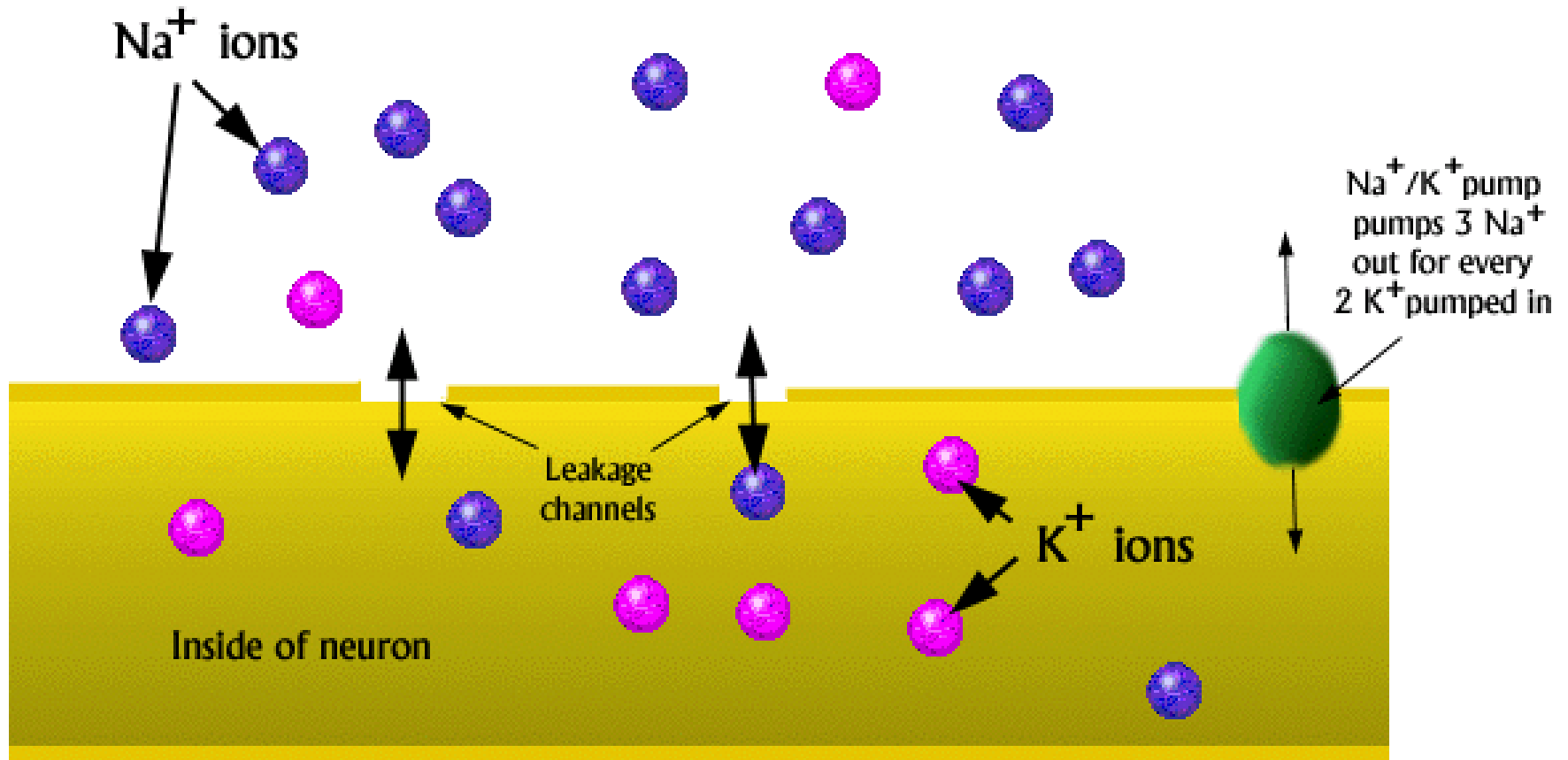


# Membranpotential

# 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

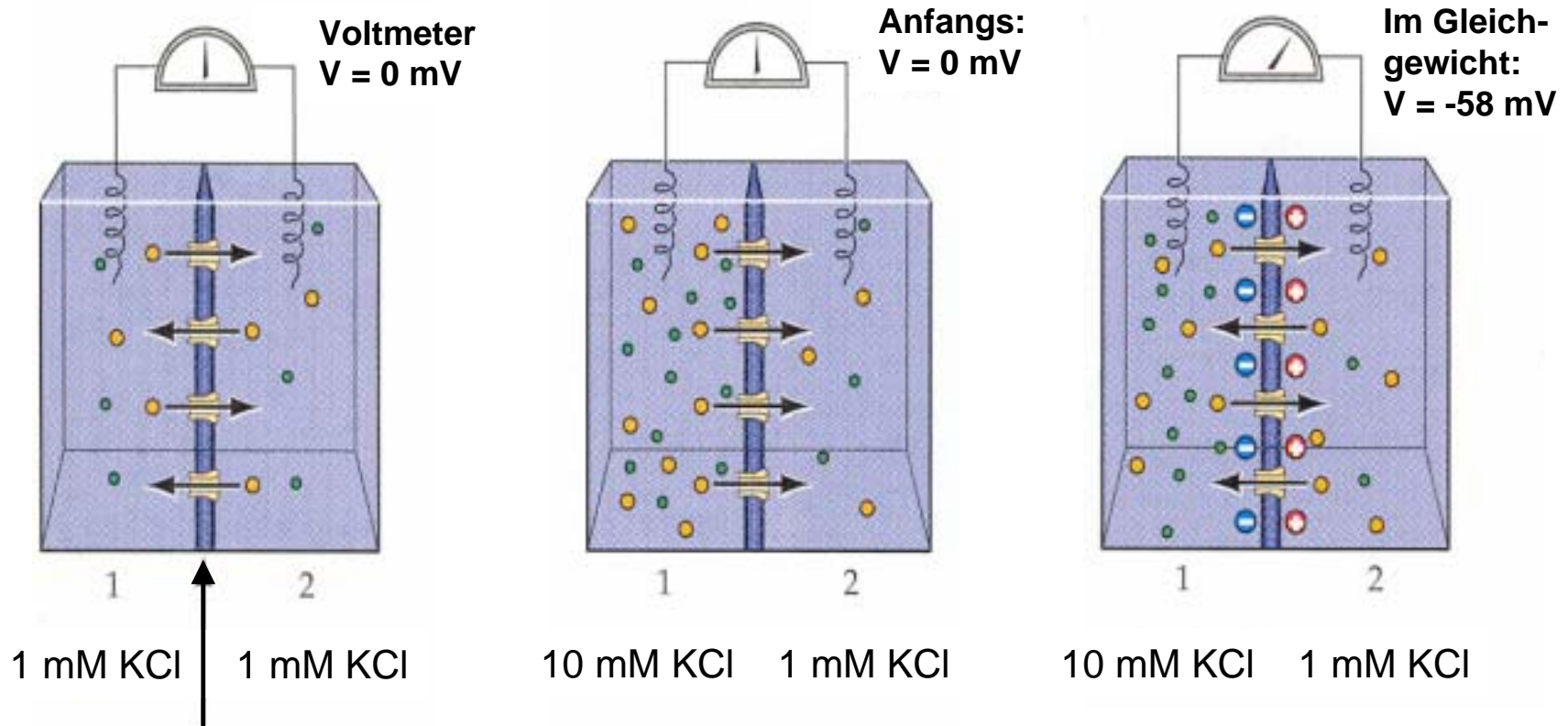


# Elektrochemisches Gleichgewicht

$K^+$  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

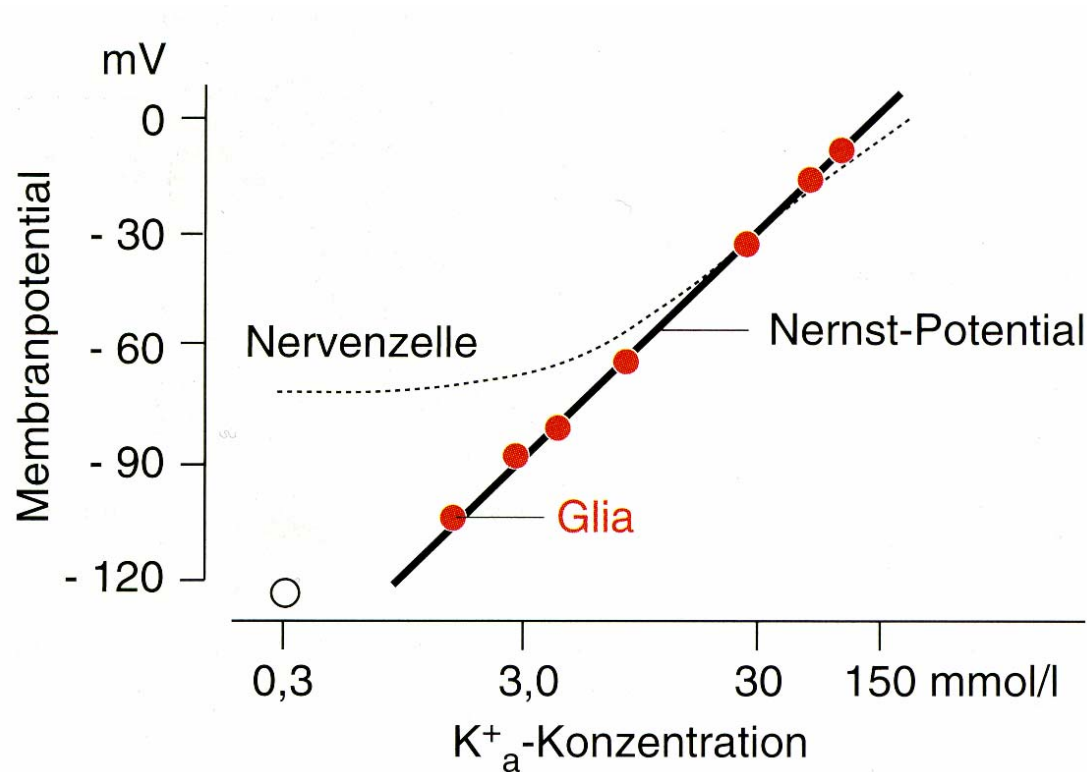
$$E_K = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_a}{[K^+]_i}$$

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

$E_K$	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:

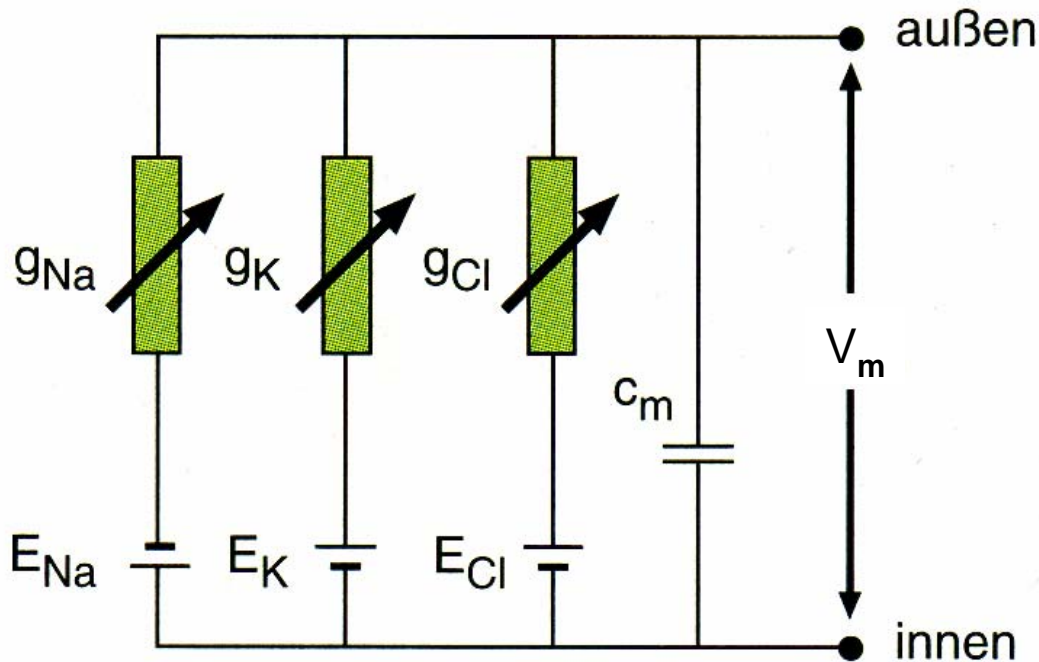
$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

Während eines Aktionspotentials:

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



# Membran - Ersatzschaltbild



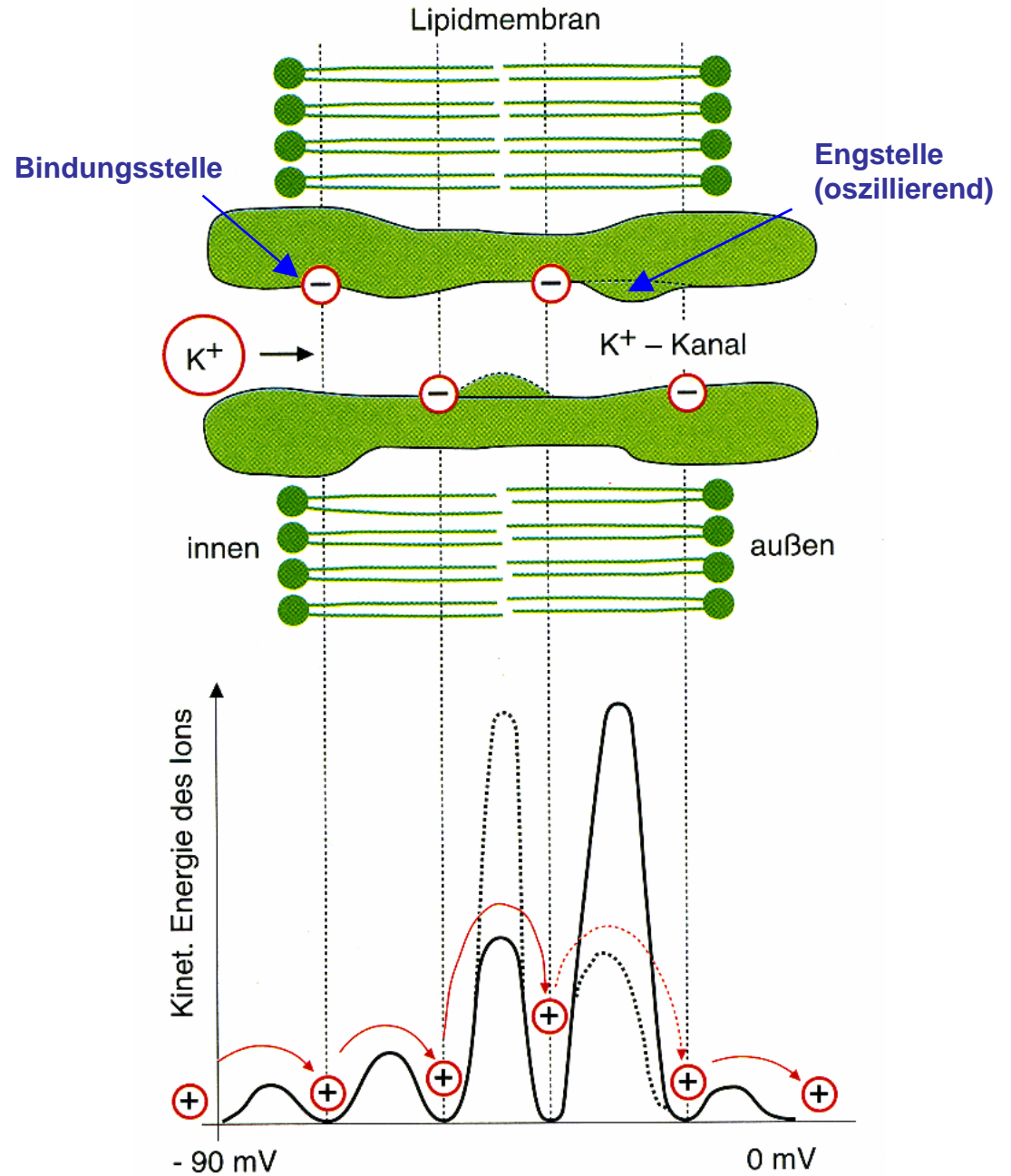
$V_m$  Membranpotential

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

$E_{Ion}$  Gleichgewichtspotential

$C_m$  Membrankapazität

# Kaliumkanal

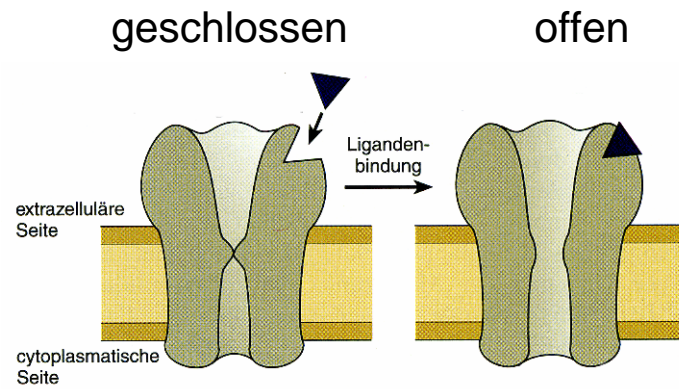


# Zusammenfassung: **Ruhemembranpotential**

- **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**

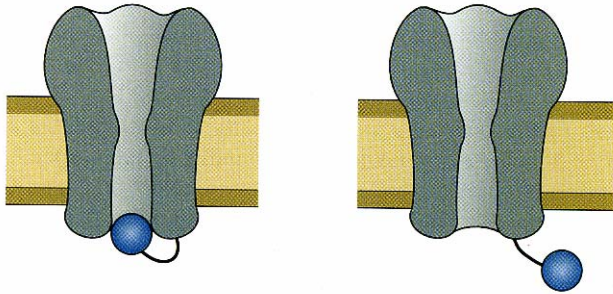
# Membrankanäle können geöffnet und geschlossen werden



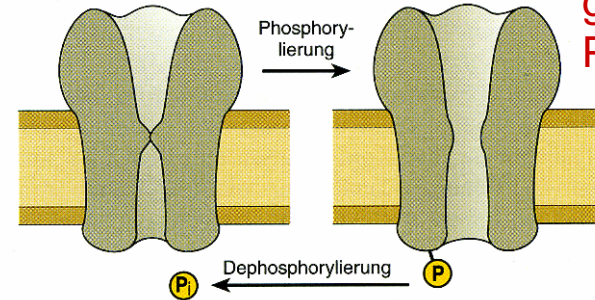
Liganden-  
gesteuert

geschlossen

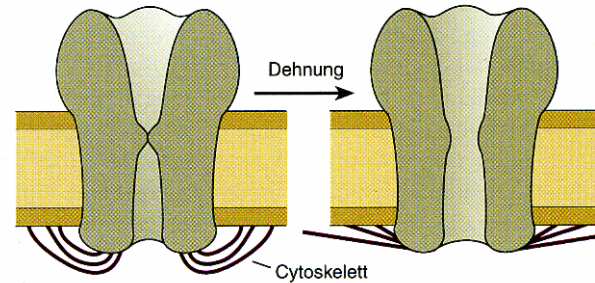
offen



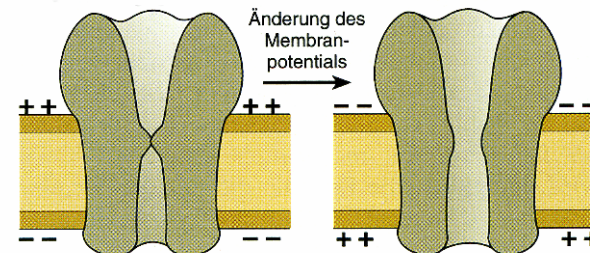
blockierendes Teilchen



gesteuert durch  
Phosphorylierung

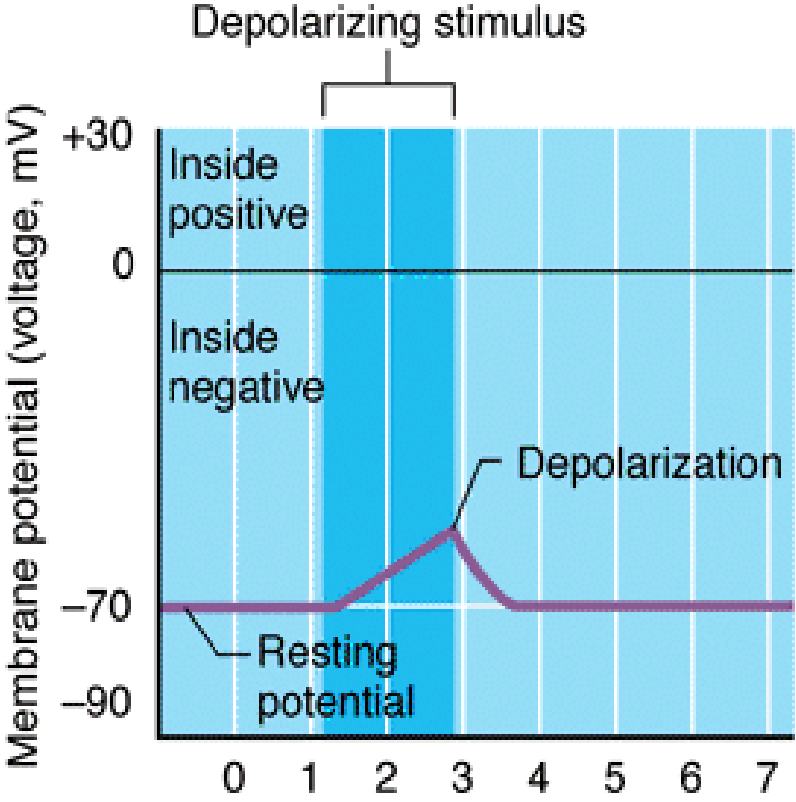


mechanisch  
gesteuert

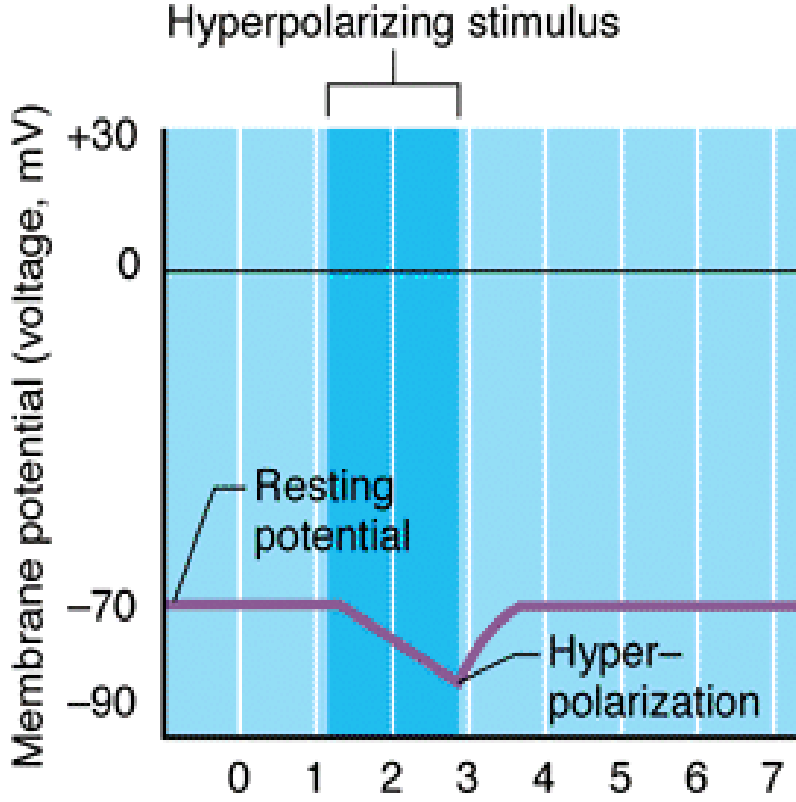


Spannungs-  
gesteuert

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



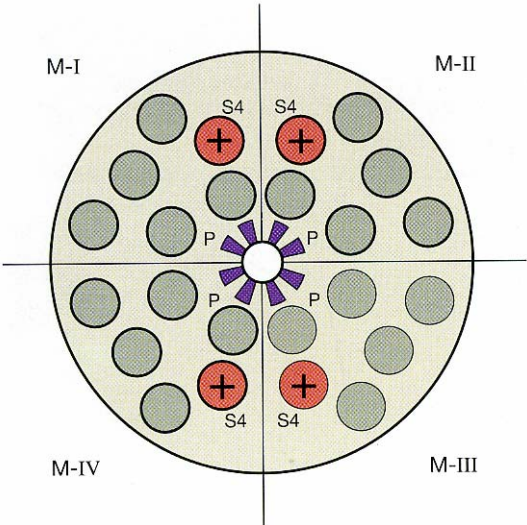
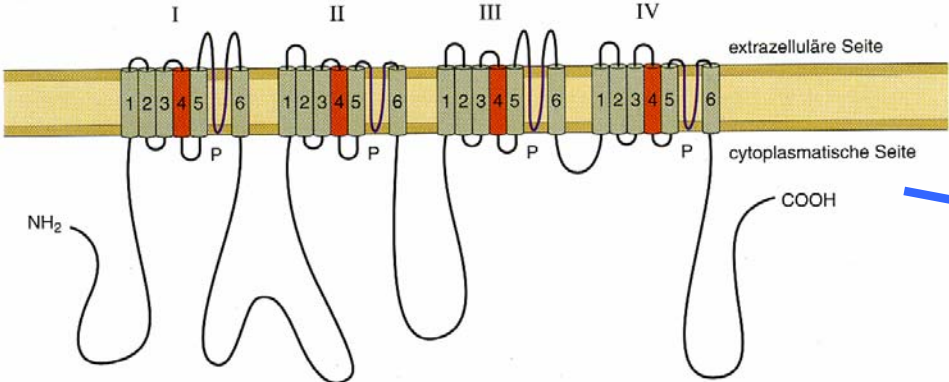
(a)



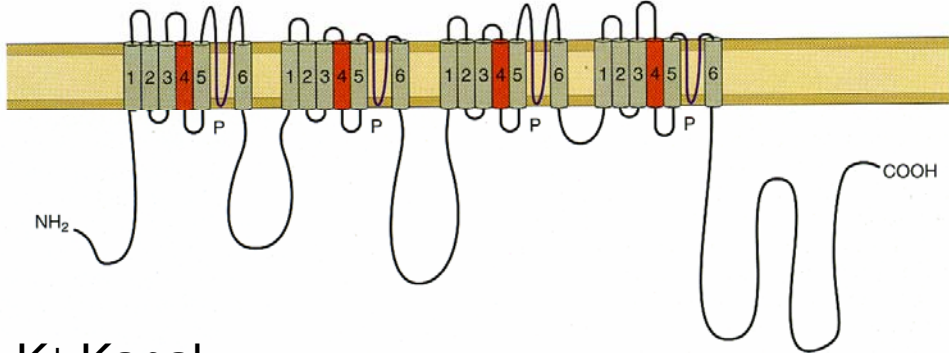
(b)

# Struktur von V-abhängigen Kanälen

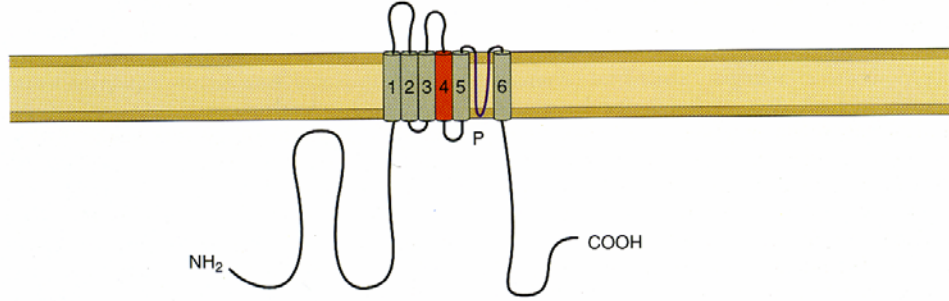
## Na<sup>+</sup> Kanal, α-UE



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



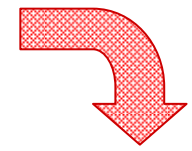
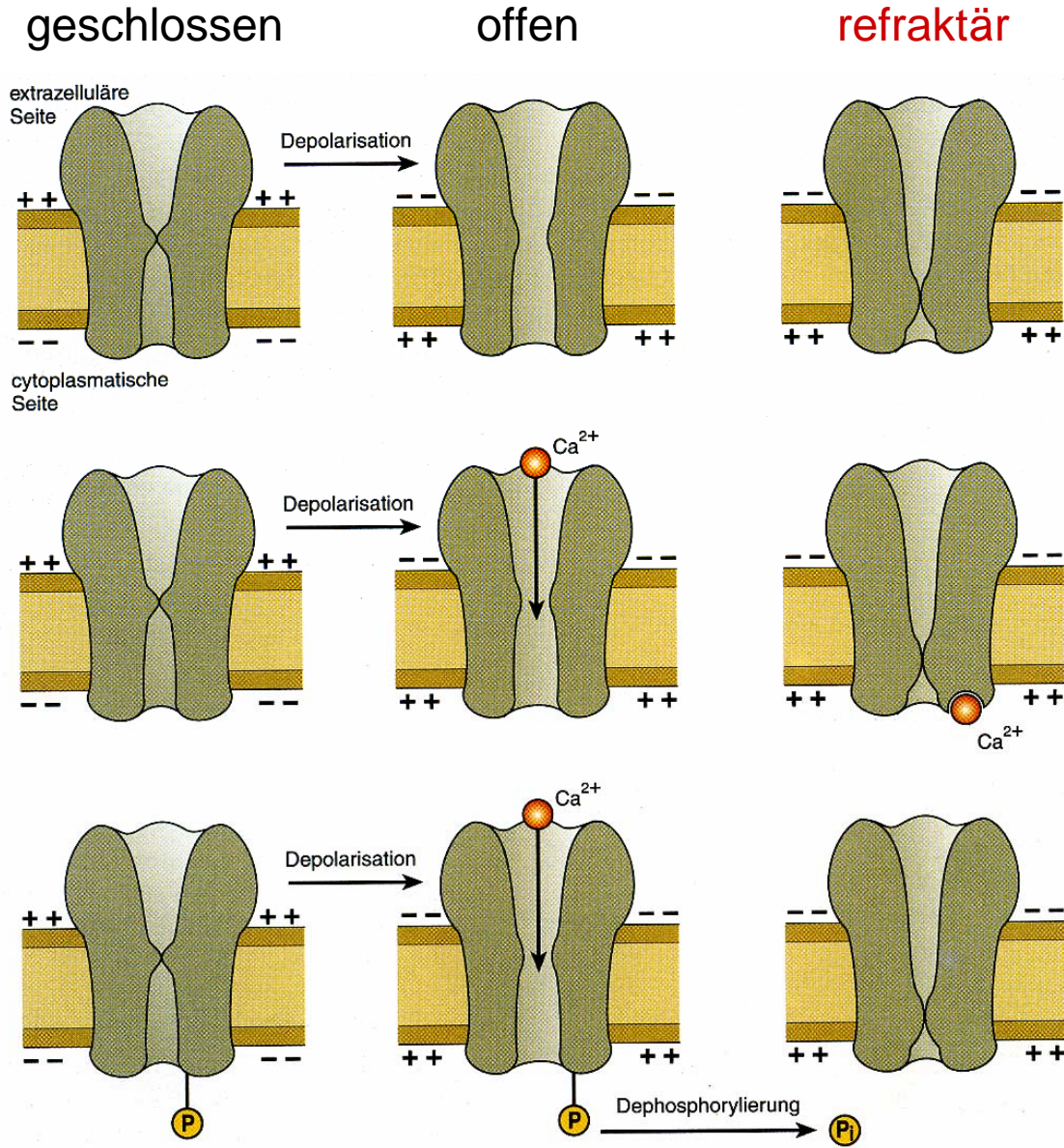
## K<sup>+</sup> Kanal



Motiv von sechs α-helices als Transmembrankomponenten

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

# Refraktärphase V-abhängiger Kanäle



aufgrund von Änderung des Membranpotentials

$Ca^{2+}$  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**)