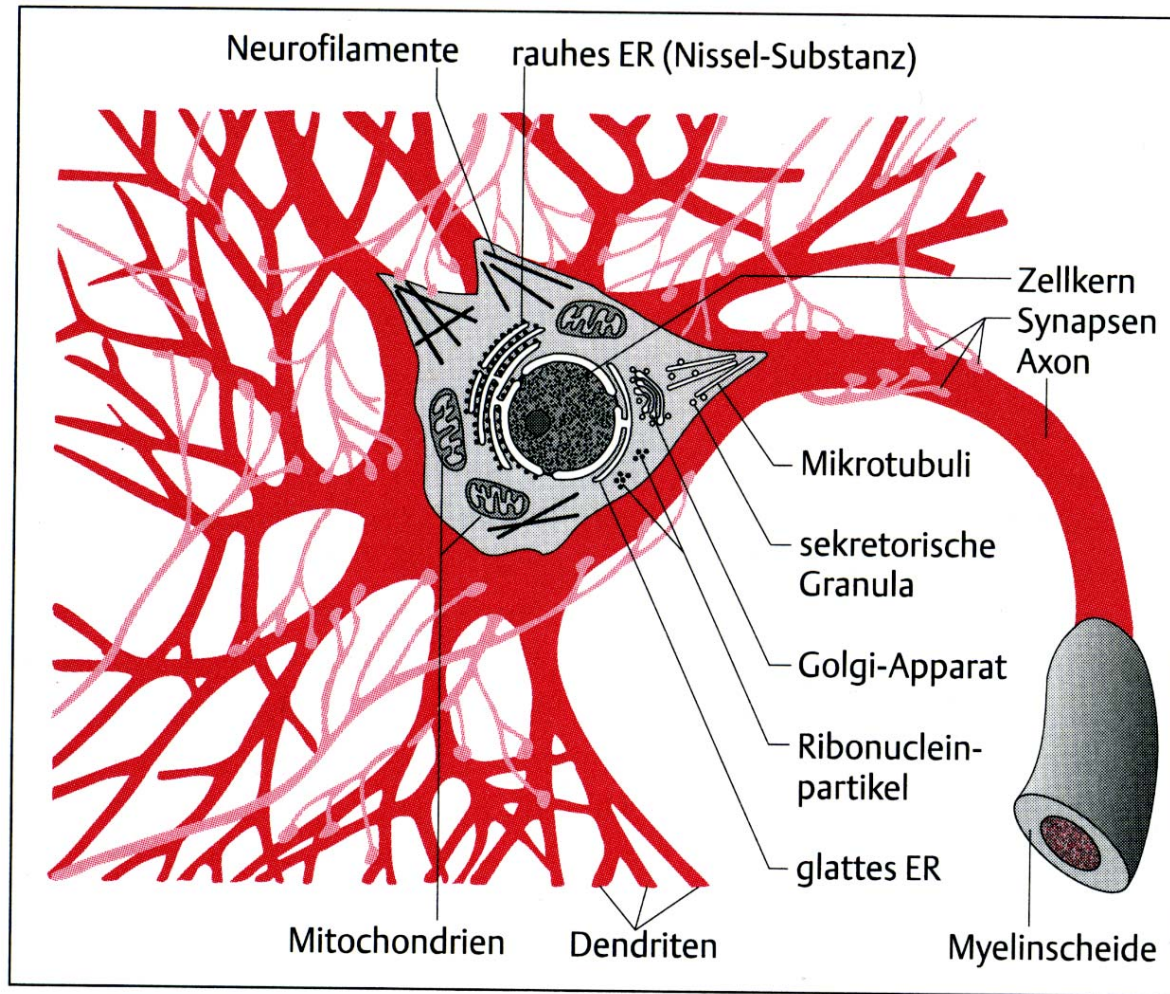
→ elektrische Isolierung der Neurone

→ Ionenpuffer, Nährstoffversorgung für Neurone

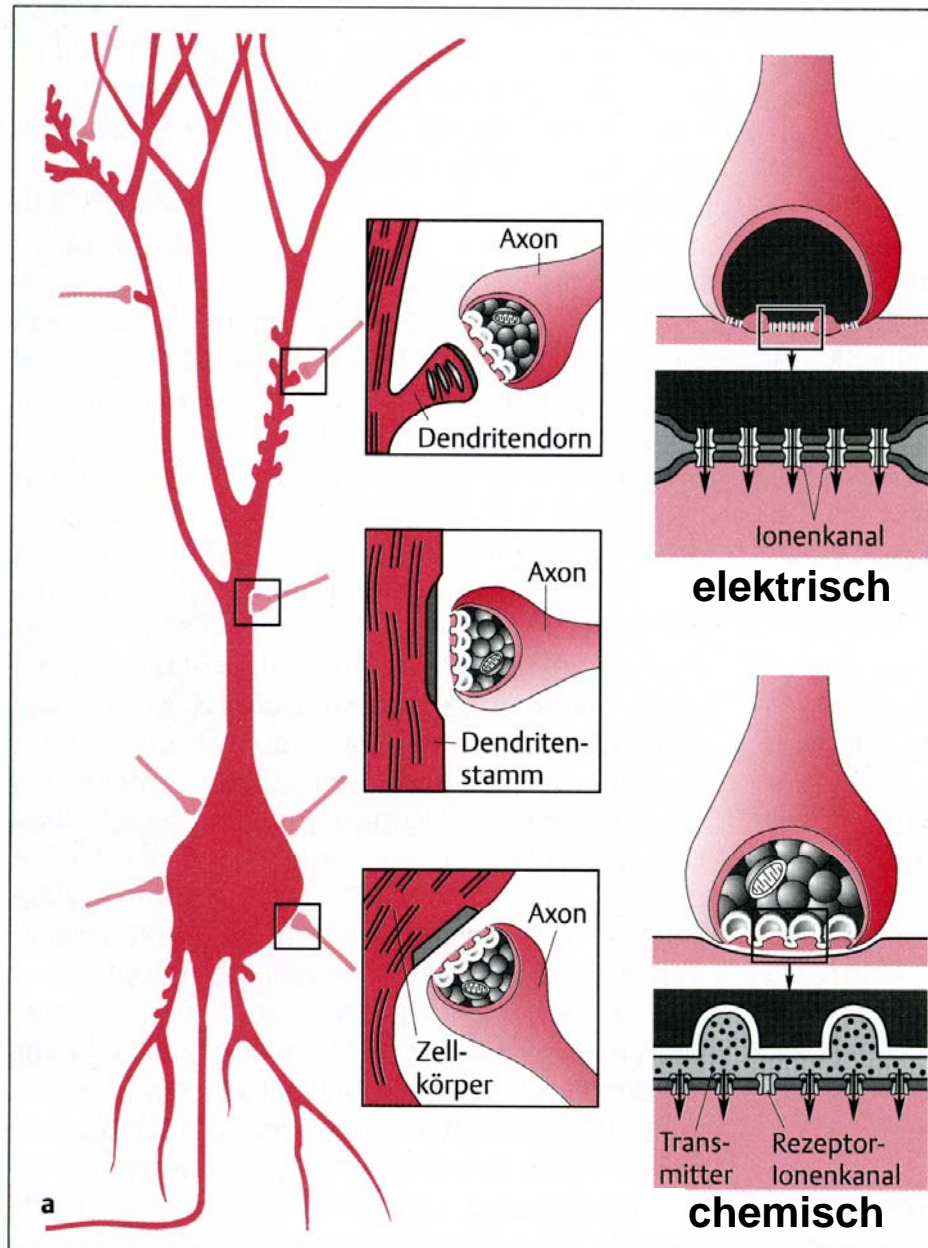
→ langsame Informationsweiterleitung

# **Anatomie von Neuronen**

# Aufbau eines Neurons



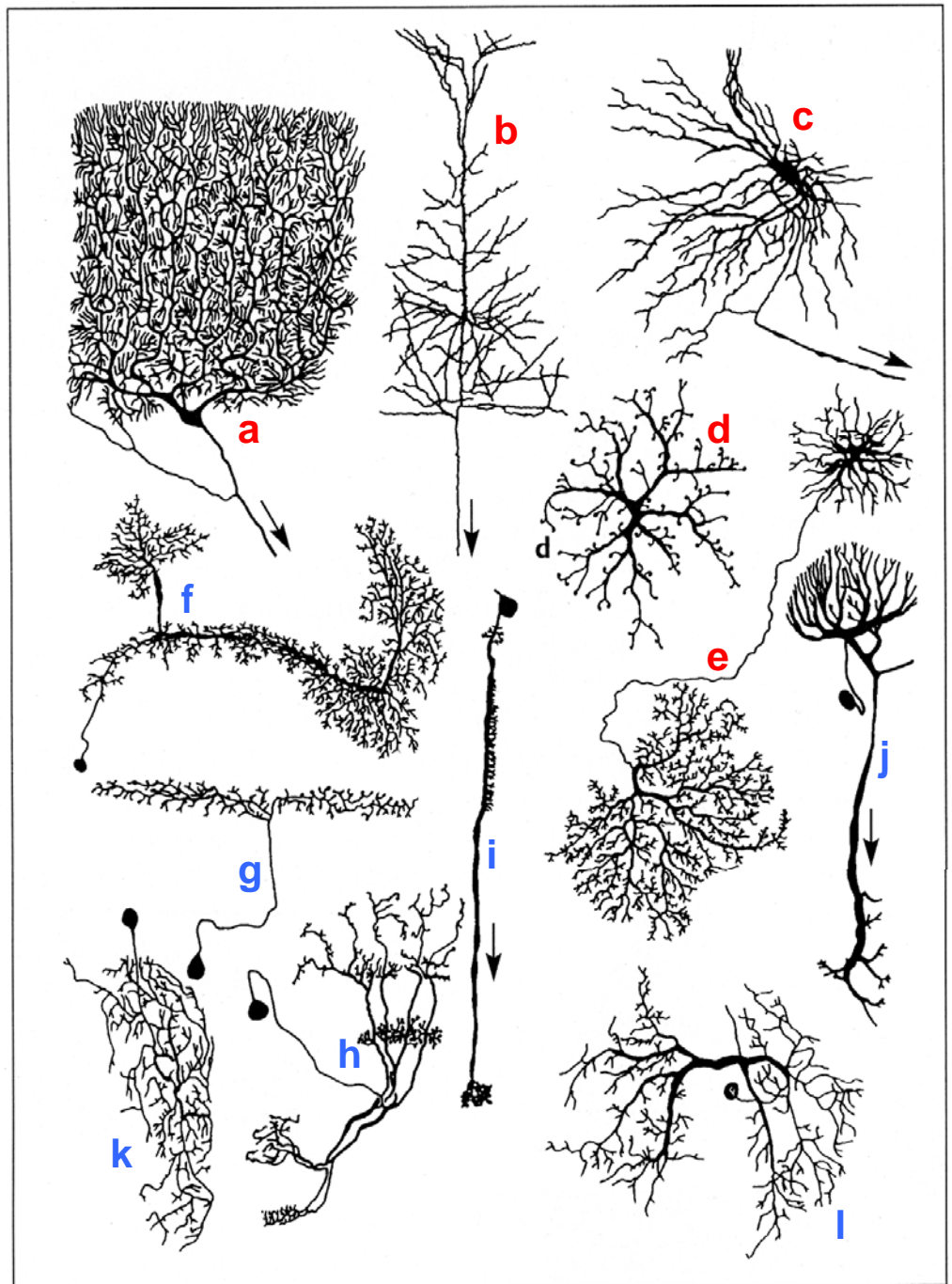
# Synapsentypen



# Nervenzelltypen

- a Purkinjezelle (Mensch)
- b Pyramidalzelle (Hase)
- c Motoneuron (Katze)
- d Horizontalzelle (Katze)
- e Horizontalzelle (Katze)
- f Prämotorneuron (Heuschrecke)
- g visuelle Amakrinzelle (Fliege)
- h Multipolarzelle (Fliege)
- i visuelles Monopolarneuron (Fliege)
- j visuelles Interneuron (Heuschrecke)
- k Prämotorneuron (Flußkrebs)
- l mechanosensorisches Interneuron (Flußkrebs)

Spinalganglion-  
zelle

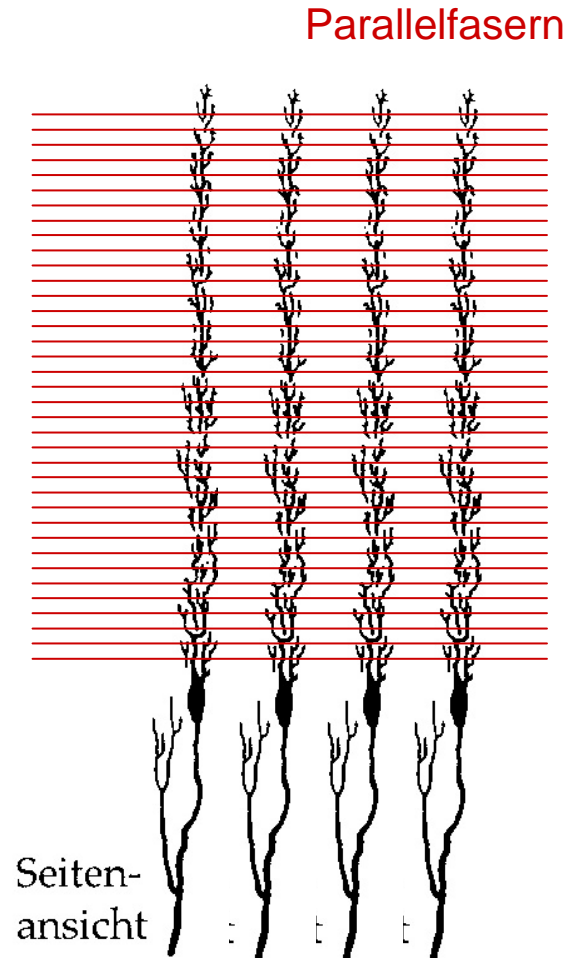
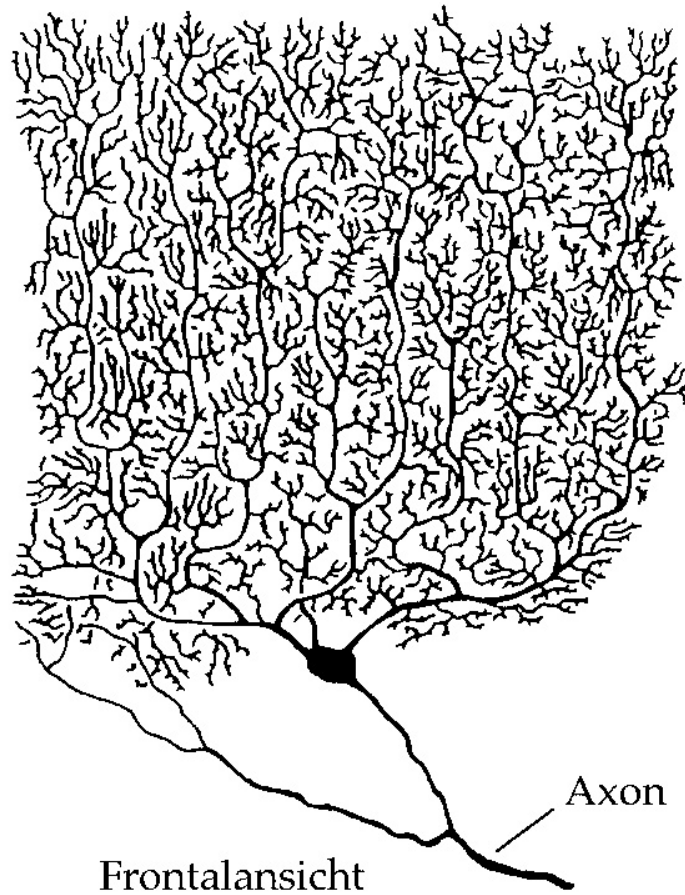




## Cortikales Neuron mit Spines (Dornen)



# Purkinjezelle im Kleinhirn



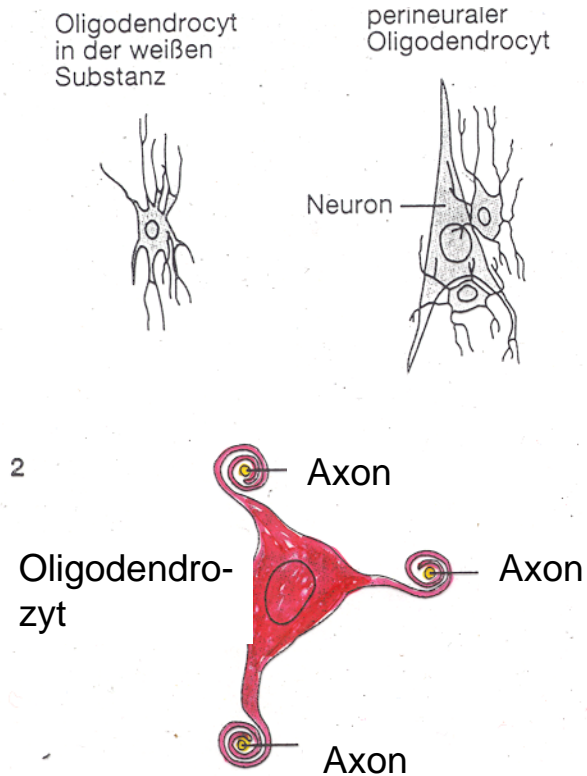
# Zusammenfassung: **Anatomie von Neuronen**

- **Soma** mit Zellkern, Mitochondrien, Golgiapparat, Ribosomen, *Neurofilamenten, rauhes ER (Nisselsubstanz)*
- **Dendrit**, z.T. sehr stark verzweigt, mit postsynaptischem Anteil zur Informationsaufnahme von vorgeschaltetem Neuron oder Rezeptor
- **Axon**, z.T. verzweigt, mit präsynaptischem Anteil zur Informationsweitergabe an nachgeschaltetem Neuron oder an Muskel
- **Synapse**, bestehend aus prä- und postsynaptischen Anteil
  - axo-dendritisch axo-somatisch axo-axonal
- **Unterscheidung** möglich nach:
  - peripher – zentral;
  - sensorisches – motorisches Neuron – Interneuron;
  - unipolares – bipolares - multipolares Neuron;

# **Anatomie von Gliazellen**

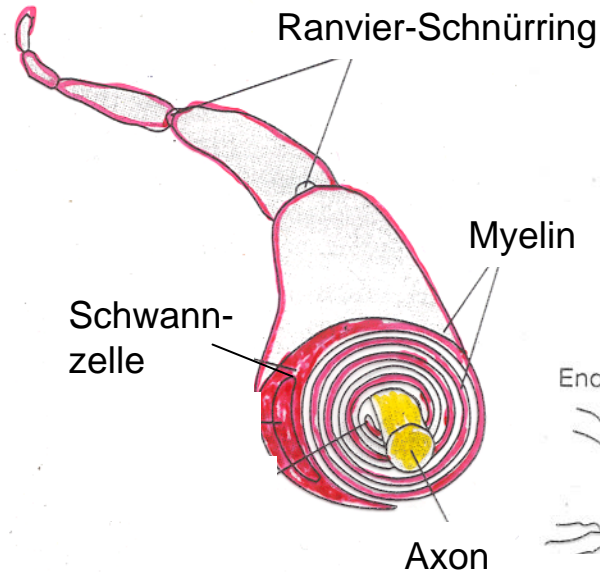
# Gliazellen

## Oligodendrozyten



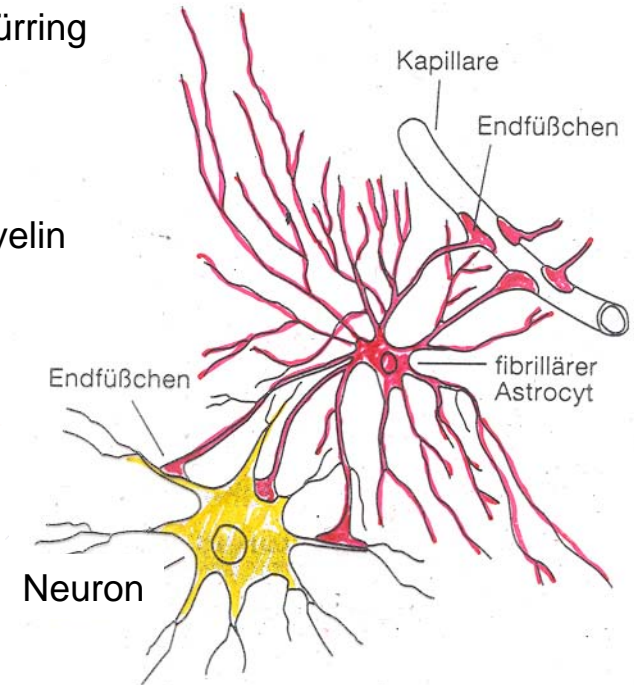
Bildung Myelinscheide  
Im Zentralnervensystem

## Schwannsche Zelle



Bildung Myelinscheide  
im peripheren Nervensystem

## Astrozyt



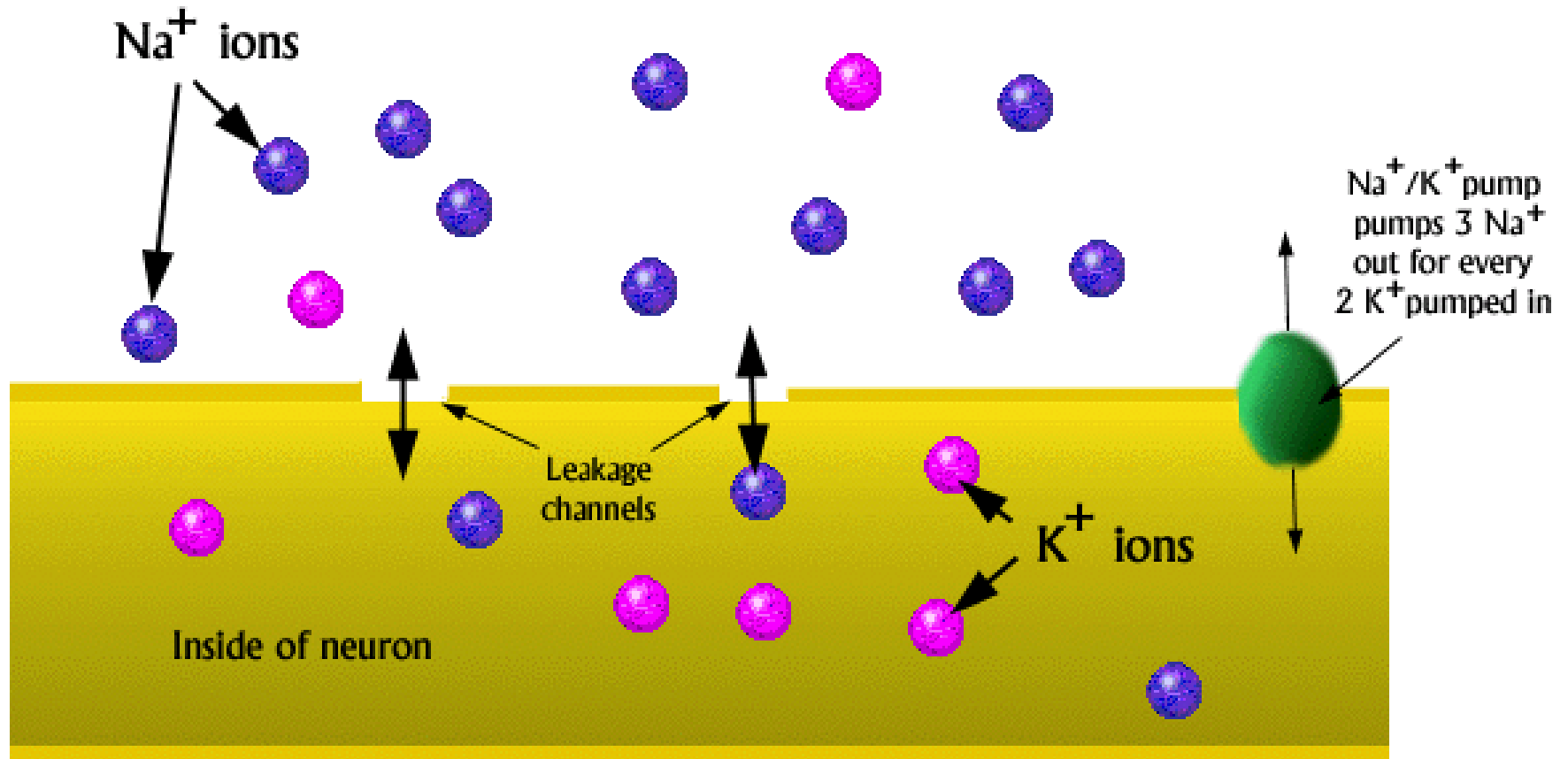
Ernährung, Konstant-  
haltung des extra-  
zellulären Milieus

# Membranpotential

# Ionenverteilung innerhalb und außerhalb der Zelle

<i>Ion</i>	<i>Concentration (mM)</i>	
	<i>Intracellular</i>	<i>Extracellular</i>
<b>Squid neuron</b>		
Potassium (K <sup>+</sup> )	400	20
Sodium (Na <sup>+</sup> )	50	440
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	40-150	560
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	0.0001	10
<b>Mammalian neuron</b>		
Potassium (K <sup>+</sup> )	140	5
Sodium (Na <sup>+</sup> )	5-15	145
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	4-30	110
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	0.0001	1-2

# Ionenverteilung innerhalb und außerhalb der Zelle



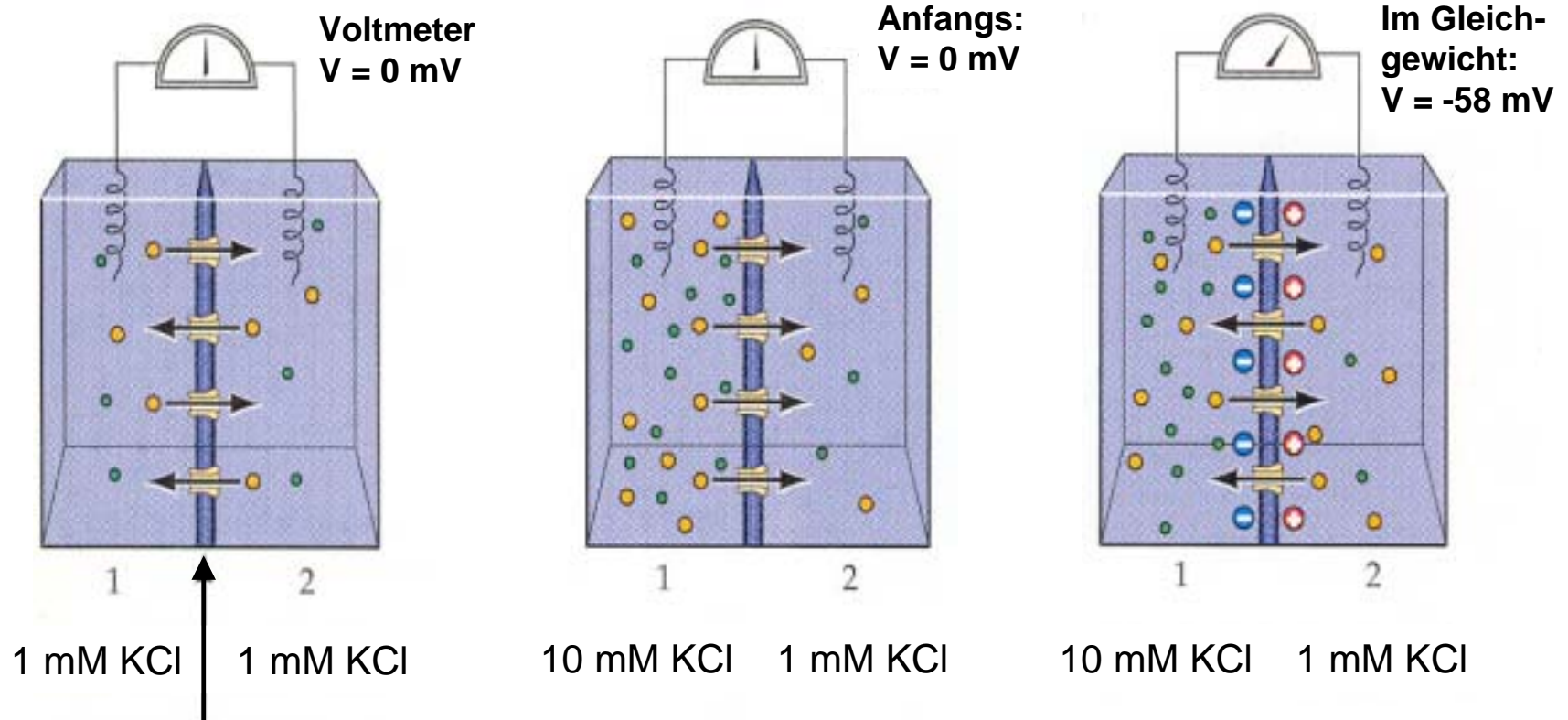


# Elektrochemisches Gleichgewicht

$K^+$  permeable Membran trennt zwei Behälter  $\rightarrow$  wechselseitige  $K^+$  Diffusion über die  $K^+$ -Kanäle

$K^+$  Konzentrationsgradient  $\rightarrow$  einseitiger  $K^+$  Fluss, Aufladung der Membran

Bis chemische und elektrische Kraft im Gleichgewicht sind  $\rightarrow$  **Gleichgewichtspotential**



Membran  
permeabel  
für  $K^+$

## Nernst - Gleichung

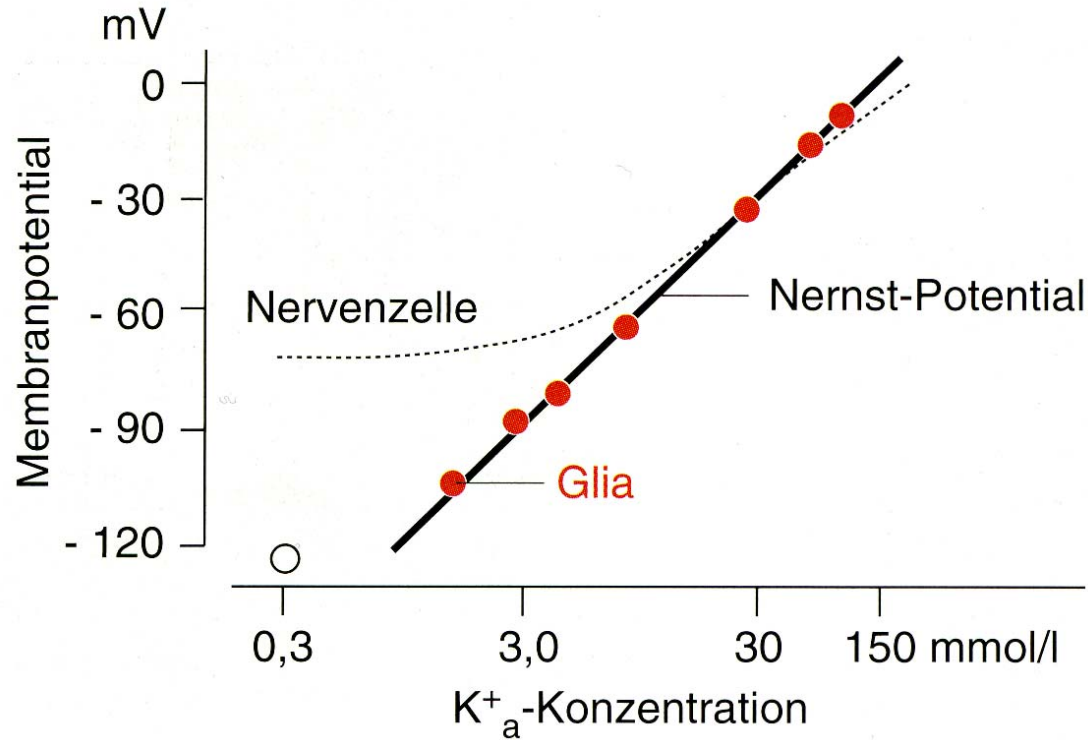
$$E_K = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_a}{[K^+]_i}$$

$$E_A = \frac{58}{z} \log \frac{[A]_a}{[A]_i}$$

$E_K$	elektrisches Gleichgewichtspotential für Kalium
R	allgemeine Gaskonstante
T	Temperatur in °Kelvin
F	Faradaykonstante
z	Valenz des Ions (= +1 für K <sup>+</sup> )
ln	natürlicher Logarithmus
$[ ]_{a/i}$	Konzentration innen/aussen

$E_A$	elektrisches Gleichgewichtspotential für Ion A
z	Valenz des Ions
log	10-Logarithmus
$[ ]_{a/i}$	Konzentration innen/aussen
	Gilt für 25°C

# Membranpotential in Abhängigkeit von $[K]_a$ bei Neuronen und Glia



## Goldmann - Gleichung

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_a + P_{Na} [Na^+]_a + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_a}$$

$V_m$	Membranpotential
R	allgemeine Gaskonstante
T	Temperatur in °Kelvin
F	Faradaykonstante
ln	natürlicher Logarithmus
$[ ]_{a/i}$	Konzentration innen/aussen

**P** Permeabilität, hängt von Zahl der Kanäle ab

Gleichung gilt nur für monovalente Ionen,  
Beachte: Cl<sup>-</sup> Konzentrationen sind invertiert (Valenz: -1)

## $V_m$ wird dominiert vom Ion mit der größten Membranpermeabilität

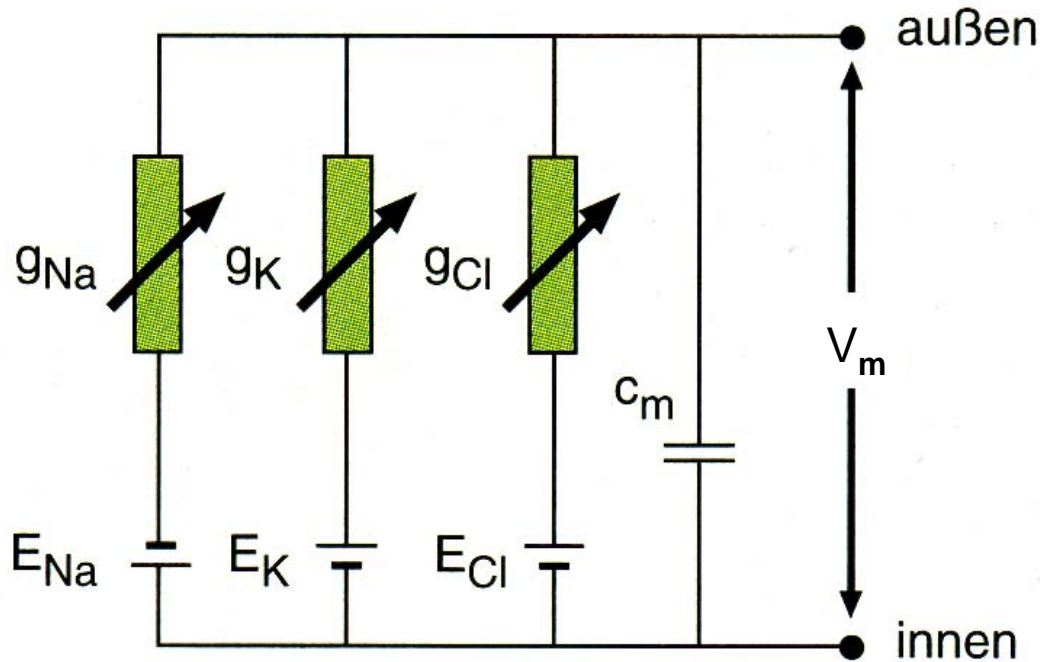
Normalzustand eines Neurons:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

Während eines Aktionspotentials:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$$

# Membran - Ersatzschaltbild



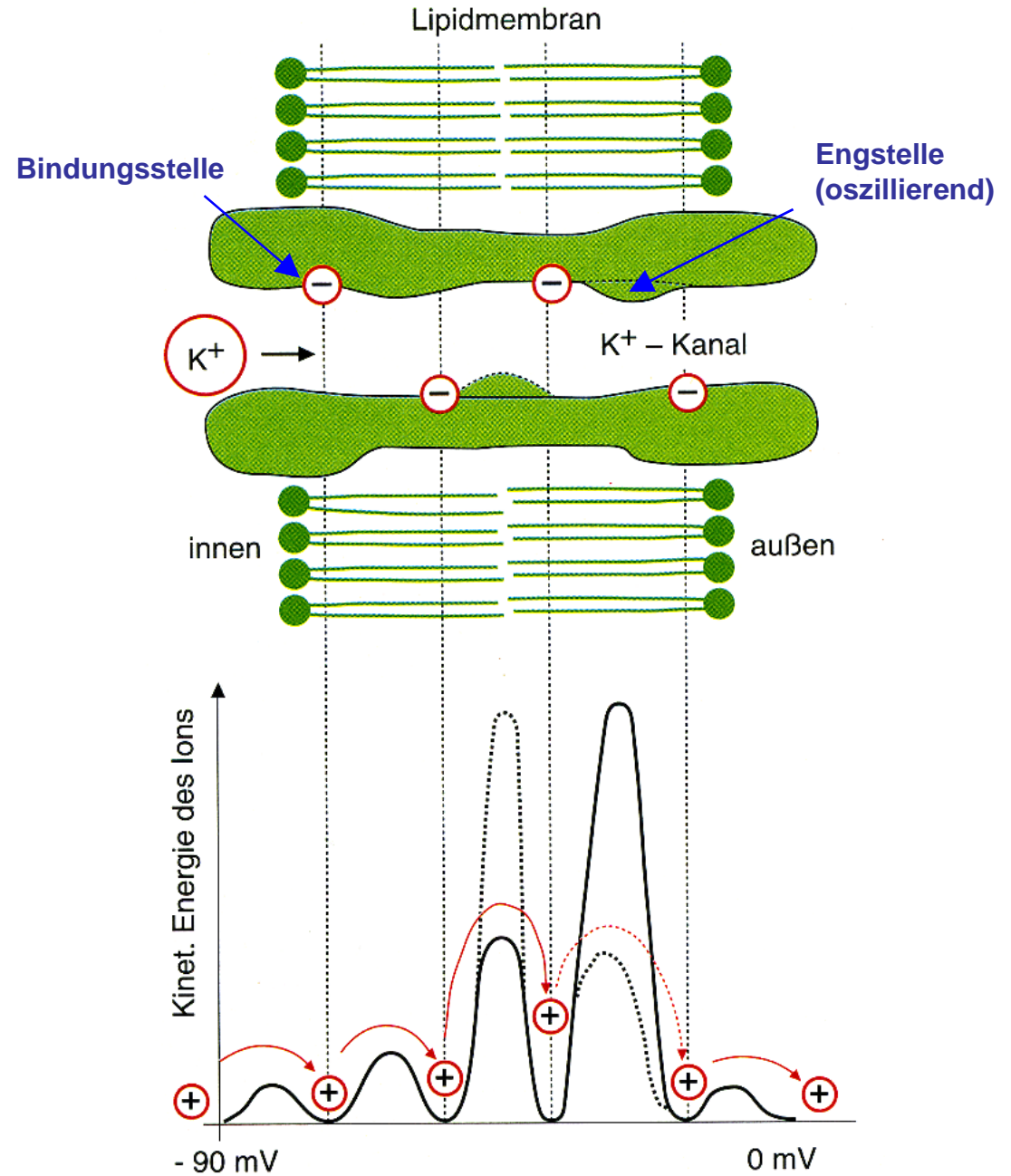
$V_m$  Membranpotential

$g_{Ion}$  Leitfähigkeit der Membran  
(proport. zu Permeabilität)

$E_{Ion}$  Gleichgewichtspotential

$C_m$  Membrankapazität

# Kaliumkanal



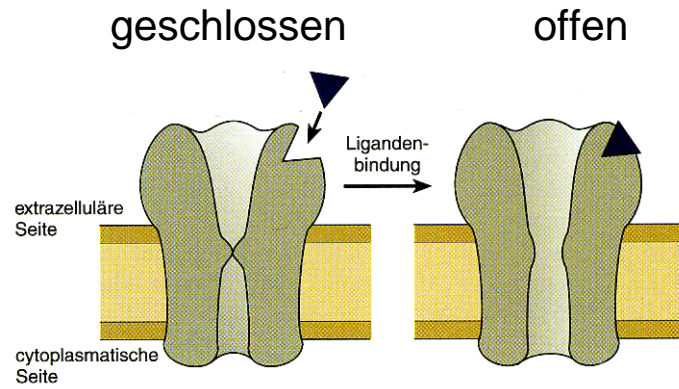
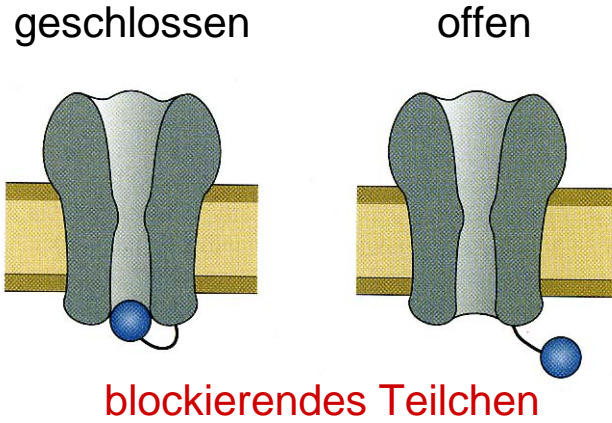
# Zusammenfassung: **Ruhemembranpotential**

- **Aktive Membranpumpe(Na/K-ATPase)** erzeugt unterschiedliche Konzentrationen für Natrium und Kalium im intra-/extrazellulären Raum
  - **Innen: viel Kalium wenig Natrium**
  - **Aussen wenig Kalium viel Natrium;**
- Membran ist im Ruhezustand hauptsächlich für Kalium permeabel
- Membranpotential entsteht aufgrund Wanderung von Kaliumionen nach aussen
- Es entsteht **elektrochemisches Gleichgewicht**. Wanderung der Kaliumionen stoppt, wenn chemischer Gradient durch elektrischen Gradienten kompensiert wird.
- **Nernst-Gleichung** beschreibt das entsprechende Potential (für einen Ionentyp)
- **Goldmann-Gleichung** beschreibt den Anteil unterschiedlicher Ionentypen am Membranpotential

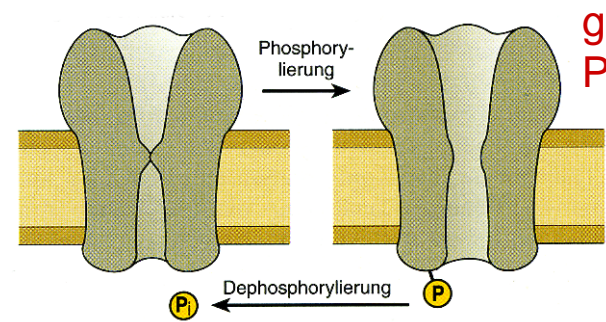


# **Steuerung von Membrankanälen**

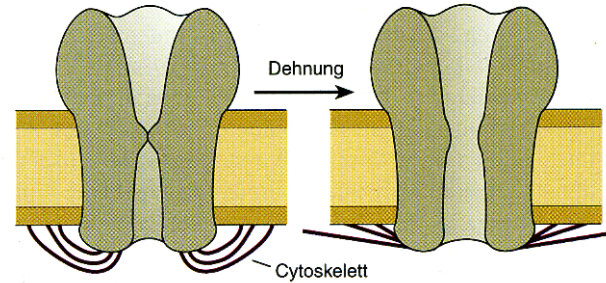
# Membrankanäle können geöffnet und geschlossen werden



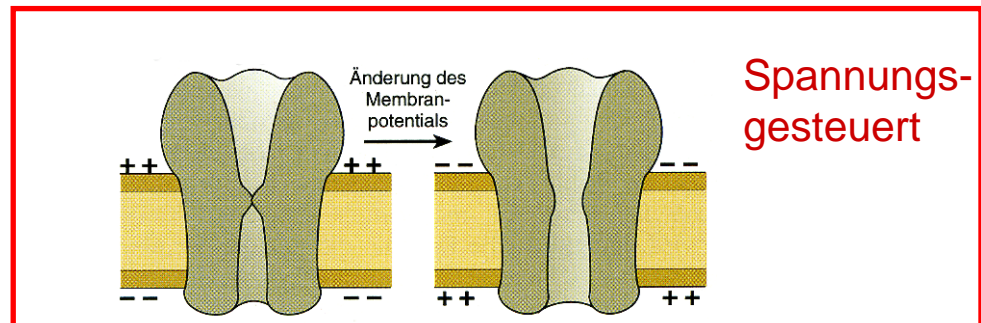
Liganden-  
gesteuert



gesteuert durch  
Phosphorylierung

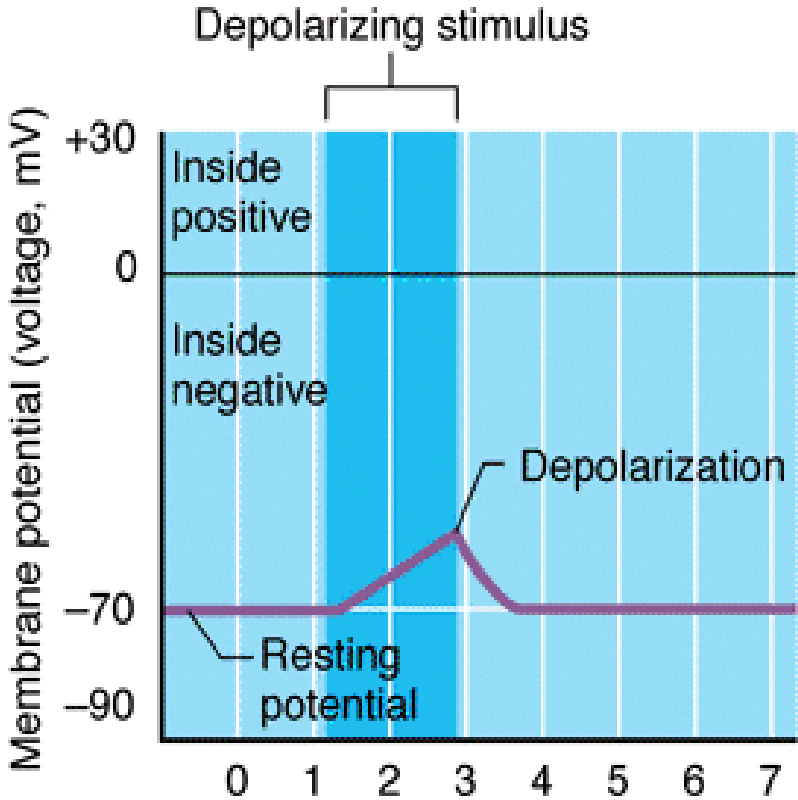


mechanisch  
gesteuert

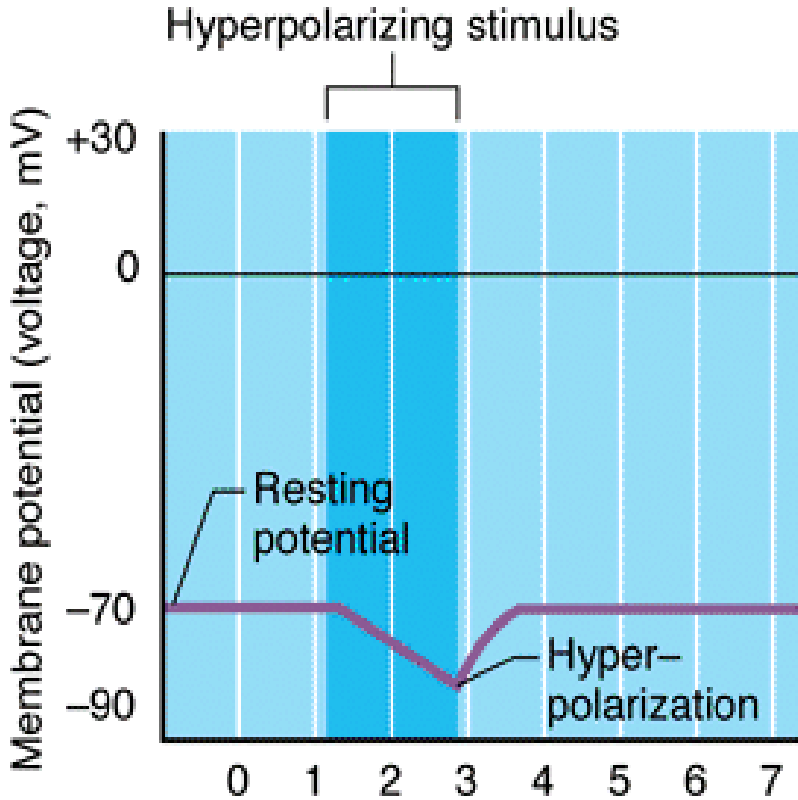


Spannungs-  
gesteuert

# Definition einer **Depolarisation** und einer **Hyperpolarisation**



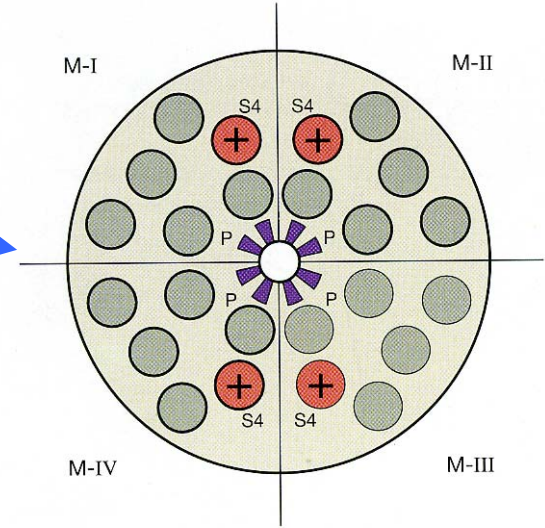
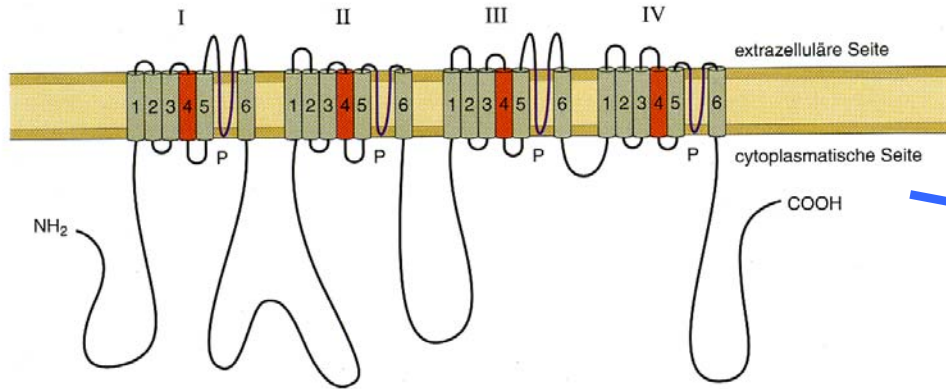
(a)



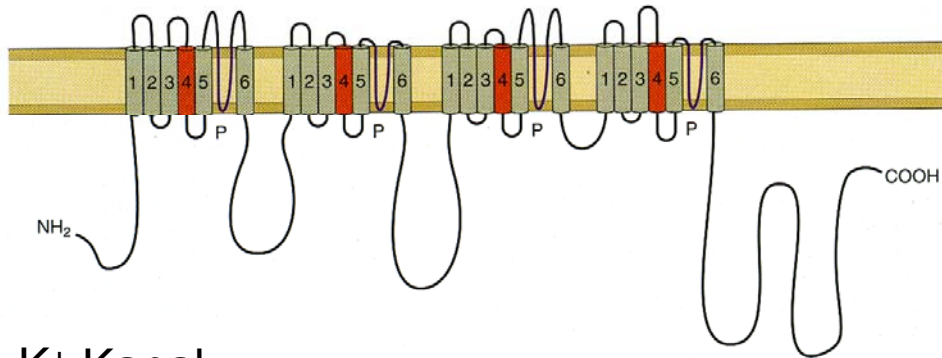
(b)

# Struktur von V-abhängigen Kanälen

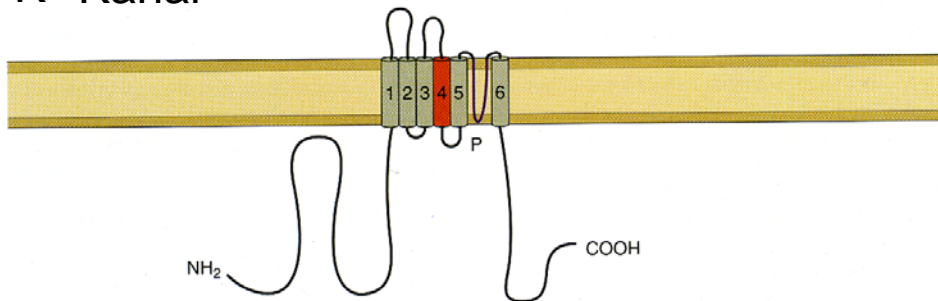
## Na<sup>+</sup> Kanal, $\alpha$ -UE



## Ca<sup>+</sup> Kanal



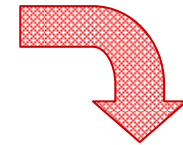
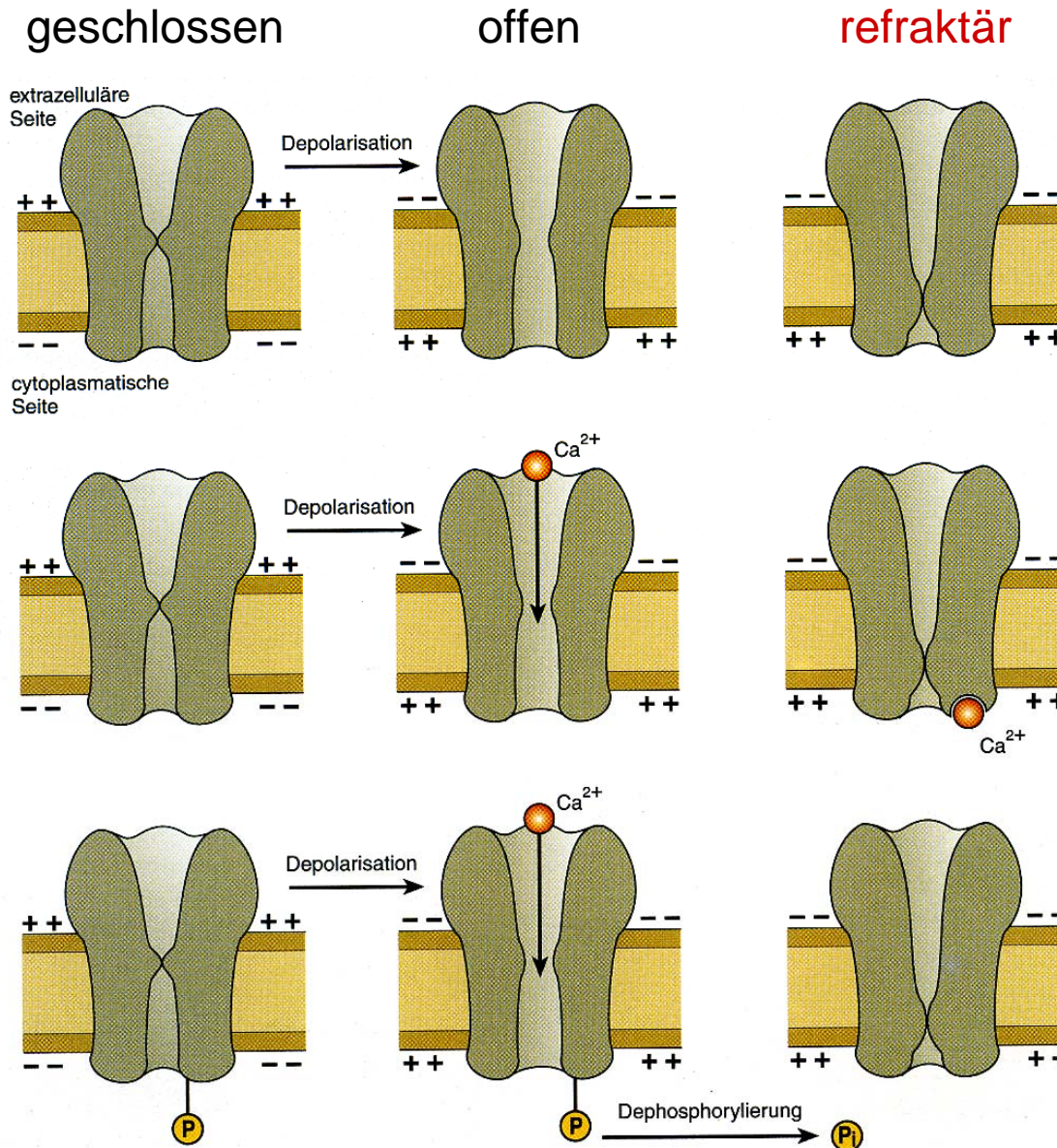
## K<sup>+</sup> Kanal



Motiv von sechs  $\alpha$ -helices  
als Transmembrankomponenten

In rot: Spannungssensor  
P-regionen bilden die Wand der Pore

# Refraktärphase V-abhängiger Kanäle



aufgrund von  
Änderung des  
Membranpotentials

$\text{Ca}^{2+}$  Bindung

Dephosphorylierung

# Zusammenfassung: **Steuerung von Membrankanälen**

- Öffnungszustand kann abhängen von:
  - Blockierende Teilchen
  - extrazelluläre Bindung spezifischer Liganden
  - intrazelluläre Modulation (z.B. Phosphorylierung)
  - mechanische Reizung
  - **Membranpotential → Depolarisation/Hyperpolarisation**
- Spannungsabhängige Kanäle sind meist nur kurz geöffnet und dann inaktiviert (**Refraktärphase**)