

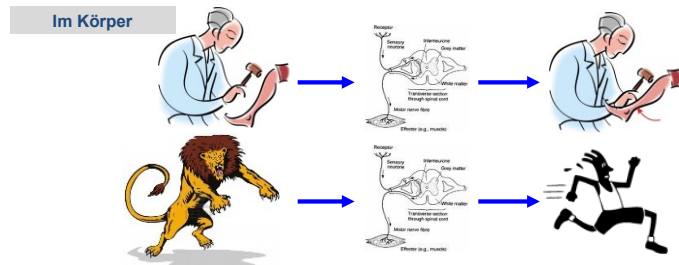
Medizinische Biophysik 2017. 04. 24.

I. Membranpotenzial

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

II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

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



Schnelle Antwort ist nötig!

Diffusion?

Wärmeleitung?

Strömung?

Elektrischer Strom?



3

Ergänzung zu den Transportprozessen

+ Informationstransport

Körper ↔ Umwelt

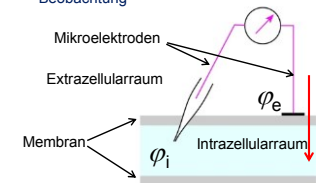


2

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 , ...

4

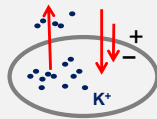
Erklärung

Eine andere Beobachtung ist die inhomogene Ionenverteilung:

Zelle	Intrazelluläre Konzentration (mmol/l)			Extrazelluläre Konzentration (mmol/l)		
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
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

„Gleichgewichtsmodell“:

chemische Triebkraft
elektrische Triebkraft



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

⇒ Das Modell stimmt nicht, es gibt kein Gleichgewicht! Ständiger K⁺-Ausstrom!

5

Zelle	Aus der Nernst-Gleichung: $\Delta\varphi_{eq}$ (mV)			$\Delta\varphi_m$ (mV)
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	
Tintenfisch-Riesenaxon	+46	-89	-55	-62
Froschmuskel	+45	-101	-87	-92
Rattenmuskel	+64	-93	-85	-92

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

Die Stärke der Stromes hängt

- von der Abweichung zwischen $\Delta\varphi_{eq}$ und $\Delta\varphi_m$
- von der Permeabilität der Membran für das Ion



6

Transportmodell

Ständige Diffusion von Ionen mit unterschiedlichen Permeabilitäten

⇒ Diffusionspotenzial

⇒ Rücktransport (aktiv)

Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung:

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

Vereinfachte GHK-Gleichung:

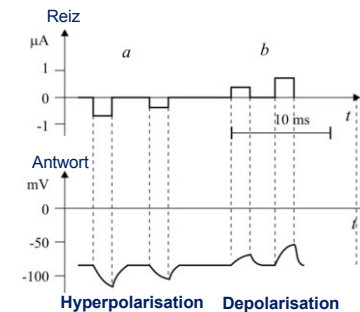
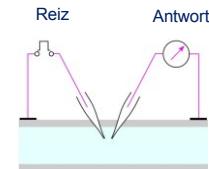
$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{pc_{Na}^i + c_K^i}{pc_{Na}^e + c_K^e}$$

p ist die relative Permeabilität von Na in Bezug auf K:
 $p = \frac{p_{Na}}{p_K}$

	p	φ (gerechnet) (mV)	φ (gemessen) (mV)
Tintenfisch-Riesenaxon	0,04	-63	≈ -62
Froschmuskel	0,01	-91	≈ -92

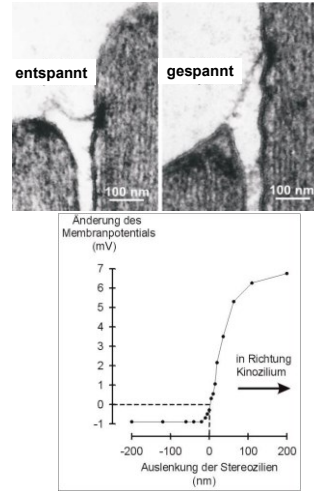
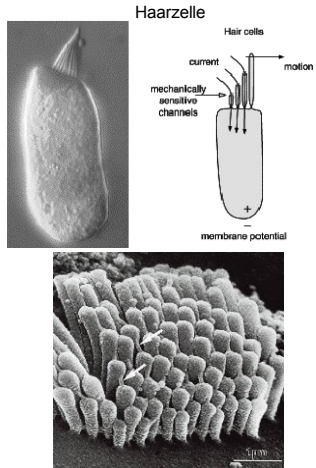
7

2. Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials



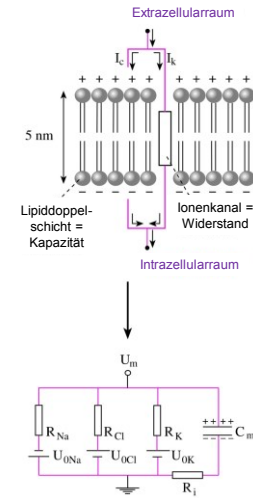
8

Beispiele:



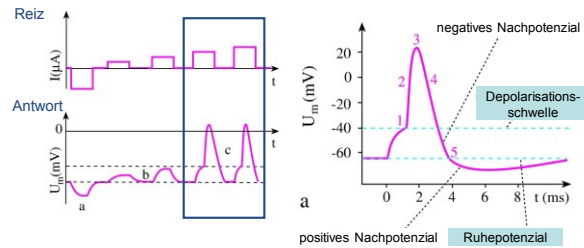
9

Elektrisches Modell der elektronischen Änderung des Membranpotentials:



10

3. Aktionspotenzial



11

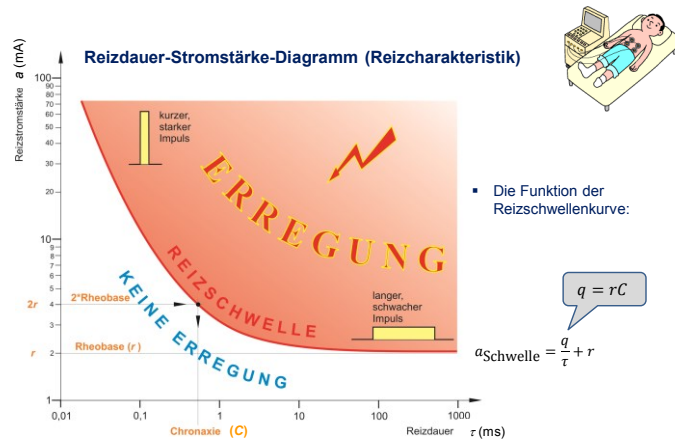
4. Anwendungen

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

- Elektrostimulation



12



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

13

II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

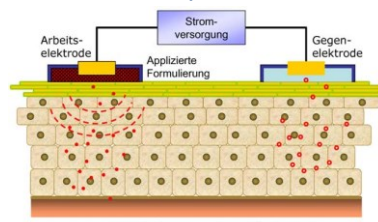
▪ Galvanisation



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

15

Klinisches Beispiel



Clinical Neurophysiology 117 (2006) 2069–2072



Effects of sex and age on strength-duration properties

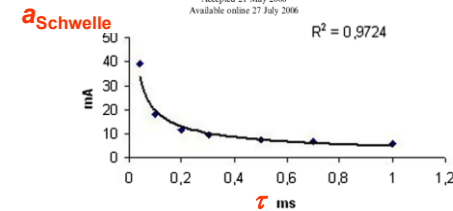
Deniz Yerdelen ^{a,*}, Hilmi Uysal ^b, Filiz Koc ^a, Yakup Sarica ^a

^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

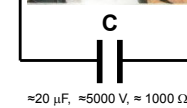
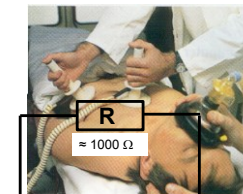
Accepted 21 May 2006

Available online 27 July 2006



14

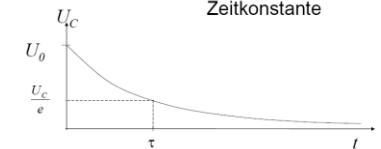
▪ Defibrillator



Zur Erinnerung:

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

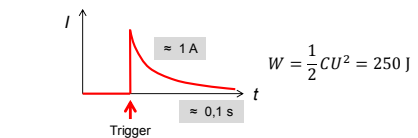
$$\tau = RC$$



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

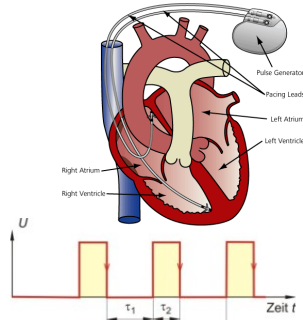
$$I_0 = \frac{U_0}{R} = 5 \text{ A} \gg \alpha \text{Schwelle} !!$$

$$\tau = RC = 20 \mu\text{F} \cdot 1000 \Omega = 20 \text{ ms}$$



16

Herzschrittmacher



Periodendauer: $T = \tau_1 + \tau_2$

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

Rechteckimpulse, $\approx \text{ms}$, $\approx \text{s}$, $\approx 1 \text{ V}$, $\approx 200 \Omega$

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



Astabiler Multivibrator
(siehe Praktikumsstoff!)

17

Reizstromtherapie



Rechteckimpulse (Einzelimpulse, Serienimpulse)



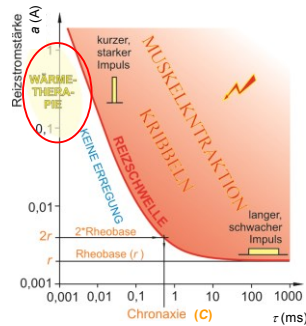
Astabiler oder monostabiler Multivibrator
(siehe Praktikumsstoff!)

18

HF-Wärmetherapie Wärmewirkung ohne Reizwirkung!

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

$$a_{\text{Schwelle}} = \frac{rC}{\tau} + r \Rightarrow \tau = \frac{rC}{a_{\text{Schwelle}} - r} = \frac{0,004 \cdot 0,0003}{0,1 - 0,004} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 0,012 \text{ ms}$$



$$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ s} \rightarrow f \geq 10^5 \text{ Hz}$$

Hochfrequenter
(HF)
Wechselstrom

Siehe Praktikum
„Sinusoszillator“!

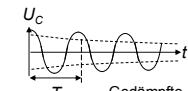
19

Erzeugung von hochfrequenten elektromagnetischen Schwingungen:

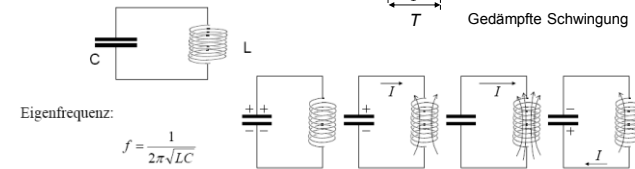
Wiederholung

Schwingkreis:

Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen



Gedämpfte Schwingung

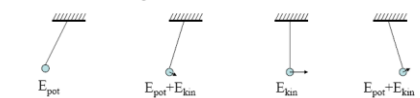


Eigenfrequenz:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

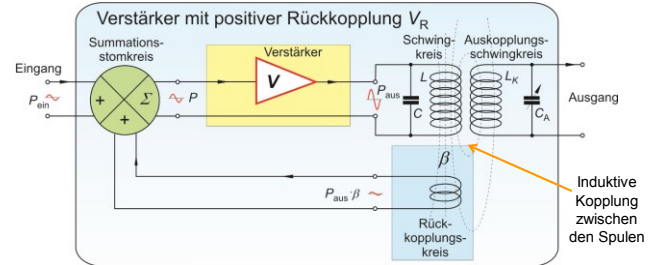


Mechanische Analogie: Pendel



20

Sinusoszillator



$$V_R = \frac{V_U}{1 - \beta \cdot V_U}$$

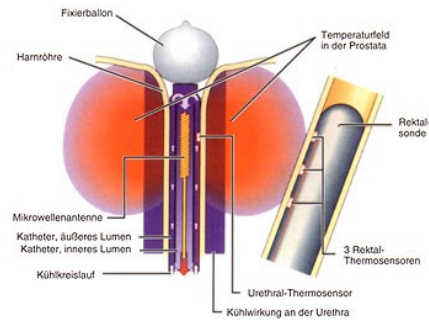
Sinusoszillator, wenn $V_U \cdot \beta = 1$, auch ohne Eingangssignal



Siehe Praktikum „Sinusoszillator“!

- Dezimeterwellentherapie (433 MHz)
- Mikrowellentherapie (2400 MHz)

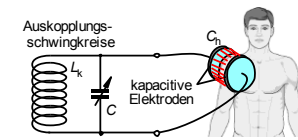
Strahlenfeldmethode



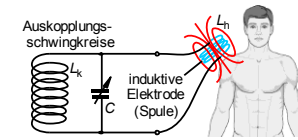
23

- Kurzwellentherapie (27 MHz)

Kondensatorfeldmethode

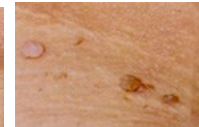
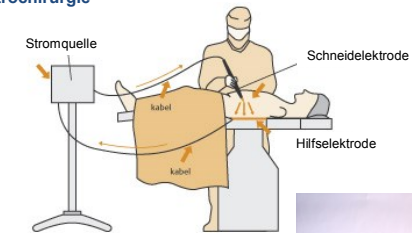


Spulenfeldmethode



22

- HF-Elektrochirurgie



24