

Medizinische Biophysik

2013.
05. 06.

Physikalische Grundlagen der
Erregungsprozesse
Elektroreizung
HF-Wärmetherapie



1

Transportprozesse (Ergänzung)

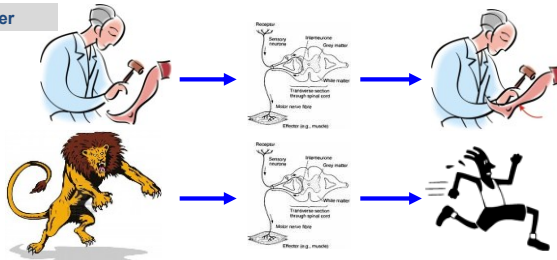
+ Informationstransport

Körper ↔ Umwelt

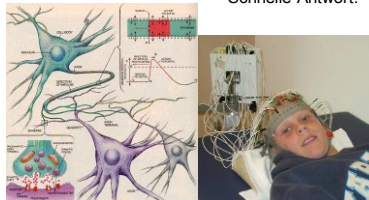


2

Im Körper



Schnelle Antwort!



Diffusion?

Wärmeleitung?

Strömung?

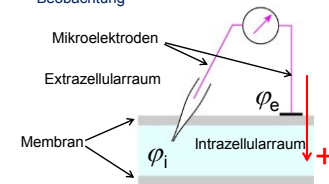
Elektrischer Strom? ☒

3

I. Membranpotenzial

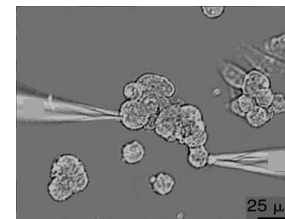
1. Ruhepotenzial

■ 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 , ...

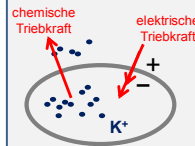
4

Erklärung

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

Zum Beispiel: K⁺-Ionen und Tintenfisch-Riesenaxon



Sind die K⁺-Ionen im Gleichgewicht?

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

⇒ **kein Gleichgewicht! Ständiger K⁺-Ausstrom!**

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 Cl⁻-Ausstrom!

Die Stärke des Stromes hängt

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

- Transportmodell** Ständige Diffusion von Ionen mit unterschiedlichen Permeabilitäten

⇒ Diffusionspotenzial

⇒ Rücktransport (aktiv)

Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung:

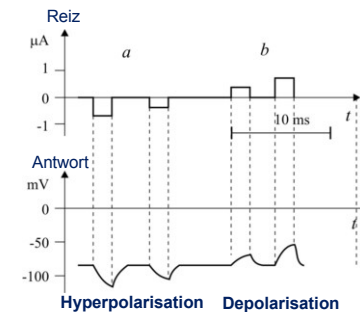
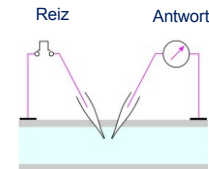
$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{p_{Na}c_{Na}^e + p_Kc_K^e + p_{Cl}c_{Cl}^i}{p_{Na}c_{Na}^i + p_Kc_K^i + p_{Cl}c_{Cl}^e}$$

Vereinfachte GHK-Gleichung:

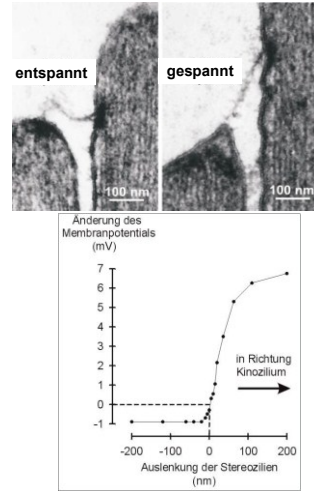
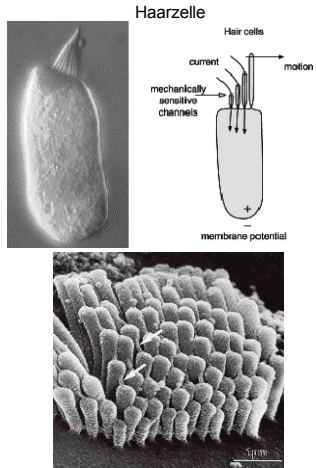
$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{pc_{Na}^e + c_K^e}{pc_{Na}^i + c_K^i}$$

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

2. Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials

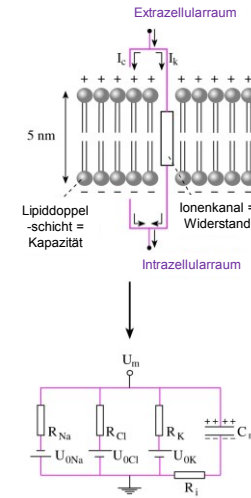


Beispiele:



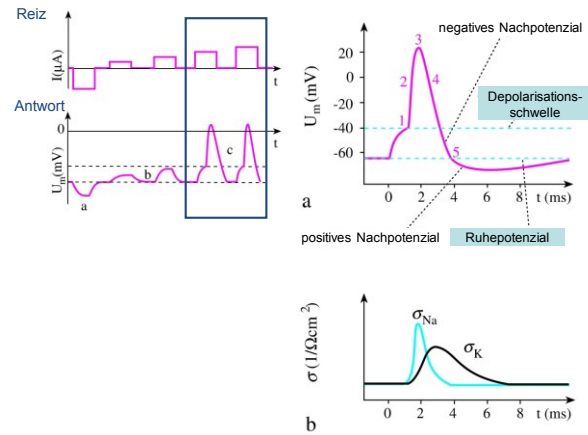
9

Elektrisches Modell der elektronischen Änderung des Membranpotentials:



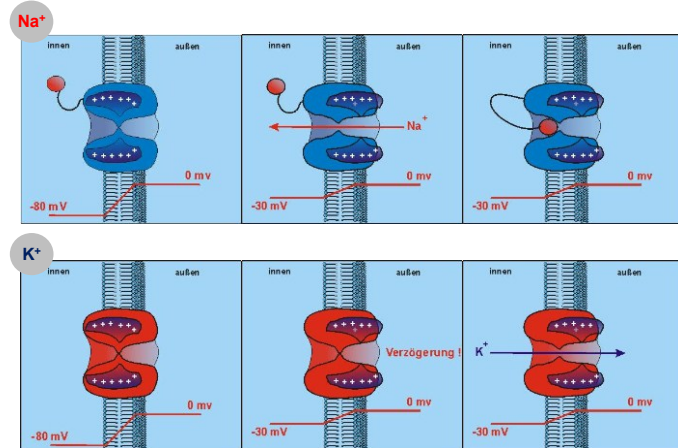
10

3. Aktionspotential



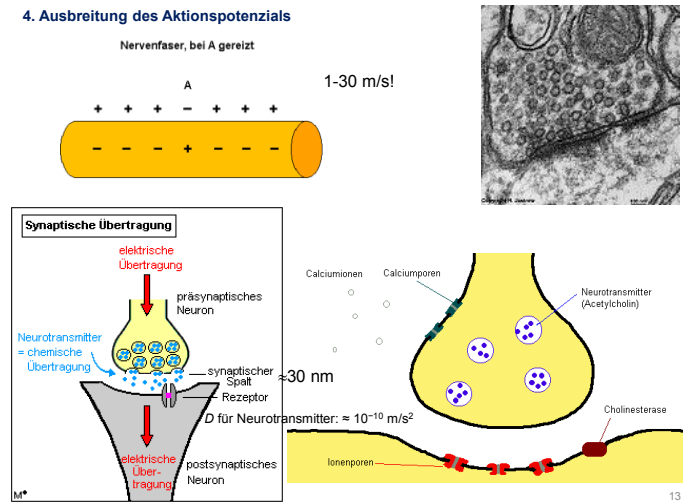
11

Spannungsgesteuerte Ionenkanäle



12

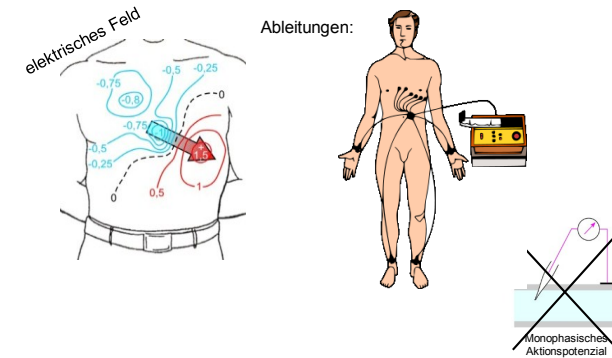
4. Ausbreitung des Aktionspotenzials



5. Anwendungen

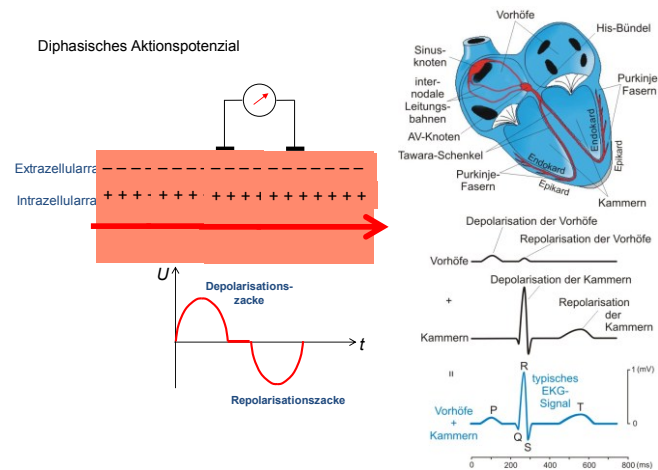
- Diagnostik: Messung der Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)

Elektrokardiographie



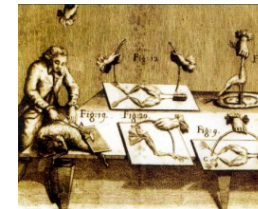
14

Diphasisches Aktionspotenzial



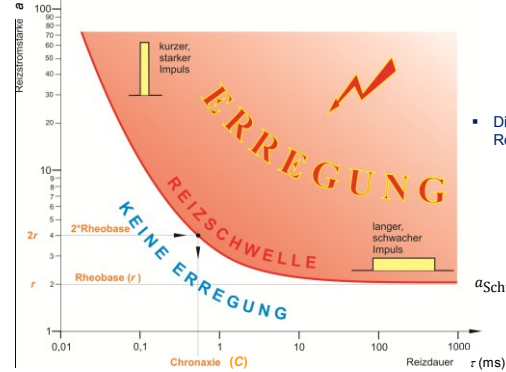
5. Anwendungen

- Elektrostimulation



16

Reizdauer-Stromstärke-Diagramm (Reizcharakteristik)



Die Gleichung 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



Klinisches Beispiel



Clinical Neurophysiology 117 (2006) 2069–2072



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

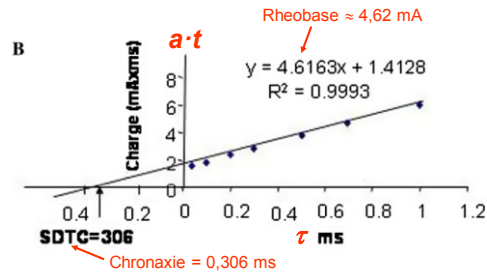
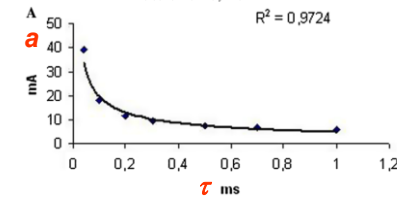
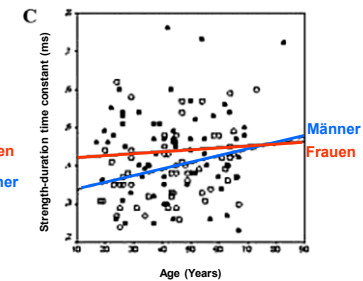
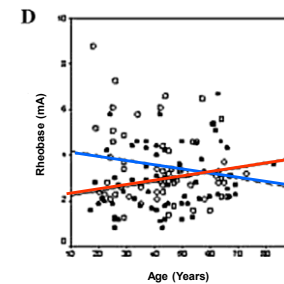


Table 1
Mean values of parameters in men and women

	Men	Women	P
SDTC	396.2 ± 90.3	438.6 ± 114.5	.023
Rheobase	3.5 ± 1.6	2.9 ± 1.4	.023
BMI	25.5 ± 2.9	25.4 ± 4.6	.959
CMAP	18.7 ± 6.8	21.4 ± 8.4	.136
SS at 0.1 ms	16.7 ± 6.2	14.9 ± 6.3	.112
SS at 1 ms	4.9 ± 1.9	4.1 ± 1.8	.028



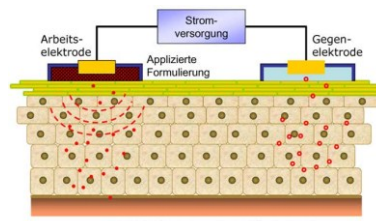
II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

▪ Galvanisation



Gleichstrom, $\approx \text{mA}$, $\approx 10 \text{ min}$

▪ Iontophorese



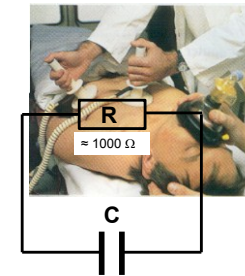
Gleichstrom, $\approx \text{mA}$, $\approx 10 \text{ min}$

▪ Defibrillator

Siehe 1. Semester!

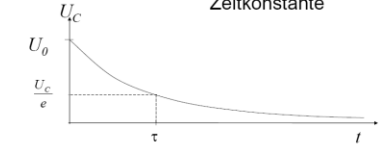
$$U_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\tau = RC$
Zeitkonstante



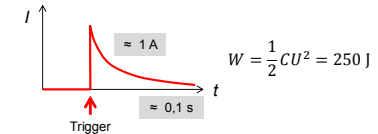
$\approx 20 \mu\text{F}$, $\approx 5000 \text{ V}$, $\approx 1000 \Omega$

$$\left(R = 2R_{\text{Haut}} = 2 \frac{\rho^*}{A} = 2 \frac{5 \Omega \text{m}^2}{0,01 \text{m}^2} = 1000 \Omega \right)$$



$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad I_0 = \frac{U_0}{R} = 5 \text{ A} \gg a_{\text{Schwelle}} !!$$

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

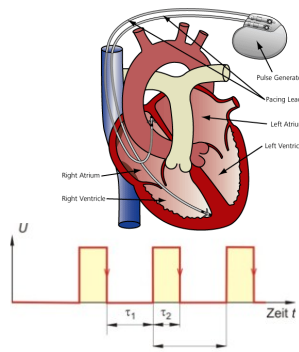


$$W = \frac{1}{2} C U^2 = 250 \text{ J}$$

21

22

▪ Herzschrittmacher



Periodendauer: $T = \tau_1 + \tau_2$

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

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 oder monostabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

23

▪ Reizstromtherapie



Rechteckimpulse (Einzelimpulse, Serienimpulse)



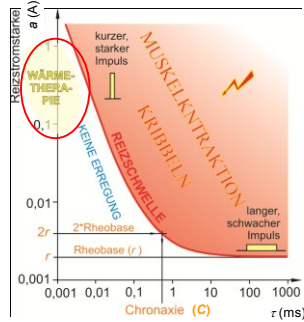
Astabiler oder monostabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

24

■ **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“!

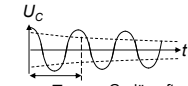
25

Erzeugung von hochfrequenten elektromagnetischen Schwingungen:

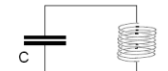
Siehe 1. Semester!

Schwingkreis:

Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen

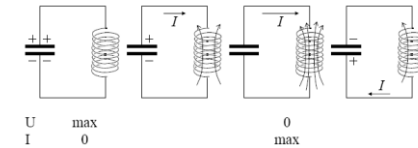


Gedämpfte Schwingung

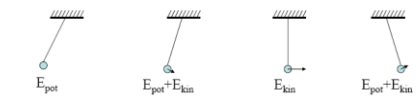


Eigenfrequenz:

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

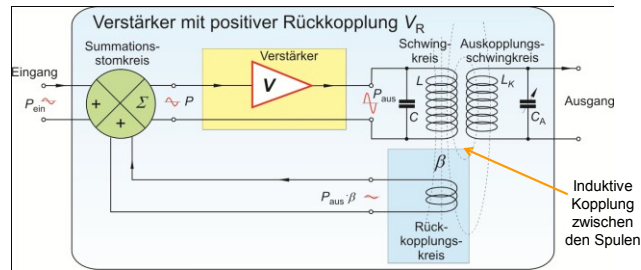


Mechanische Analogie: Pendel



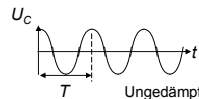
26

Sinusoszillator



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

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



Ungedämpfte Schwingung

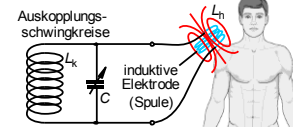
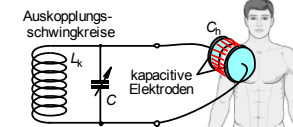
Siehe Praktikum
„Sinusoszillator“!

27

■ Kurzwellentherapie (27 MHz)

Kondensatorfeldmethode

Spulenfeldmethode

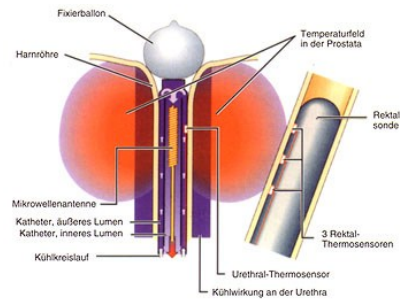


28

- Dezimeterwellentherapie (433 MHz)

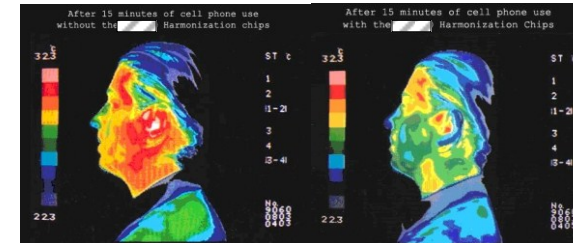
- Mikrowellentherapie (2400 MHz)

Strahlenfeldmethode



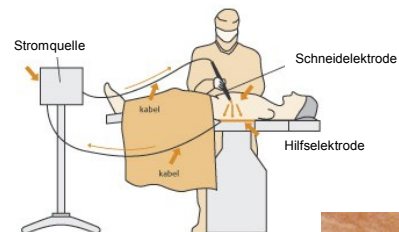
29

„Mikrowellentherapie“ durch Handys



30

- HF-Chirurgie



31

Rechenaufgaben: ▪ Praktikumssbuch : 73, 74, 86-88, 92-93

32