



Impulsgeneratoren, Wärmetherapie



"I told you nylon carpets were a mistake."

KAD 2021.03.31



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 Übungen:

Im 1. Semester: Telemedizin, Resonanz, Verstärker

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

2

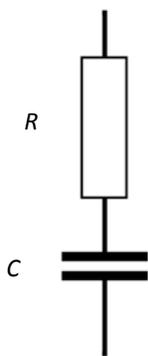
RC-Glied in einer Gleichstromschaltung

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

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

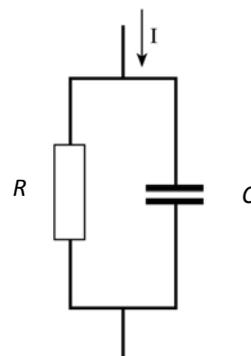
$$C = \epsilon \frac{A}{l}$$

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



Reihenschaltung

Kondensator im Gleichstromkreis wirkt wie ein Riss

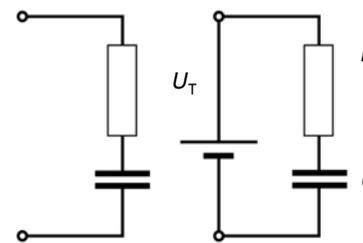


Parallelschaltung

das elektrische Verhalten unserer Haut, Hautimpedanz Praktikum

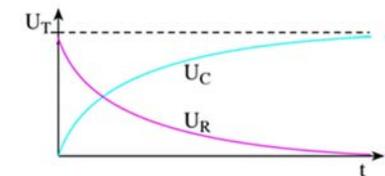
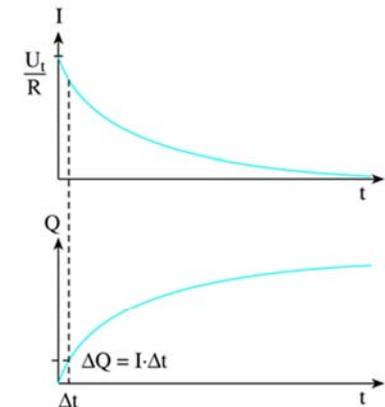
3

Aufladen eines in Reihe geschalteten RC-Gliedes



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

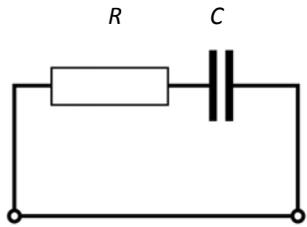
$$U_C = U_T - U_R = U_T (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



Lehrbuch Abb. VII. 6.

Lehrbuch Abb. VII. 7.

Entladung im RC-Glied



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

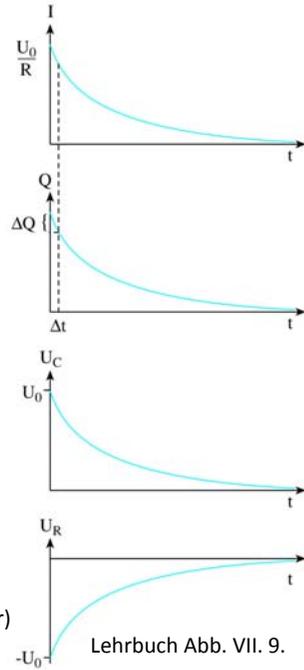
$$U_R = RI = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

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

$$\tau = RC$$

Zeitkonstante
(Vgl. Lebensdauer von radioaktiven Substanzen, Fluoreszenzlebensdauer)

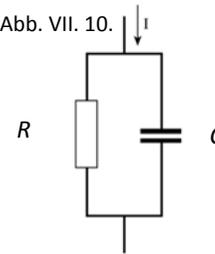
Lehrbuch Abb. VII. 8.



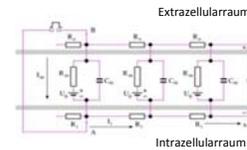
Lehrbuch Abb. VII. 9.

Aufladen des parallel geschalteten RC-Gliedes

Lehrbuch Abb. VII. 10.

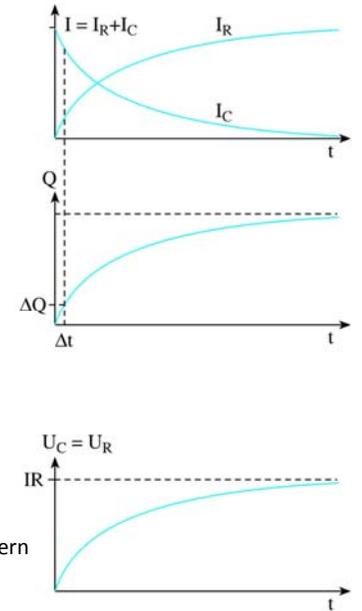


$$U_C = U_R = RI(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



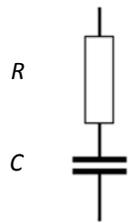
Lehrbuch Abb. III. 32.

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



Lehrbuch Abb. VII. 11.

RC-Glied in einer Wechselstromschaltung

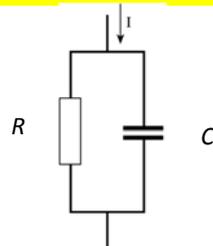


in Reihe geschaltetes RC-Glied

Widerstand

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

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



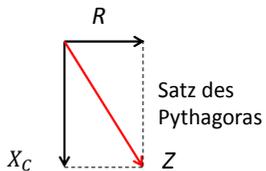
RC-parallel Schaltung

Leitfähigkeit = 1/Widerstand

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

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

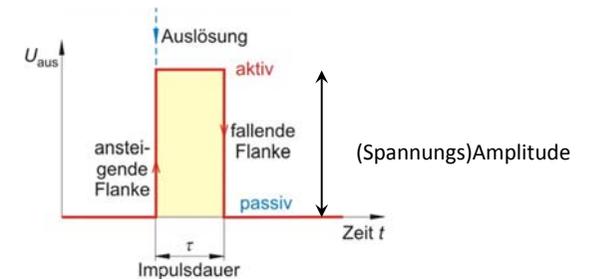
die addierende Größe



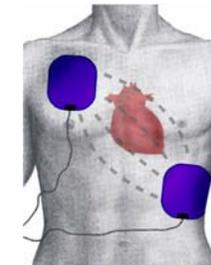
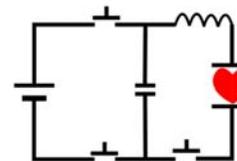
Satz des Pythagoras

Charakteristiken der elektrischen Rechteckimpulse

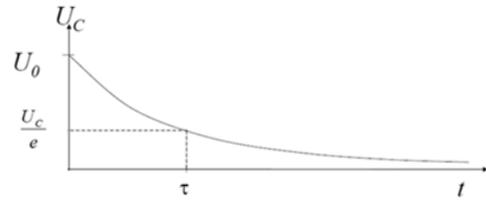
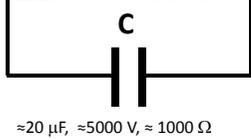
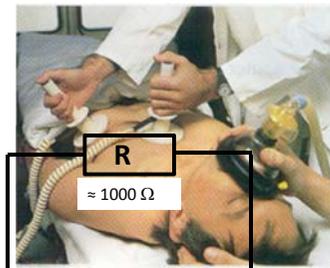
1 Rechteckimpuls (der einfachste Impuls)



z.B. Impuls des Defibrillators

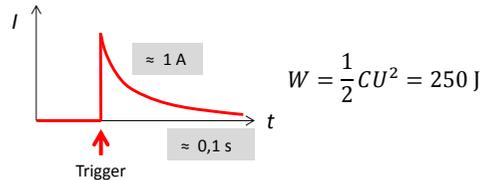


Defibrillator

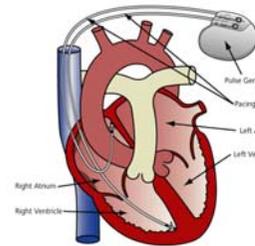


$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$I_0 =$
 $\tau =$

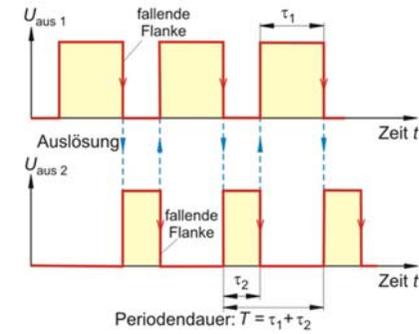


periodische Rechteckimpulsen

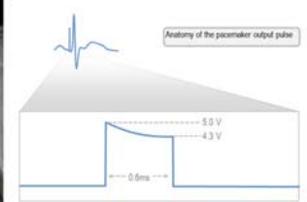


z. B. Herzschrittmacher (pacemaker)

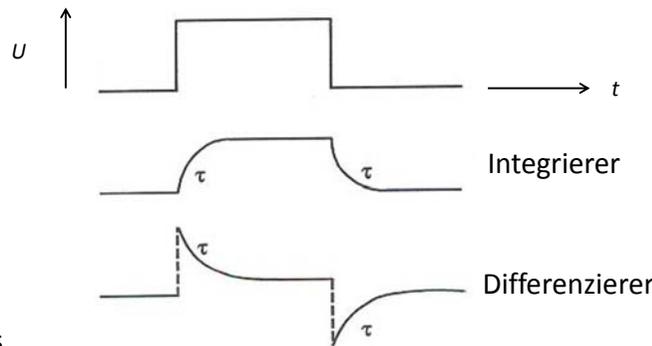
astabiler Impulsgenerator (s. Impulsgeneratoren Praktikum)



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



Verformung von Rechteckimpulsen an RC-Elementen



Wirkung des Tiefpassfilters

Wirkung des Hochpassfilters

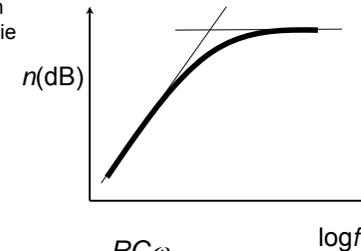
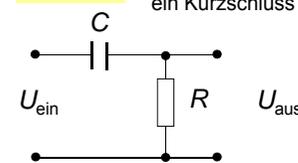
τ : Zeitkonstante

Ergänzungsmaterial

Hochpass Filter (high-pass filter)

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

Kapazität bei hohen Frequenzen wirkt wie ein Kurzschluss



Streukapazität/ parasitäre Kapazität

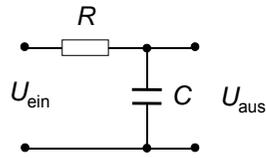
$$U_{aus} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{C^2\omega^2} + R^2}} U_{ein} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2}} U_{ein}$$

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

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

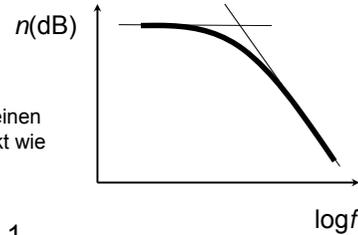
bei hohen Frequenzen: wenn $\omega \gg \omega_0$ ($\omega \approx \infty$), $U_{aus} = U_{ein}$

Tiefpass Filter (low-pass filter)



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

Kapazität bei kleinen Frequenzen wirkt wie ein Riss

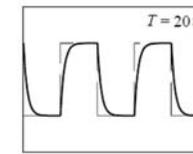
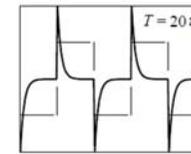
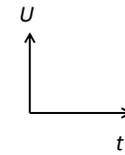


$$U_{\text{aus}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}} U_{\text{ein}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}} U_{\text{ein}}$$

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

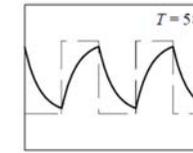
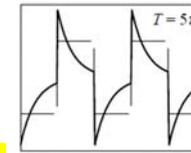
bei grossen Frequenzen: wenn $\omega \gg \omega_0$, $U_{\text{aus}} = \frac{1}{RC\omega} U_{\text{ein}}$

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

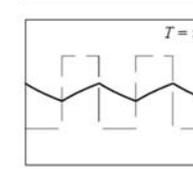
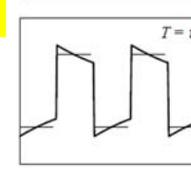


geringste Verzerrung: $\tau \ll$ Impulsdauer

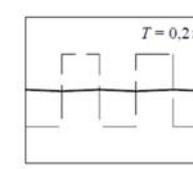
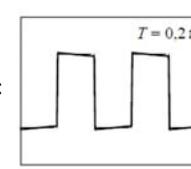
Differenzierer



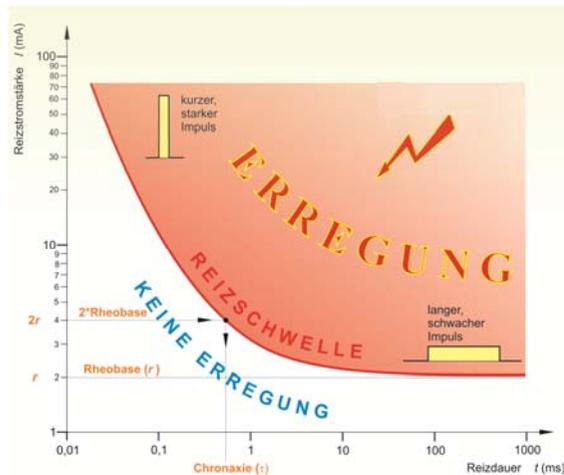
Integrierer



geringste Verzerrung: $\tau \gg$ Impulsdauer



Reizcharakteristik (Reizdauer-Stromstärke-Kurve)

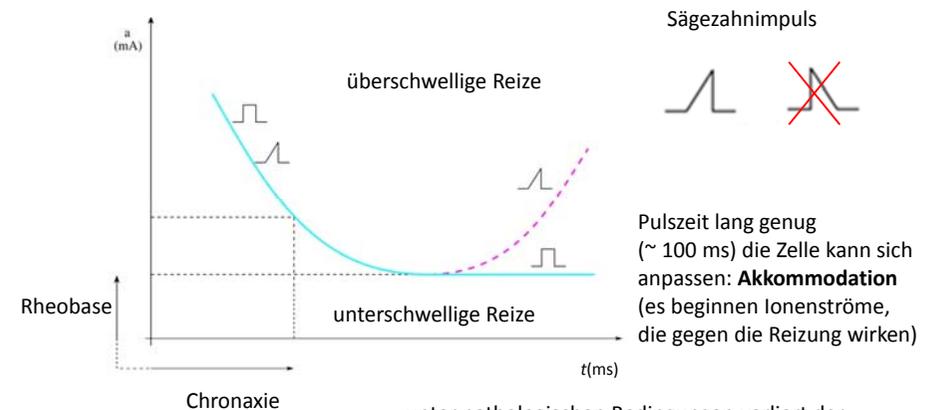


Rheobase: die minimale Reizstromstärke, die erforderlich ist, um eine Empfindung zu entwickeln

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

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

Reizcharakteristik für Sägezahnimpulsen



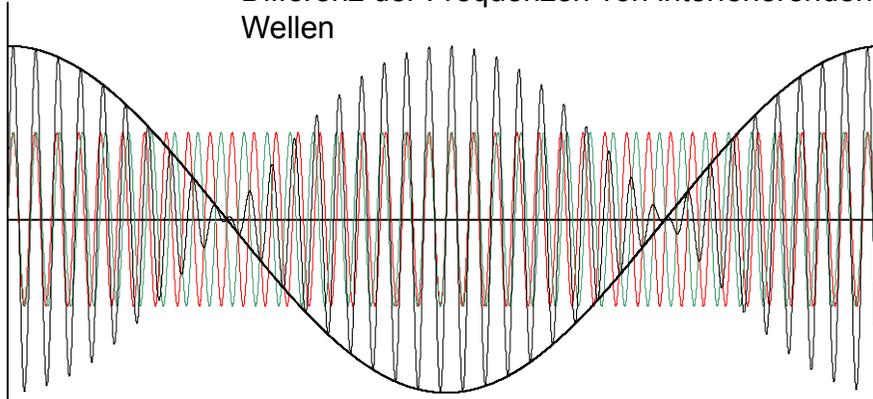
Pulszeit lang genug (~ 100 ms) die Zelle kann sich anpassen: **Akkommodation** (es beginnen Ionenströme, die gegen die Reizung wirken)

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

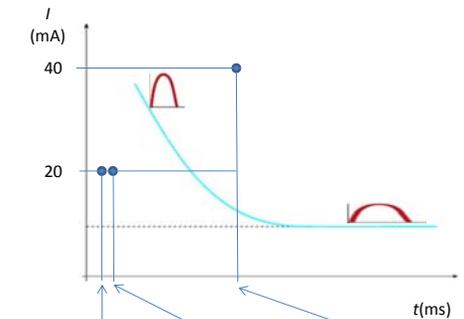
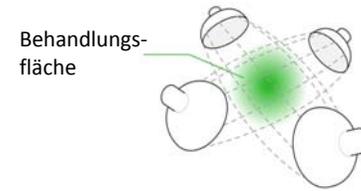


mathematische Formel:
$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

17

Interferenzstromtherapie

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



$\frac{1}{f}$	1	1	1
	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 $W = \frac{1}{2} L I_{\text{max}}^2$

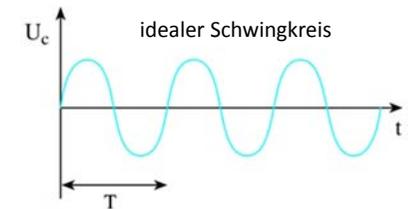
Die Energie (W) schwingt zwischen dem elektrischen (E) und dem magnetischen (B) Feld

Gesamtenergie im elektrischen Feld $W = \frac{1}{2} C U^2 + \frac{1}{2} L I^2$

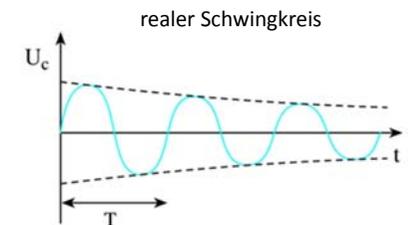
vgl. Lehrbuch Abb. VII. 14.

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



$$X_C = X_L$$

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

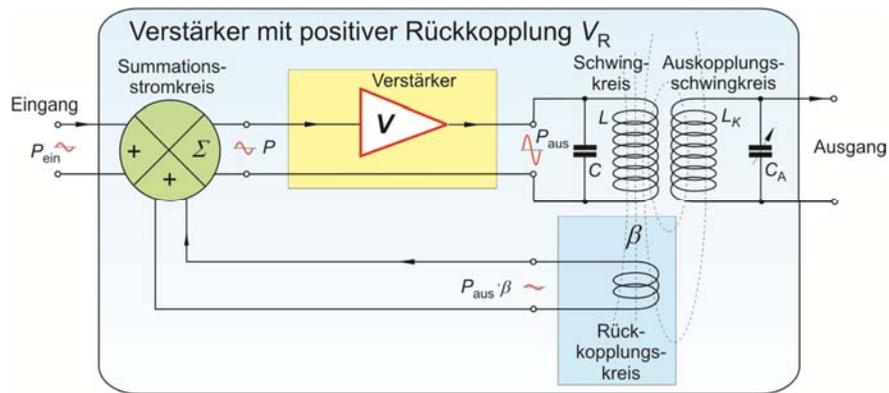
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

vgl. Resonanz Praktikum

Lehrbuch Abb. IVI. 15.

20

Mitkopplung (Verstärker mit positiver Rückkopplung)



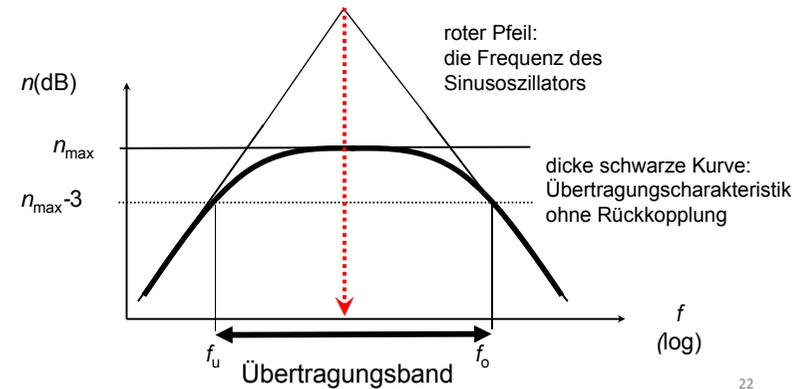
21

Sinusoszillator

Mitkopplung (positiv rückgekoppelter Verstärker)

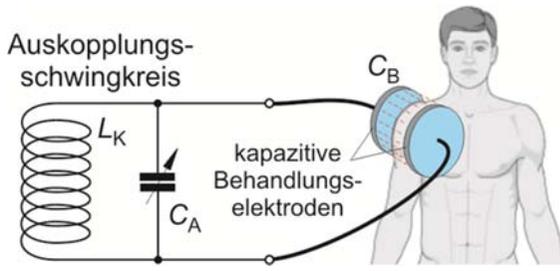
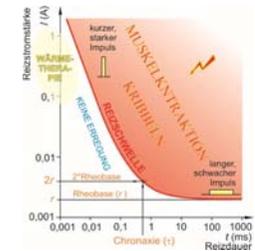
$$A_{P, \text{Rückkopplung}} = \frac{A_P}{1 - \beta A_P}$$

$\beta A_U = 1$, 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

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

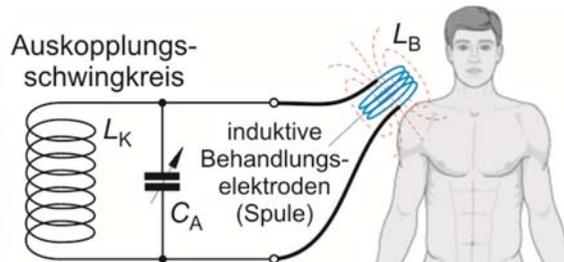
Q die entstehende Wärmemenge,
 $\sigma = 1/\rho$ die elektrische Leitfähigkeit des behandelten Mediums,
 $E = U/l$ die elektrische Feldstärke im behandelten Medium,
 $V = l \cdot A$ das vom Strom durchdrungene Volumen des behandelten Mediums und
 t die Behandlungsdauer sind.



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

24

Wärmetherapie. Spule als Diathermieelektrode



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

Resonanzbedingung:

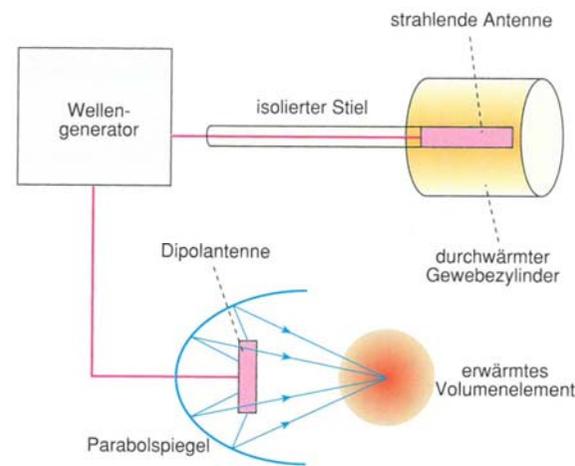
$$LC = (L_B \otimes L_K) \cdot C_h$$

Auskopplung der Energie
mit Hilfe des
magnetischen Feldes

25



Wärmetherapie. Strahlenfeldmethode



Lehrbuch Abb. IX.33.

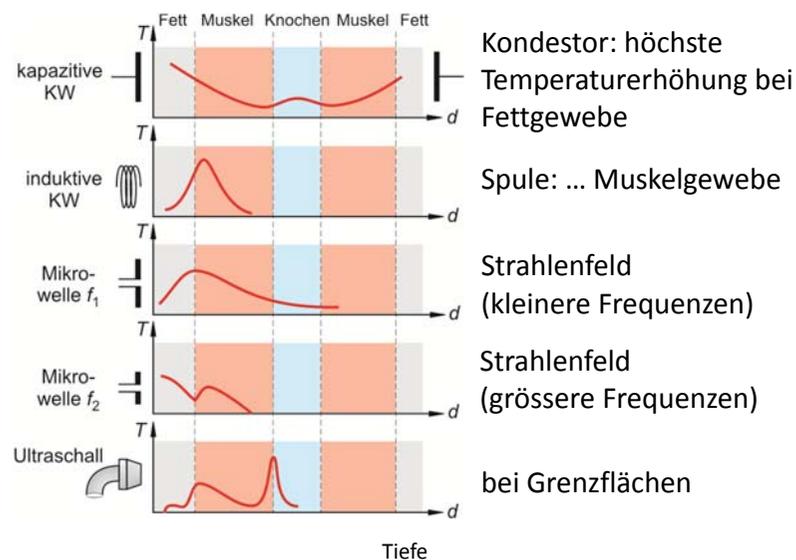
vgl. Mikrowellenofen



Auskopplung der Energie
durch das Strahlenfeld

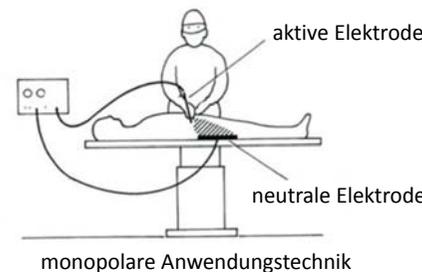
26

Temperaturverteilung bei den verschiedenen Methoden

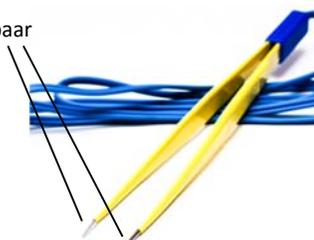
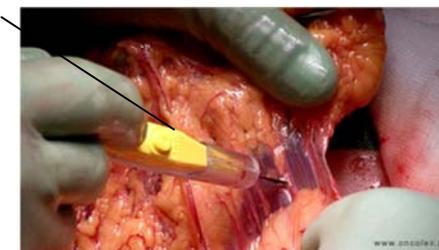
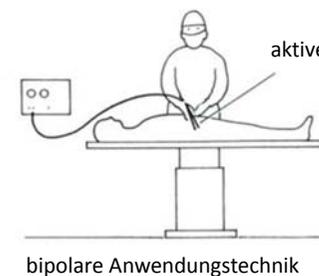


27

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

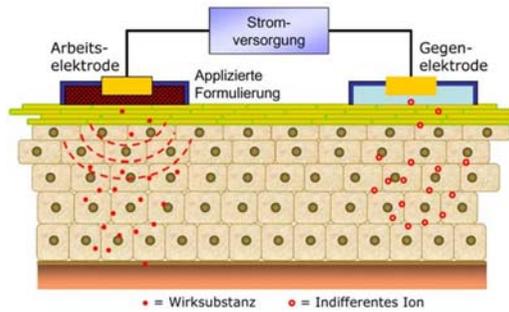


Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



- Schmerzinderung
- Durchblutungsförderung

Iontophorese



Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



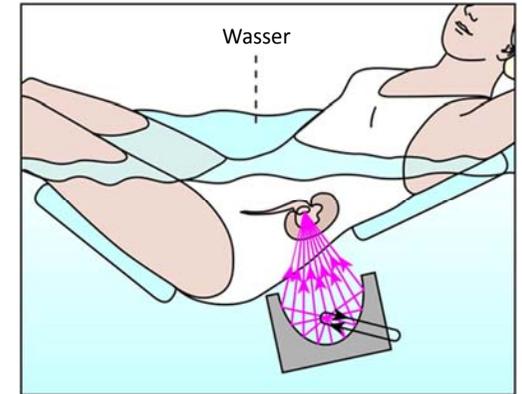
Schnelle Anreicherung des Wirkstoffes gezielt am Krankheitsort unter Umgehung des Magen-Darm-Traktes

29

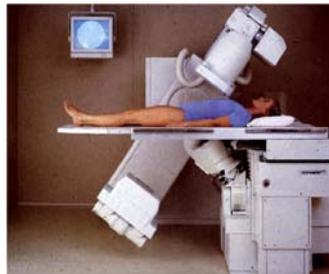
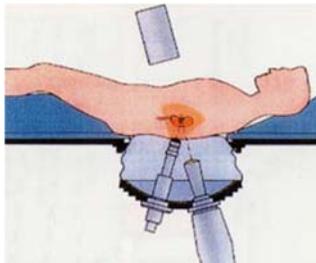
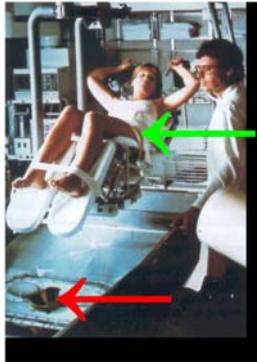
Lithotripsie, Extrakorporale Stosswellentherapie. ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)

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

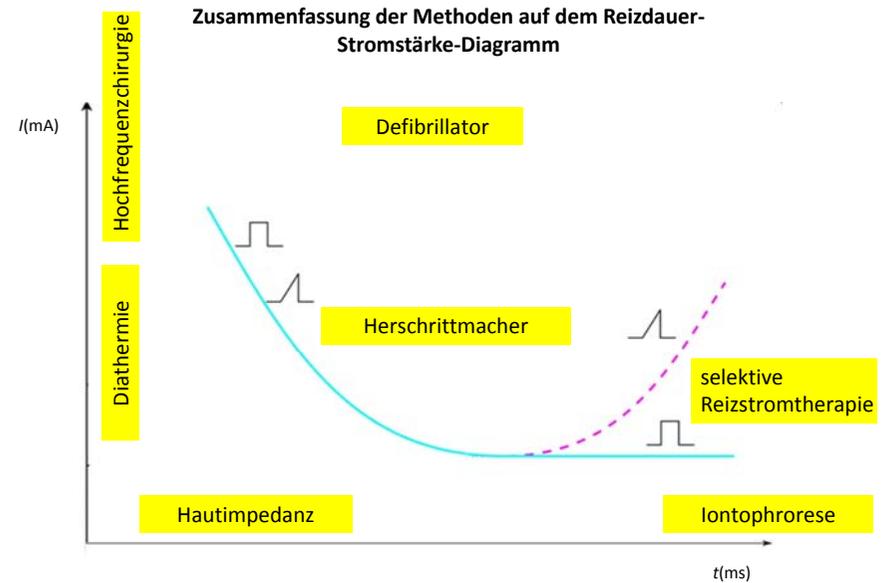
Die Stosswellen werden durch Funkenentladungen unter Wasser erzeugt und in einem Brennpunkt fokussiert. gleichzeitige Nachfolge mit Röntgen und/oder US



Lehrbuch, Bemerkung 1.IX. 30



31



32