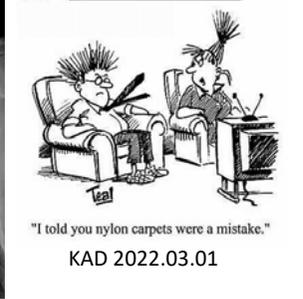
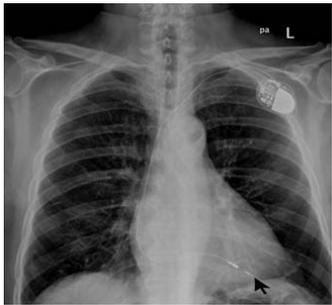
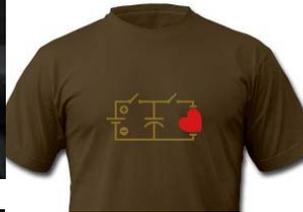




## Impulsgeneratoren, Wärmetherapie



**Signalverarbeitung** (dB, Fourier, Filter, Verstärker, Frequenzcharakteristik, Rückkopplung)  
– separate Vorlesung

**Erregungsprozesse** (Membran-, Ruhe-, Aktions-Potenzial)  
– separate Vorlesungen

### Impulsgeneratoren (medizinische Anwendungen der Elektrizität)

RC-Schaltungen, Aufladung, Entladung, Zeitkonstante  
ideale und reale Rechteckimpulse (Wirkung von Filtern)  
Reizstromcharakteristik, Rheobase, Chronaxie  
Wärmetherapie zur Behandlung von Muskel- und Gelenkerkrankungen  
Hochfrequenzchirurgie  
Stoßwellentherapie

verwandte Praktika:

Im 1. Semester: Telemedizin, Resonanz, Verstärker

Im 2. Semester: Coulter Zähler, Hautimpedanz, EKG, Impulsgeneratoren, Audiometrie, Sensor, Flüssigkeitsströmung

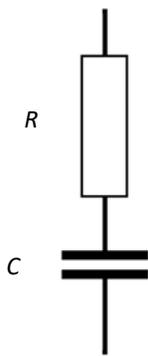
### RC-Glied in einer Gleichstromschaltung

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

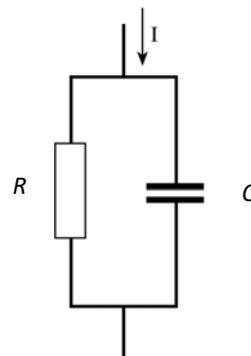
$$C = \epsilon \frac{A}{l}$$

$$E = \frac{1}{2} CU^2$$



Reihenschaltung

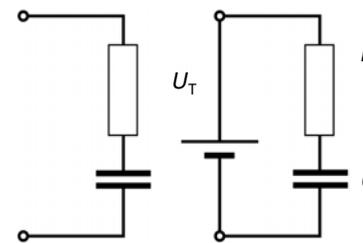
Kondensator im Gleichstromkreis wirkt wie ein Riss



Parallelschaltung

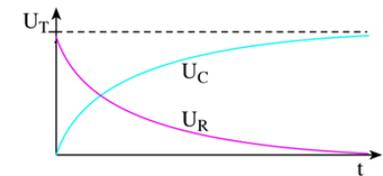
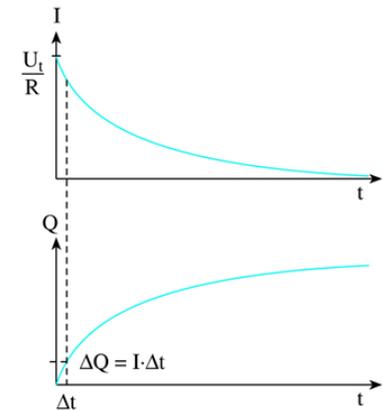
das elektrische Verhalten unserer Haut, Hautimpedanz Praktikum

### Aufladen eines in Reihe geschalteten RC-Gliedes

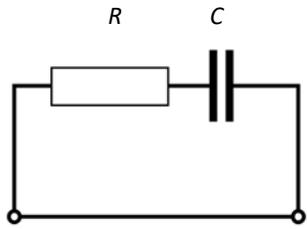


$$U_R = RI = U_T e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$U_C = U_T - U_R = U_T (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



## Entladung im RC-Glied



Es ist gültig für beide (in Reihe.../parallel) Schaltung.

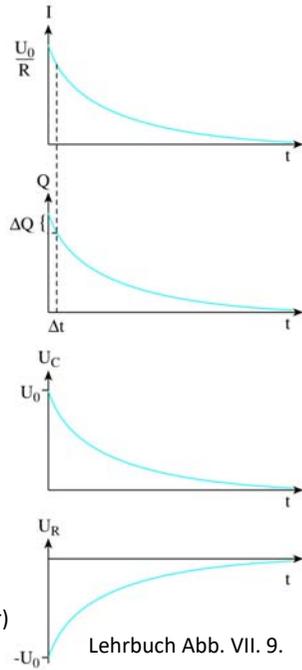
$$U_R = RI = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

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

$$\tau = RC$$

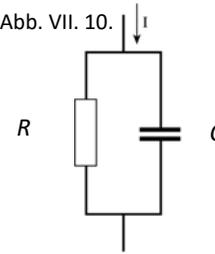
**Zeitkonstante**  
(Vgl. Lebensdauer von radioaktiven Substanzen, Fluoreszenzlebensdauer)

Lehrbuch Abb. VII. 8.

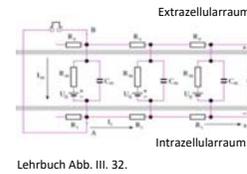


## Aufladen des parallel geschalteten RC-Gliedes

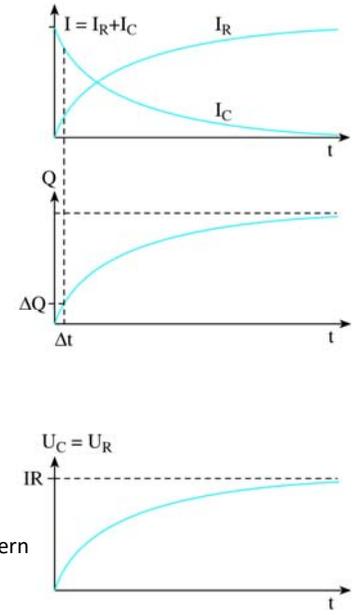
Lehrbuch Abb. VII. 10.



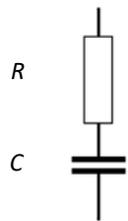
$$U_C = U_R = RI(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



Zellmembran aus RC-Gliedern (s. „Erregungsprozesse Vorlesung“)



## RC-Glied in einer Wechselstromschaltung

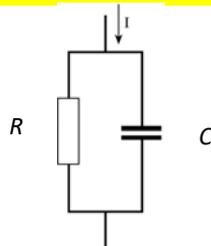


in Reihe geschaltetes RC-Glied

Widerstand

$$R, X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



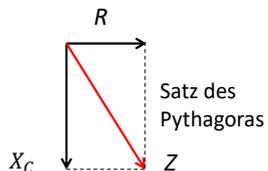
RC-parallel Schaltung

Leitfähigkeit = 1/Widerstand

$$\frac{1}{R}, \frac{1}{X_C}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}}$$

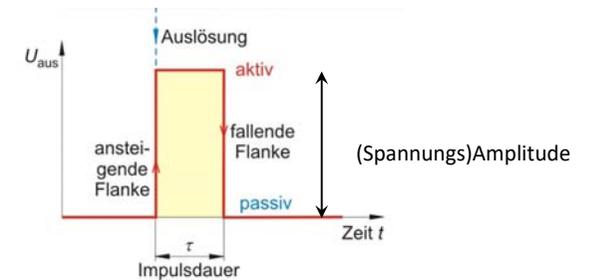
die addierende Größe



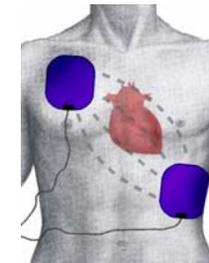
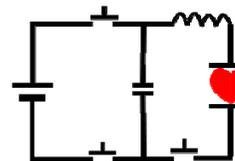
7

## Charakteristiken der elektrischen Rechteckimpulsen

1 Rechteckimpuls (der einfachste Impuls)

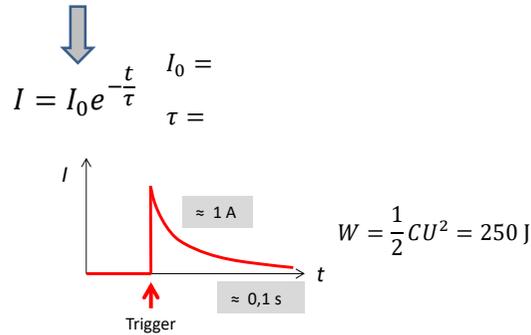
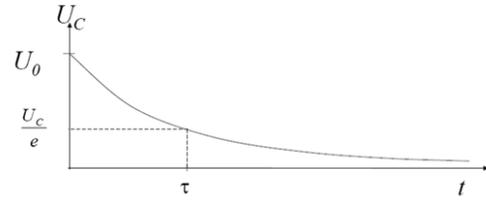
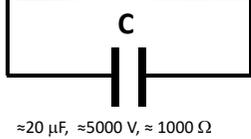
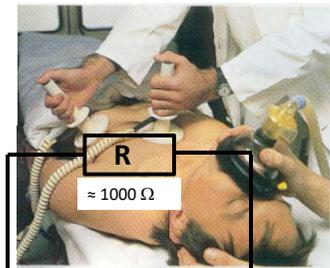


z.B. Impuls des Defibrillators



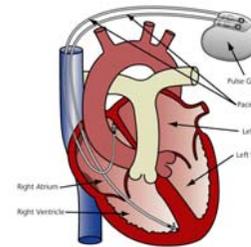
8

## Defibrillator



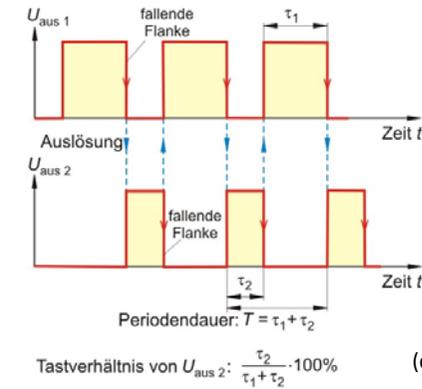
9

periodische Rechteckimpulse

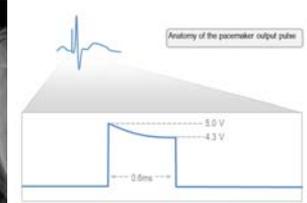


z. B. Herzschrittmacher (pacemaker)

astabiler Impulsgenerator (s. Impulsgeneratoren Praktikum)

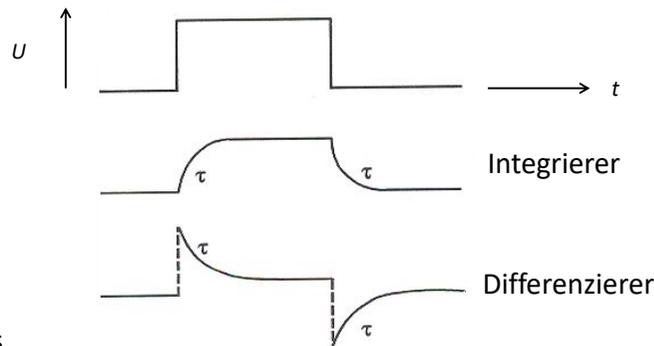


Tastverhältnis von  $U_{\text{aus } 2}$ :  $\frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%$  (duty cycle)



10

## Verformung von Rechteckimpulsen an RC-Elementen



Wirkung des Tiefpassfilters

Wirkung des Hochpassfilters

$\tau$ : Zeitkonstante

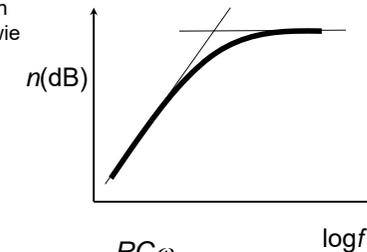
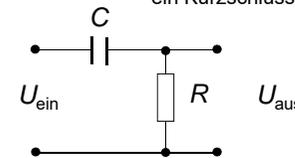
11

Ergänzungsmaterial

## Hochpass Filter (high-pass filter)

$$R_c = \frac{1}{C\omega}$$

Kapazität bei hohen Frequenzen wirkt wie ein Kurzschluss



$$U_{\text{aus}} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{C^2\omega^2} + R^2}} U_{\text{ein}} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2}} U_{\text{ein}}$$

bei sehr kleinen Frequenzen: wenn  $\omega \approx 0$ ,  $U_{\text{aus}} = 0$

bei kleinen Frequenzen: wenn  $\omega \ll \omega_0$ ,  $U_{\text{aus}} = RC\omega U_{\text{ein}}$

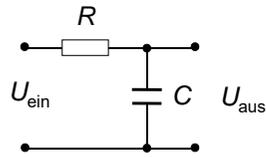
bei hohen Frequenzen: wenn  $\omega \gg \omega_0$  ( $\omega \approx \infty$ ),  $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$



Streukapazität/ parasitäre Kapazität

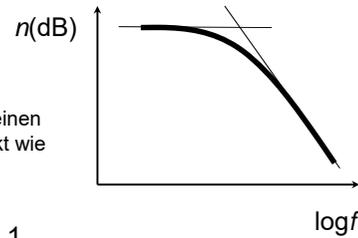
12

### Tiefpass Filter (low-pass filter)



$$R_C = \frac{1}{C\omega}$$

Kapazität bei kleinen Frequenzen wirkt wie ein Riss

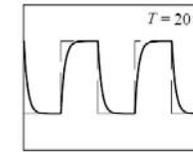
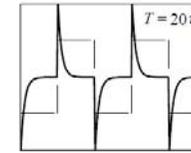
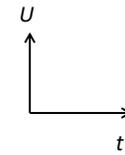


$$U_{aus} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}} U_{ein} = \frac{1}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}} U_{ein}$$

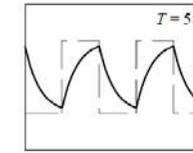
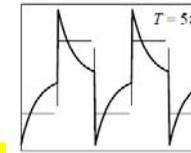
bei kleinen Frequenzen: wenn  $\omega \ll \omega_0$  ( $\omega \approx 0$ ),  $U_{aus} = U_{ein}$

bei grossen Frequenzen: wenn  $\omega \gg \omega_0$ ,  $U_{aus} = \frac{1}{RC\omega} U_{ein}$

bei sehr grossen Frequenzen: wenn  $\omega \approx \infty$ ,  $U_{aus} = 0$

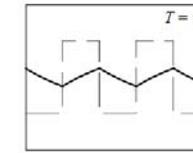
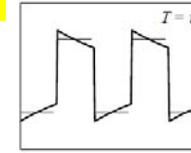


geringste Verzerrung:  
 $\tau \ll$  Impulsdauer

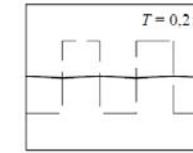
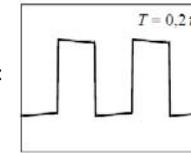


Differenzierer

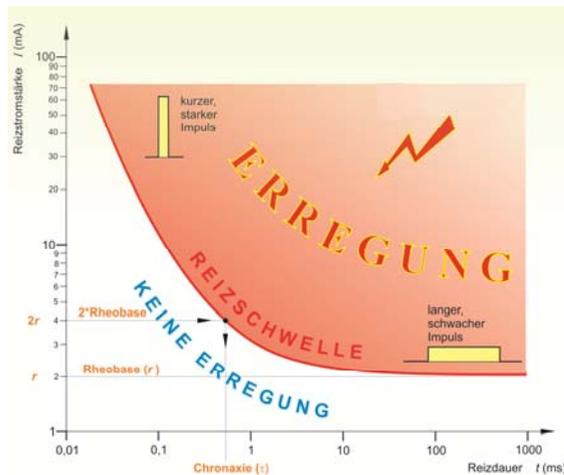
Integrierer



geringste Verzerrung:  
 $\tau \gg$  Impulsdauer



### Reizcharakteristik (Reizdauer-Stromstärke-Kurve)

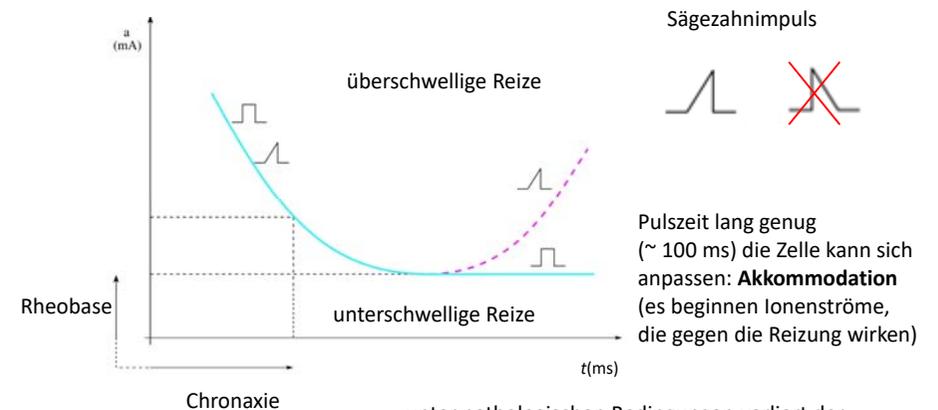


**Rheobase:** die minimale Reizstromstärke, die erforderlich ist, um eine Empfindung zu entwickeln

**Chronaxie:** die minimale Reizdauer, die mit dem doppelten Rheobasenwert verbunden ist

$$I = \frac{q}{t} + r$$

### Reizcharakteristik für Sägezahnimpulsen

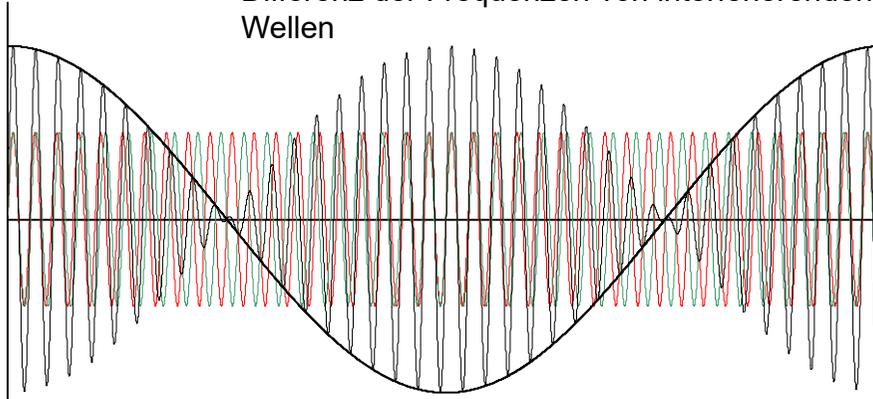


unter pathologischen Bedingungen verliert der Muskel seine Akkomodationsfähigkeit:  
**selektive Reizstromtherapie**  
bei Sägezahnimpulsen im Öffnungsbereich ziehen sich nur geschädigte Muskeln zusammen

## Schwebung

$$f_{\text{rot}} \geq f_{\text{grün}}$$

Die Frequenz der Schwebung ist gleich der Differenz der Frequenzen von interferierenden Wellen

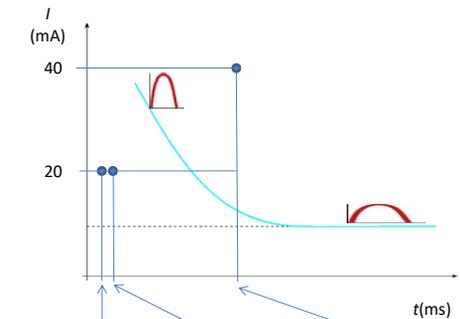
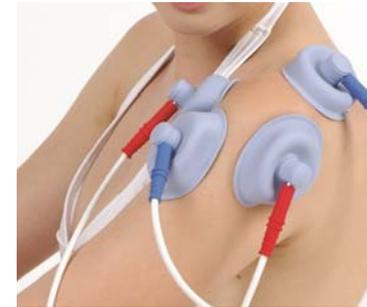
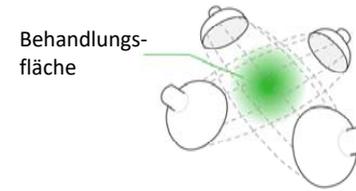


mathematische Formel: 
$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

17

## Interferenzstromtherapie

Interferenz im Überlappungsbereich: das Differenzsignal ist ein überschwelliger Reiz in anderen Bereichen: unterschwellige Reize (höchstens Wärmeeffekt)



$\frac{1}{f}$	4100Hz	4000Hz	100Hz/2
T	0,24 ms	0,25 ms	20 ms
t*	0,12 ms	0,125 ms	10 ms

## Schwingkreis. LC-kreis

Gesamtenergie im elektrischen Feld  $W = \frac{1}{2} C U_{\text{max}}^2$

Gesamtenergie im Magnetfeld  $W = \frac{1}{2} L I_{\text{max}}^2$

Die Energie (W) schwingt zwischen dem elektrischen (E) und dem magnetischen (B) Feld

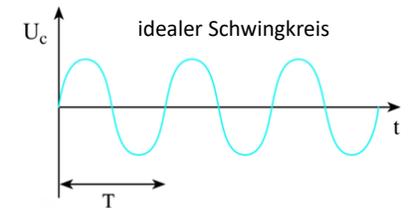
Gesamtenergie im elektrischen Feld

Gesamtenergie im Magnetfeld

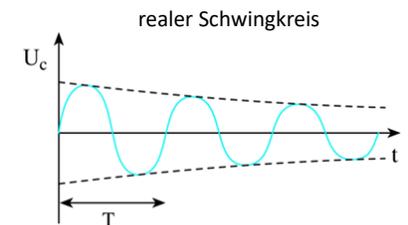
vgl. Lehrbuch Abb. VII. 14.

## Idealer und realer Schwingkreis

der Strom und die Spannung des **idealen Schwingkreises** hinterlassen eine **ungedämpfte sinusförmige Schwingung**



die Schwingung hat eine Eigenfrequenz (**Resonanz**), wenn der induktive Widerstand gleich dem kapazitiven Widerstand



$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{C2\pi f} = L2\pi f$$

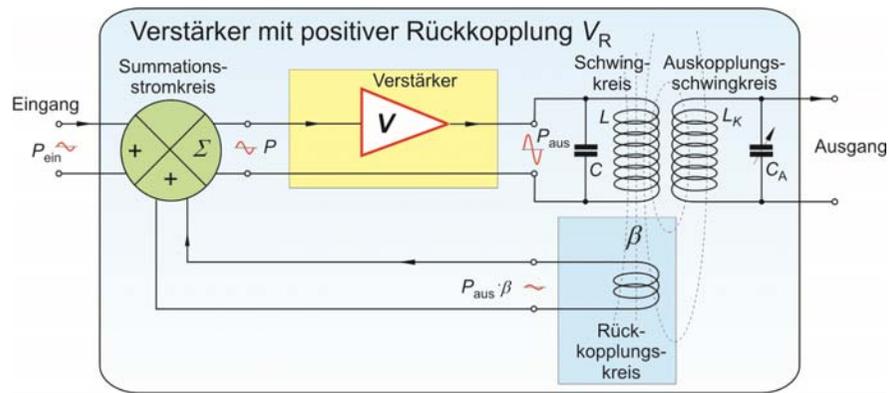
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

vgl. Resonanz Praktikum

Lehrbuch Abb. IVI. 15.

20

## Mitkopplung (Verstärker mit positiver Rückkopplung)



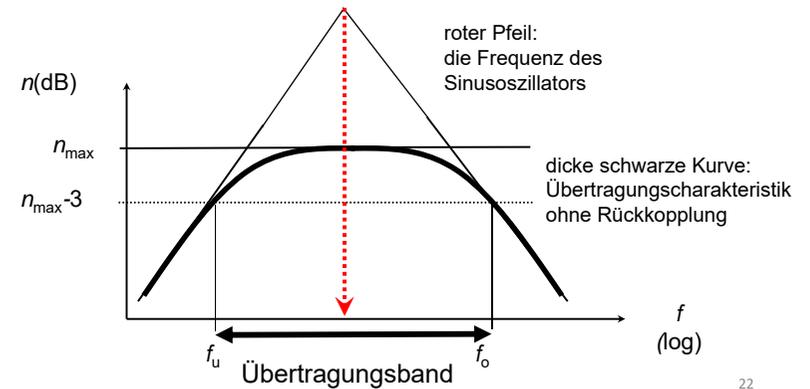
21

## Sinusoszillator

Mitkopplung (positiv rückgekoppelter Verstärker)

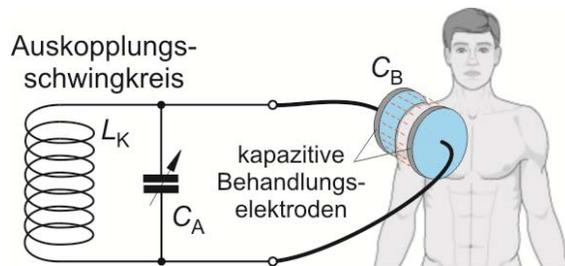
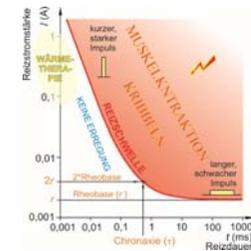
$$A_{P, \text{Rückkopplung}} = \frac{A_P}{1 - \beta A_P}$$

$\beta A_U = 1$ , Verstärkung: „unendlich“ → Sinusoszillator  
kein Eingangssignal, Ausgangssignal: Sinuswelle



22

## Wärmetherapie. Kondensator als Diathermieelektrode



Praktikumbuch, Messung 19.  
Sinusoszillator, Abb. 5.(a)

Lehrbuch Abb. IX.28.

Rezonanzbedingung:

$$LC = L_K \cdot (C_A + C_B)$$

Auskopplung der Energie mit Hilfe des elektrischen Feldes.

23

## Wärmemenge, die sich während der Kondensatorfeldmethode im Medium entwickelt

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t = \frac{U^2}{\rho \frac{l}{A}} \cdot t = \sigma \frac{U^2}{l^2} \cdot l \cdot A \cdot t = \sigma \cdot E^2 \cdot V \cdot t,$$

$Q$  die entstehende Wärmemenge,  
 $\sigma = 1/\rho$  die elektrische Leitfähigkeit des behandelten Mediums,  
 $E = U/l$  die elektrische Feldstärke im behandelten Medium,  
 $V = l \cdot A$  das vom Strom durchdrungene Volumen des behandelten Mediums und  
 $t$  die Behandlungsdauer sind.



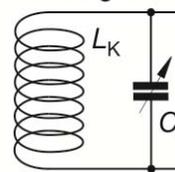
Kurzwellengerät,  $f = 27,12 \text{ MHz}$ ,  $P_{\text{max}} = 500 \text{ W}$

24

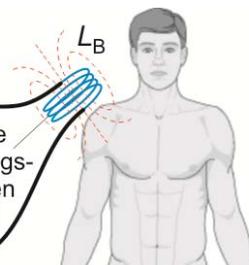
## Wärmetherapie. Spule als Diathermieelektrode



Auskopplungs-  
schwingkreis



induktive  
Behandlungs-  
elektroden  
(Spule)



Praktikumsbuch, Messung 19.  
Sinusoszillator, Abb. 5.(b)  
Lehrbuch Abb. IX.29.

Resonanzbedingung:

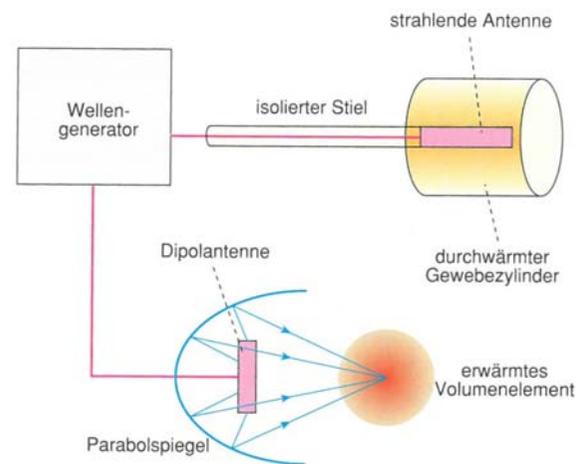
$$LC = (L_B \otimes L_K) \cdot C_h$$

Auskopplung der Energie  
mit Hilfe des  
magnetischen Feldes

25



## Wärmetherapie. Strahlenfeldmethode



Lehrbuch Abb. IX.33.

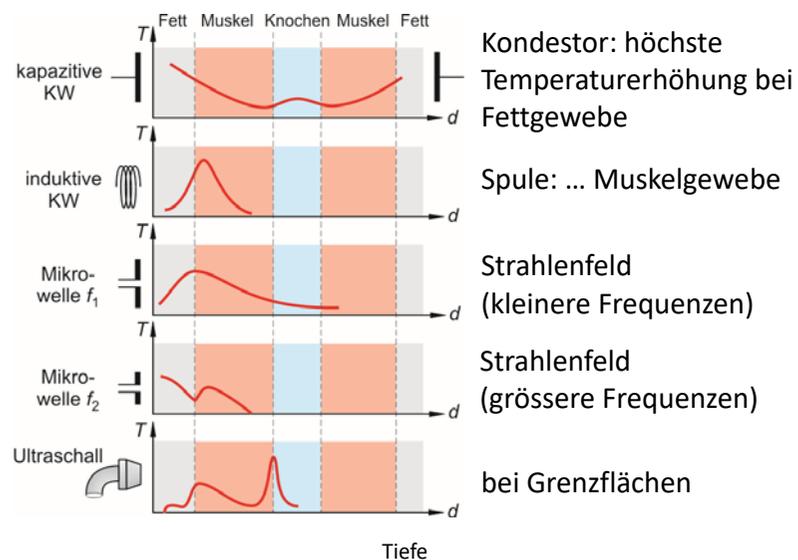
vgl. Mikrowellenofen



Auskopplung der Energie  
durch das Strahlenfeld

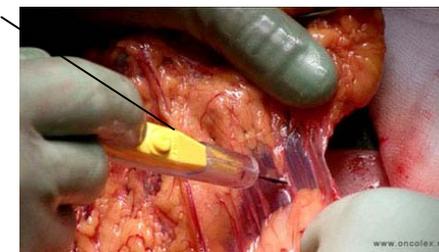
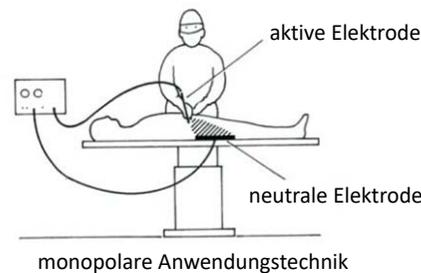
26

## Temperaturverteilung bei den verschiedenen Methoden

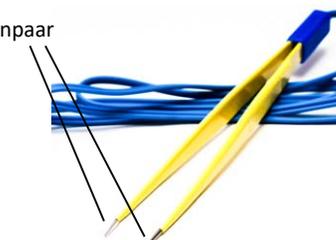
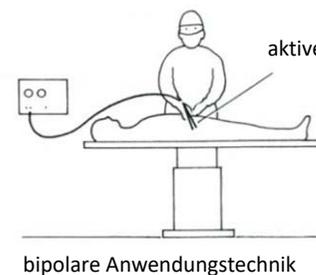


27

## Hochfrequenzchirurgie. Monopolare und bipolare Anwendungstechnik



$A_{\text{neutrale}} \gg A_{\text{aktive}}$  unterschwellige Stromstärke; in Bezug auf den thermischen Effekt ist die Stromdichte die charakteristische Größe



28

## Gleichstromtherapie

### Galvanisation

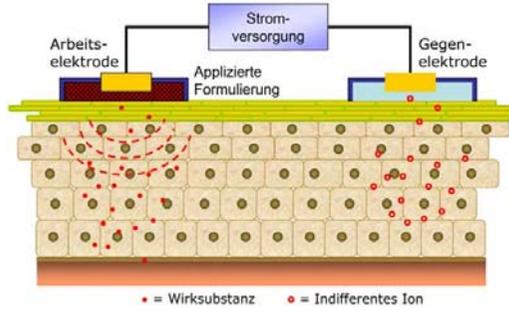


Gleichstrom,  $\approx$  mA,  $\approx$  10 min



- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

### Iontophorese



Gleichstrom,  $\approx$  mA,  $\approx$  10 min



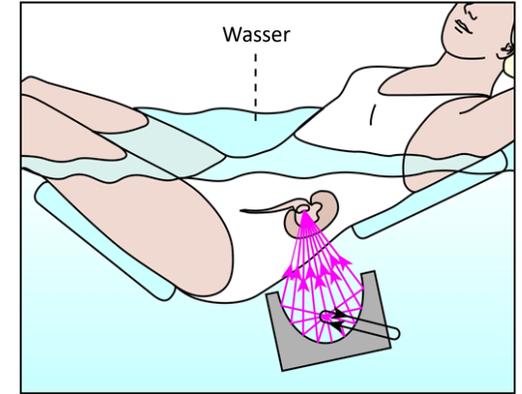
Schnelle Anreicherung des Wirkstoffes gezielt am Krankheitsort unter Umgehung des Magen-Darm-Traktes

29

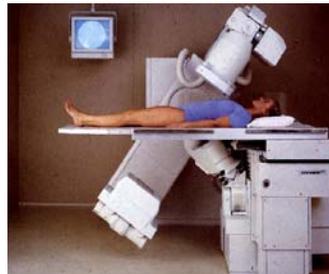
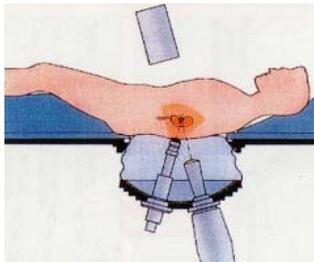
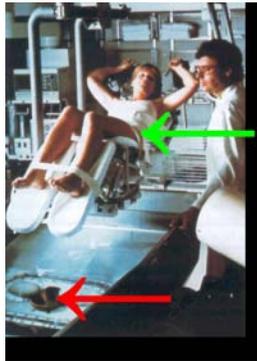
## Lithotripsie, Extrakorporale Stosswellentherapie. ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)

Nicht-invasives Zertümmern von Nieren- (und andere) Steine durch Druckimpuls

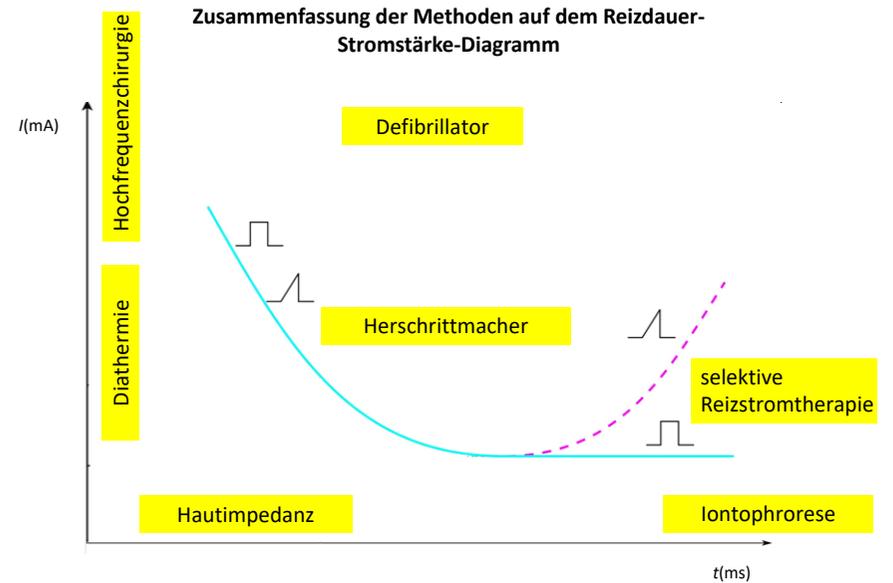
Die Stosswellen werden durch Funkenentladungen unter Wasser erzeugt und in einem Brennpunkt fokussiert. gleichzeitige Nachfolge mit Röntgen und/oder US



Lehrbuch, Bemerkung 1.IX. 30



31



32