

I. Membranpotenzial

1. **Ruhepotenzial**
 - Gleichgewichtspotenzial (Nullstrompotenzial)
 - Transportmodell, Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung
2. **Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials**
 - Zeitlicher Ablauf
 - Raumlicher Ablauf
3. **Aktionspotenzial**
4. **Anwendungen**
 - Diagnostik: Messung der Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)
 - Elektrostimulation, Reizdauer-Stromstärke-Diagramm (Reizcharakteristik)

II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

- Galvanisation
- Iontophorese
- Defibrillator
- Herzschrittmacher
- Reizstromtherapie
- HF-Wärmetherapie,
- HF-Chirurgie

Ergänzung zu den Transportprozessen

+ Informationstransport

Körper ↔ Umwelt

Fühlen



Schmecken



Riechen



Sehen



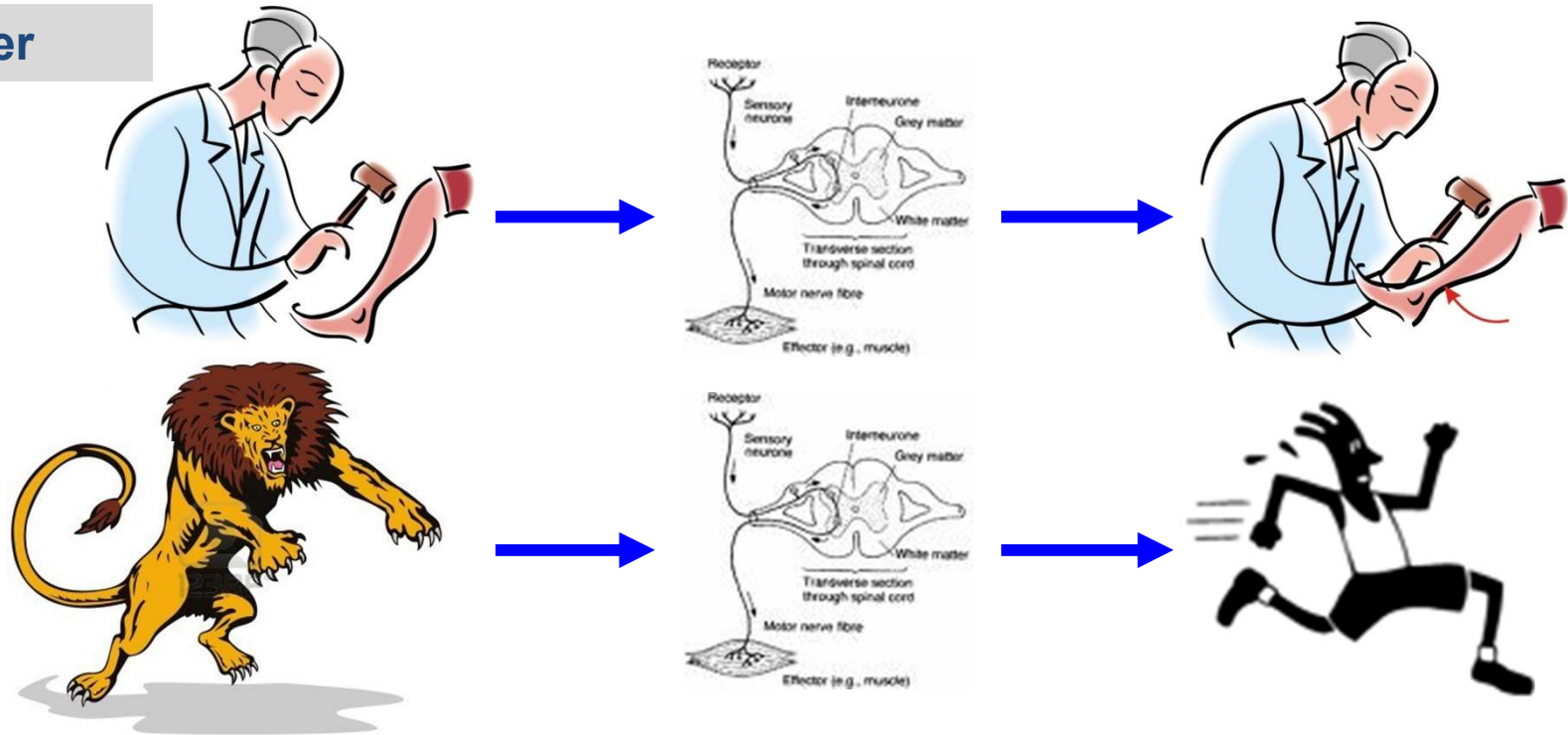
Hören



Temperatur-
empfindung



Im Körper



Schnelle Antwort ist nötig!

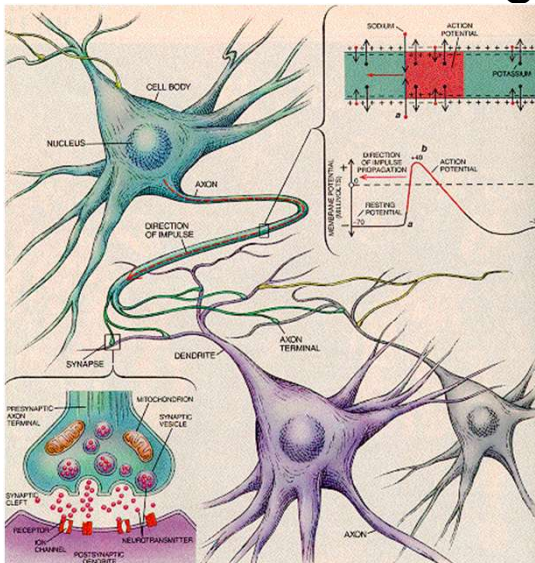


Diffusion?

Wärmeleitung?

Strömung?

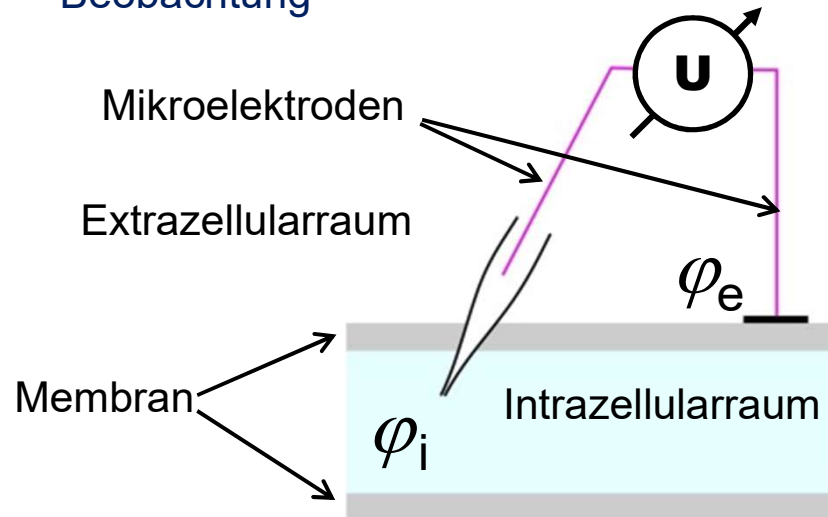
Elektrischer Strom?



I. Membranpotenzial

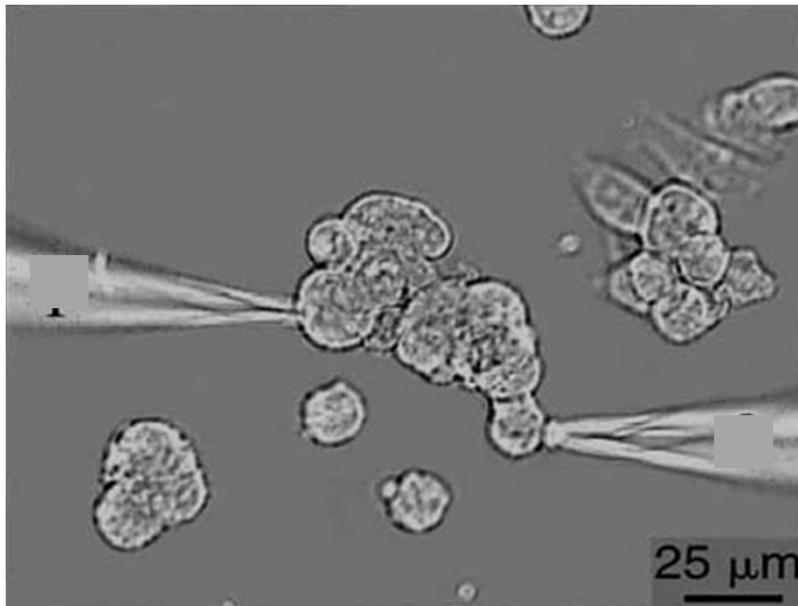
1. Ruhepotenzial

■ Beobachtung



$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_e < 0$$

Zelle	$\Delta\varphi_m$ (mV)
Tintenfisch-Riesenaxon	-62
Froschmuskel	-92
Rattenmuskel	-92



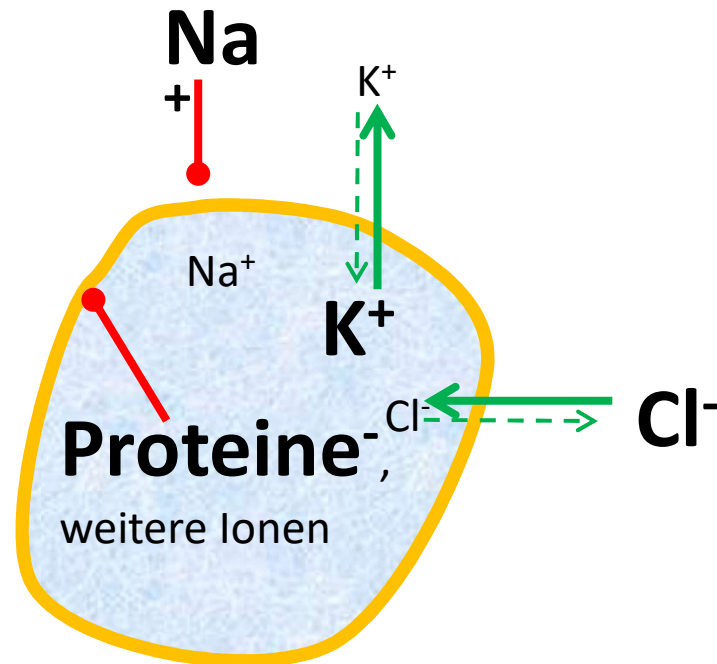
Bezeichnungen: $\Delta\varphi$, $\Delta\varphi_m$, φ , U , U_m , E , ...

■ Erklärung

Eine andere Beobachtung ist die inhomogene Ionenverteilung:

	Intrazelluläre Konzentration (mmol/l)			Extrazelluläre Konzentration (mmol/l)		
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
Zelle						
Tintenfisch-Riesenaxon	72	345	61	455	10	540
Froschmuskel	20	139	3,8	120	2,5	120
Rattenmuskel	12	180	3,8	150	4,5	110

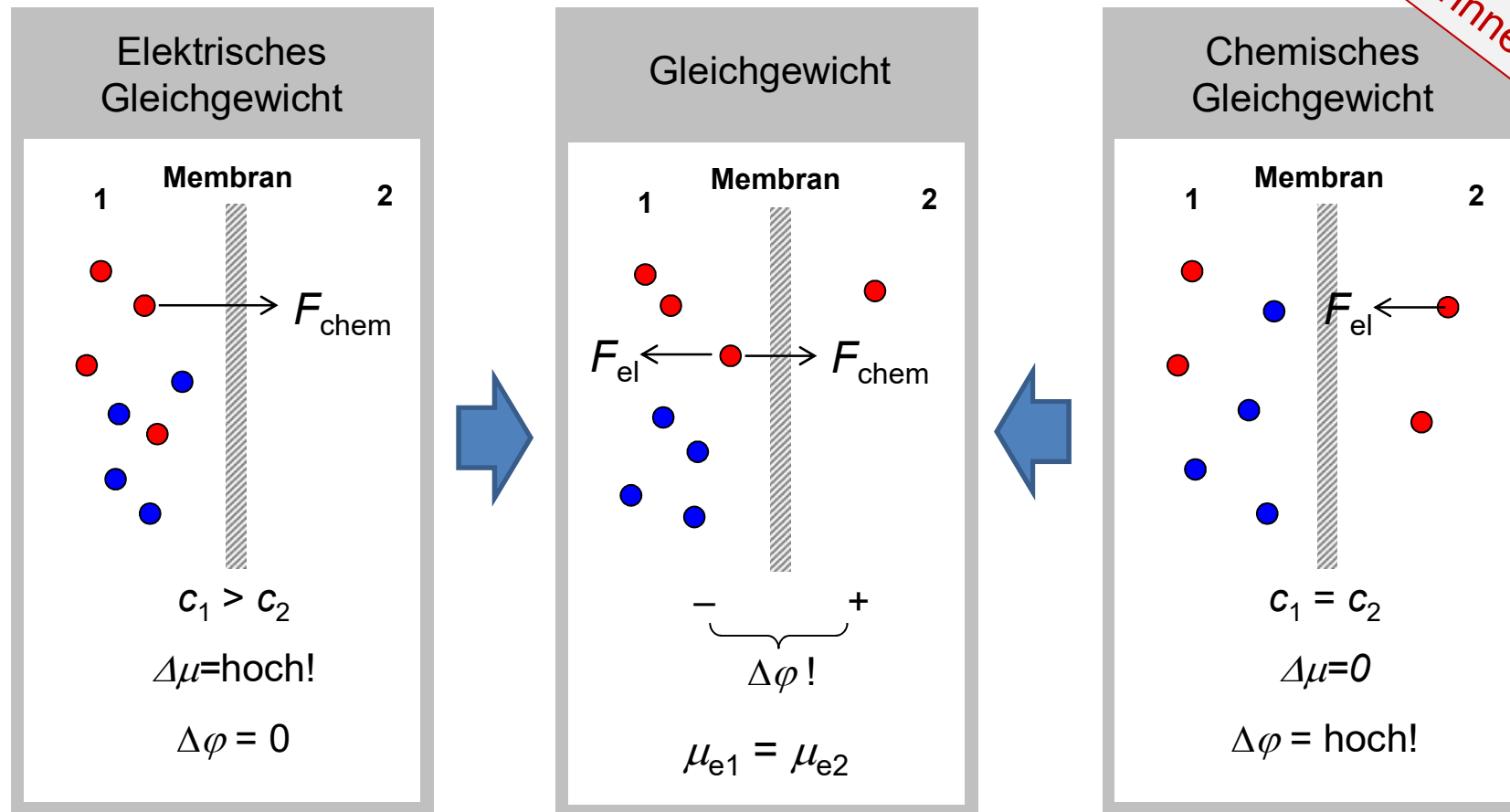
■ Donnan Modell (Gleichgewichtsmodell)



Die Permeabilität für das eine Ion ist Null, z. B.

$$p_k > p_a = 0$$

Zur Erinnerung



- Kation (k)
- Anion (a)

Elektrochemisches Potenzial (J/mol):

$$\mu_e = \mu + F \cdot \phi$$

Nernst-Gleichung:

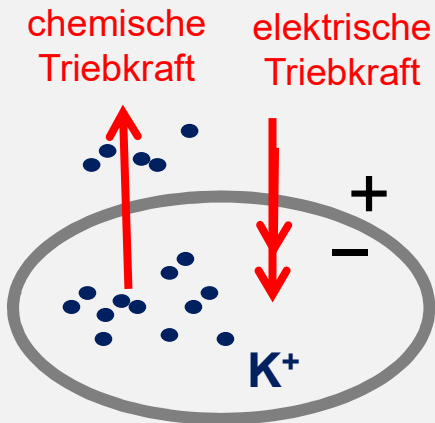
$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = -\frac{RT}{F} \ln \frac{c_2}{c_1}$$

■ Erklärung

Inhomogene Ionenverteilung \Rightarrow Membranpotenzial

	Intrazelluläre Konzentration (mmol/l)			Extrazelluläre Konzentration (mmol/l)			$\Delta\varphi_m$ (mV)
Zelle	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	
Tintenfisch-Riesenaxon	72	345	61	455	10	540	-62
Froschmuskel	20	139	3,8	120	2,5	120	-92
Rattenmuskel	12	180	3,8	150	4,5	110	-92

„Gleichgewichtsmodell“:



Wenn Gleichgewicht herrscht, dann müsste das Ruhepotenzial der Nernst-Gleichung entsprechen (Z. B. für K⁺-Ionen und Tintenfisch-Riesenaxon):

Gleichgewichtspotenzial (Nullstrompotenzial) für K⁺:

$$\Delta\varphi_{eq} = -\frac{RT}{F} \ln \frac{c_i}{c_e} = -\frac{8,31 \cdot 293}{96500} \ln \frac{345}{10} = -0,089 \text{ V} = -89 \text{ mV}$$

Das gemessene Membranpotenzial: $\Delta\varphi_m = -62 \text{ mV}$

\Rightarrow **Das Modell stimmt nicht, es gibt kein Gleichgewicht! Ständiger K⁺-Ausstrom!**

Zelle	Aus der Nernst-Gleichung: $\Delta\varphi_{eq}$ (mV)			Gemessene Werte $\Delta\varphi_m$ (mV)
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	
Tintenfisch-Riesenaxon		-89	-55	←→ -62
Froschmuskel		-101	-87	←→ -92
Rattenmuskel		-93	-85	←→ -92



Es gibt kein Gleichgewicht!
Ständiger K⁺-Ausstrom, Na⁺-Einstrom, und ein wenig Cl⁻-Ausstrom!



Die Ausströme müssen kompensiert werden
um einen „*steady-state*“* Zustand zu erreichen



Aktive Prozesse (aktiver Transport)
Energieverbrauch!

* „**steady state**“

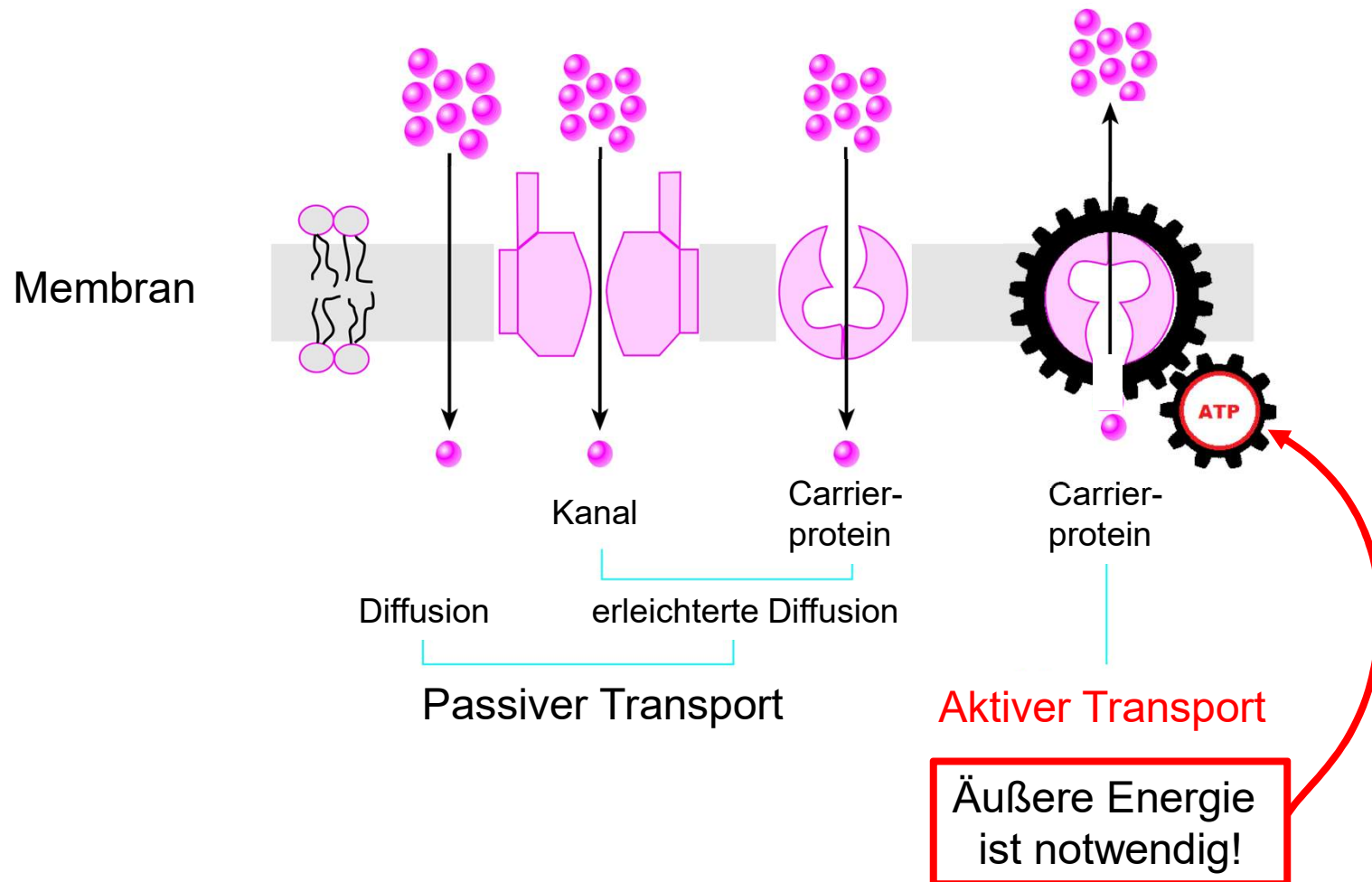
ist eine Situation, in welchem alle Parameter des Systems konstant sind, obwohl die gängige Prozesse nach Veränderung diese Parameter streben.

■ Transportmodell

Ständige Diffusion von Ionen mit unterschiedlichen Permeabilitäten

⇒ Diffusionspotenzial

⇒ Rücktransport (aktiv)



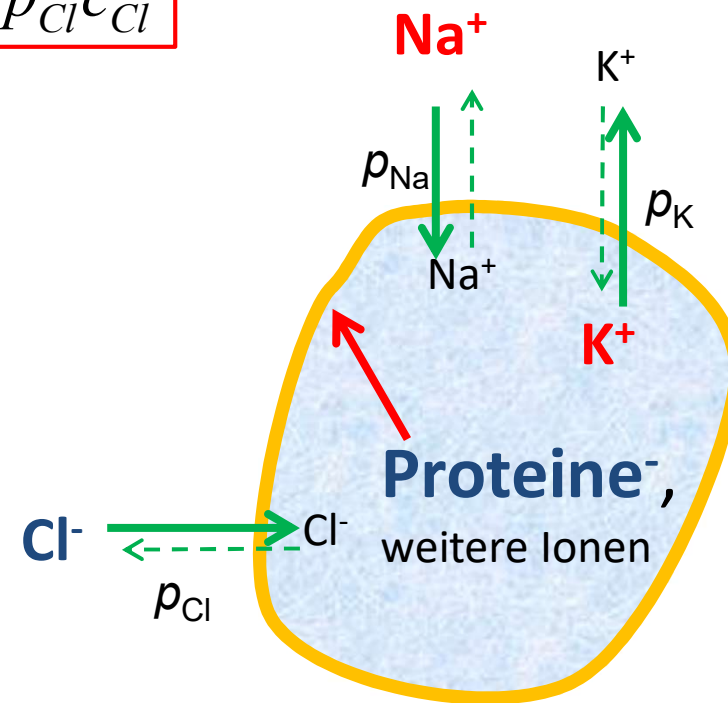
- **Transportmodell** Ständige Diffusion von Ionen mit unterschiedlichen Permeabilitäten

⇒ Diffusionspotenzial

⇒ Rücktransport (aktiv)

Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung:

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{p_{Na}c_{Na}^i + p_Kc_K^i + p_{Cl}c_{Cl}^e}{p_{Na}c_{Na}^e + p_Kc_K^e + p_{Cl}c_{Cl}^i}$$



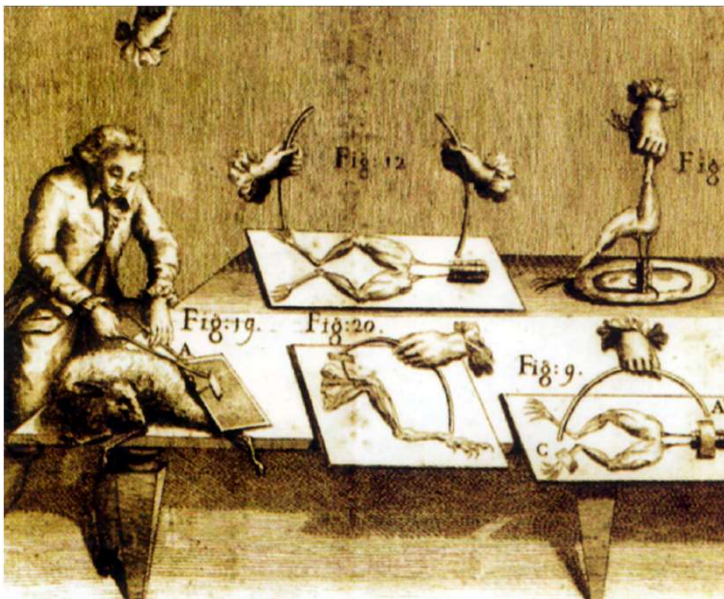
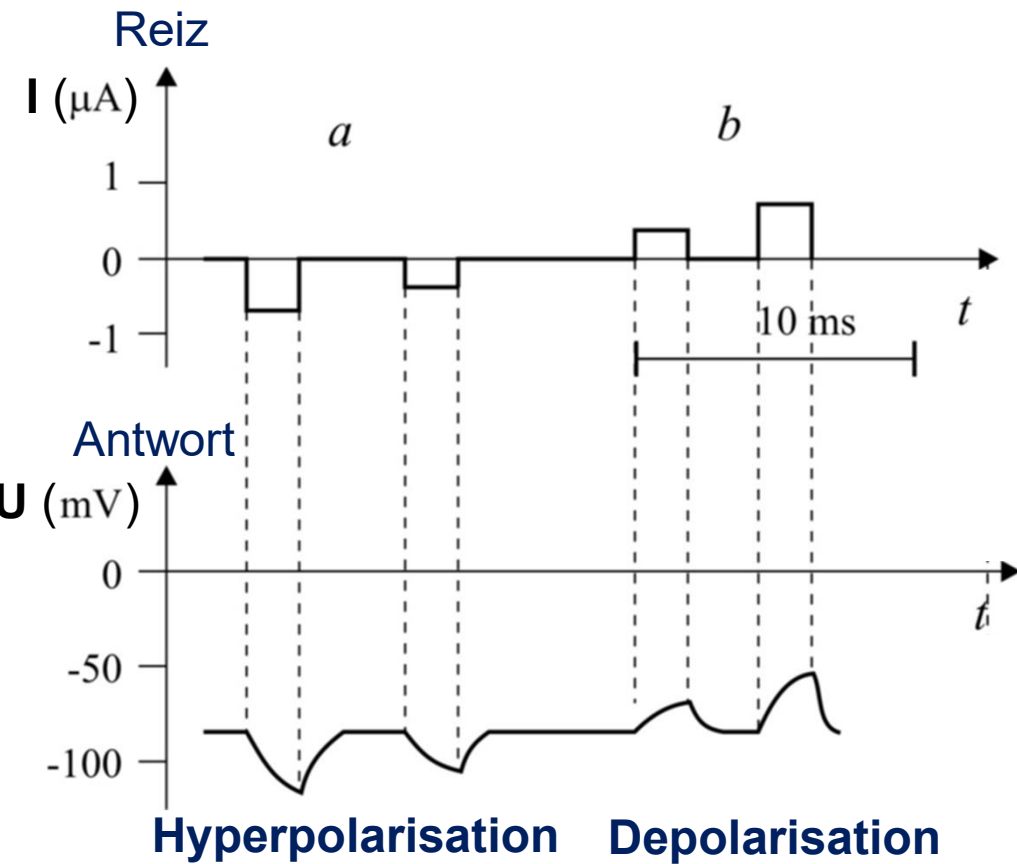
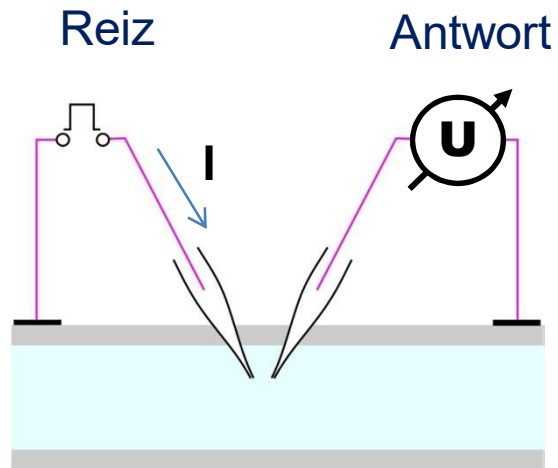
Zelle	Aus der Nernst-Gleichung: $\Delta\varphi_{\text{eq}}$ (mV)			Gemessene Werte $\Delta\varphi_{\text{m}}$ (mV)
	Na^+	K^+	Cl^-	
Tintenfisch-Riesenaxon	+46	-89	-55	↔ -62
Froschmuskel	+45	-101	-87	↔ -92



	$\varphi(\text{gerechnet})$ (mV)	$\varphi(\text{gemessen})$ (mV)
Tintenfisch-Riesenaxon	-63	-62
Froschmuskel	-91	-92

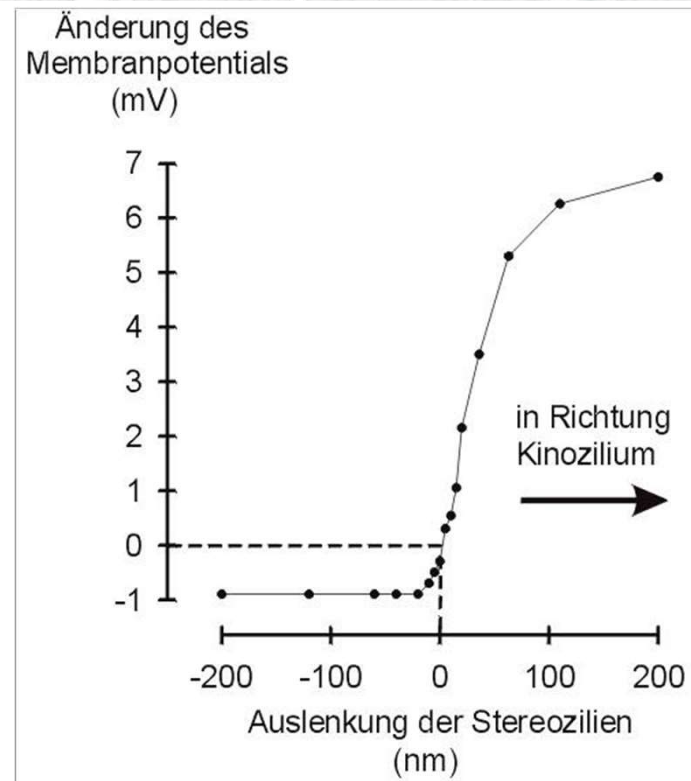
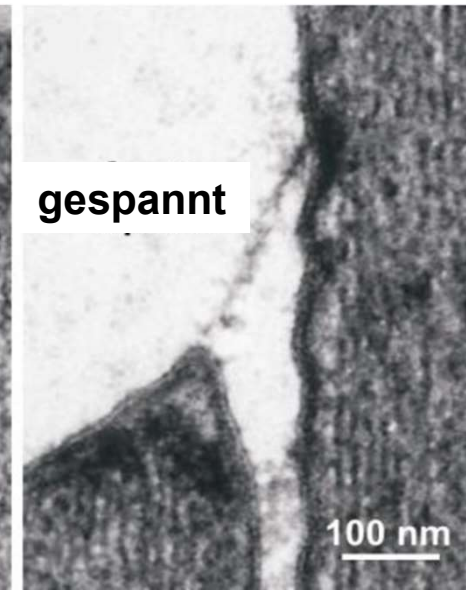
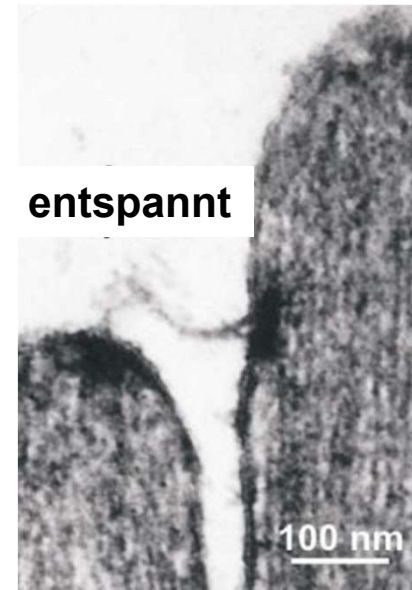
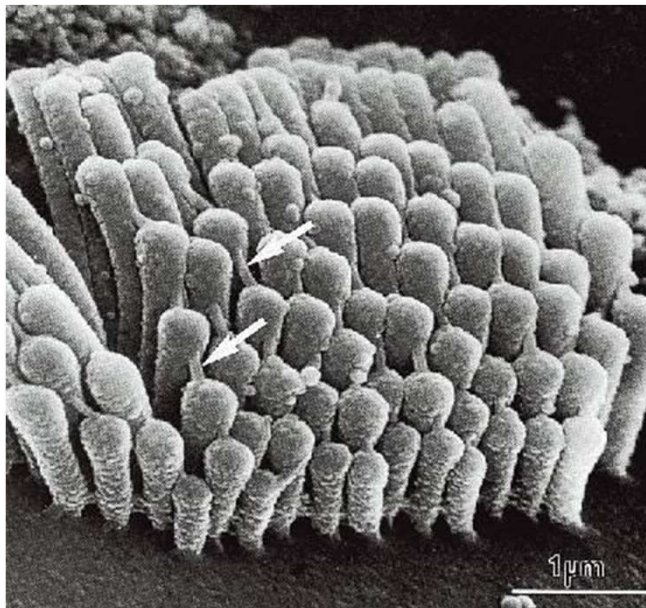
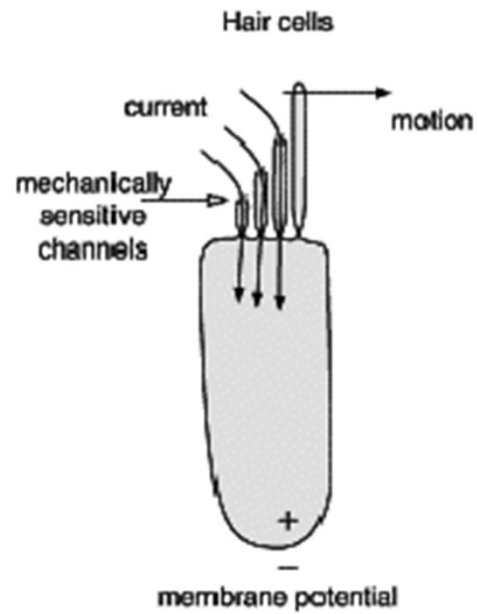
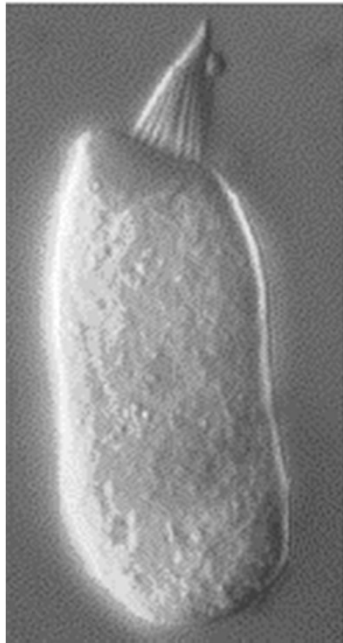


2. Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials

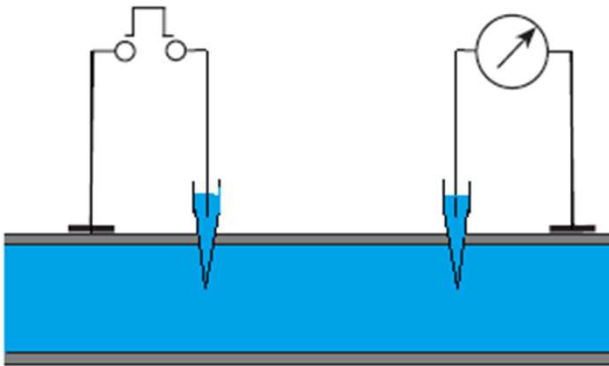


Beispiele:

Haarzelle



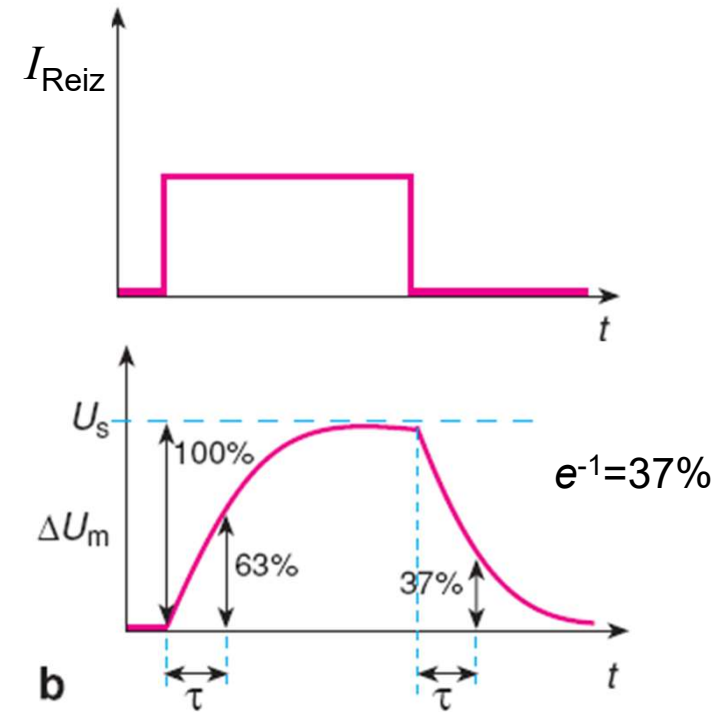
- Lokale Änderung des Ruhepotenzials: Zeitlicher Ablauf



Spannungsverlauf beim Anfang
der Erregung

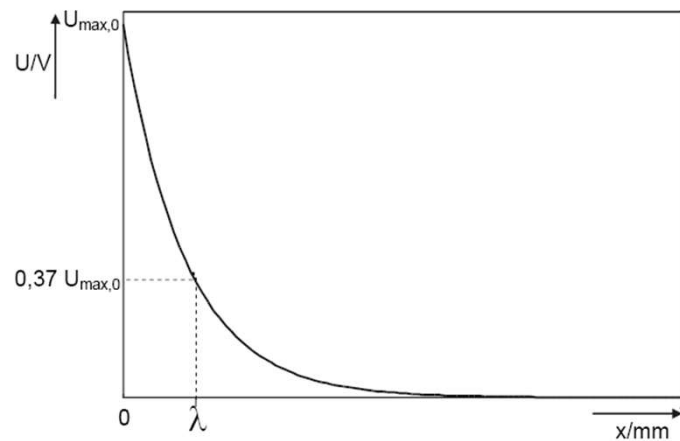
$$U(t|x) = U_{max,o} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

τ : Zeitkonstante



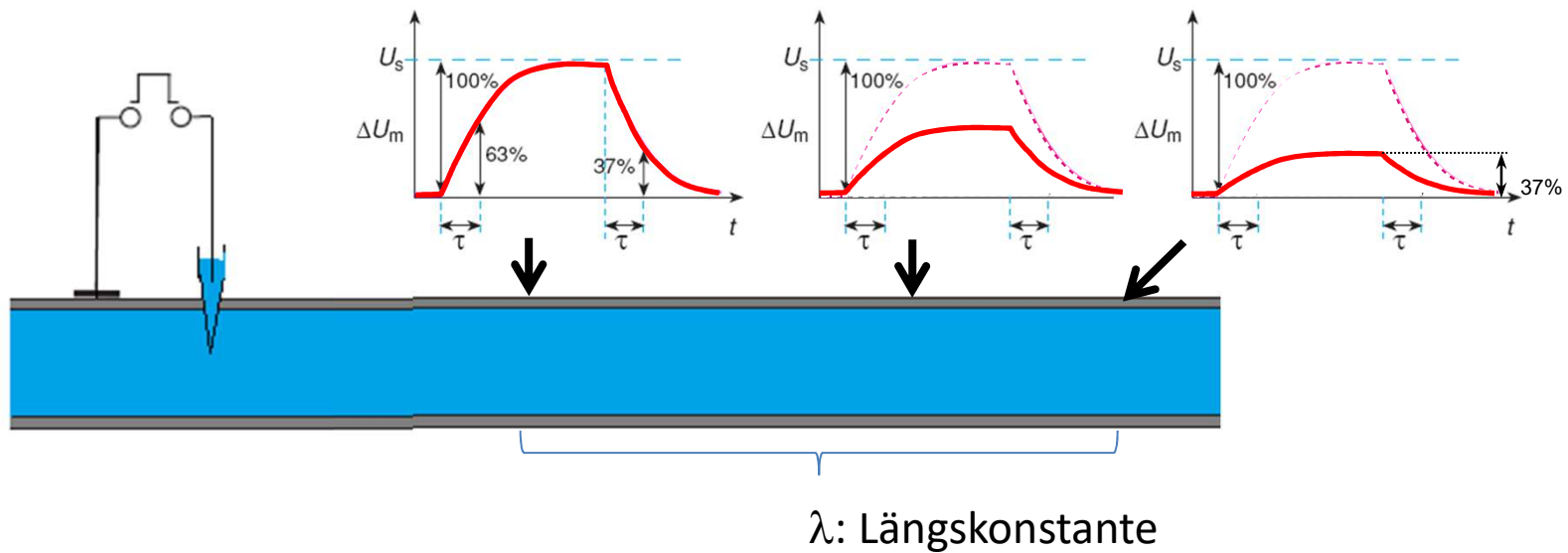
siehe RC Kreis !

- Lokale Änderung des Ruhepotenzials: Raumlicher Ablauf

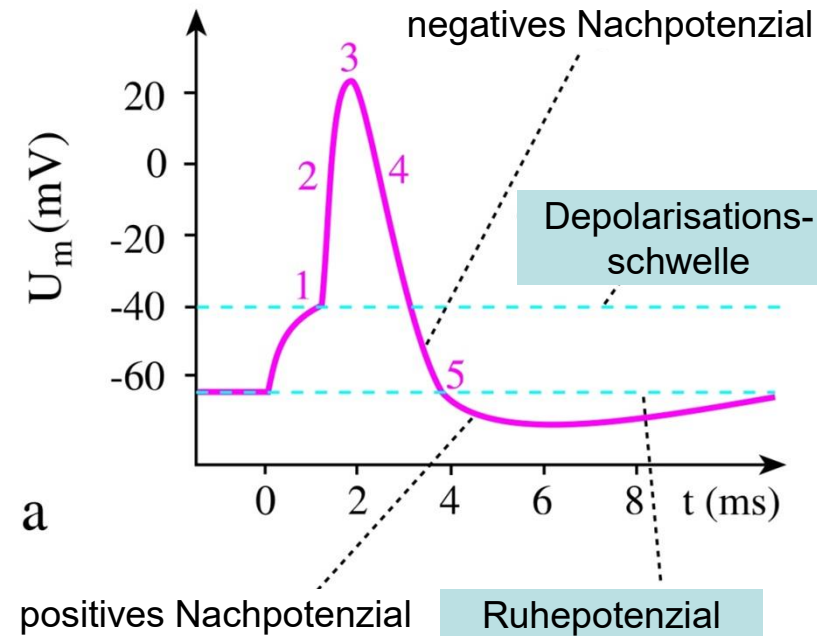
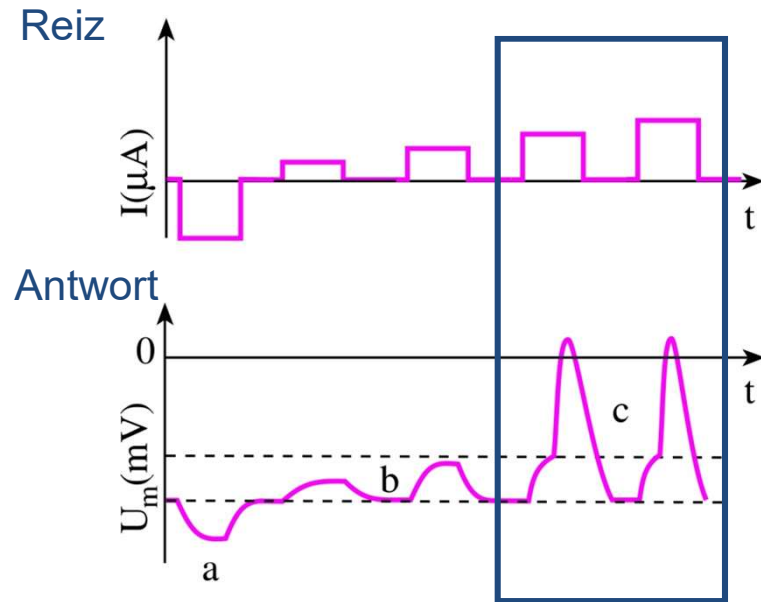


Spannungsabfall längs einer Zelle

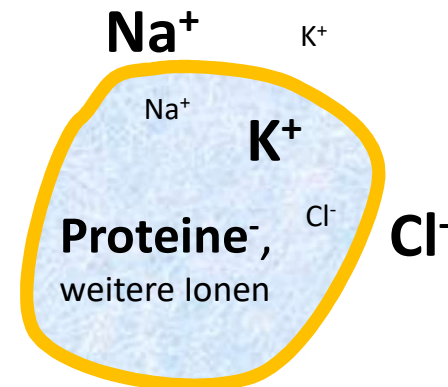
λ : Längskonstante



3. Aktionspotenzial

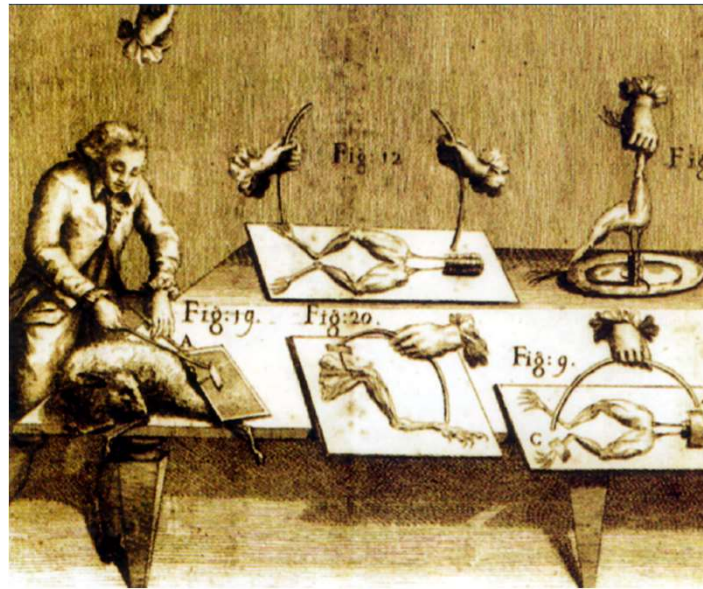


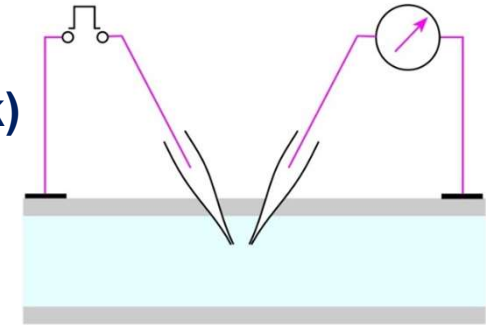
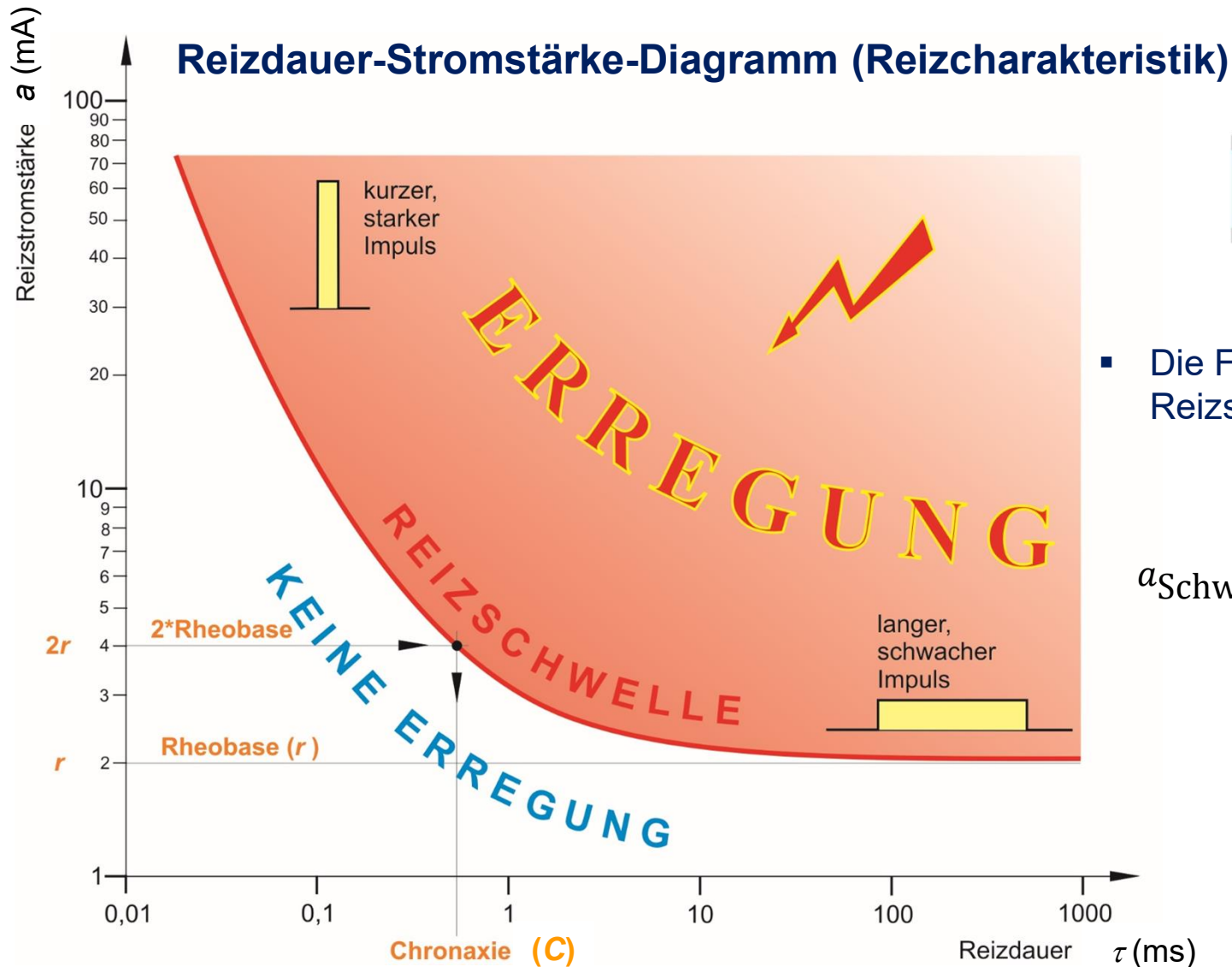
1. Öffnung der Na^+ -Kanäle
2. Öffnung der K^+ -Kanäle
3. Inaktivierung eines Teils der Na^+ -Kanäle
4. Weiteres Ausströmen von K^+
5. Schluss der K^+ -Kanäle



4. Anwendungen

- Diagnostik: Messung der Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)
- Elektrostimulation

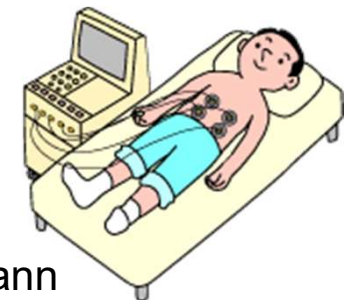




- Die Funktion der Reizschwellenkurve:

$$q = rC$$

$$a_{\text{Schwelle}} = \frac{q}{\tau} + r$$



- Rheobase (r):** die kleinste Reizstromstärke, die noch Erregung auslösen kann
- Chronaxie (C):** die zur doppelten Rheobase gehörende Reizdauer



Stromstärke

Reizdauer

Effects of sex and age on strength–duration properties

Deniz Yerdelen ^{a,*}, Hilmi Uysal ^b, Filiz Koc ^a, Yakup Sarica ^a

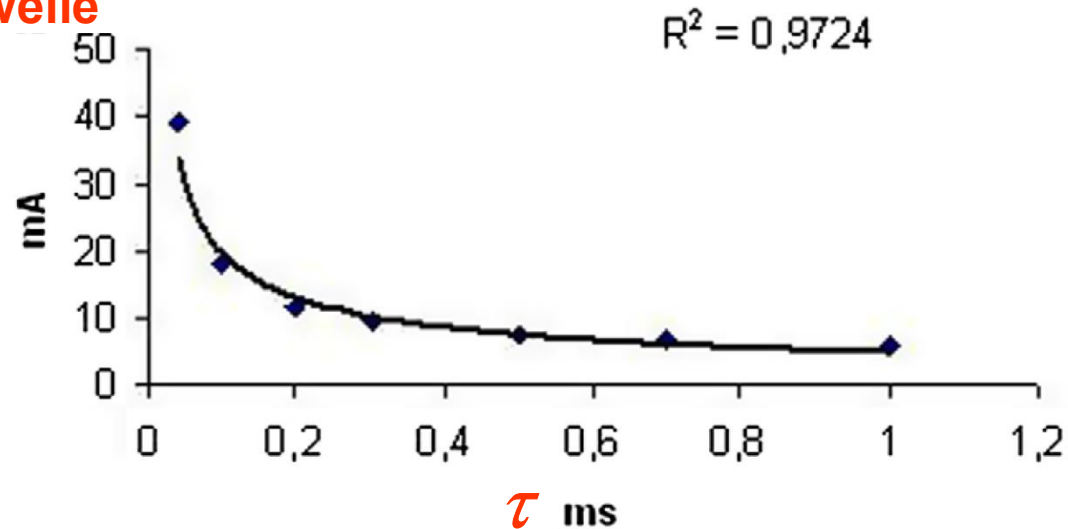
^a Department of Neurology, Cukurova University Medical School, Adana, Turkey

^b Ankara Physical Medicine and Rehabilitation Education and Research Hospital of Ministry of Health, Turkey

Accepted 21 May 2006

Available online 27 July 2006

^aSchwelle



II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

▪ Galvanisation

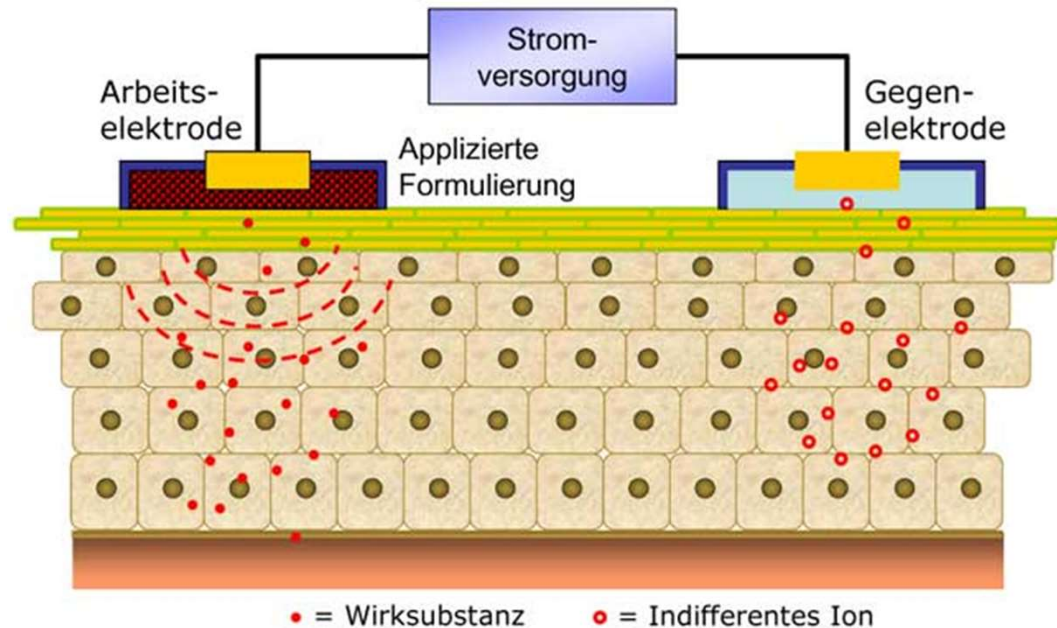


Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

▪ Iontophorese

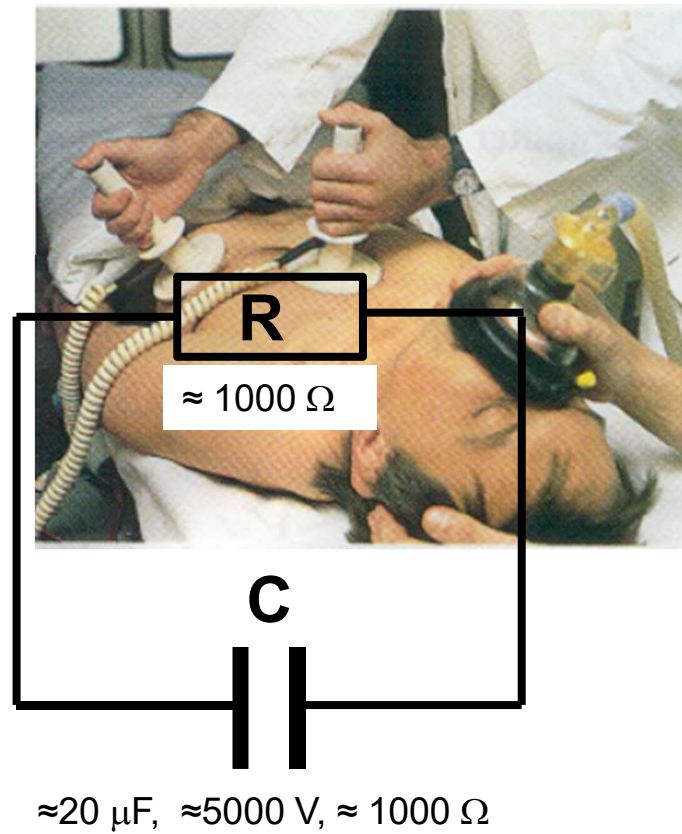


Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



Schnelle Anreicherung des Wirkstoffes gezielt am Krankheitssort unter Umgehung des Magen-Darm-Traktes

▪ Defibrillator

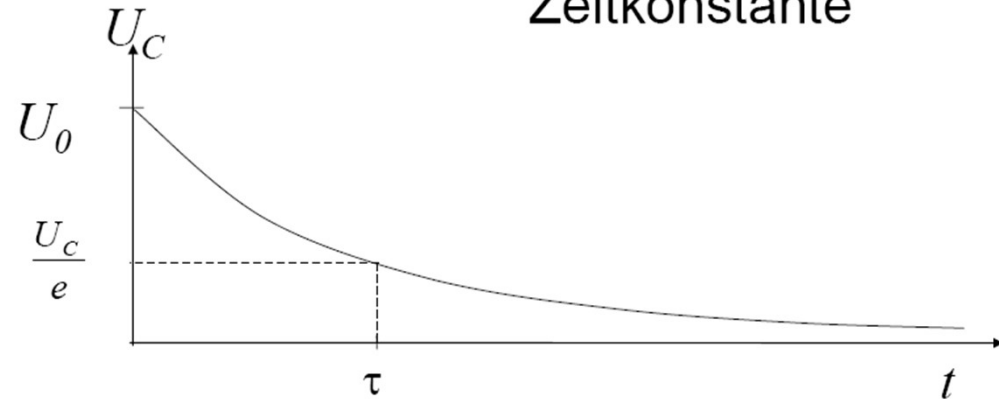


Zur Erinnerung:

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

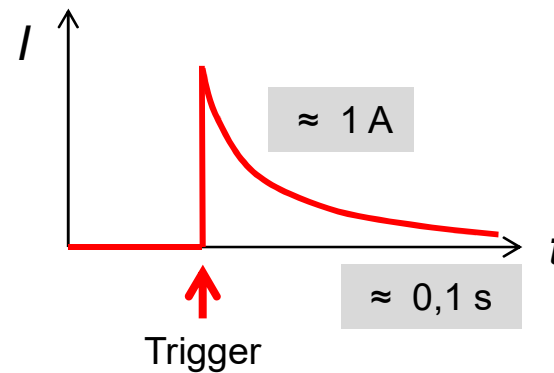
$$\tau = RC$$

Zeitkonstante



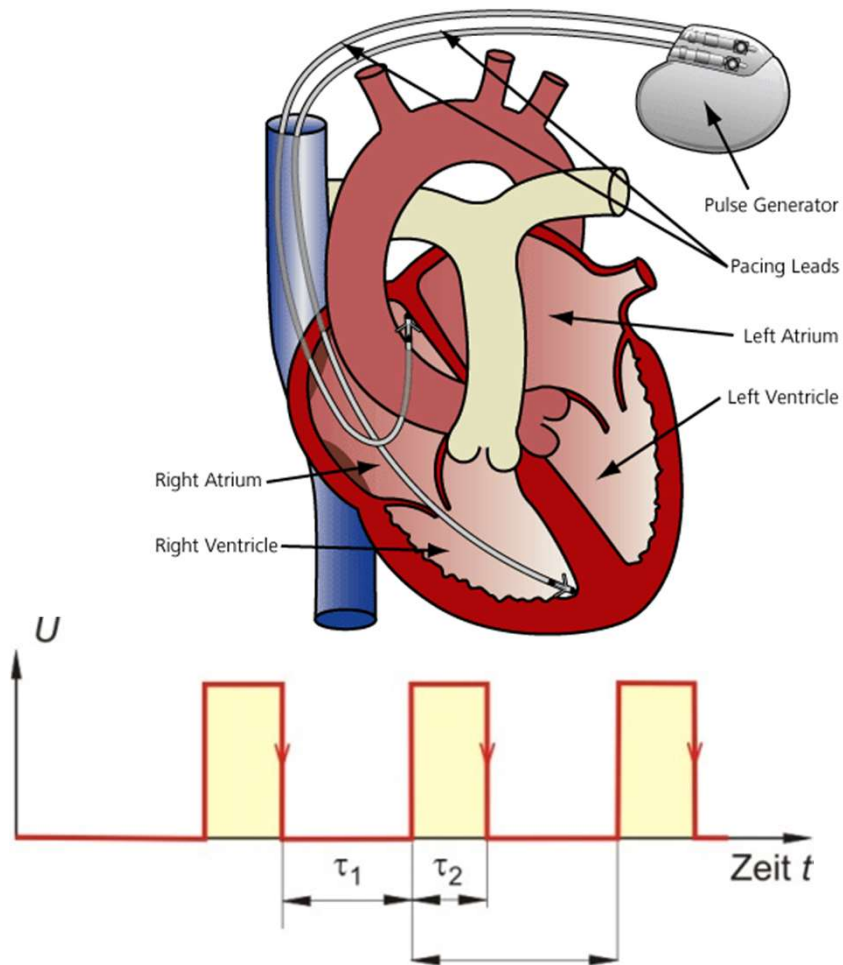
$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$I_0 =$
 $\tau =$



$$W = \frac{1}{2} C U^2 = 250 \text{ J}$$

■ Herzschrittmacher



Periodendauer: $T = \tau_1 + \tau_2$

Tastverhältnis: $\frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%$

Rechteckimpulse, \approx ms, \approx s, ≈ 1 V, $\approx 200 \Omega$



Astabiler Multivibrator
(siehe Praktikumsstoff!)

$$I = \frac{U}{R} = 5 \text{ mA} > a_{\text{Schwelle}}$$

■ Reizstromtherapie



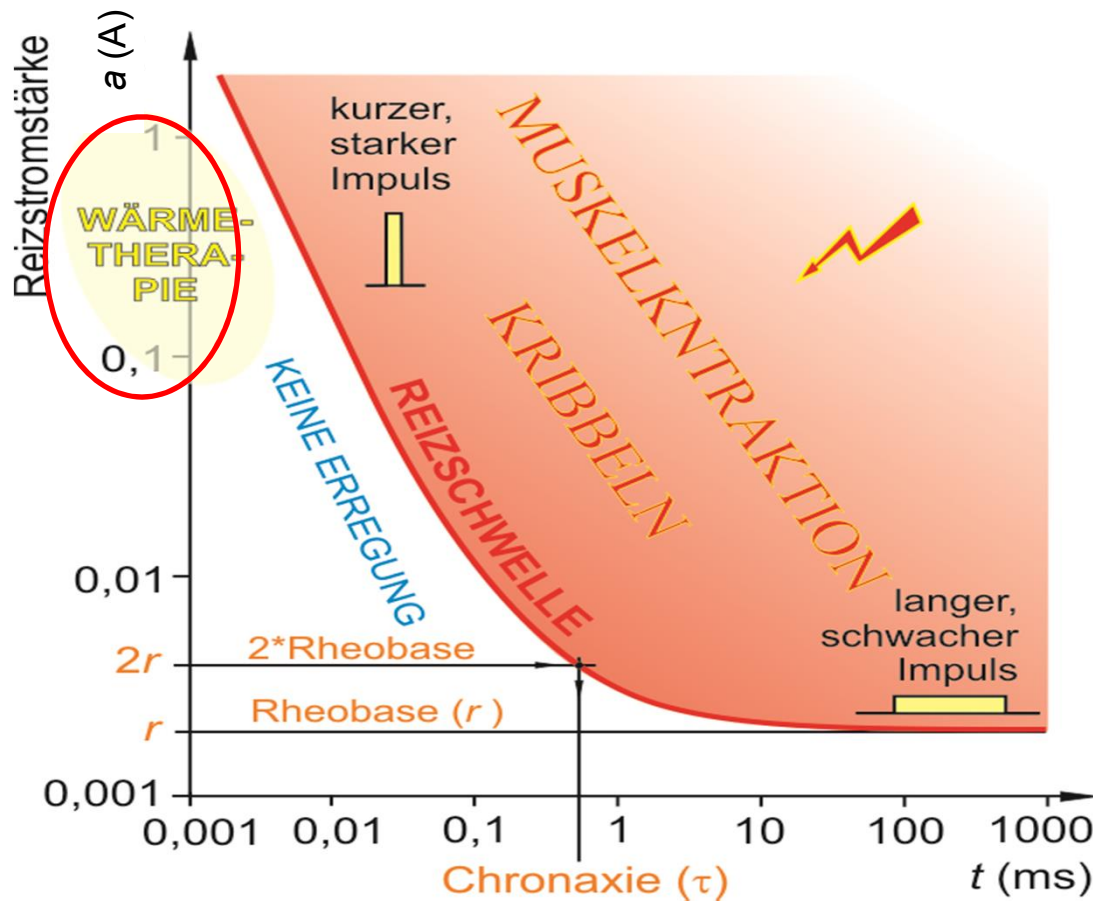
Rechteckimpulse (Einzelimpulse, Serienimpulse)

Astabiler oder
monostabiler
Multivibrator (siehe
Praktikumsstoff!)

- **HF-Wärmetherapie** Wärmewirkung ohne Reizwirkung!

zur genügenden Wärme: $\approx 0,1 \text{ A}$

$$a_{\text{Schwelle}} = \frac{rC}{\tau} + r \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{rC}{a_{\text{Schwelle}} - r} =$$



(C)

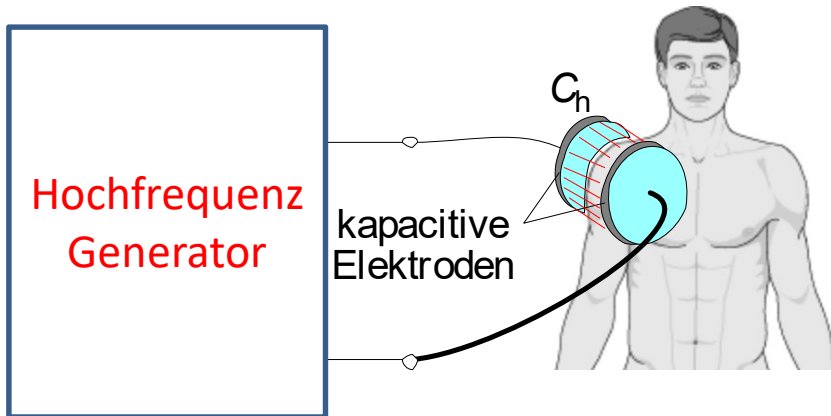
$$f \geq 10^5 \text{ Hz}$$



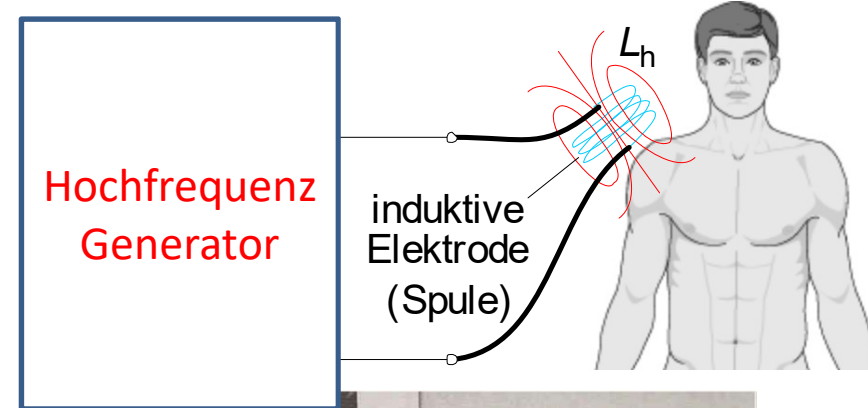
Hochfrequenter
(HF)
Wechselstrom

- Kurzwellentherapie (27 MHz)

Kondensatorfeldmethode



Spulenfeldmethode



▪ HF-Elektrochirurgie

