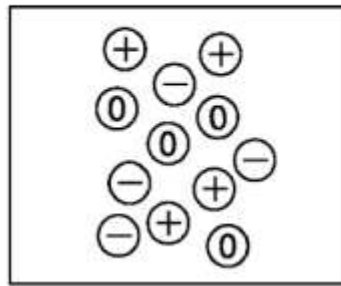


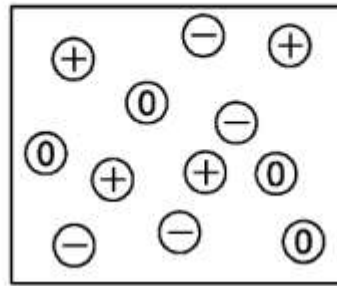
Grundlagen der Erregungsprozesse

Ruhepotential, Aktionspotential, psychophysikalische Gesetze

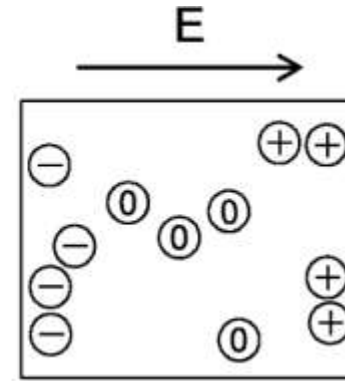
Bewegung der Moleküle



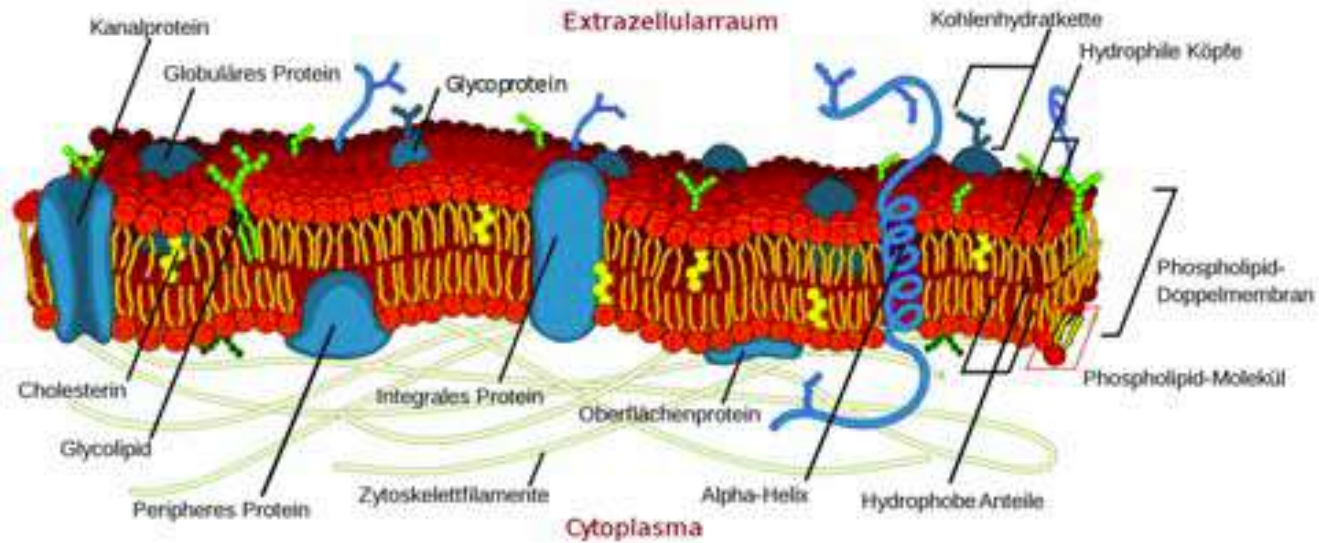
anfang

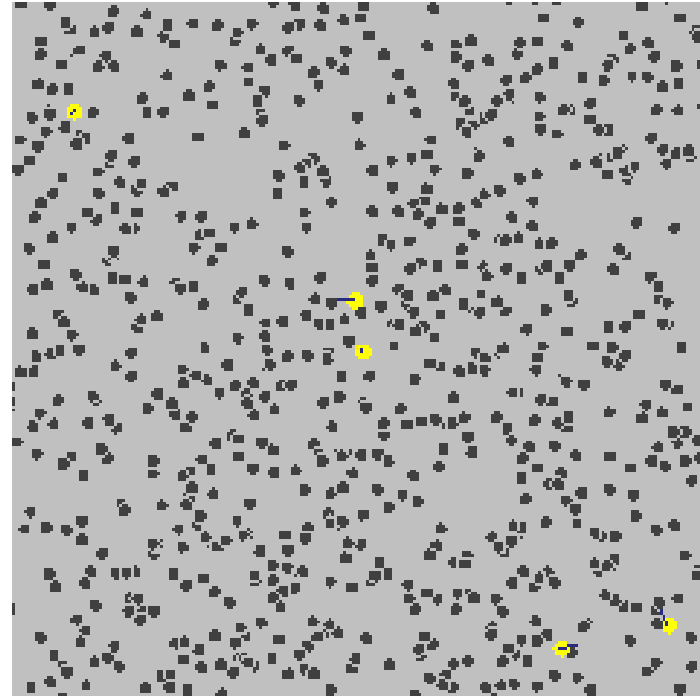
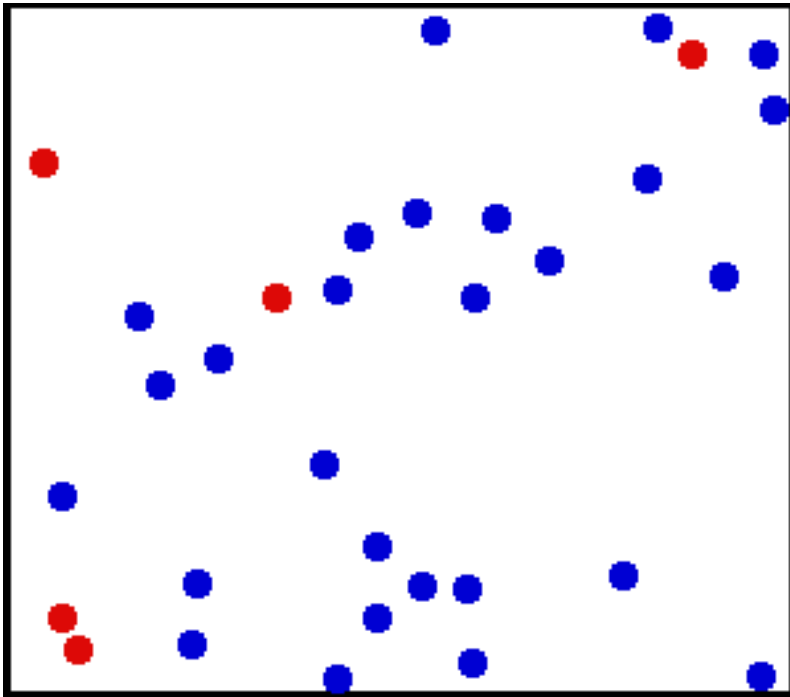


Nur Diffusion



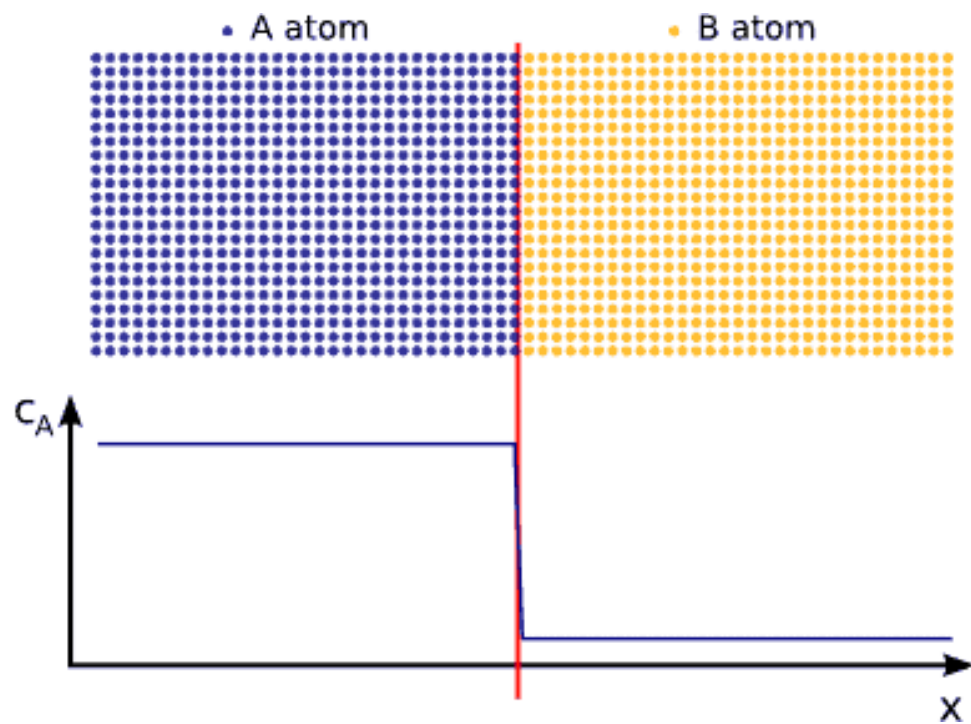
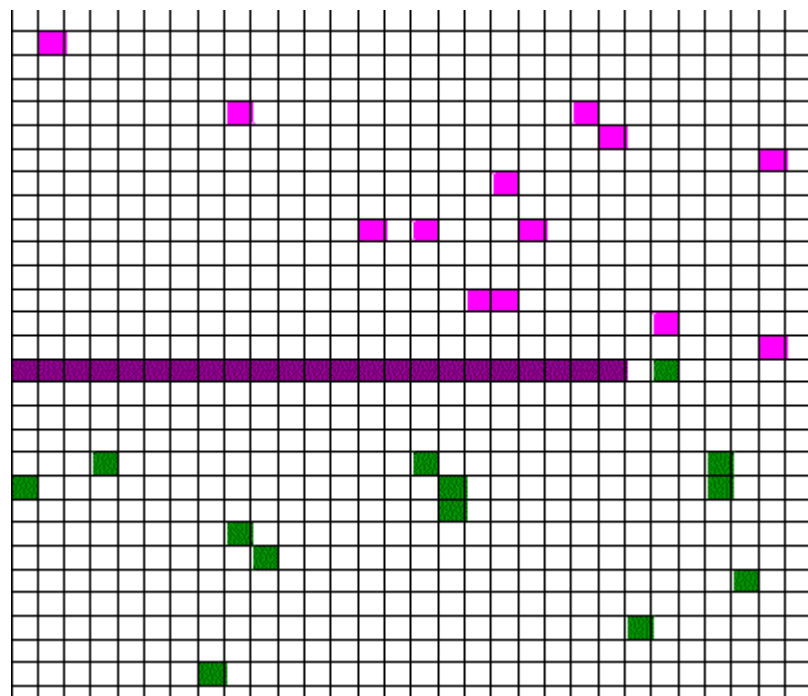
Elektrisches Feld



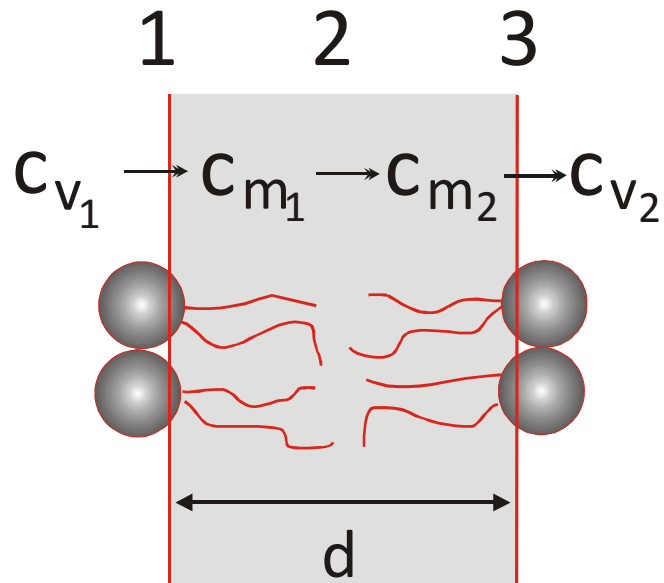


Diffusion ist wegen die zufällige Bewegung wegen Wärmeenergie.

-> es kann eine Nettobewegung auch stattfinden ->
Konzentrationsausgleich



Diffusionsgesetz (siehe später nochmal)



$$\frac{C_{m_1}}{C_{v_1}} = \frac{C_{m_2}}{C_{v_2}} = K$$

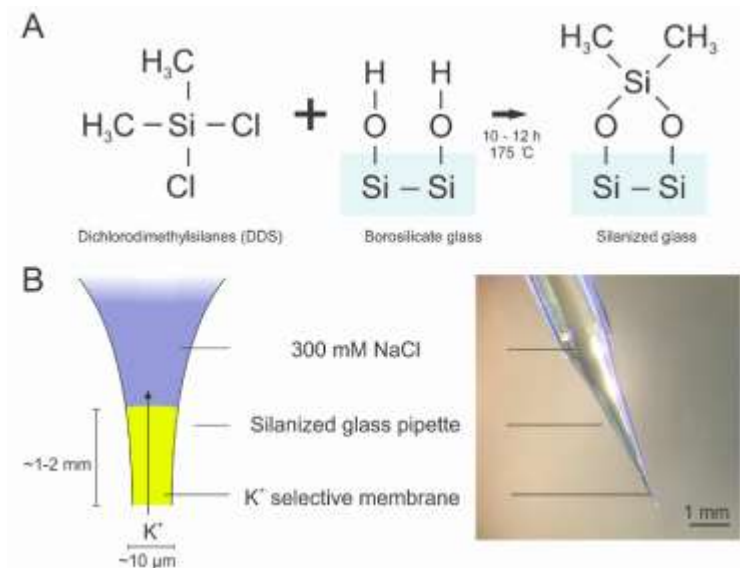
K ist aber unbekannt

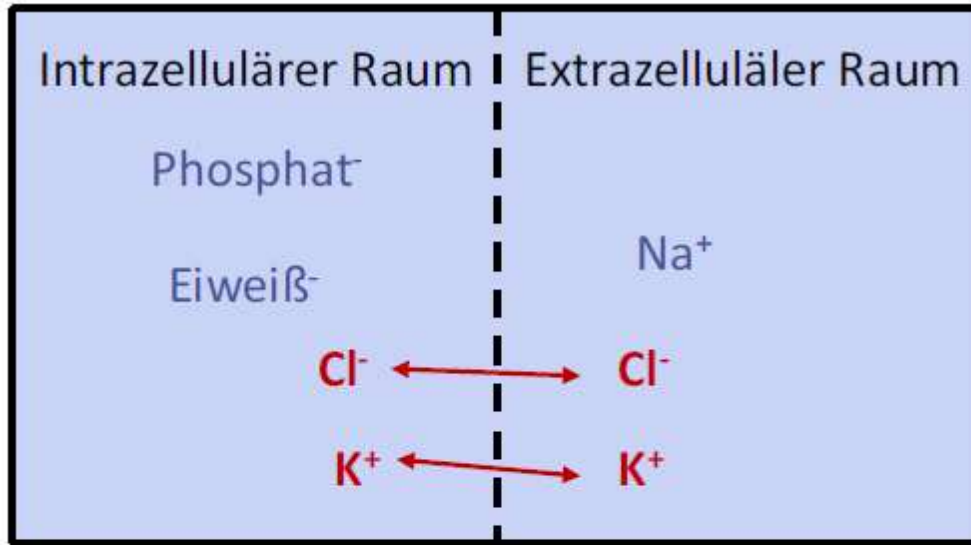
$$J_m = \frac{\Delta n}{\Delta A \Delta t} = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

D und Δx unbek.

$$J_m = -p(c_{v_2} - c_{v_1})$$

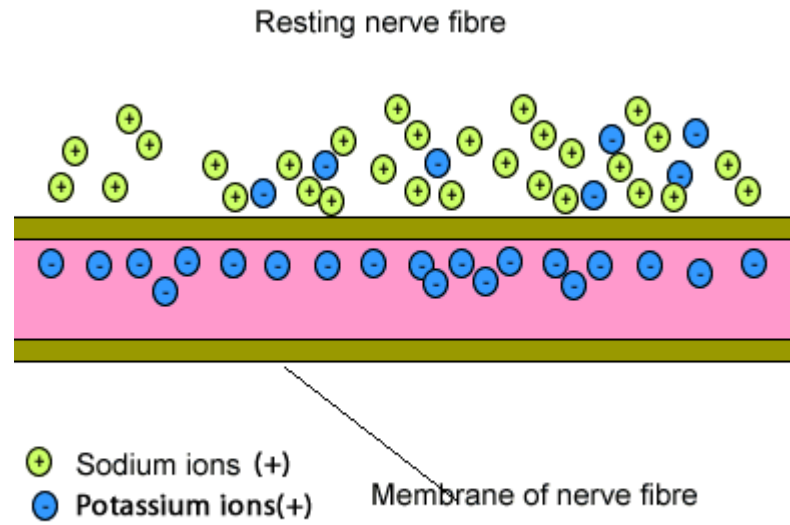
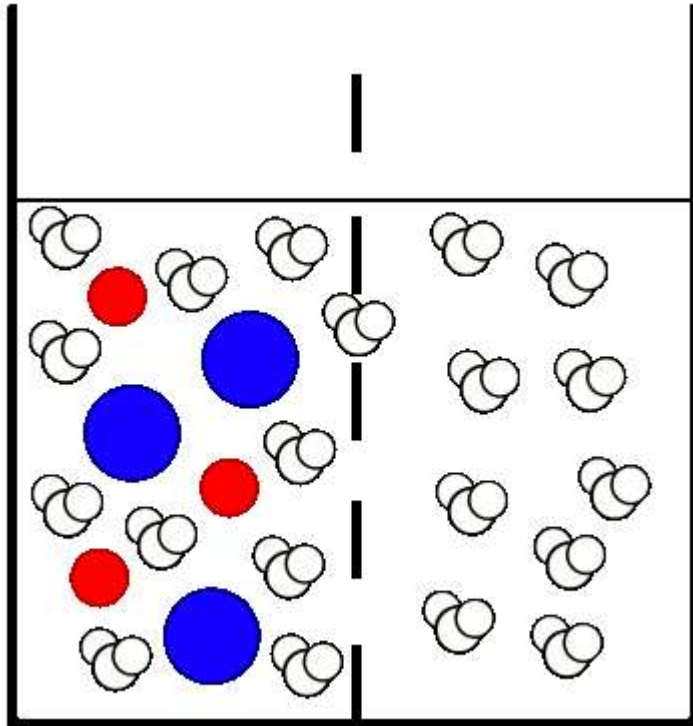
So ist aber technisch messbar!





Immobile und
diffundierbare
Ionen

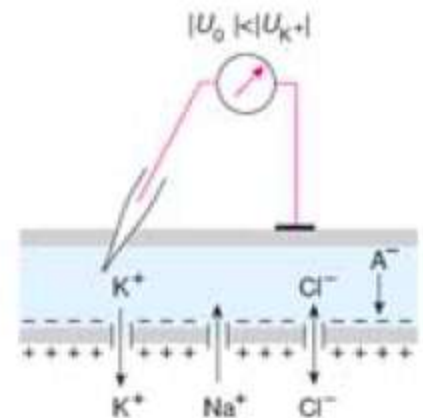
$$\Delta\varphi = \varphi_{intra} - \varphi_{extra} = -\frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{c_{intra}}{c_{extra}} \right)$$



$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{c_{intra}}{c_{extra}}\right) \quad \text{oder} \quad \Delta\varphi = -\frac{61.54 [mV]}{z_e} \lg\left(\frac{c_{intra}}{c_{extra}}\right)$$

Konzentration (mmol/l)	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Proteine
intrazelluläre	7 — 11 (9)	120 — 155 (138)	4 — 7 (5.5)	150
extrazelluläre	144	4 — 5 (4.5)	120	in Spuren (5)
$\Delta\varphi$ (mV)	74	-91	-82	9

Auf Grund Messungen eine bessere Übereinstimmung ergibt sich, wenn die unterschiedlichen Permeabilitäten der Membran gegen unterschiedlichen Ionen auch berücksichtigt wird: Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung



Celltyp	C _{Intracellular} (mmol/l)			C _{Extracellular} (mmol/l)		
	[Na ⁺] _i	[K ⁺] _i	[Cl ⁻] _i	[Na ⁺] _e	[K ⁺] _e	[Cl ⁻] _e
Tintenfisch axon	72	345	61	455	10	540
Froschmuskel	20	139	3,8	120	2,5	120
Rattenmuskel	12	180	3,8	150	4,5	110

<u>Inside axon</u>	<u>Membrane</u> ↓		<u>Extracellular fluid</u> n_o/n_i	
$[Na^+] = 15$	-	+	$[Na^+] = 145$	9.7
$[K^+] = 150$	-	+	$[K^+] = 5$	0.03
	-	+	$[Misc^+] = 5$	
$[Cl^-] = 9$	-	+	$[Cl^-] = 125$	13.9
$[Misc^-] = 156$	-	+	$[Misc^-] = 30$	0.2
$V = -70 \text{ mV}$	-	+	$V = 0 \text{ mV}$	
Charge neutrality	-	+	Charge neutrality	

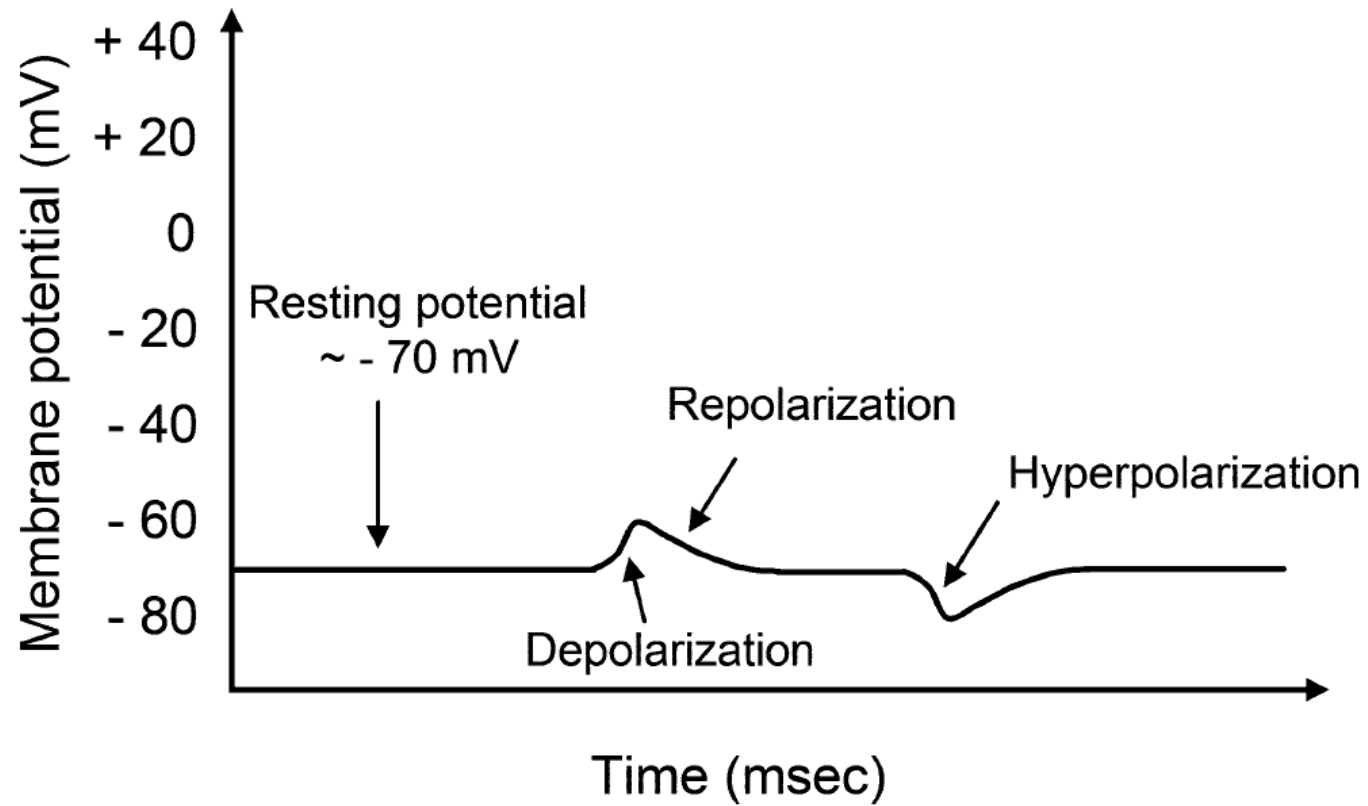
$$J_k = -D_k \left(\frac{\Delta c_k}{\Delta x} + c_k \frac{z_k F}{RT} \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \right) \quad \text{Ein ion, aber es gibt mehrere!}$$

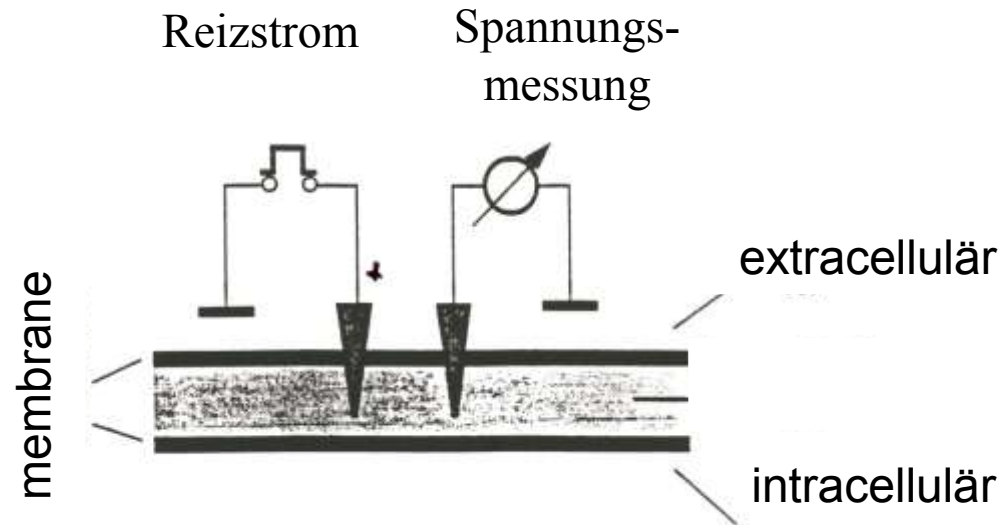
Die netto-Bewegung muss aber null sein, besonders im Ruhezustand, also $\sum J_k = 0$

$$\varphi_e - \varphi_i = -\frac{RT}{F} \ln \frac{\sum p_k^+ c_{ke}^+ + \sum p_k^- c_{ki}^-}{\sum p_k^+ c_{ki}^+ + \sum p_k^- c_{ke}^-}$$

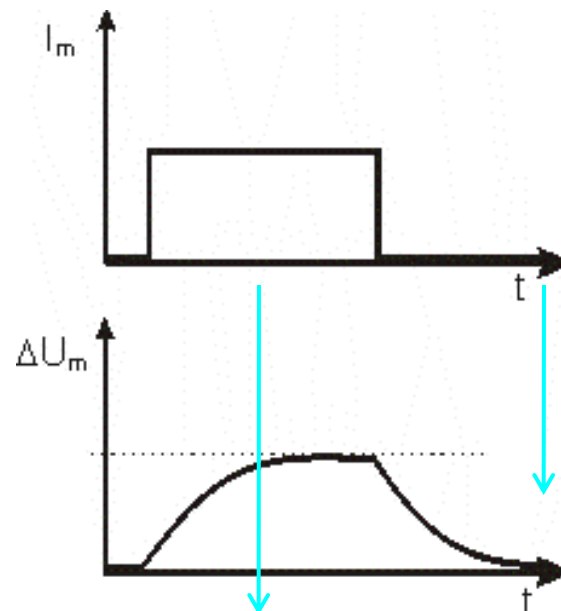
Noch ein Vorteil: sehr schnelle veränderungen sind möglich, im gleichgewicht wäre das nicht möglich!

Erregung: veränderung des Membranpotenzials





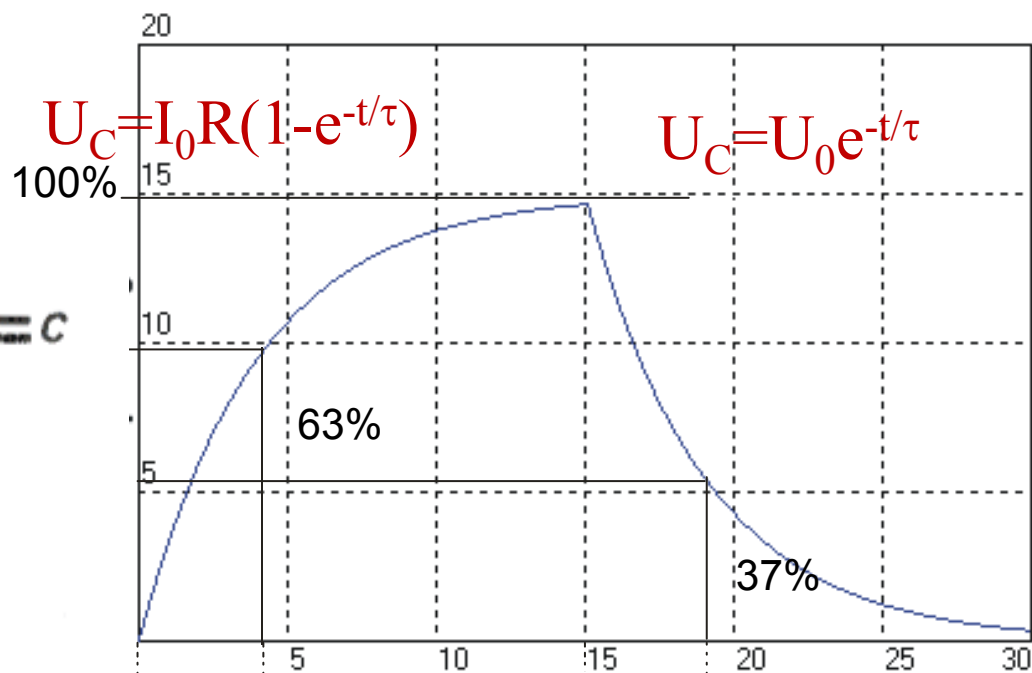
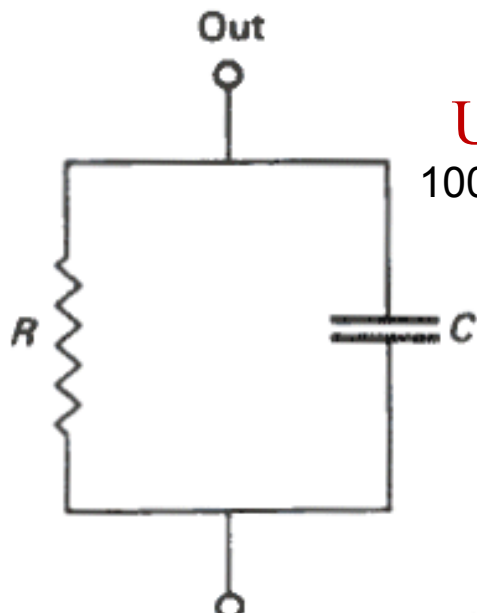
Stromablauf



Membranpotential
veränderung

RC-Kreis!

$$U(t|x) = U_{max,o} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



$$U_C = I_0 R (1 - e^{-t/\tau})$$

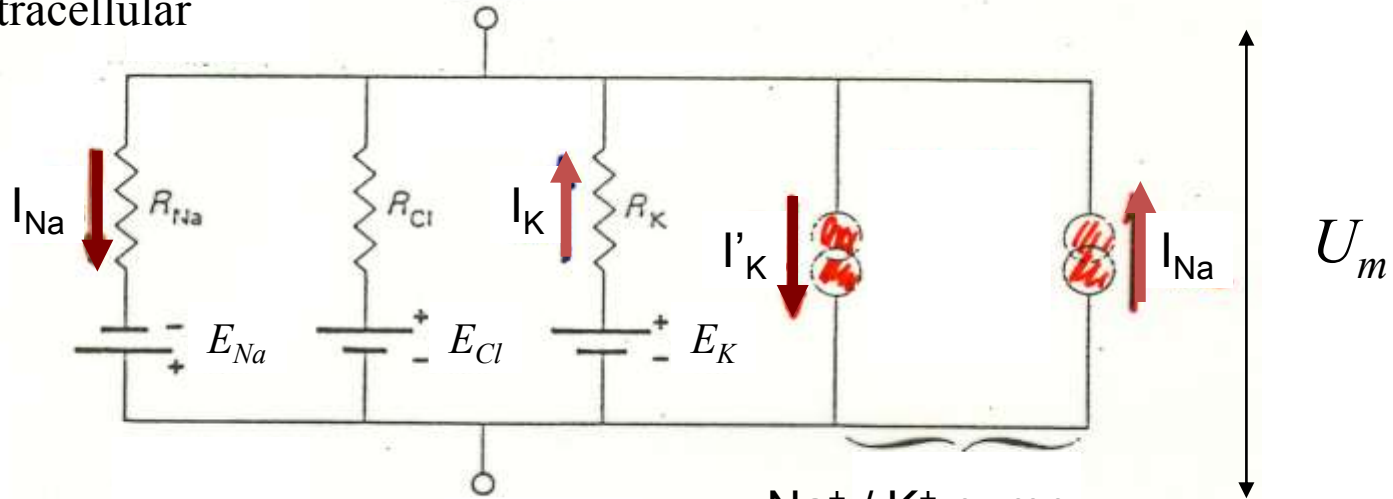
$$U_C = U_0 e^{-t/\tau}$$

$$\tau = RC$$

Elektrisches Modell

extracellular

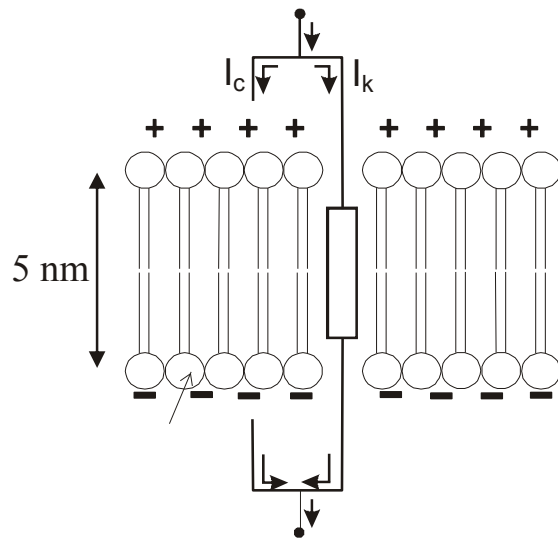
membrane



intracellular

Na^+ / K^+ pump

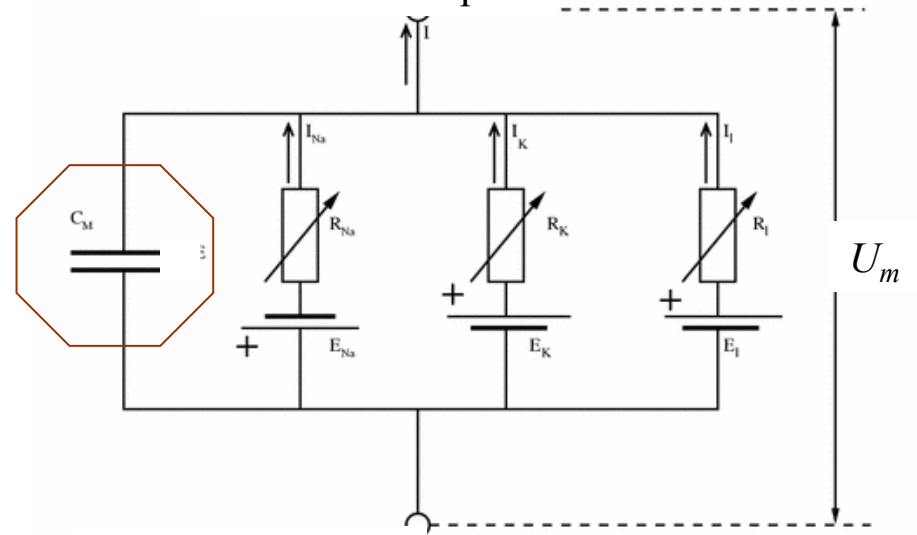
U_m



5 nm

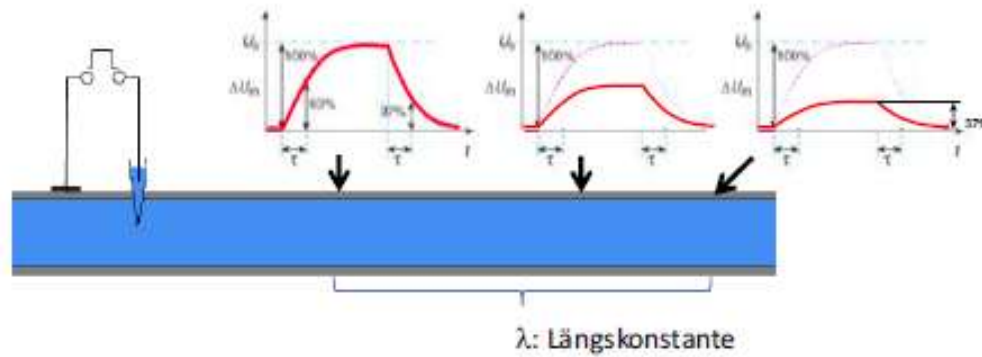
extracellular space

membrane



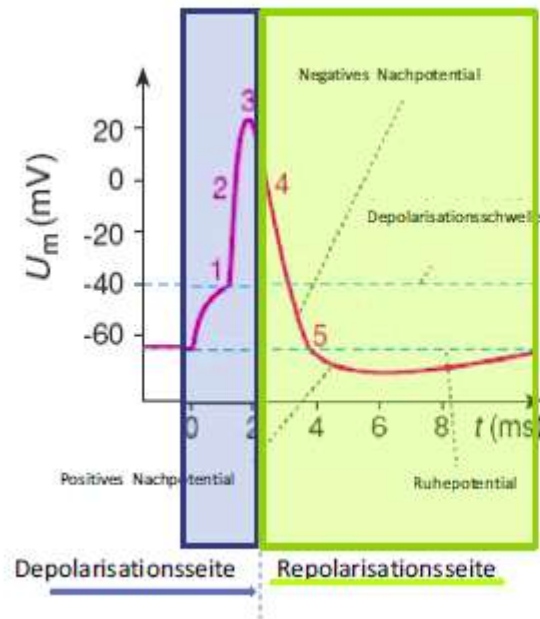
U_m

intracellular space



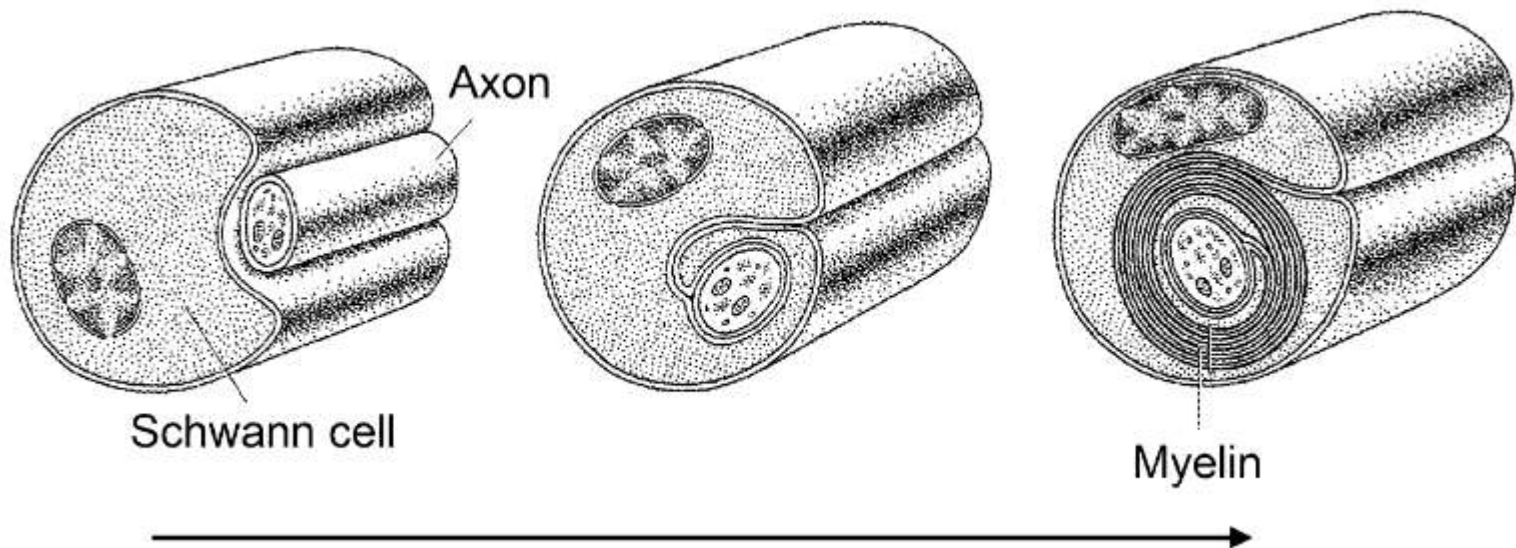
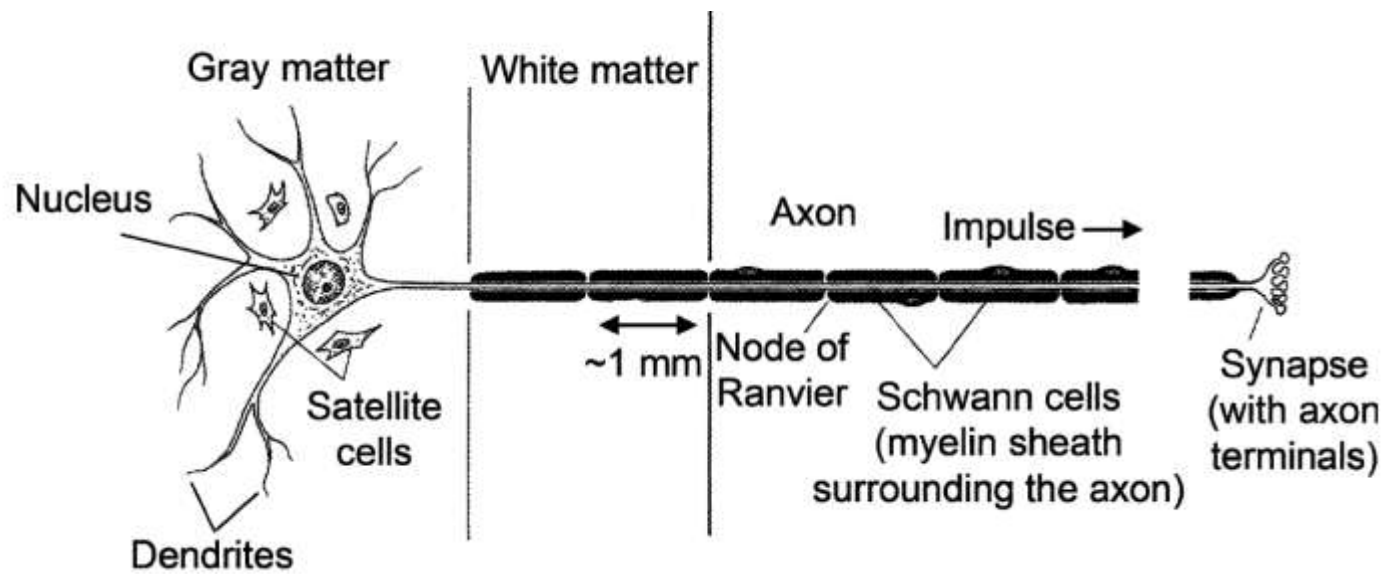
Längskonstante

$$U(x|t) = U_{max,o} \cdot e^{-\frac{x}{\lambda}}$$



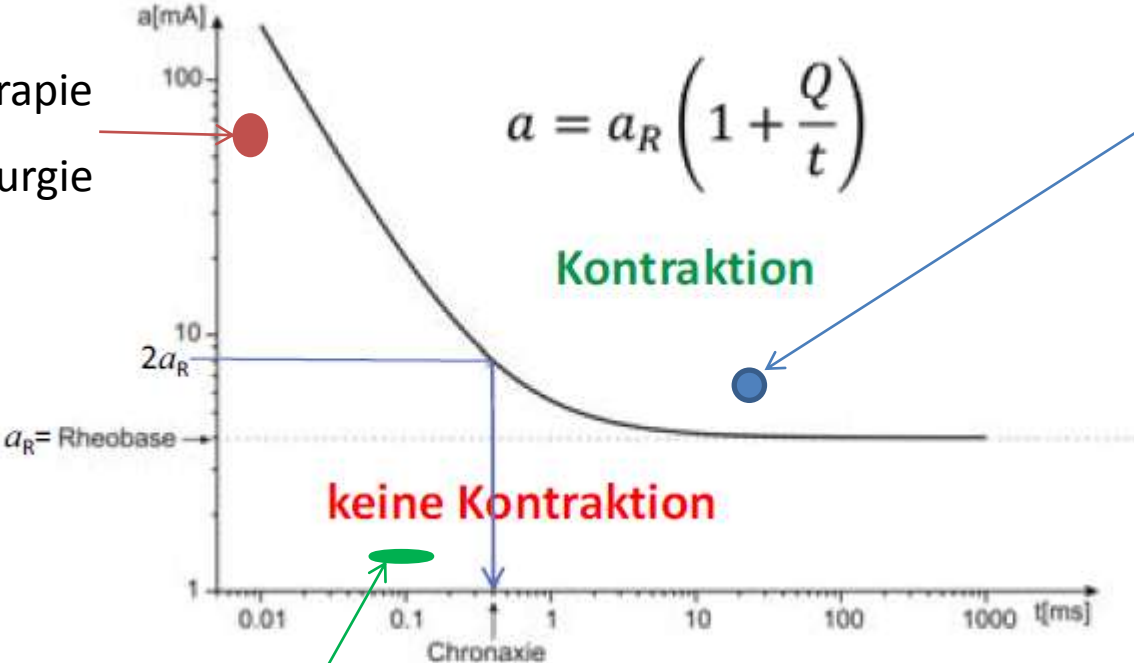
Refraktärzeit:

- ✓ absolut — dauert kurz nach der AP-Spitze, die Zelle ist überhaupt nicht erregbar
- ✓ relativ — mit ausreichender! Reizstärke ist die Zelle erregbar (größer als die aktuelle Spannung)



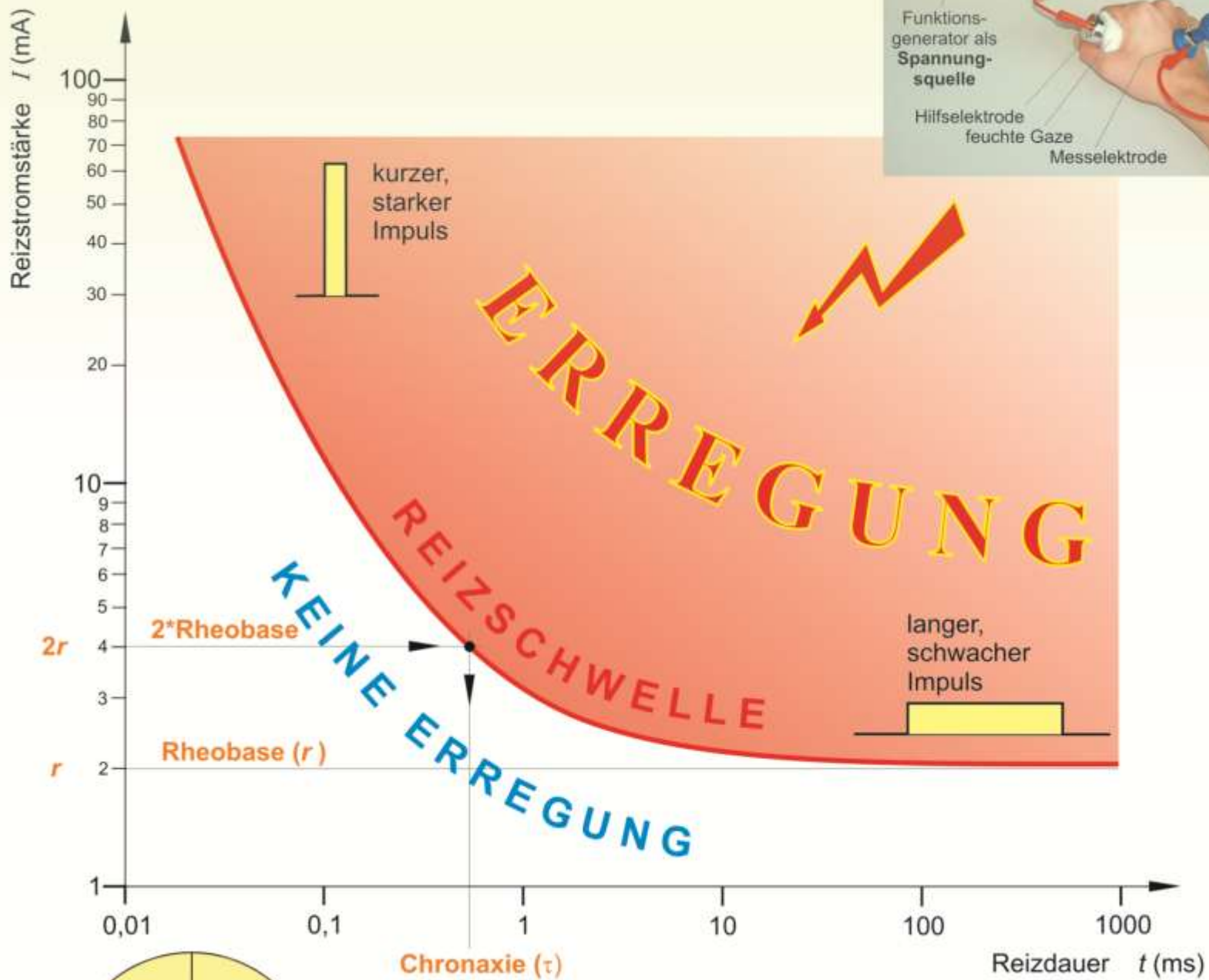
Reizschwellenwert

Wärmetherapie
Elektrochirurgie



Herzschrillmacher

Hautimpedanz-
messung



Galvanisation

verbesserte Durchblutung
Gleichstrom

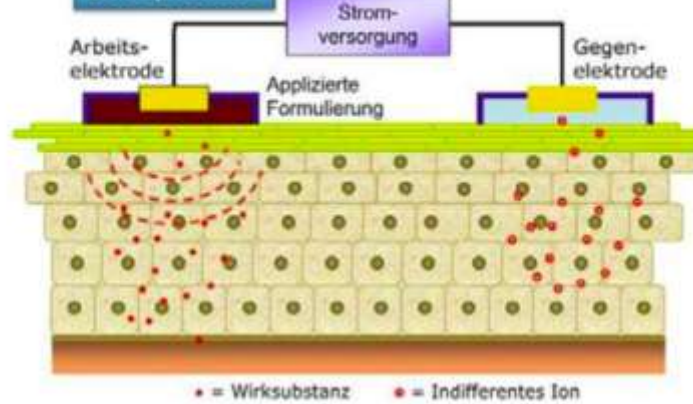


Defibrillator

Impulsbetrieb



Iontophorese

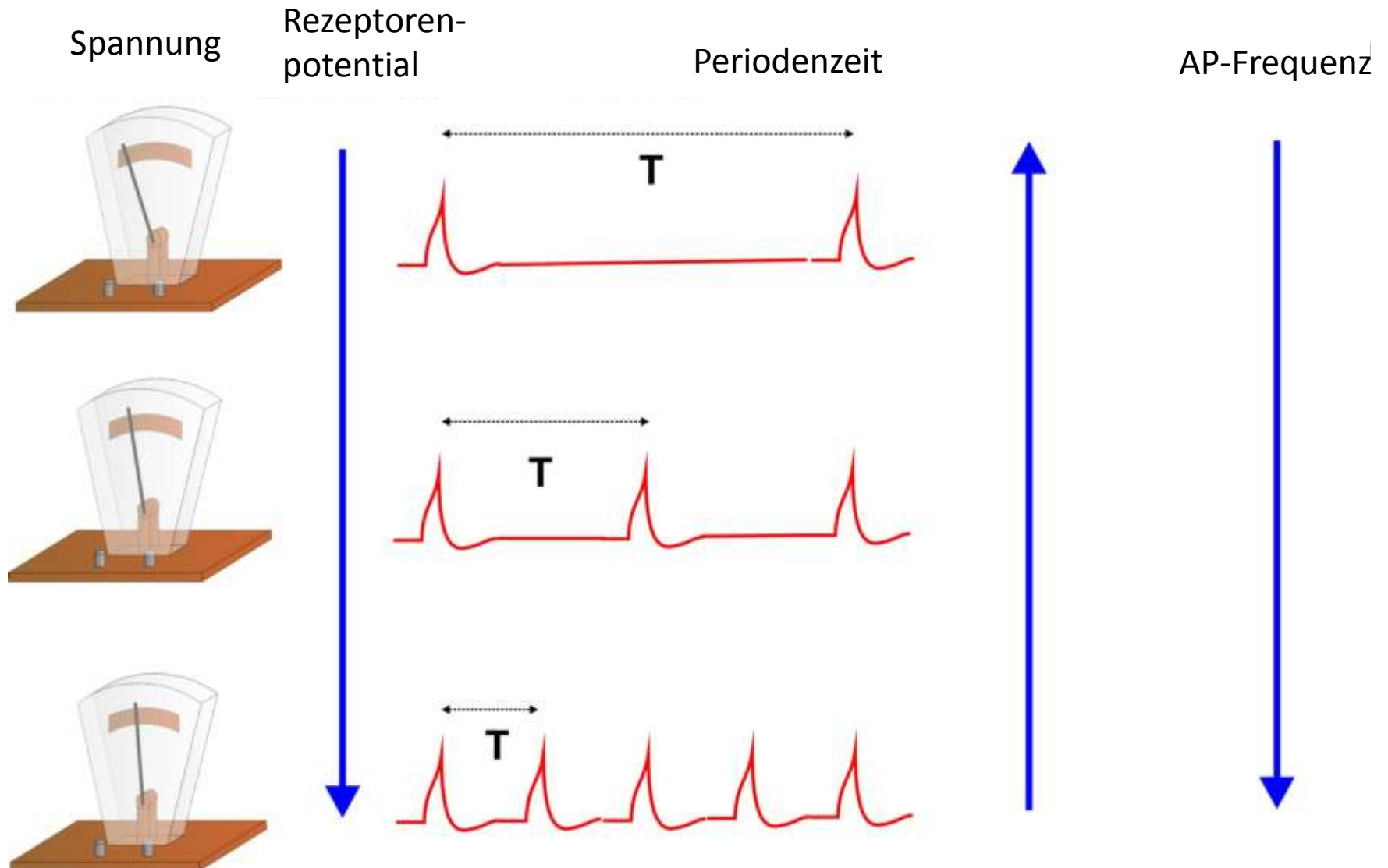


Reizstromtherapie

unterschiedliche Reizformen

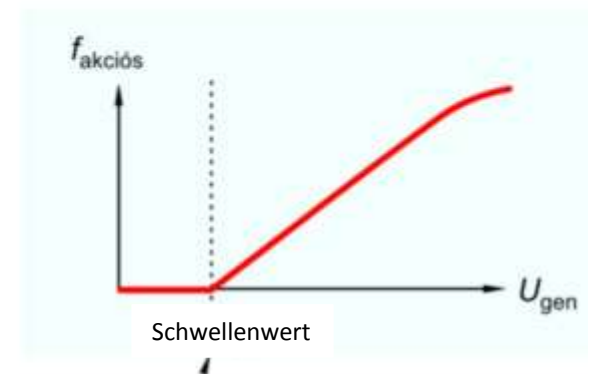
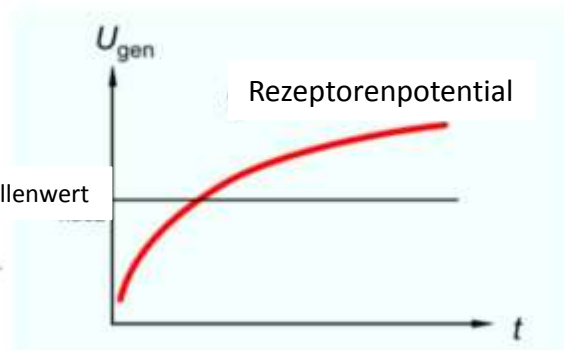
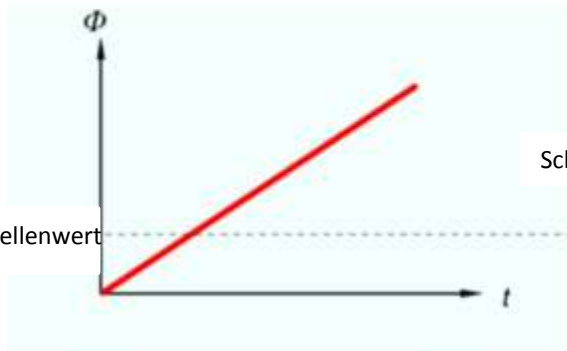
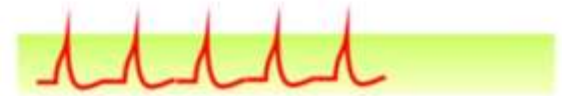
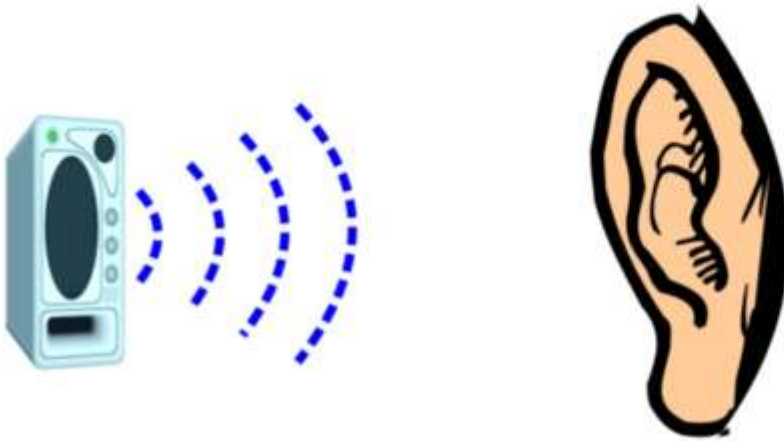


Psychophysikalische Gesetze

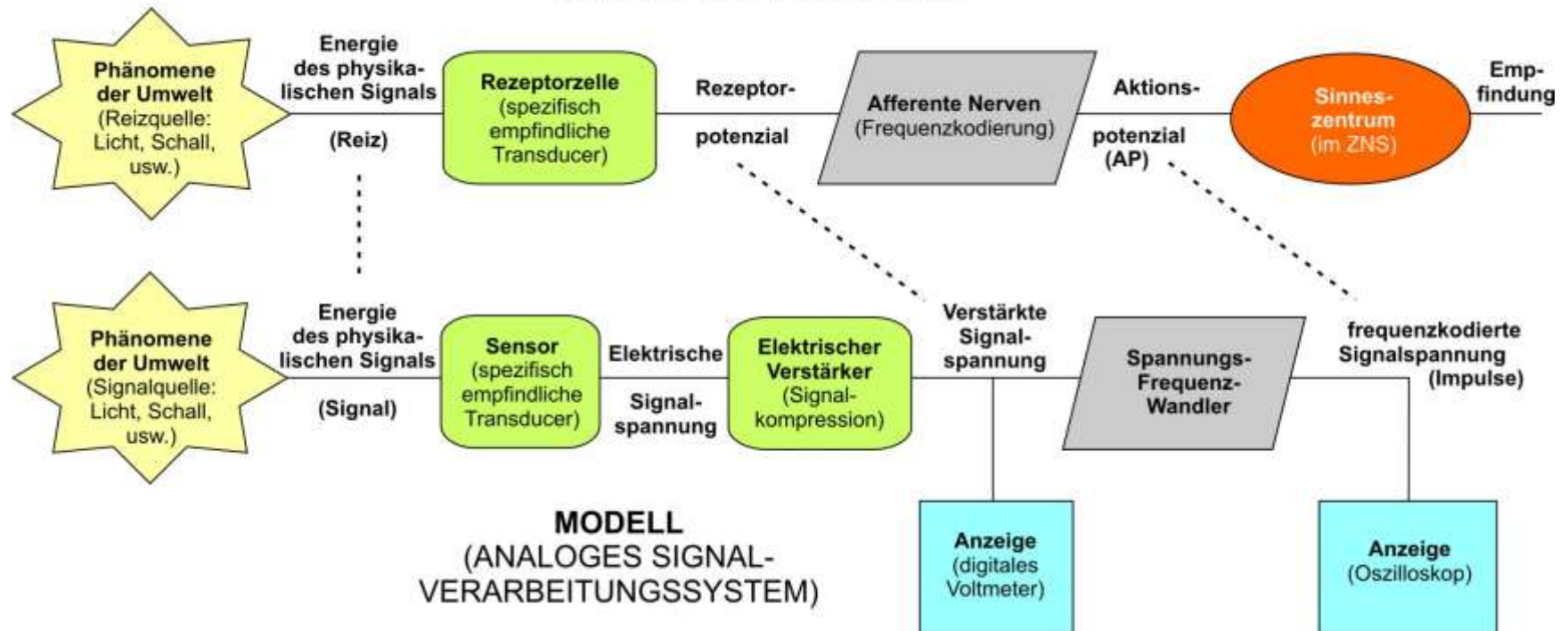


Wahrnehmungssystem ist frequenzkodiert

Φ : Physikalische gröÙe (z.B. Schall)



WAHRNEHMUNGSSYSTEM



$$\Psi = 10 \lg (\Phi / \Phi_0)$$

Weber-Fechner

$$\Psi = konst. \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right)^n$$

Stevens