

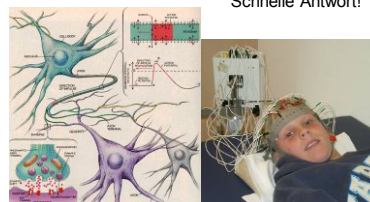
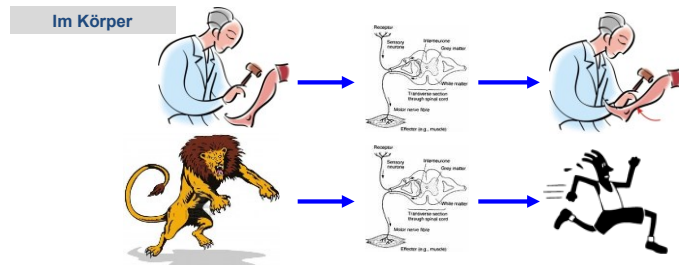
# Medizinische Biophysik 2016. 05. 03.

## 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

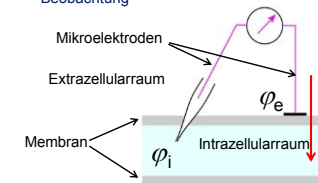


2

## 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

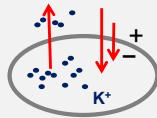
## Erklärung

Eine andere Beobachtung ist die inhomogene Ionenverteilung:

Zelle	Intrazelluläre Konzentration (mmol/l)			Extrazelluläre Konzentration (mmol/l)		
	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

### „Gleichgewichtsmodell“:

chemische Triebkraft  
elektrische Triebkraft



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

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

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

5

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 ein wenig Cl<sup>-</sup>-Ausstrom!

Die Stärke der Stomes 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:

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

Vereinfachte GHK-Gleichung:

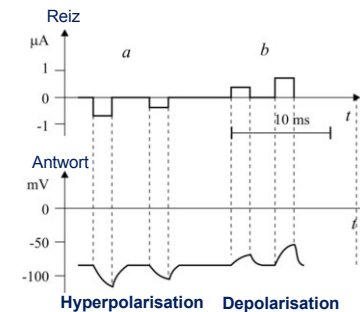
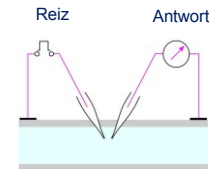
$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{p c_{Na}^i + c_K^i}{p c_{Na}^e + c_K^e}$$

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

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

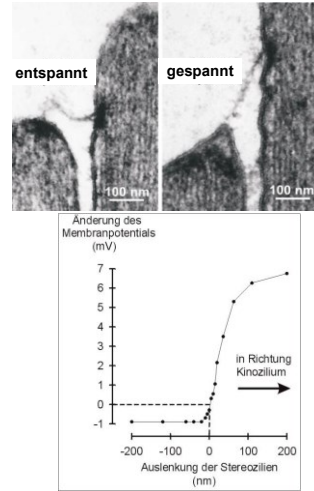
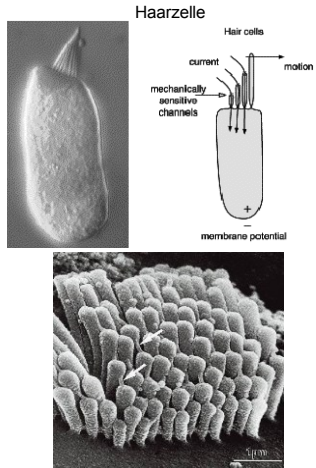
7

## 2. Lokale (elektrotonische) Änderungen des Membranpotenzials



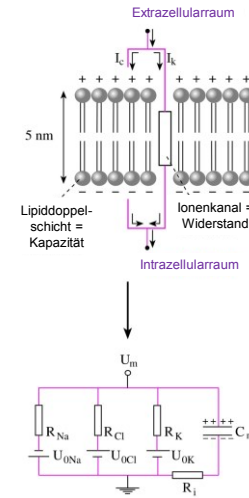
8

### Beispiele:



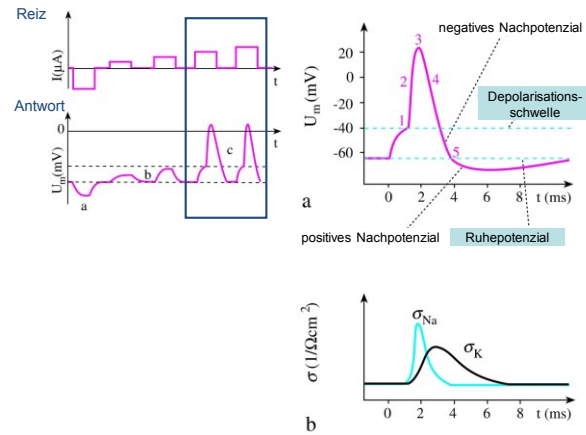
9

Elektrisches Modell der elektronischen Änderung des Membranpotentials:



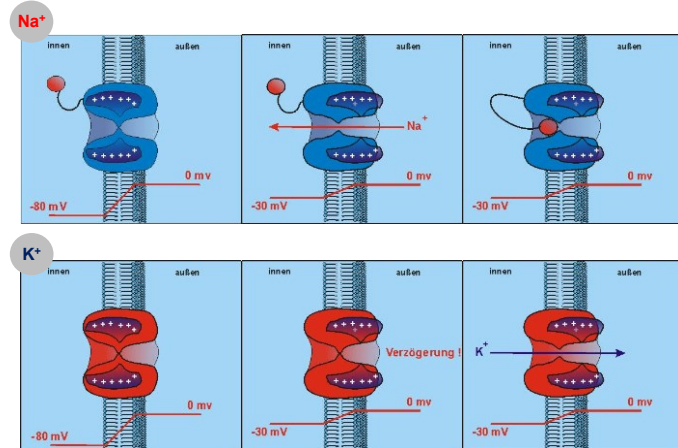
10

### 3. Aktionspotenzial



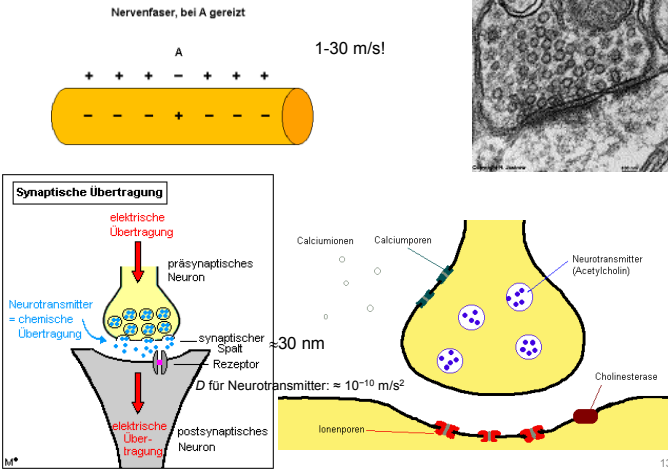
11

### Spannungsgesteuerte Ionenkanäle



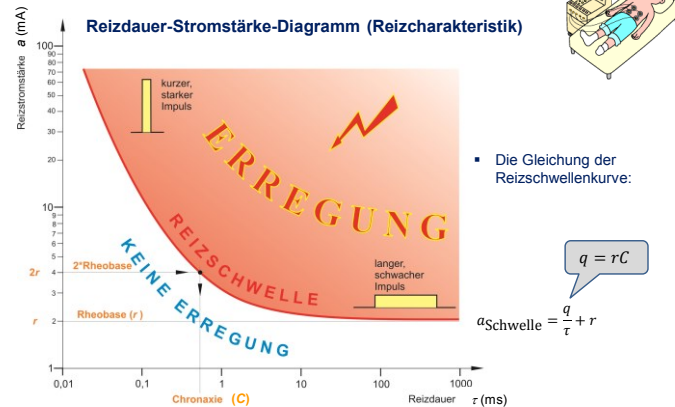
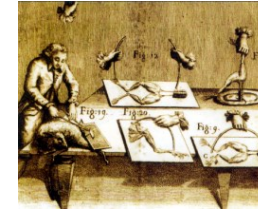
12

#### 4. Ausbreitung des Aktionspotenzials



#### 5. Anwendungen

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



- **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

www.elsevier.com/locate/clneph

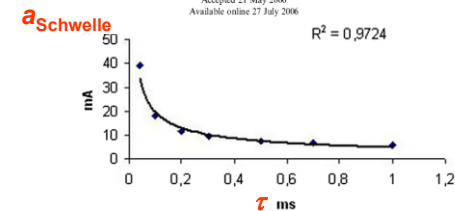
#### Effects of sex and age on strength–duration properties

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> Adana Physical Medicine and Rehabilitation Education and Research Hospital of Ministry of Health, Turkey

Accepted 21 May 2006  
Available online 27 July 2006



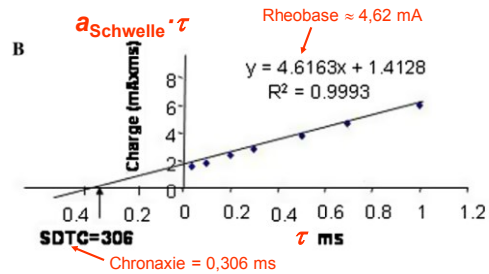


Table 1  
Mean values of parameters in men and women

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

17

## II. Anwendungen des elektrischen Stromes in der Therapie

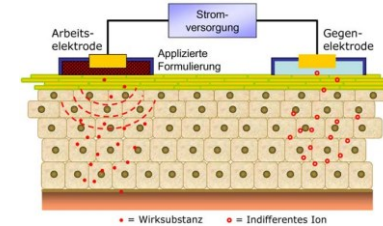
### Galvanisation



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

- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

### Iontophorese

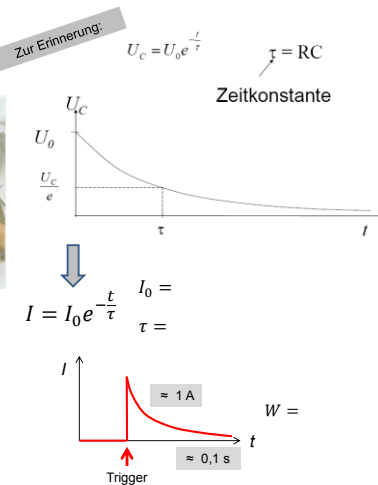
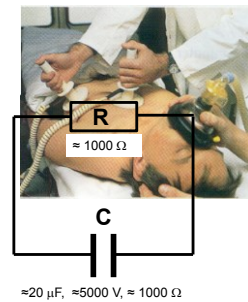


Gleichstrom,  $\approx \text{mA}$ ,  $\approx 10 \text{ min}$

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

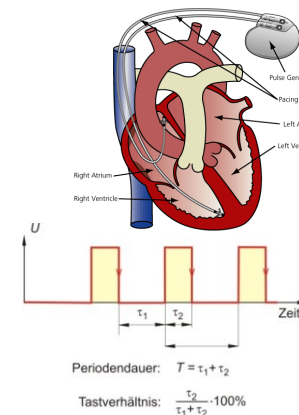
18

### Defibrillator



19

### Herzschrittmacher



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



Astabiler Multivibrator  
(siehe Praktikumsstoff!)

20

## Reizstromtherapie



Rechteckimpulse (Einzelimpulse, Serienimpulse)

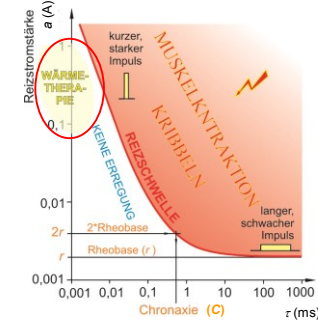
Astabiler oder monostabiler Multivibrator (siehe Praktikumsstoff!)

21

## HF-Wärmetherapie Wärmewirkung ohne Reizwirkung!

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

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



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

Hochfrequenter (HF) Wechselstrom

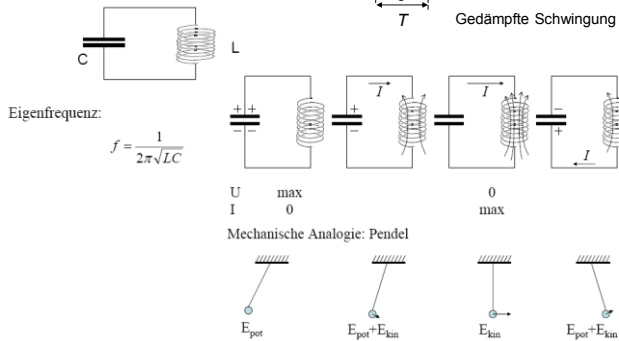
Siehe Praktikum „Sinusoszillator“!

22

Erzeugung von hochfrequenten elektromagnetischen Schwingungen:

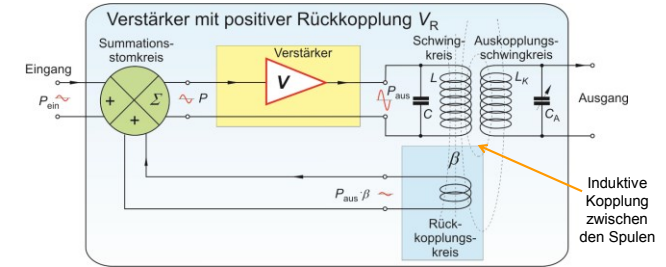
Wiederholung

Schwingkreis:  
Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen



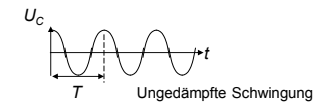
23

## Sinusoszillator



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

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



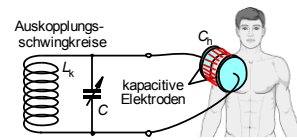
Siehe Praktikum „Sinusoszillator“!

24

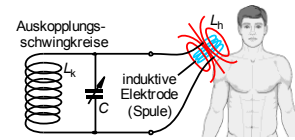


- Kurzwellentherapie (27 MHz)

Kondensatorfeldmethode



Spulenfeldmethode

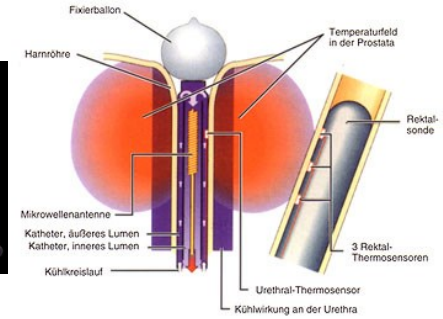


25

- Dezimeterwellentherapie (433 MHz)

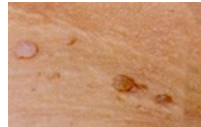
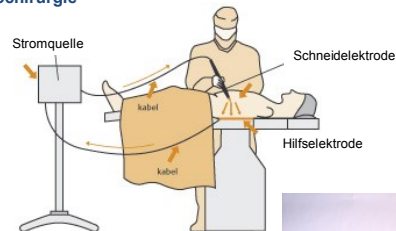
- Mikrowellentherapie (2400 MHz)

Strahlenfeldmethode



26

- HF-Elektrochirurgie



27