

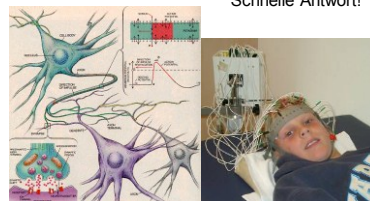
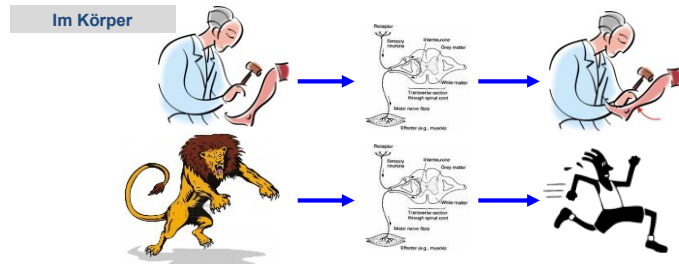
# Medizinische Biophysik 2014. 05. 06.

## I. Membranpotenzial

1. **Ruhepotenzial**
  - Gleichgewichtspotenzial (Nullstrompotenzial)
  - Transportmodell, Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung
2. **Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials**
3. **Aktionspotenzial**
4. **Ausbreitung des Aktionspotenzials**
5. **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!

Diffusion?

Wärmeleitung?

Strömung?

Elektrischer Strom?



3

## Ergänzung zu den Transportprozessen

### + Informationstransport

### Körper ↔ Umwelt

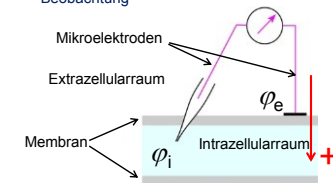


2

## 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:  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\varphi_m$ ,  $\varphi$ ,  $U$ ,  $U_m$ ,  $E$ , ...

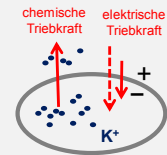
4

## Erklärung

Inhomogene Ionenverteilung:

	Intrazelluläre Konzentration (mmol/l)			Extrazelluläre Konzentration (mmol/l)		
Zelle	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
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<sup>+</sup>-Ionen und Tintenfisch-Riesenaxon



Sind die K<sup>+</sup>-Ionen im Gleichgewicht?

**Gleichgewichtspotenzial (Nullstrompotenzial) für K<sup>+</sup>:**

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

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

⇒ **kein Gleichgewicht! Ständiger K<sup>+</sup>-Ausstrom!**

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

Es gibt kein Gleichgewicht!  
Ständiger K<sup>+</sup>-Ausstrom, Na<sup>+</sup>-Einstrom, und Cl<sup>-</sup>-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:**

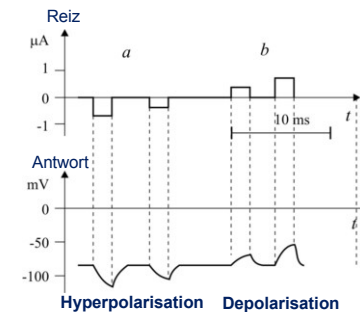
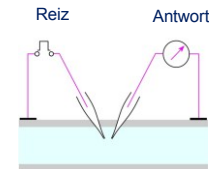
$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{p_{Na}c_{Na}^i + p_Kc_K^i + p_{Cl}c_{Cl}^e}{p_{Na}c_{Na}^e + p_Kc_K^e + p_{Cl}c_{Cl}^i}$$

**Vereinfachte GHK-Gleichung:**

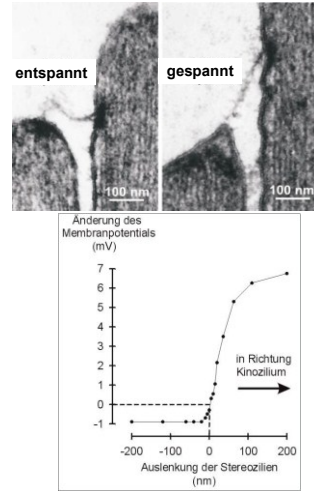
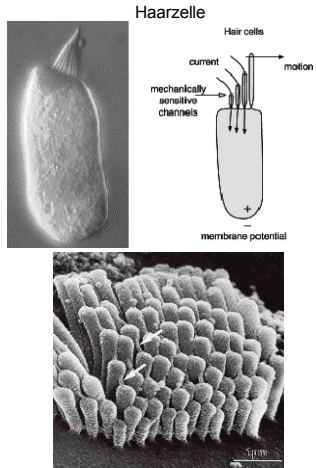
$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{pc_{Na}^i + c_K^i}{pc_{Na}^e + c_K^e}$$

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

## 2. Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials

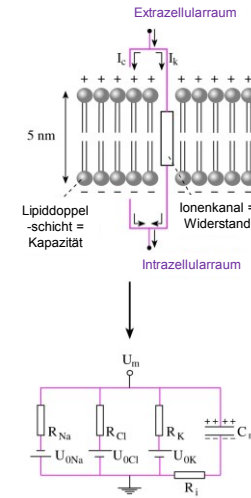


### Beispiele:



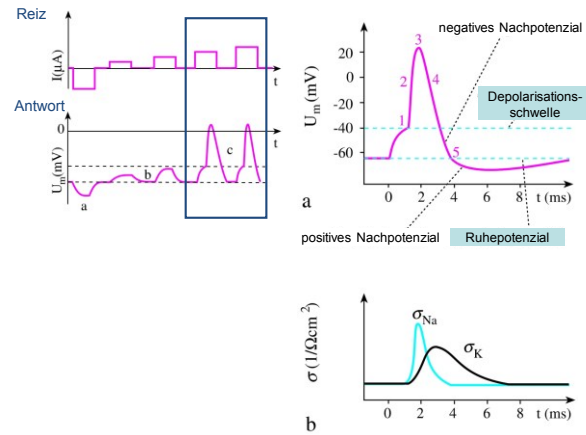
9

Elektrisches Modell der elektronischen Änderung des Membranpotentials:



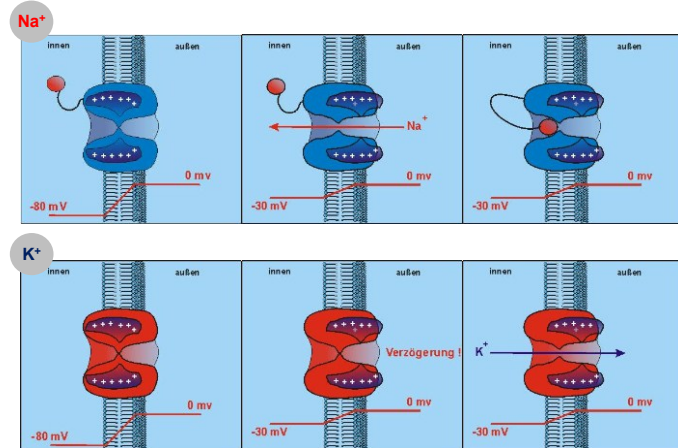
10

### 3. Aktionspotenzial



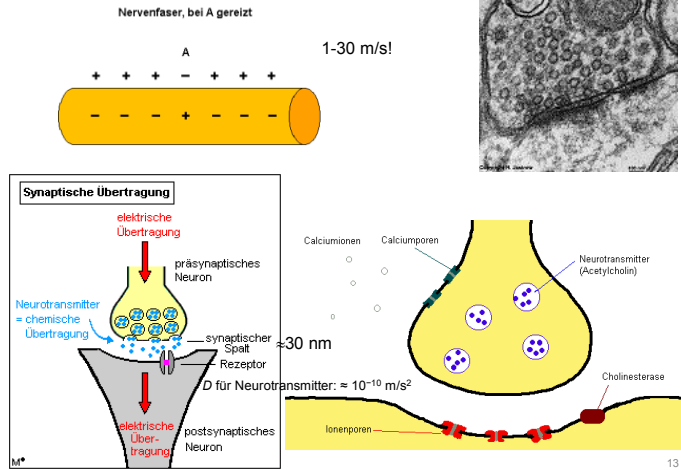
11

### Spannungsgesteuerte Ionenkanäle



12

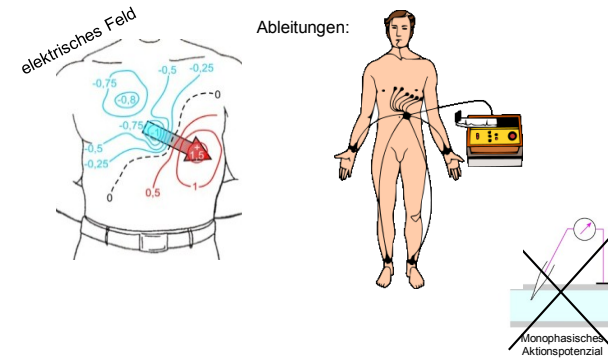
#### 4. Ausbreitung des Aktionspotenzials



#### 5. Anwendungen

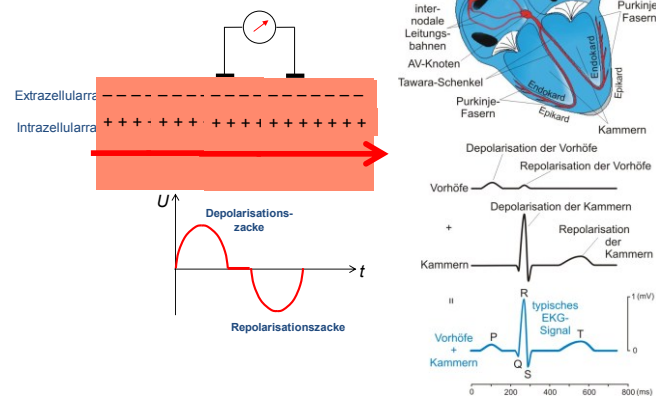
- Diagnostik: Messung der Biopotenziale (EKG, EEG, ...)

##### Elektrokardiographie



14

##### Diphasisches Aktionspotenzial



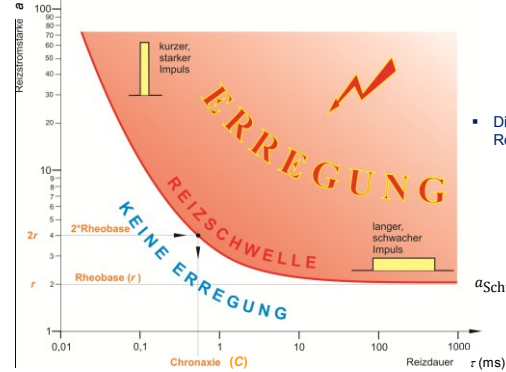
15

##### ○ 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 <sup>a,\*</sup>, Hilmi Uysal <sup>b</sup>, Filiz Koc <sup>a</sup>, Yakup Sarica <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Neurology, Cukurova University Medical School, Adana, Turkey

<sup>b</sup> Ankara Physical Medicine and Rehabilitation Education and Research Hospital of Ministry of Health, Turkey

Accepted 21 May 2006

Available online 27 July 2006

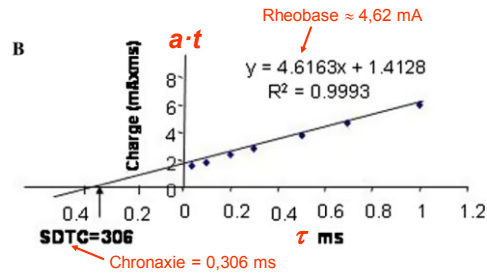
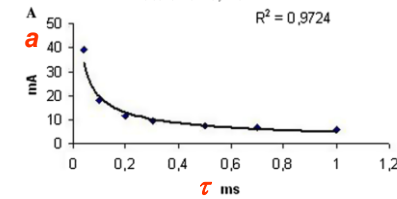
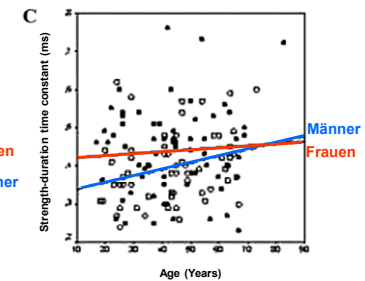
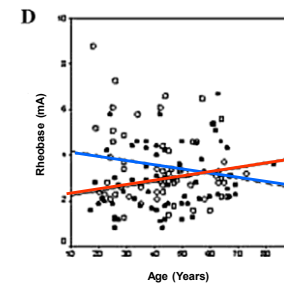


Table 1  
Mean values of parameters in men and women

	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



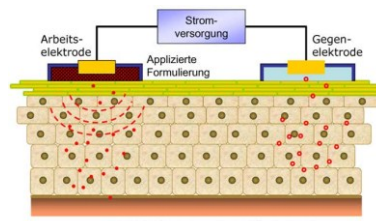
## II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

### Galvanisation



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

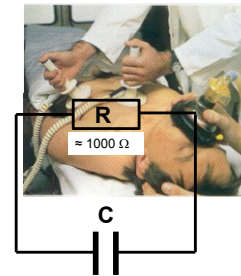
### Iontophorese



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

21

### Defibrillator



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

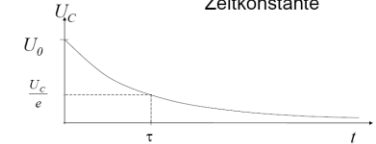
$$\left( R = 2R_{\text{Haut}} = 2 \frac{\rho^*}{A} = 2 \frac{5 \Omega \text{m}^2}{0,01 \text{ m}^2} = 1000 \Omega \right)$$

Zur Erinnerung:

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

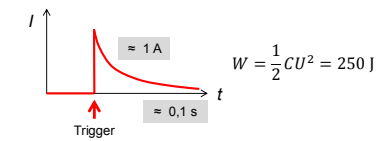
$$\tau = RC$$

Zeitkonstante



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

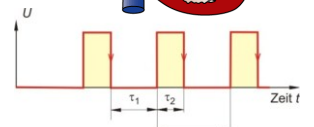
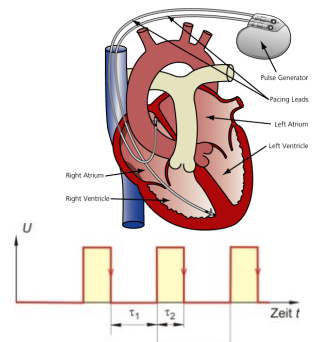
$$\tau = RC = 20 \mu\text{F} \cdot 1000 \Omega = 20 \text{ ms}$$



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

22

### 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 oder monostabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

23

### Reizstromtherapie



Rechteckimpulse (Einzelimpulse, Serienimpulse)



Astabiler oder monostabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

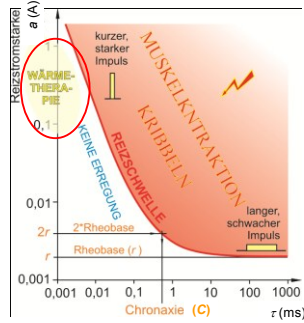
24



■ **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“!

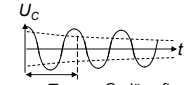
25

Erzeugung von hochfrequenten elektromagnetischen Schwingungen:

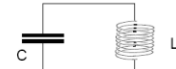
Wiederholung

Schwingkreis:

Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen

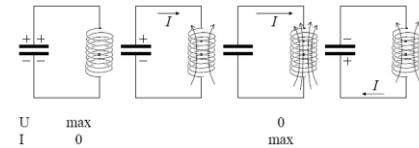


Gedämpfte Schwingung

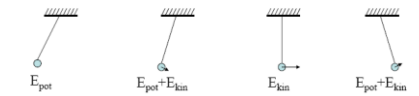


Eigenfrequenz:

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

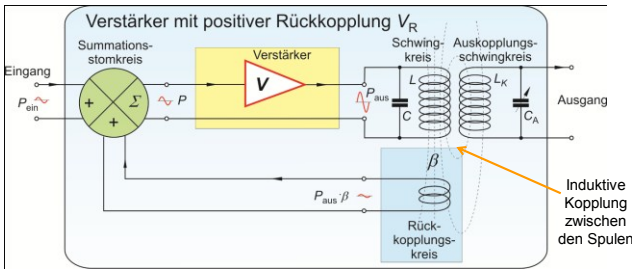


Mechanische Analogie: Pendel



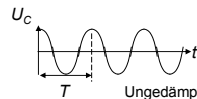
26

**Sinusoszillator**



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

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



Ungedämpfte Schwingung

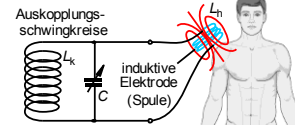
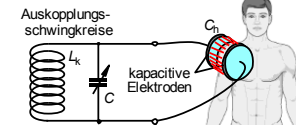
Siehe Praktikum  
„Sinusoszillator“!

27

■ Kurzwellentherapie (27 MHz)

Kondensatorfeldmethode

Spulenfeldmethode

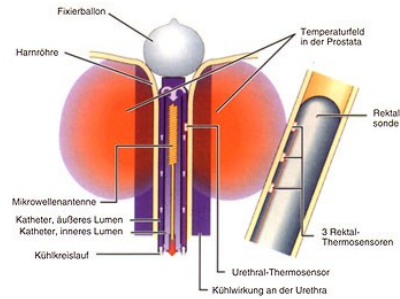


28

- Dezimeterwellentherapie (433 MHz)

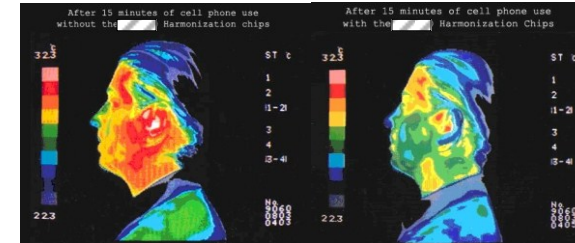
- Mikrowellentherapie (2400 MHz)

#### Strahlenfeldmethode



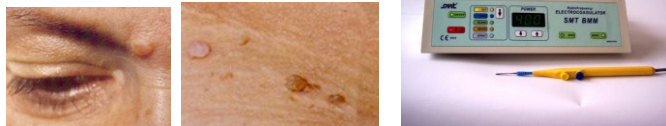
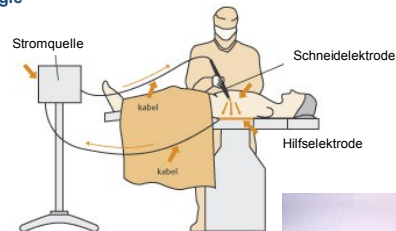
29

#### „Mikrowellentherapie“ durch Handys



30

- HF-Chirurgie



Hausaufgaben: Neue Aufgabensammlung 5. Teil 3.34-36

31