



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

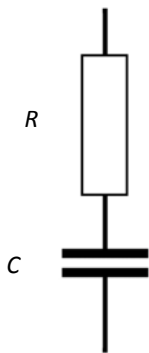
RC-Glied in einer Gleichstromschaltung

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

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

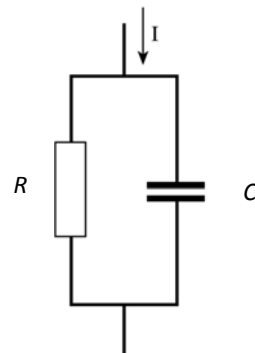
$$C = \epsilon \frac{A}{l}$$

$$E = \frac{1}{2} C U^2$$



Reihenschaltung

Kondensator im
Gleichstromkreis
wirkt wie ein Riss

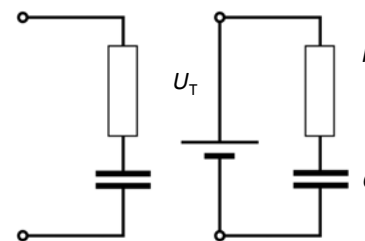


Parallelschaltung

das elektrische Verhalten unserer Haut,
Hautimpedanz Praktikum

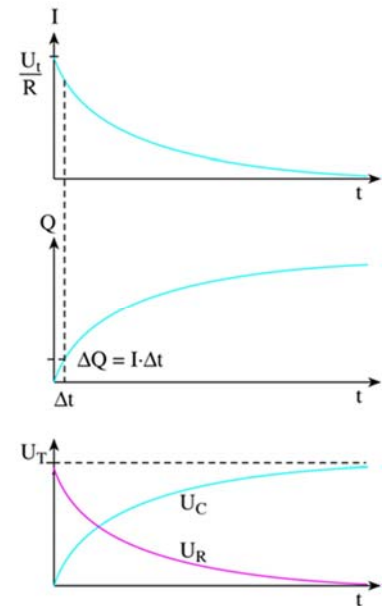
3

Aufladen eines in Reihe geschalteten RC-Gliedes



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

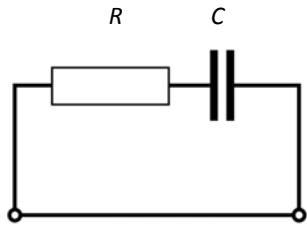
$$U_C = U_T - U_R = U_T (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



Lehrbuch Abb. VII. 7.

Lehrbuch Abb. VII. 6.

Entladung im RC-Glied



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

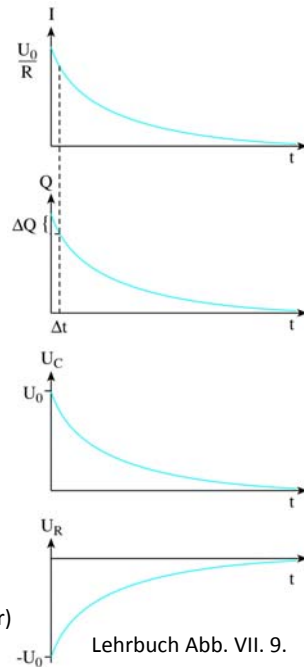
$$U_R = RI = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

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

$$\tau = RC$$

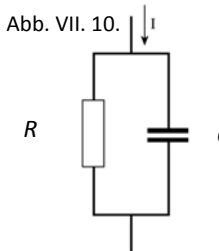
Zeitkonstante
(Vgl. Lebensdauer von radioaktiven
Substanzen, Fluoreszenzlebensdauer)

Lehrbuch Abb. VII. 8.

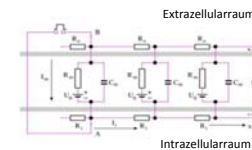


Aufladen des parallel geschalteten RC-Gliedes

Lehrbuch Abb. VII. 10.

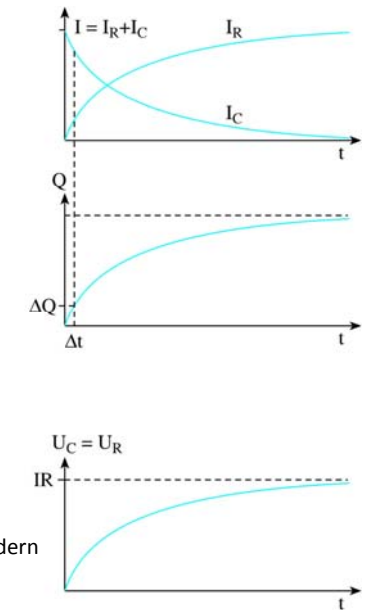


$$U_C = U_R = RI(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



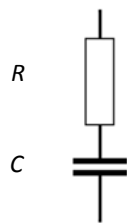
Lehrbuch Abb. III. 32.

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

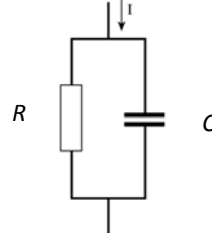


Lehrbuch Abb. VII. 11.

RC-Glied in einer Wechselstromschaltung



in Reihe geschaltetes
RC-Glied

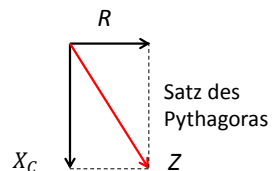


RC-parallel Schaltung

die addierende Größe

Widerstand

Leitfähigkeit = 1/Widerstand



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

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

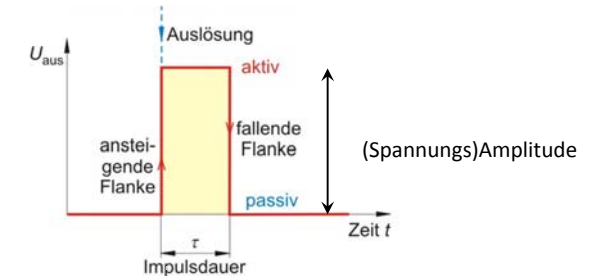
$$\frac{1}{R}, \quad \frac{1}{X_C}$$

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

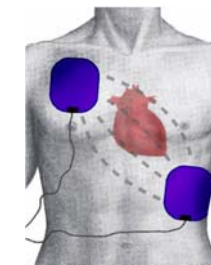
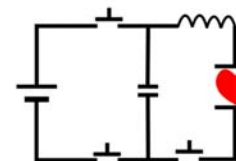
7

Charakteristiken der elektrischen Rechteckimpulsen

1 Rechteckimpuls
(der einfachste Impuls)

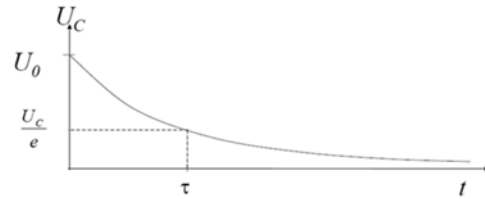
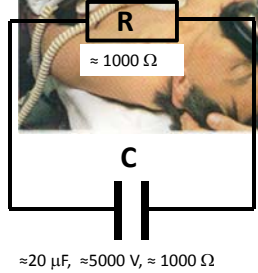
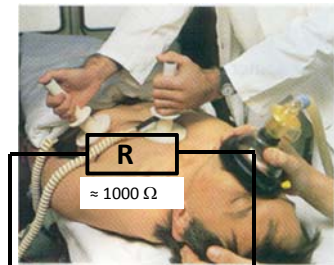


z.B. Impuls des Defibrillators

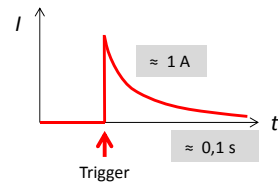


8

Defibrillator



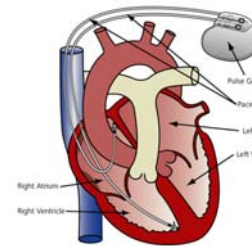
$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad I_0 = \tau =$$



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

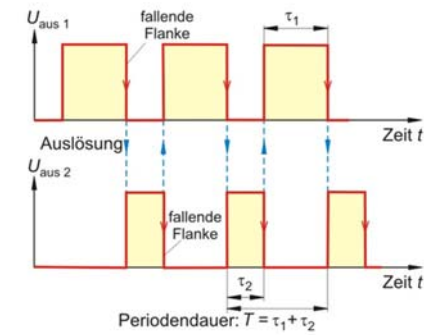
9

periodische Rechteckimpulsen

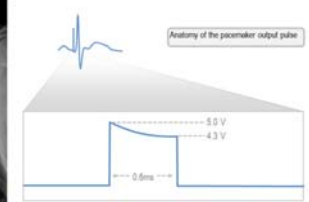


z. B. Herzschrittmacher (pacemaker)

astabiler Impulsgenerator (s. Impulsgeneratoren Praktikum)



Tastverhältnis von U_{aus2} : $\frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%$ (duty cycle)



10

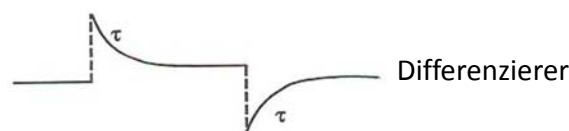
Verformung von Rechteckimpulsen an RC-Elementen



Wirkung des Tiefpassfilters



Integrierer



Differenzierer

τ : Zeitkonstante

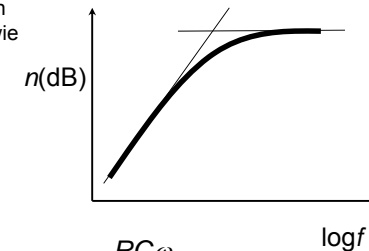
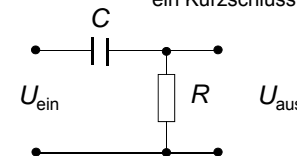
11

Ergänzungsmaterial

Hochpass Filter (high-pass filter)

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

Kapazität bei hohen Frequenzen wirkt wie ein Kurzschluss



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

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

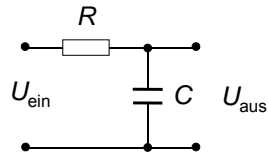
bei kleinen Frequenzen: wenn $\omega \ll \omega_0$, $U_{aus} = RC\omega U_{ein}$

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



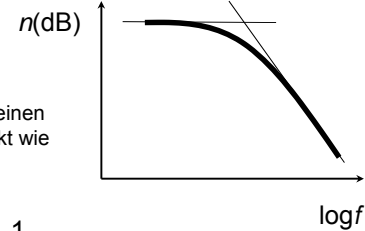
Streukapazität/parasitäre Kapazität

12

Tiefpass Filter (low-pass filter)

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

Kapazität bei kleinen Frequenzen wirkt wie ein Riss

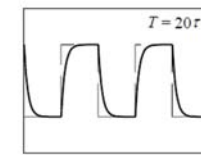
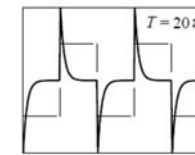
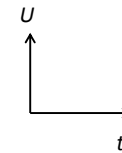


$$U_{\text{aus}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}} U_{\text{ein}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}} U_{\text{ein}}$$

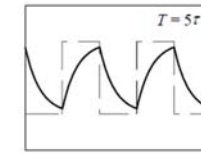
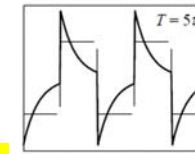
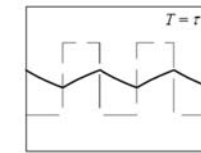
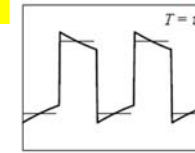
bei kleinen Frequenzen: wenn $\omega \ll \omega_0$ ($\omega \approx 0$), $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$

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

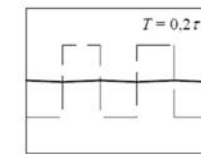
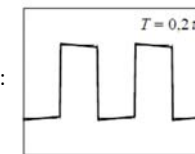
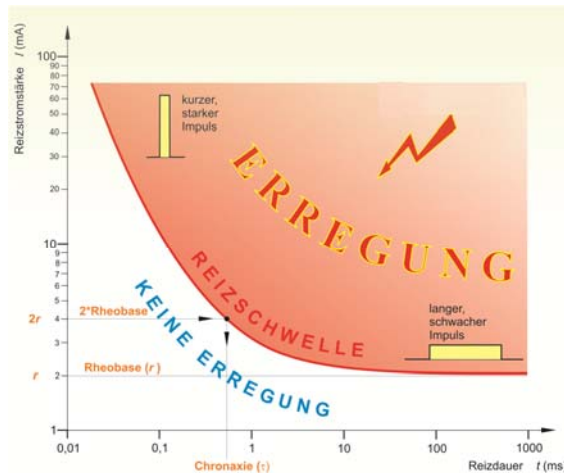
bei sehr grossen Frequenzen: wenn $\omega \approx \infty$, $U_{\text{aus}} = 0$



geringste Verzerrung:
 $\tau \ll \text{Impulsdauer}$

Differenzierer**Integrierer**

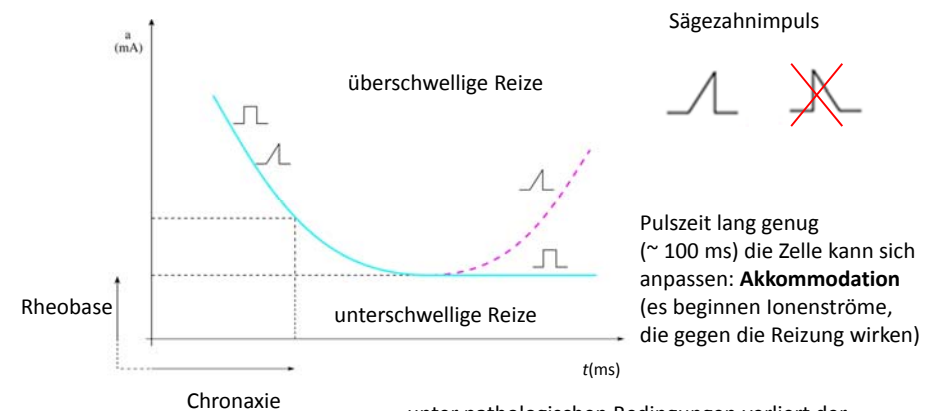
geringste Verzerrung:
 $\tau \gg \text{Impulsdauer}$

**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

Sägezahnimpuls

überschwellige Reize

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:

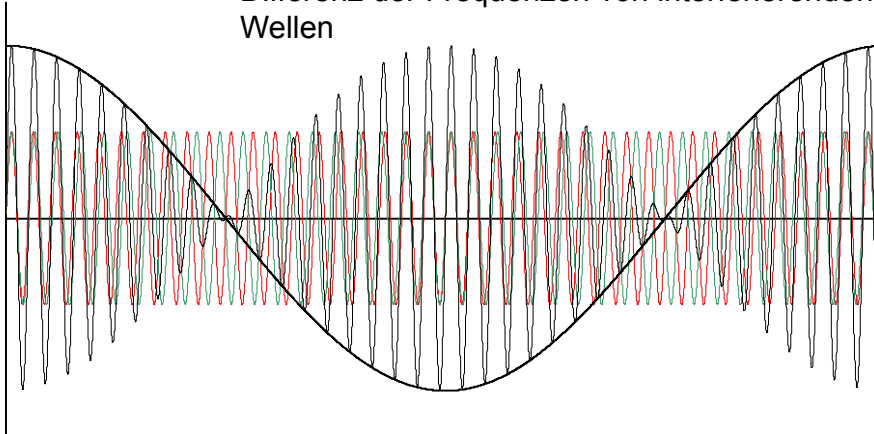
selektive Reizstromtherapie

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

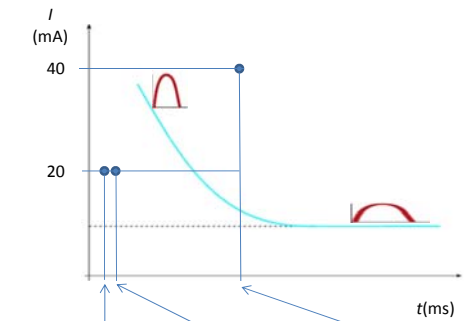
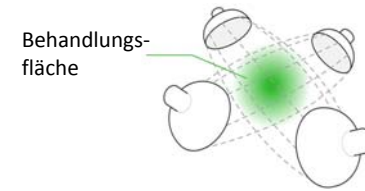


mathematische Formel: $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$

17

Interferenzstromtherapie

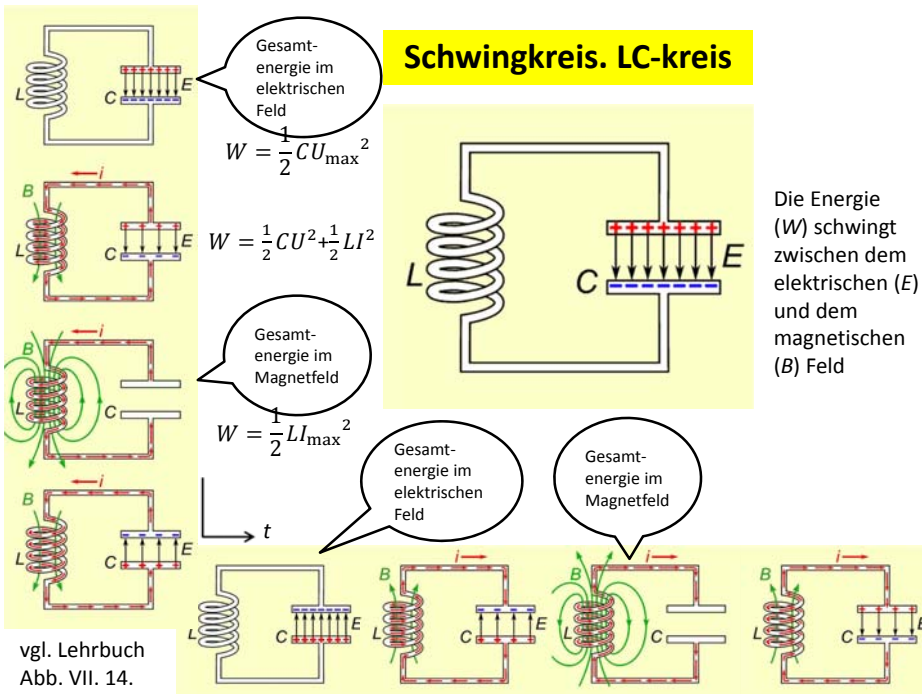
Interferenz im Überlappungsbereich: das Differenzsignal ist ein überschwelliger Reiz
in anderen Bereichen: unterschwellige Reize (höchstens Wärmeeffekt)



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

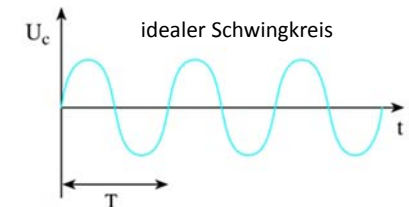
18

Schwingkreis. LC-kreis

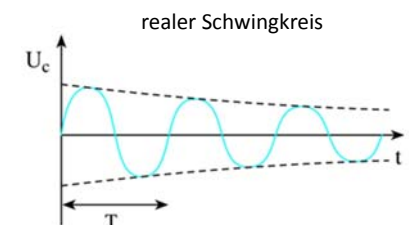


Idealer und realer Schwingkreis

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



$$X_C = X_L$$

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

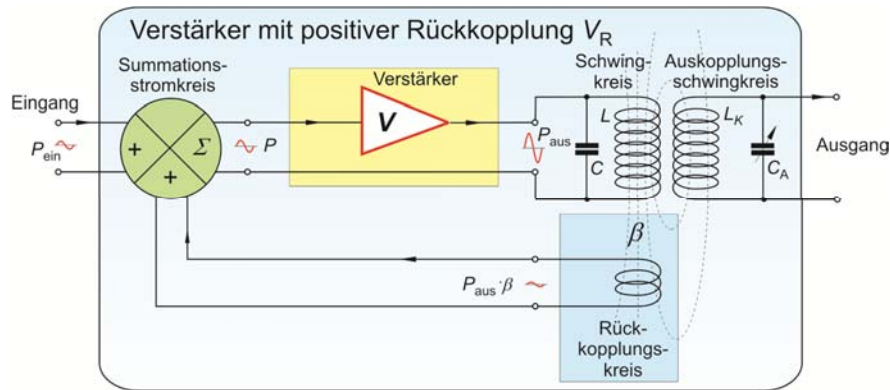
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

vgl. Resonanz Praktikum

Lehrbuch Abb. IVI. 15.

20

Mitkopplung (Verstärker mit positiver Rückkopplung)



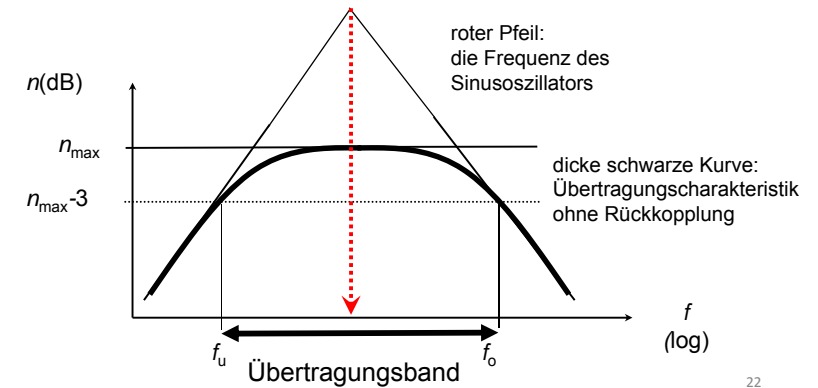
21

Sinusooszillator

Mitkopplung (positiv rückgekoppelter Verstärker)

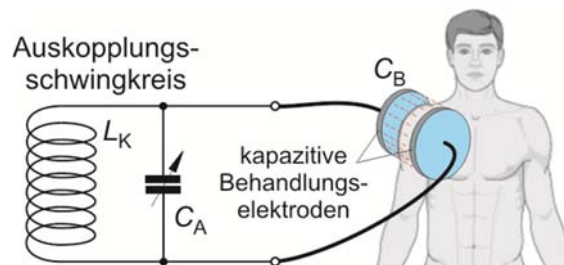
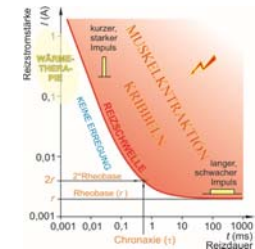
$$A_{P, \text{Rückkopplung}} = \frac{A_P}{1 - \beta A_P}$$

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



22

Wärmetherapie. Kondensator als Diathermielektrode



Praktikumsbuch, Messung 19.
Sinusooszillator, Abb. 5.(a)

Lehrbuch Abb. IX.28.

Resonanzbedingung:

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

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

$\sigma = 1/\rho$

$E = U/l$

$V = l \cdot A$

t

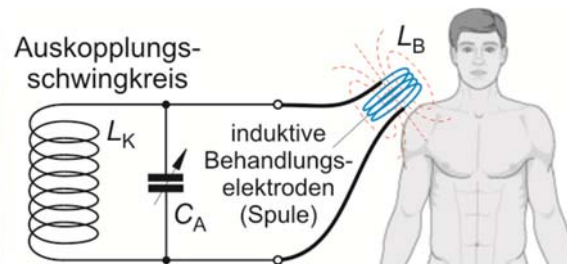
die entstehende Wärmemenge,
die elektrische Leitfähigkeit des behandelten Mediums,
die elektrische Feldstärke im behandelten Medium,
das vom Strom durchdrungene Volumen des behandelten
Mediums und
die Behandlungsdauer sind.



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.

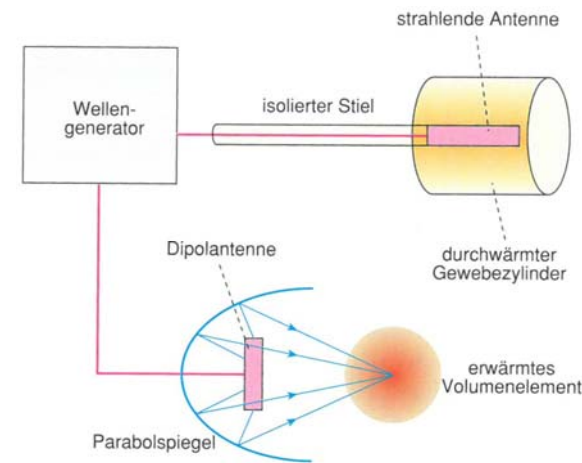
Resonanzbedingung:

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

Auskopplung der Energie
mit Hilfe des
magnetischen Feldes

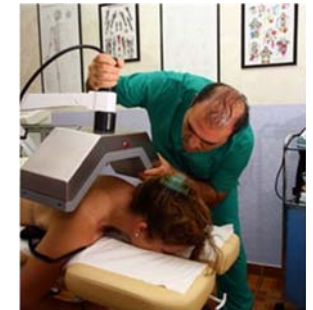
25

Wärmetherapie. Strahlenfeldmethode



Lehrbuch Abb. IX.33.

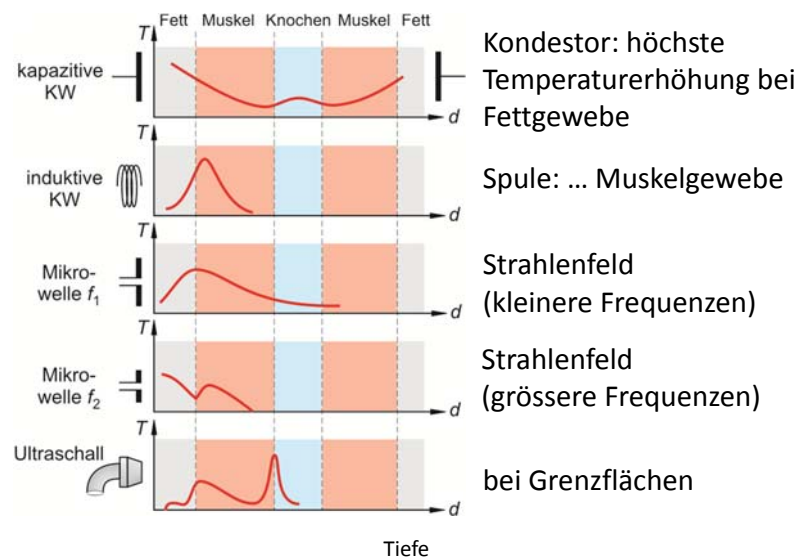
vgl. Mikrowellenofen



Auskopplung der Energie
durch das Strahlenfeld

26

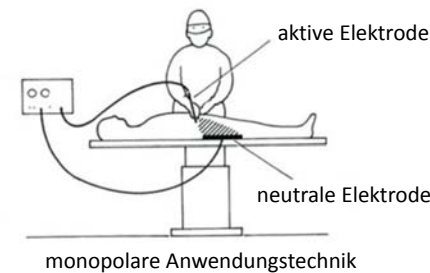
Temperaturverteilung bei den verschiedenen Methoden



Tiefe

27

Hochfrequenzchirurgie. Monopolare und bipolare Anwendungstechnik

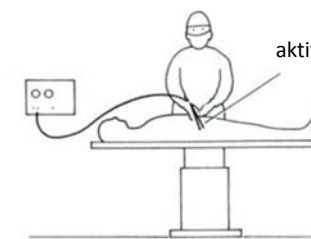


monopolare Anwendungstechnik

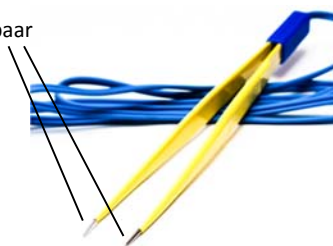


$$A_{\text{neutrale}} \gg A_{\text{aktive}}$$

unterschwellige Stromstärke; in Bezug auf den thermischen Effekt ist die Stromdichte die charakteristische Größe



bipolare Anwendungstechnik



28

Gleichstromtherapie

Galvanisation

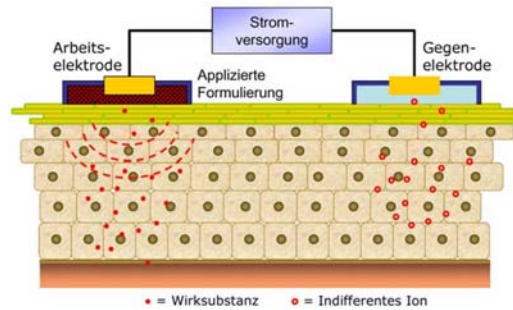


Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

Iontophorese



Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



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

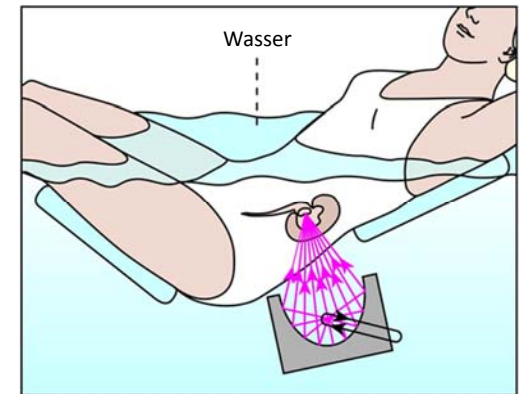
29

Lithotripsie, Extrakorporale Stosswellentherapie. ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)

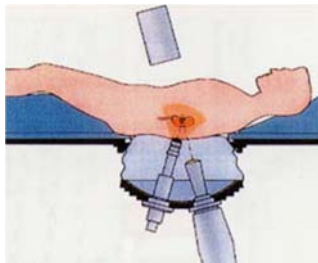
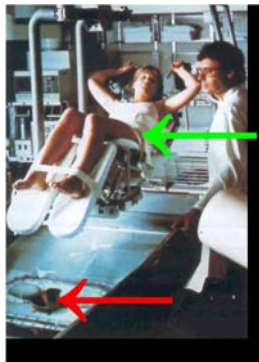
Nicht-invasives Zertümmern von Nieren- (und andere) Steine durch Druckimpuls

Die Stosswellen werden durch Funkenentladungen unter Wasser erzeugt und in einem Brennpunkt fokussiert.

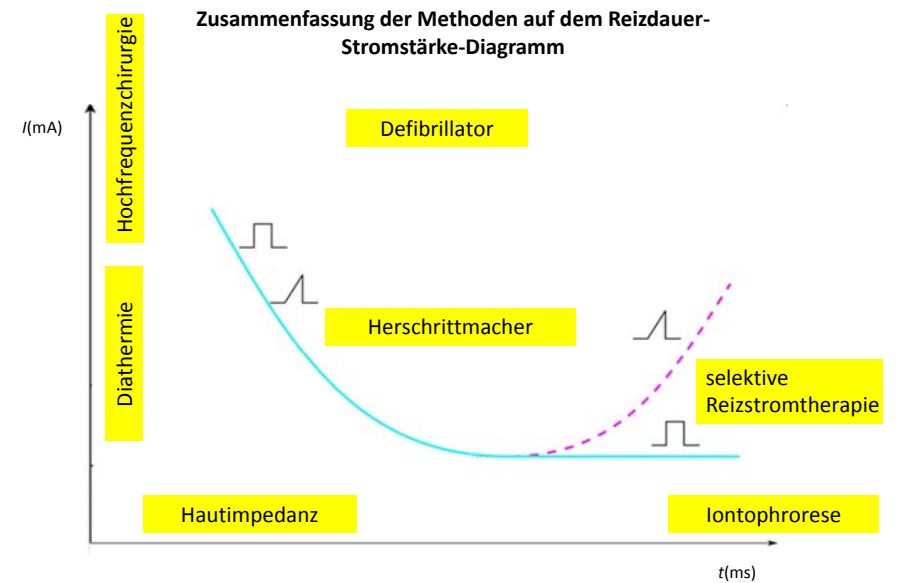
gleichzeitige Nachfolge mit Röntgen und/oder US



Lehrbuch, Bemerkung 1.IX. 30



31



32