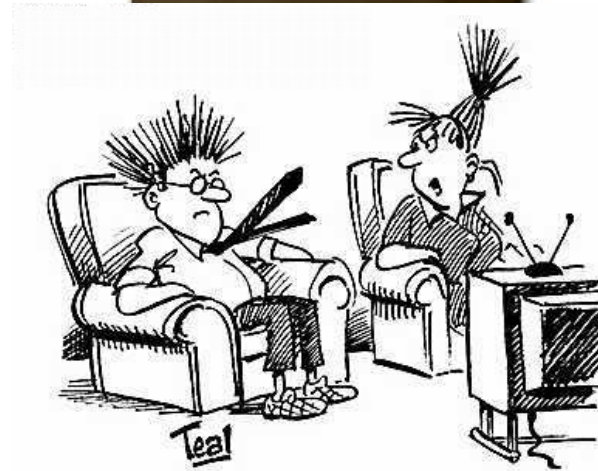
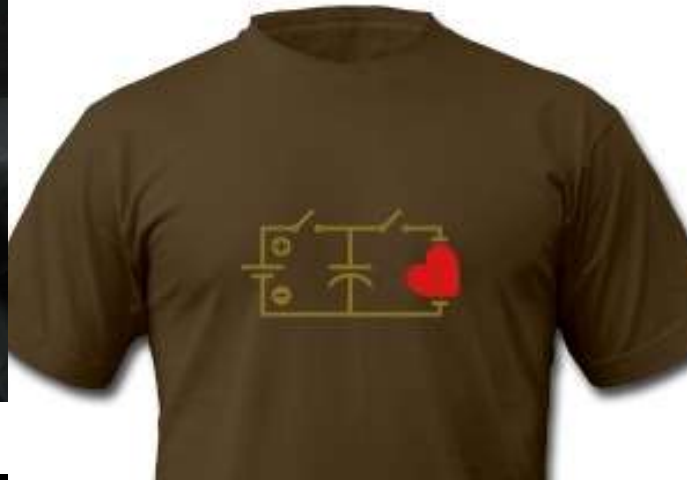




Impulsgeneratoren, Wärmetherapie



"I told you nylon carpets were a mistake."

KAD 2024.03.14



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

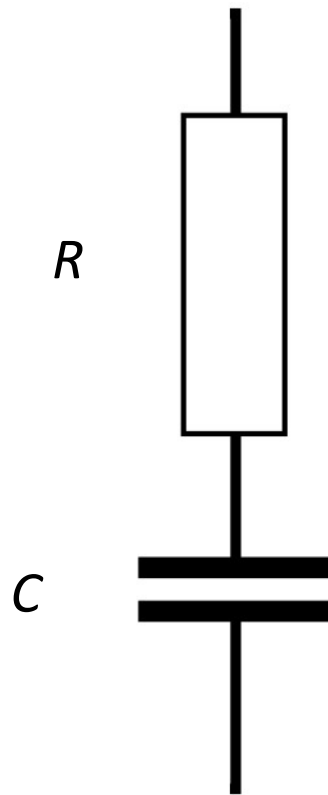
RC-Glied in einer Gleichstromschaltung

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

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

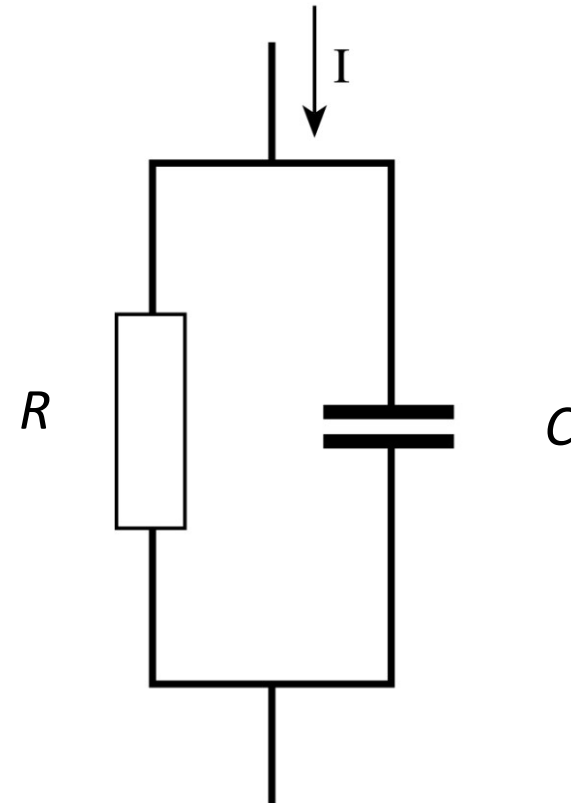
$$C = \varepsilon \frac{A}{l}$$

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



Reihenschaltung

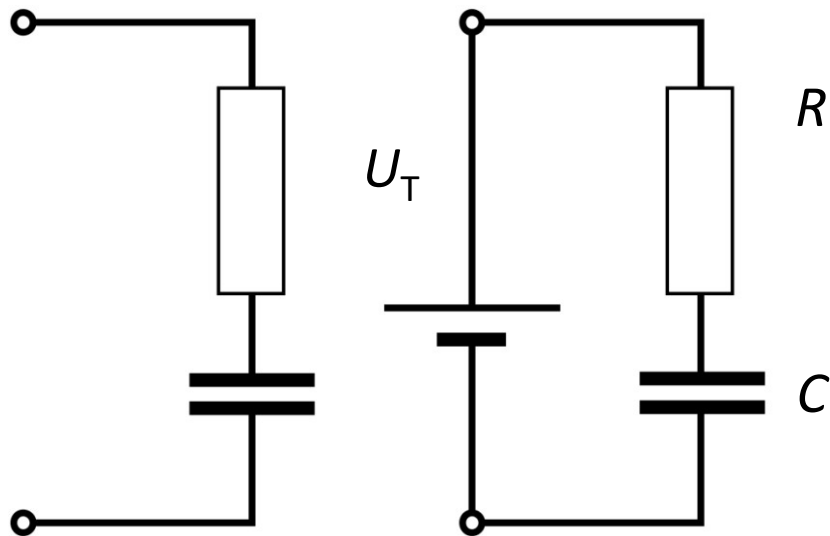
Kondensator im Gleichstromkreis wirkt wie ein Riss



Parallelschaltung

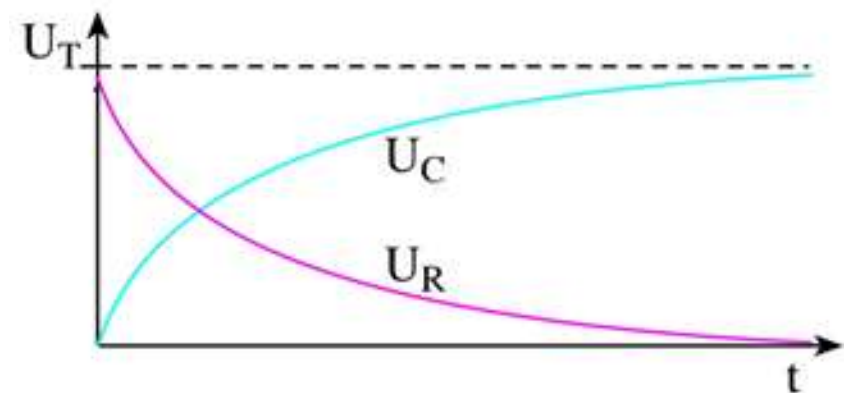
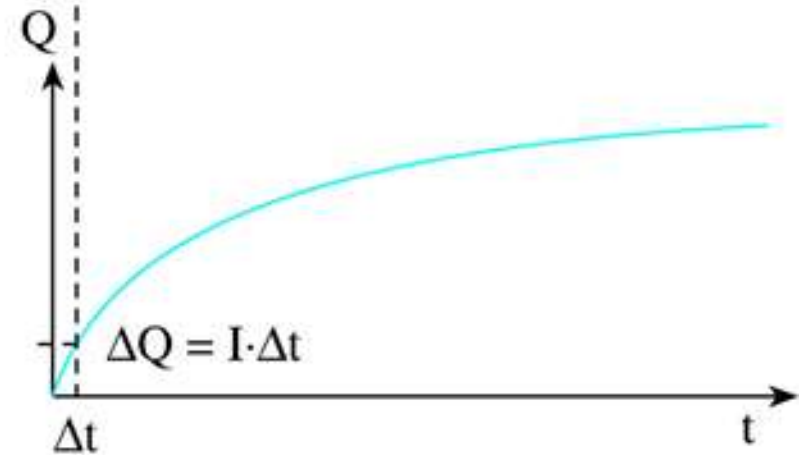
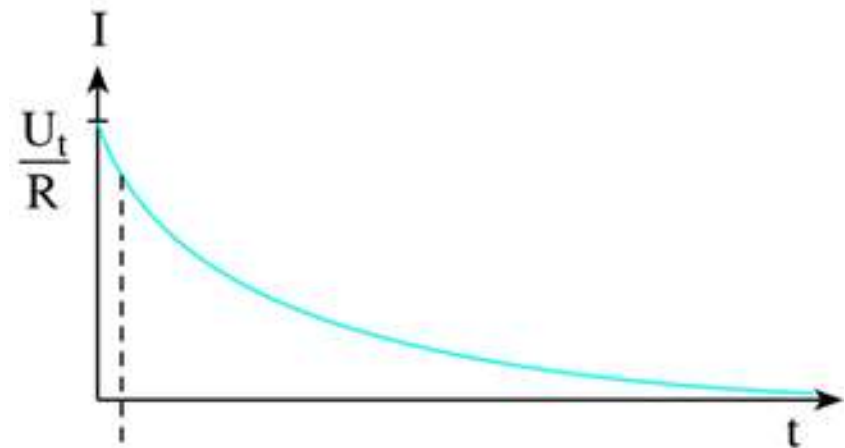
das elektrische Verhalten unserer Haut, Hautimpedanz Praktikum

Aufladen eines in Reihe geschalteten RC-Gliedes

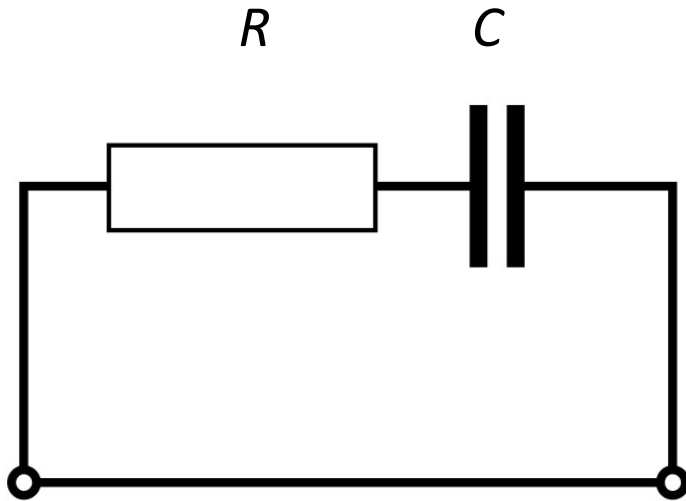


$$U_R = RI = U_T e^{-\frac{t}{RC}}$$

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



Entladung im RC-Glied



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

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

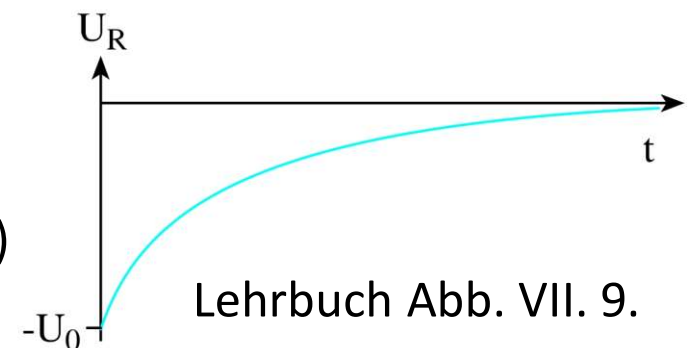
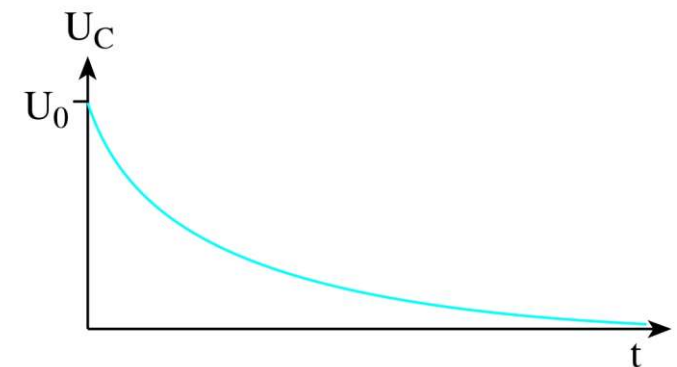
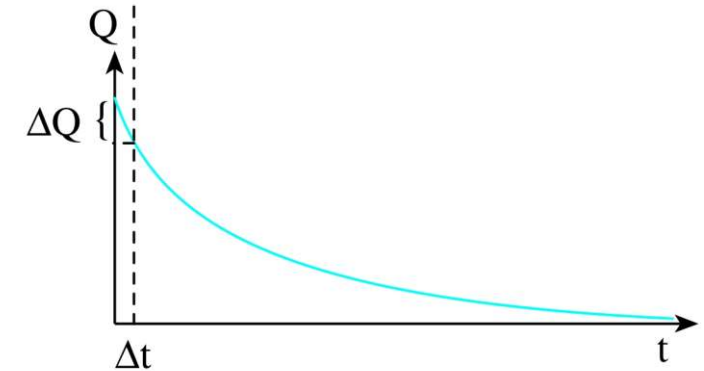
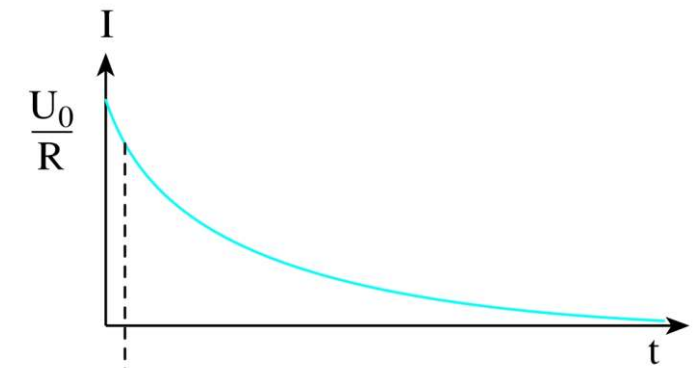
$$U_C = -U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\tau = RC$$

Zeitkonstante

(Vgl. Lebensdauer von radioaktiven
Substanzen, Fluoreszenzlebensdauer)

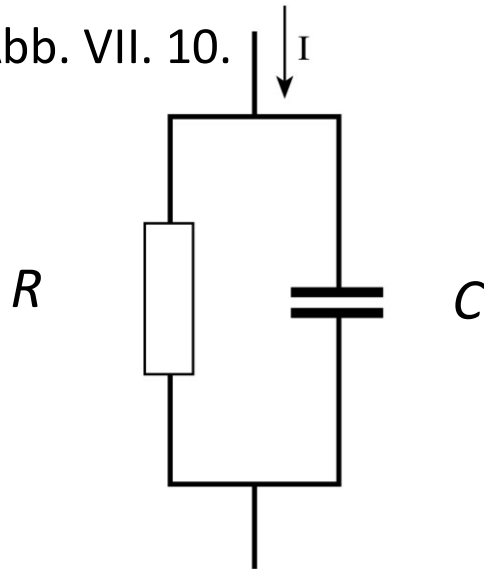
Lehrbuch Abb. VII. 8.



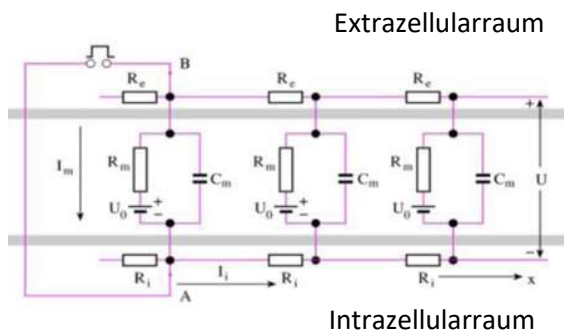
Lehrbuch Abb. VII. 9.

Aufladen des parallel geschalteten RC-Gliedes

Lehrbuch Abb. VII. 10.

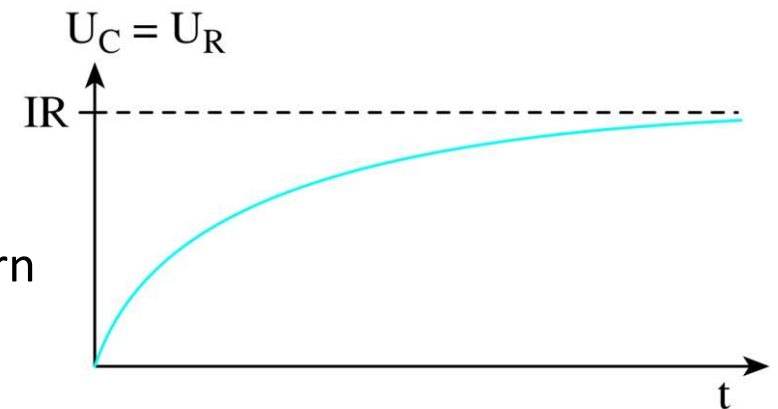
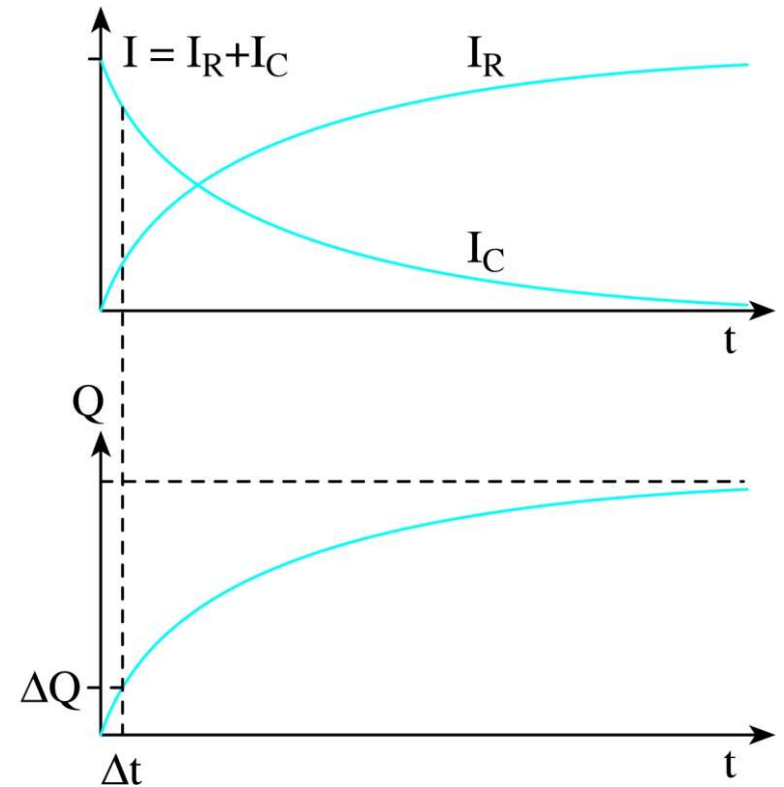


$$U_C = U_R = RI(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$



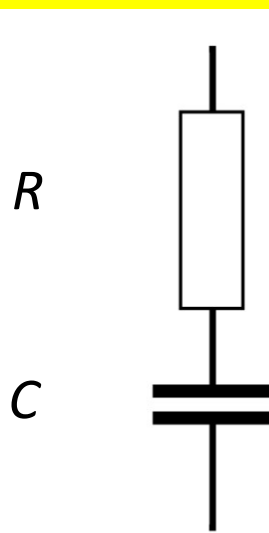
Zellmembran aus RC-Gliedern
(s. „Erregungsprozesse
Vorlesung)

Lehrbuch Abb. III. 32.

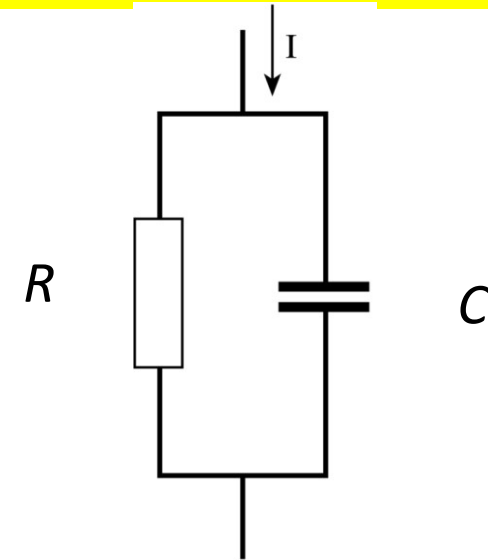


Lehrbuch Abb. VII. 11.

RC-Glied in einer Wechselstromschaltung



in Reihe geschaltetes
RC-Glied

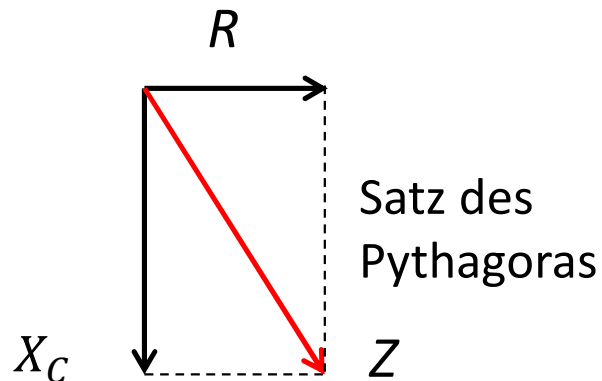


RC-parallel Schaltung

die addierende Grösse

Widerstand

Leitfähigkeit = 1/Widerstand



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

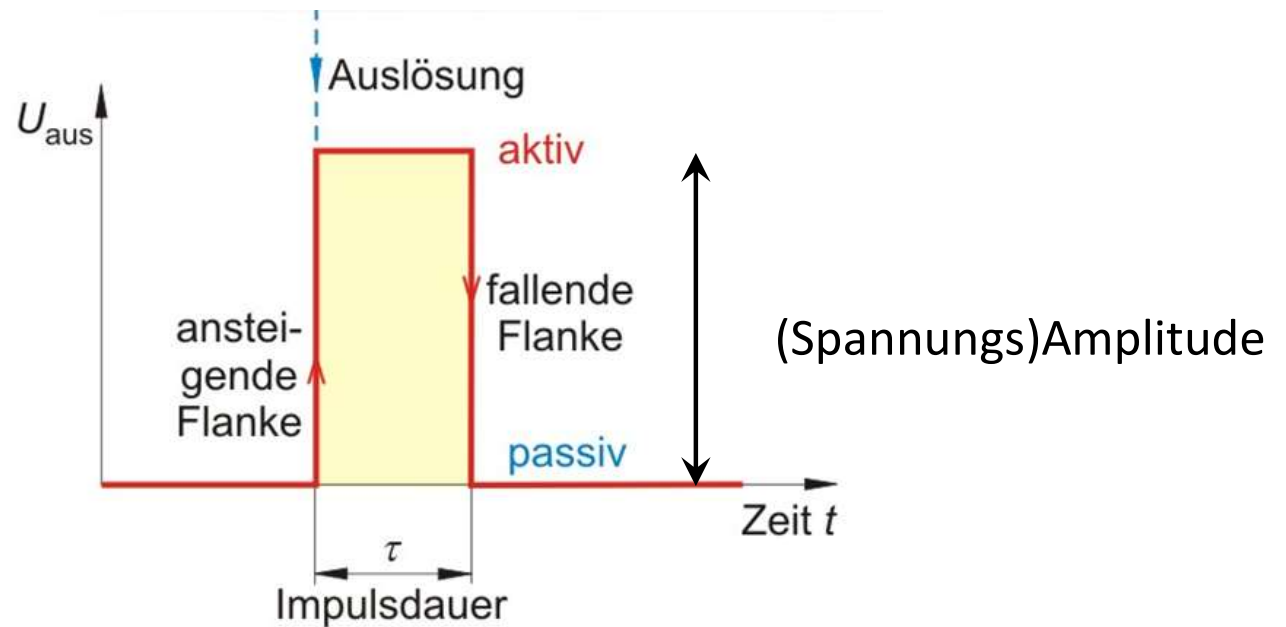
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

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

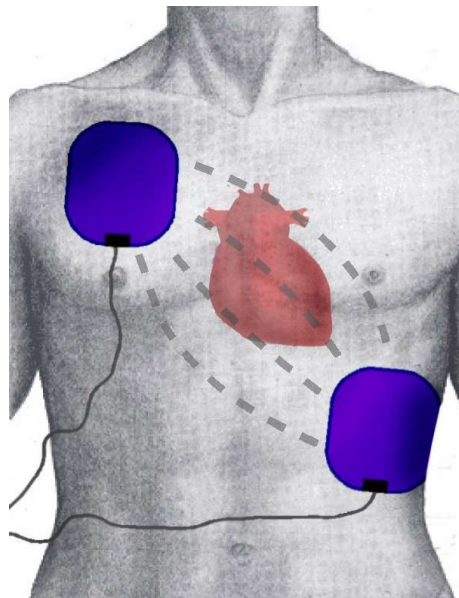
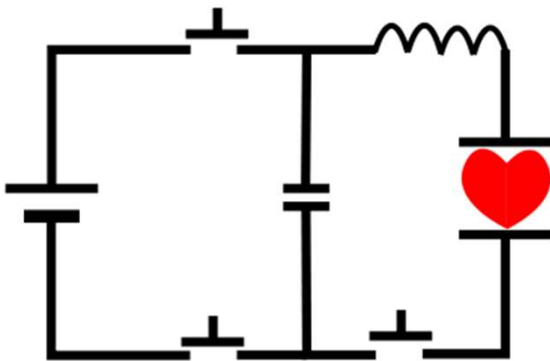
$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}}$$

Charakteristiken der elektrischen Rechteckimpulsen

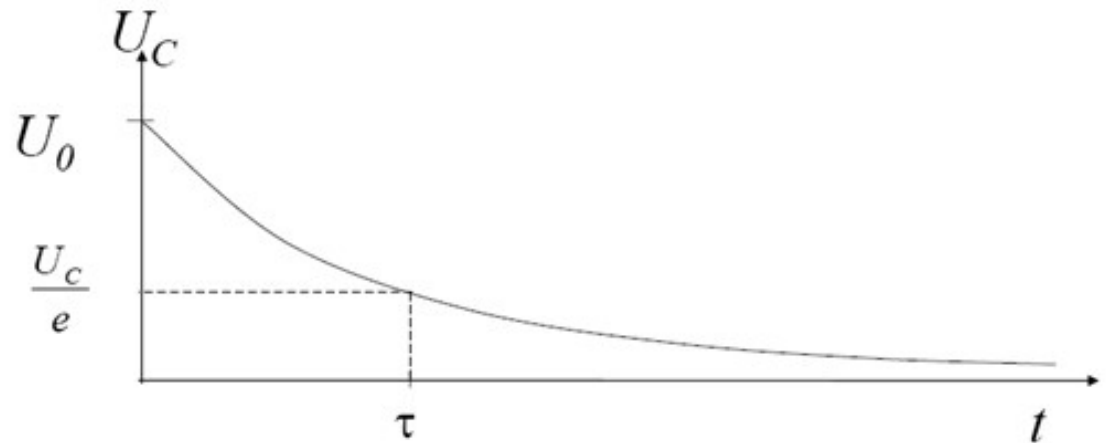
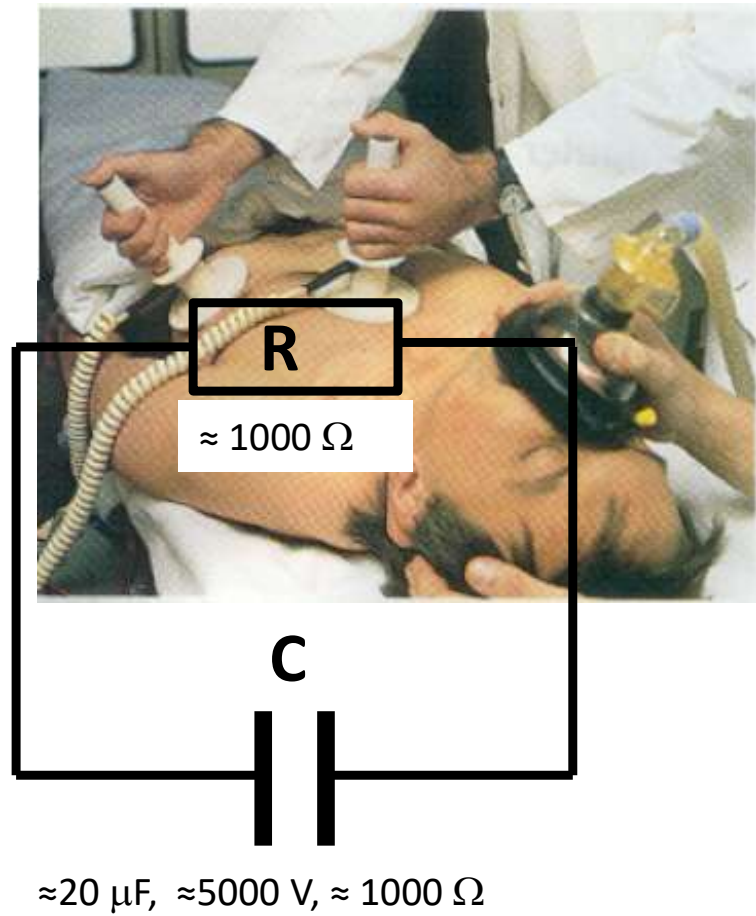
1 Rechteckimpuls
(der einfachste Impuls)



z.B. Impuls des Defibrillators

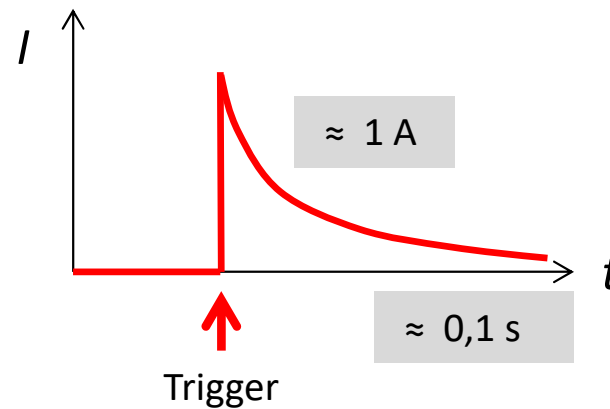


Defibrillator



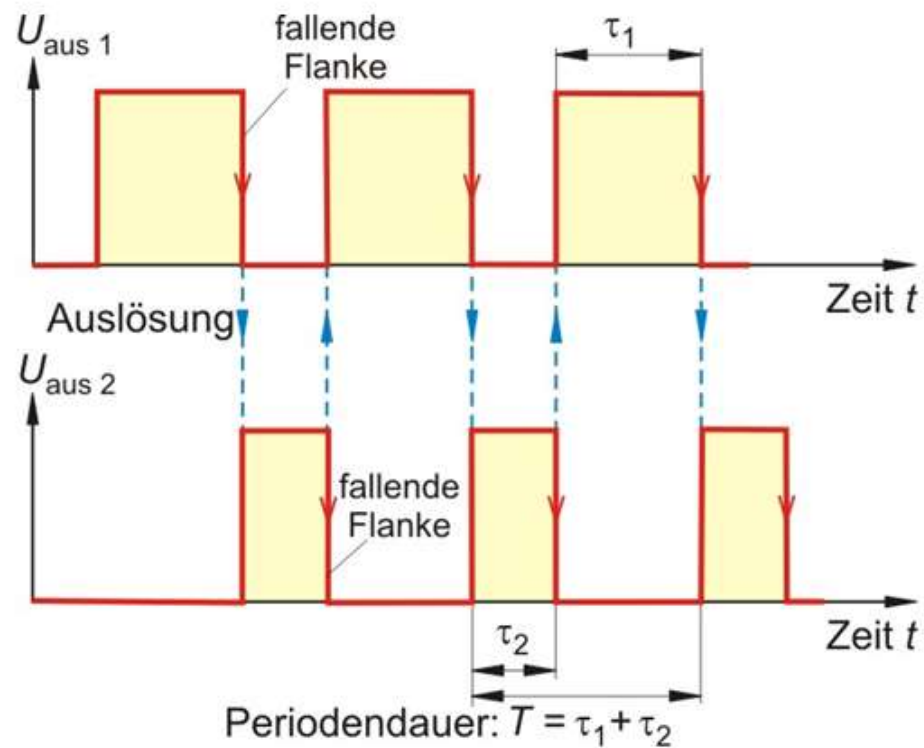
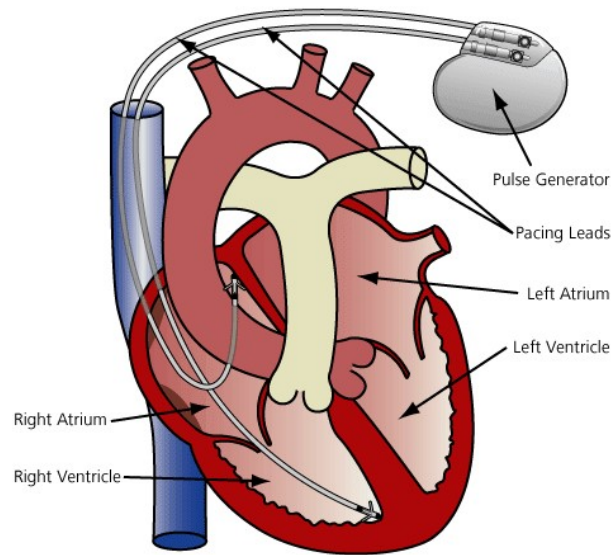
$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

$I_0 =$
 $\tau =$



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

periodische
Rechteckteckimpulsen

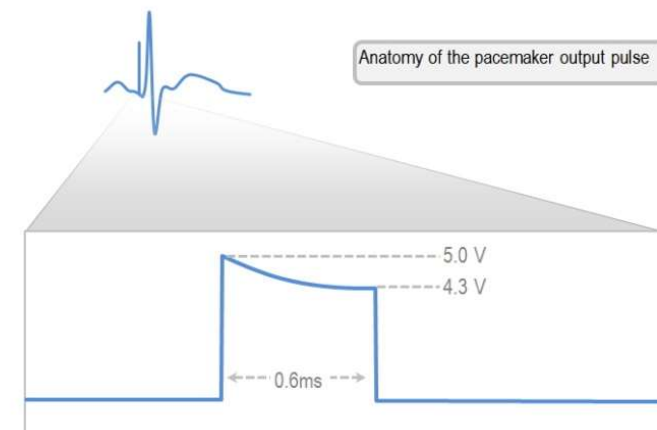


Tastverhältnis von $U_{\text{aus 2}}$: $\frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%$

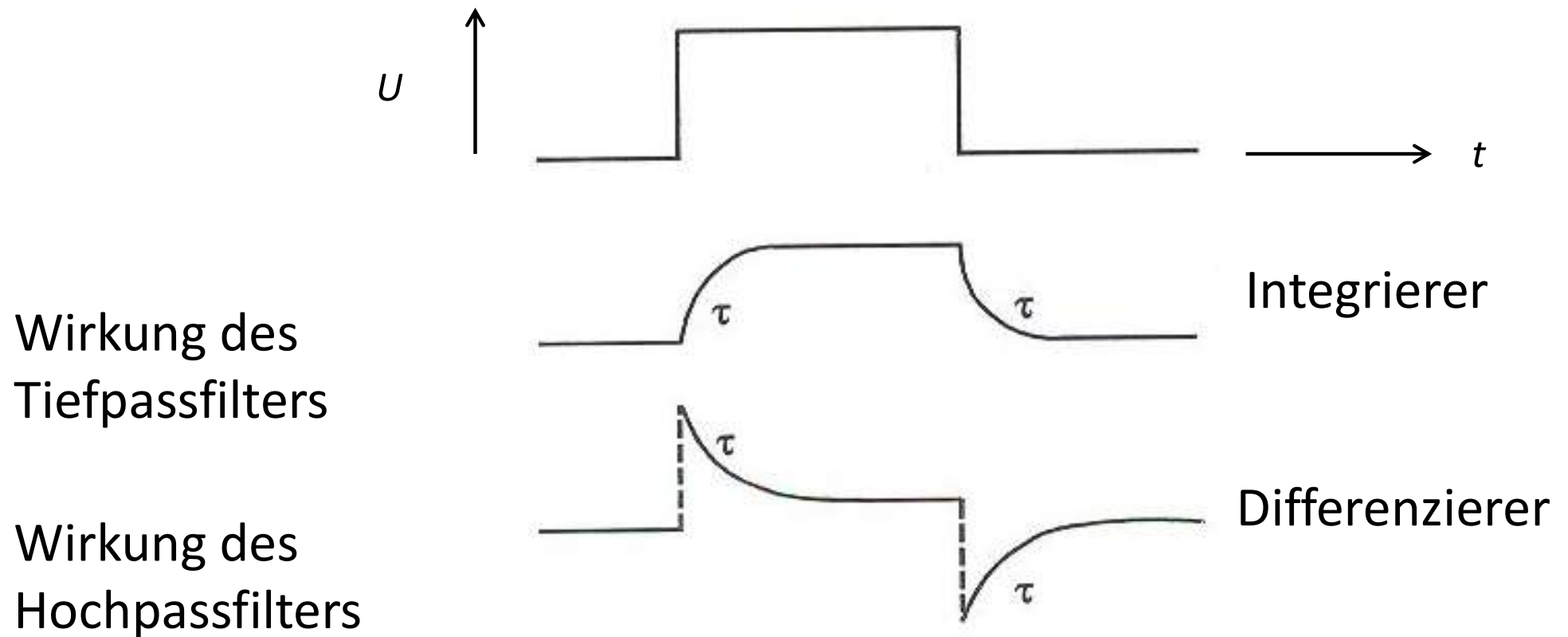
(duty cycle)

z. B. Herzschrittmacher
(pacemaker)

astabiler Impulsgenerator
(s. Impulsgeneratoren
Praktikum)



Verformung von Rechteckimpulsen an RC-Elementen

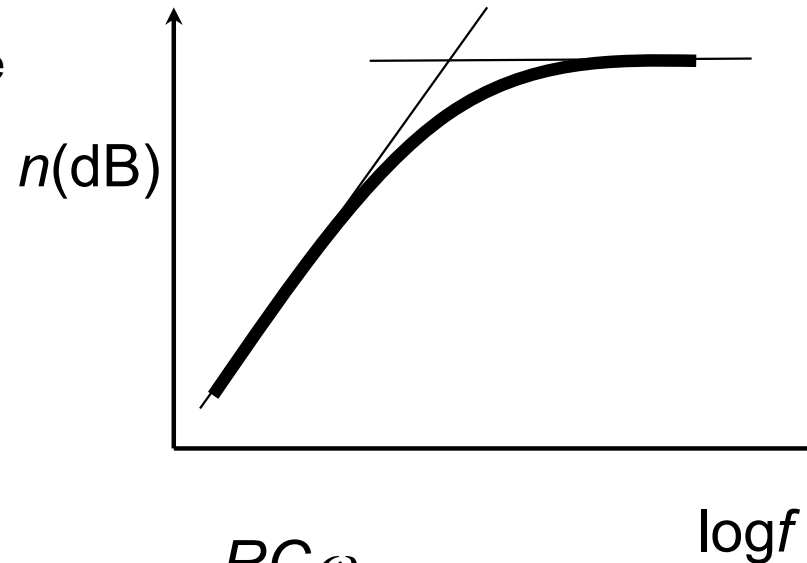
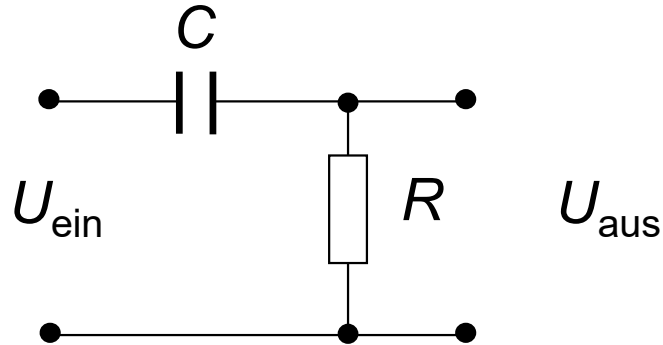


τ : Zeitkonstante

Hochpass Filter (high-pass filter)

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

Kapazität bei hohen Frequenzen wirkt wie ein Kurzschluss



Streukapazität/parasitäre Kapazität

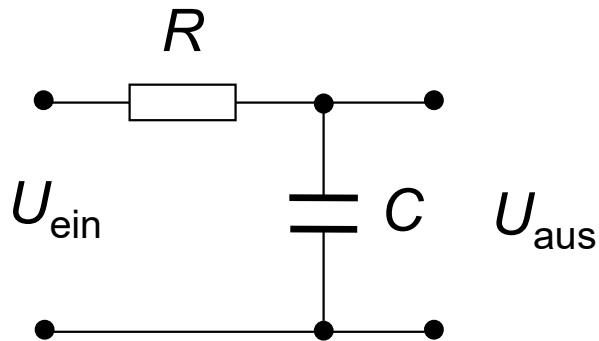
$$U_{\text{aus}} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{C^2\omega^2} + R^2}} U_{\text{ein}} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2}} U_{\text{ein}}$$

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

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

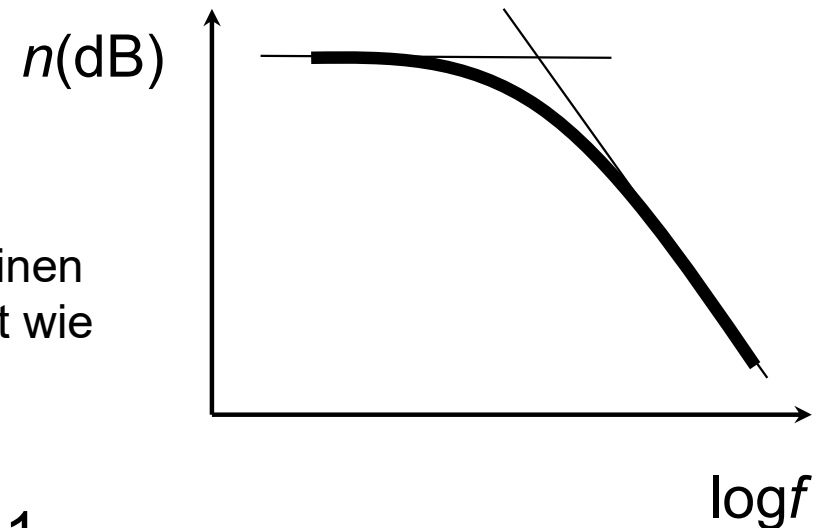
bei hohen Frequenzen: wenn $\omega \gg \omega_0$ ($\omega \approx \infty$), $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$

Tiefpass Filter (low-pass filter)



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

Kapazität bei kleinen Frequenzen wirkt wie ein Riss



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

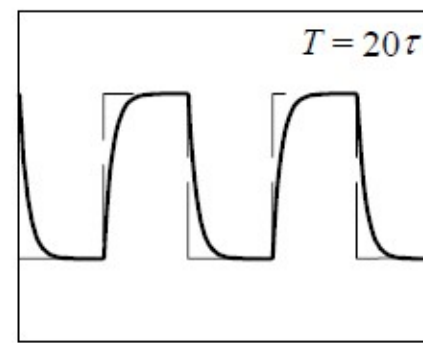
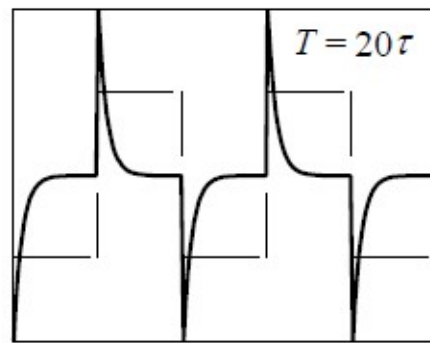
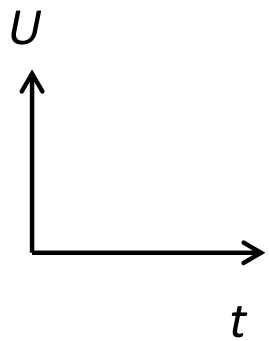
bei kleinen Frequenzen:

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

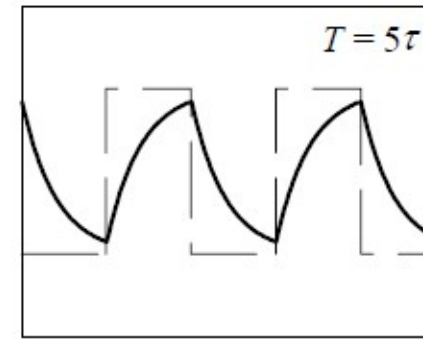
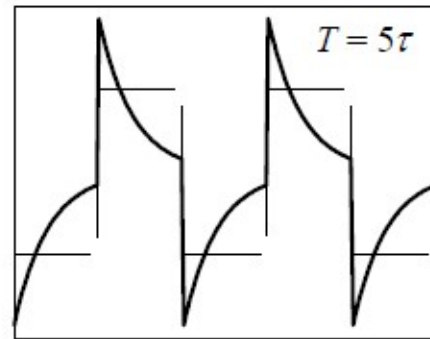
bei grossen Frequenzen:

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

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

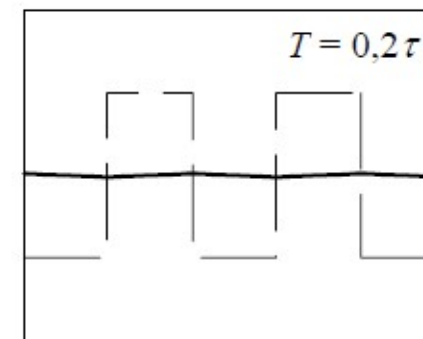
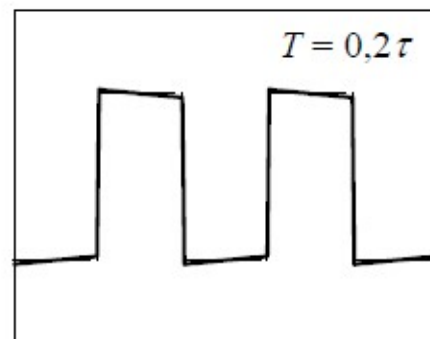
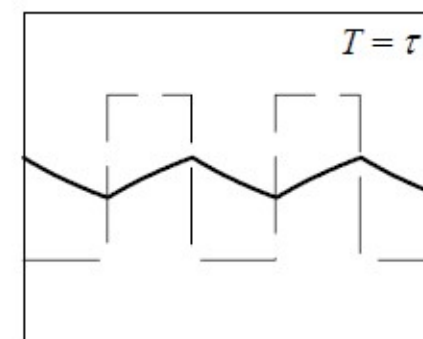
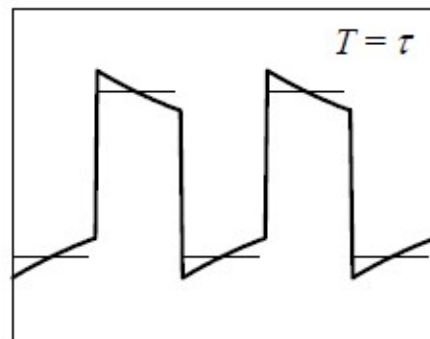


geringste Verzerrung:
 $\tau \ll \text{Impulsdauer}$



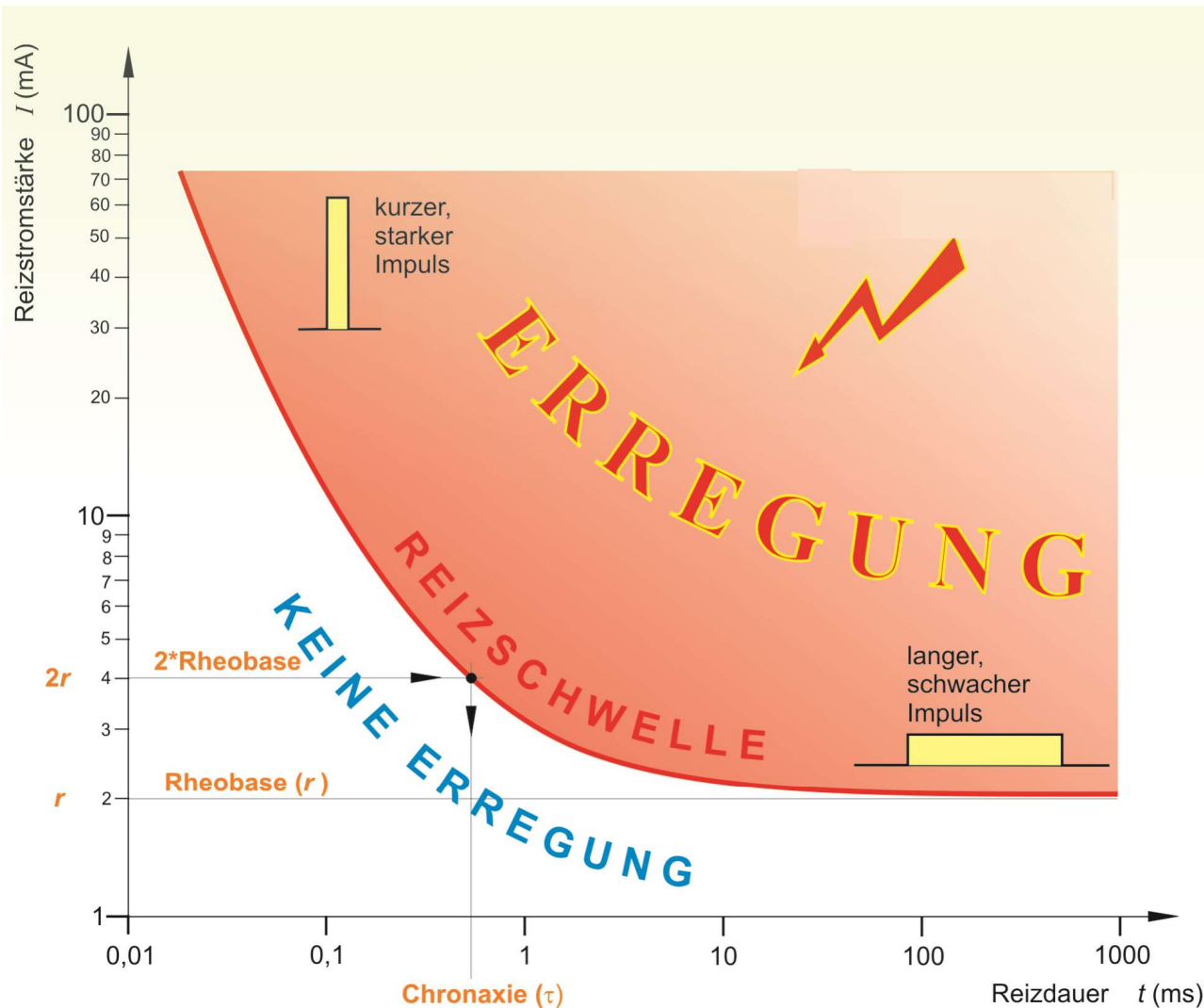
Differenzierer

Integrierer



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

Reizcharakteristik (Reizdauer-Stromstärke-Kurve)

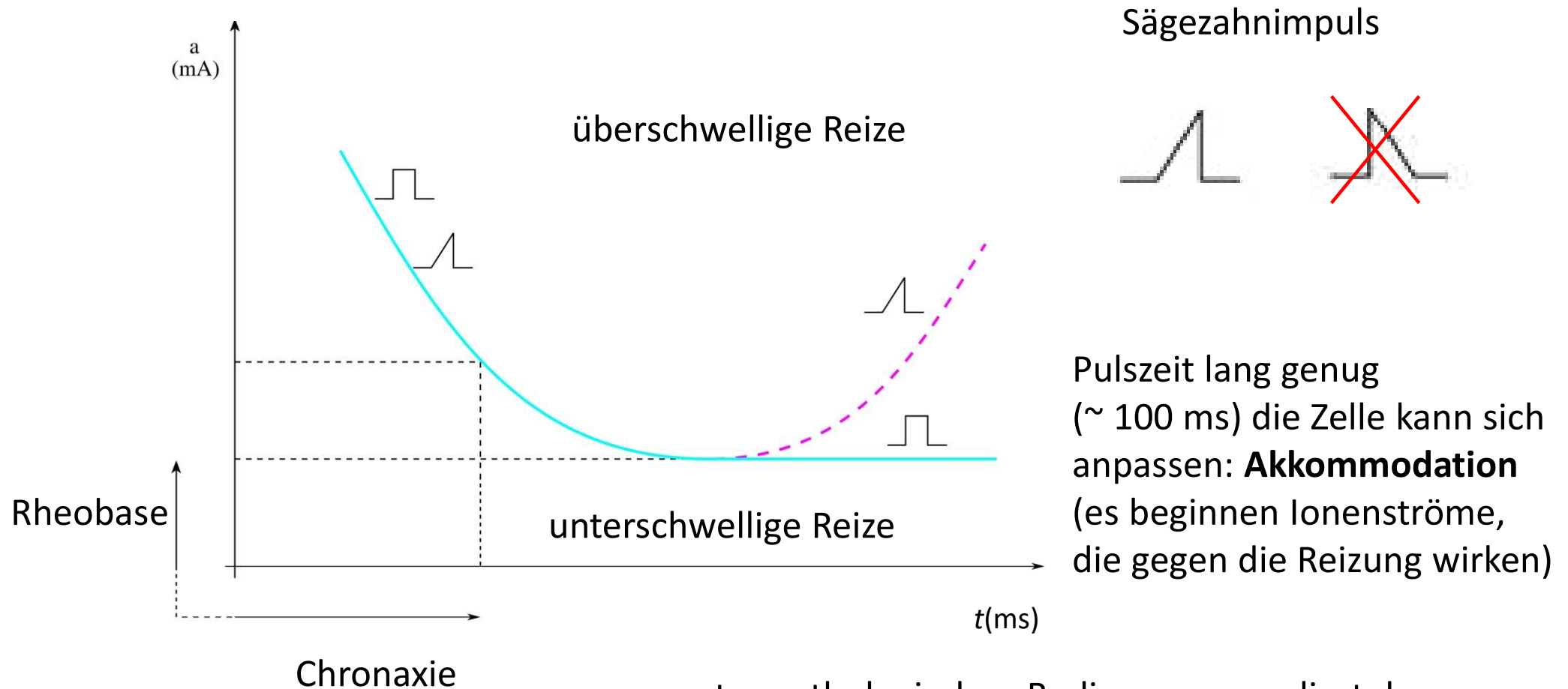


Rheobase: die minimale Reizstromstärke, die erforderlich ist, um eine Empfindung zu entwickeln

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

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

Reizcharakteristik für Sägezahnimpulsen



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:

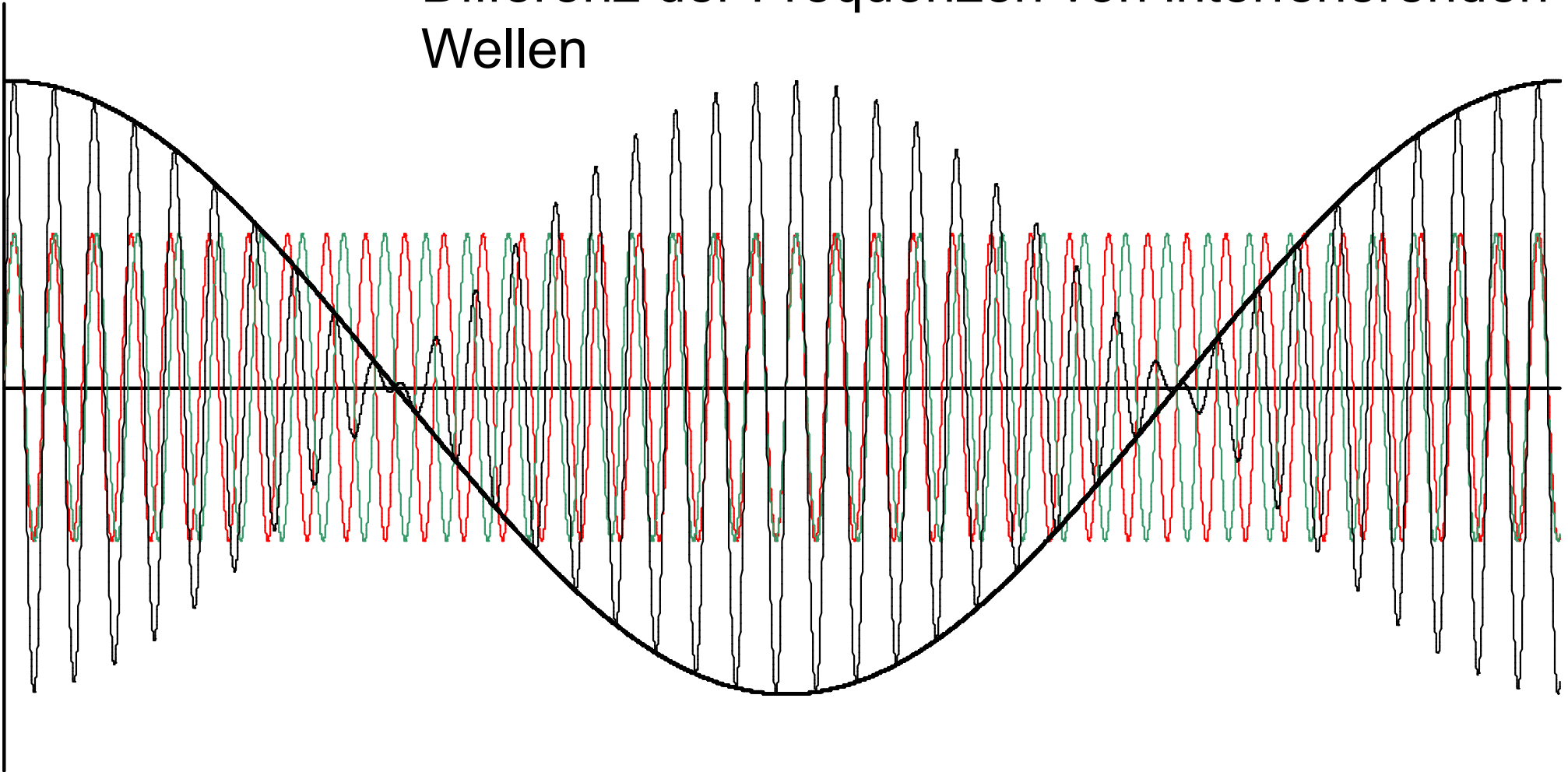
selektive Reizstromtherapie

bei Sägezahnimpulsen im Öffnungsbereich ziehen
sich nur geschädigte Muskeln zusammen

Schwebung

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

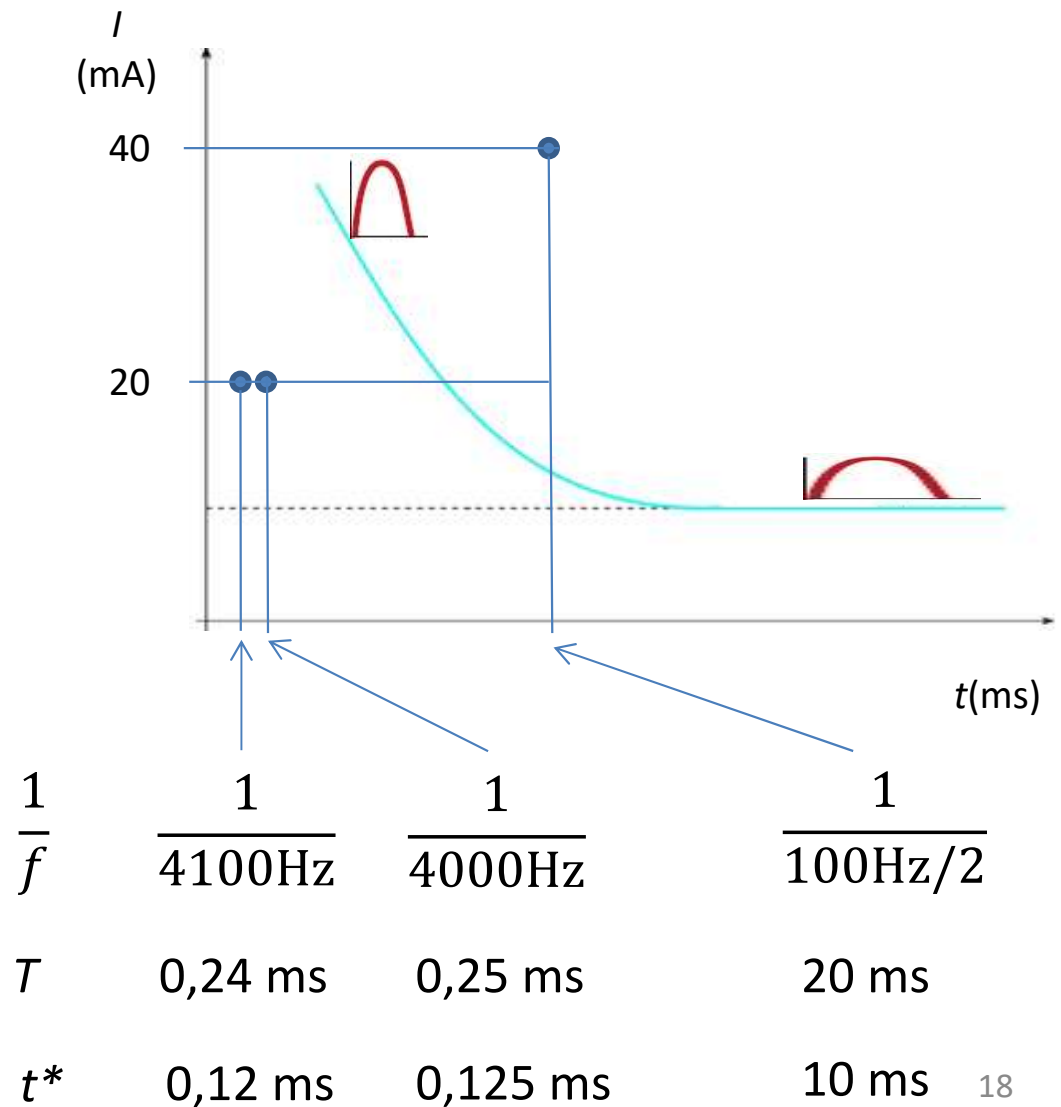
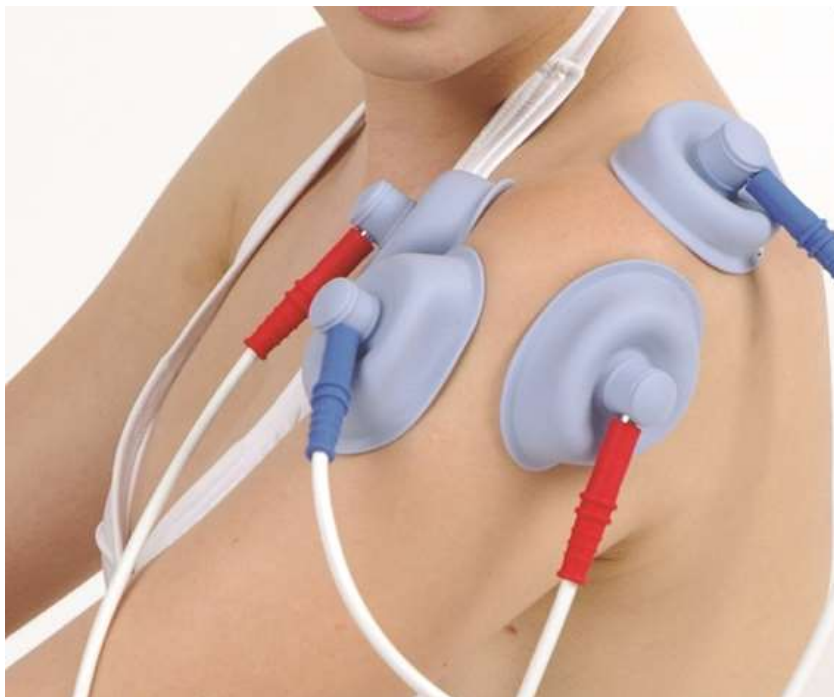
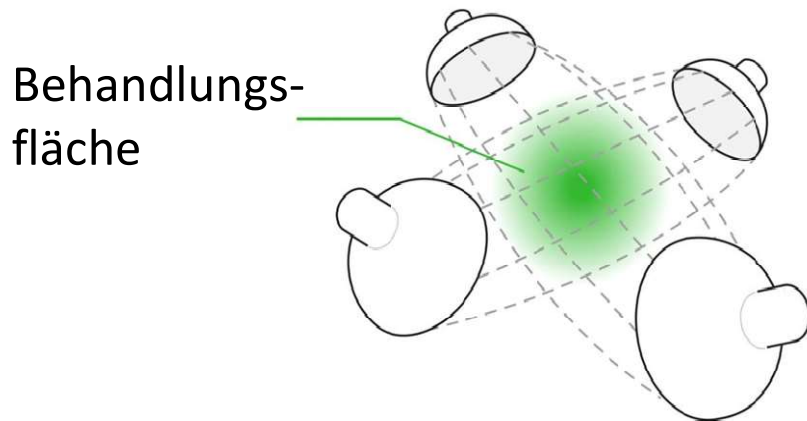
Die Frequenz der Schwebung ist gleich der Differenz der Frequenzen von interferierenden Wellen



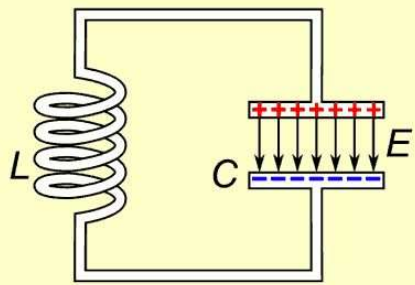
mathematische Formel: $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$

Interferenzstromtherapie

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

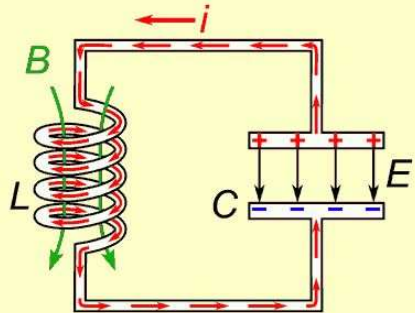


Schwingkreis. LC-kreis

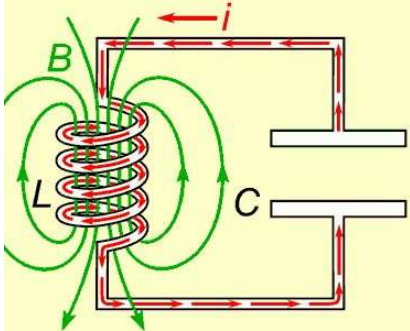


Gesamt-
energie im
elektrischen
Feld

$$W = \frac{1}{2} C U_{\max}^2$$

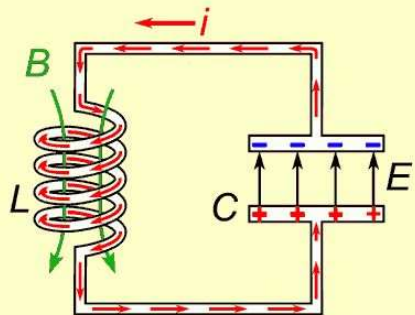


$$W = \frac{1}{2} C U^2 + \frac{1}{2} L I^2$$



Gesamt-
energie im
Magnetfeld

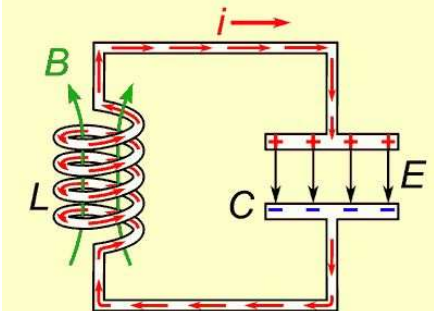
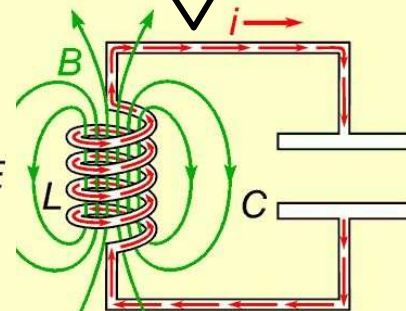
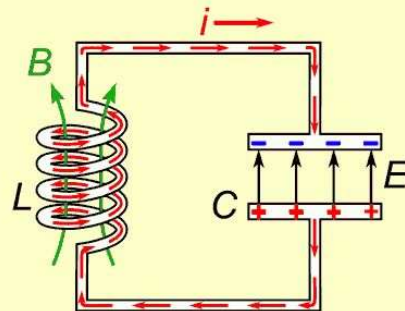
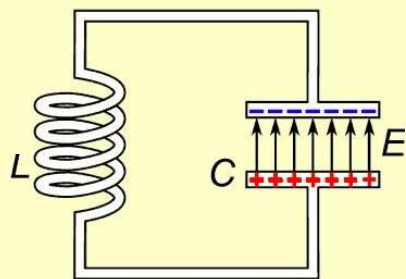
$$W = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$$



t

Gesamt-
energie im
elektrischen
Feld

Gesamt-
energie im
Magnetfeld



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

vgl. Lehrbuch
Abb. VII. 14.

Idealer und realer Schwingkreis

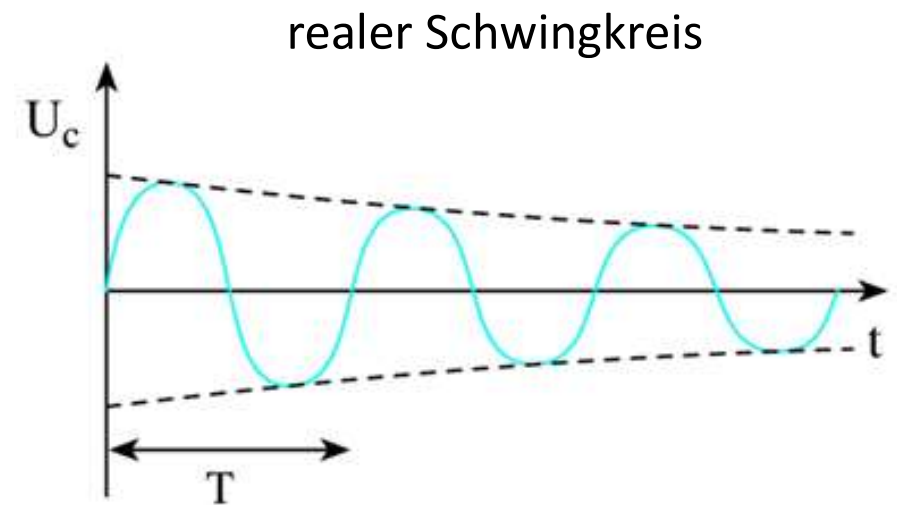
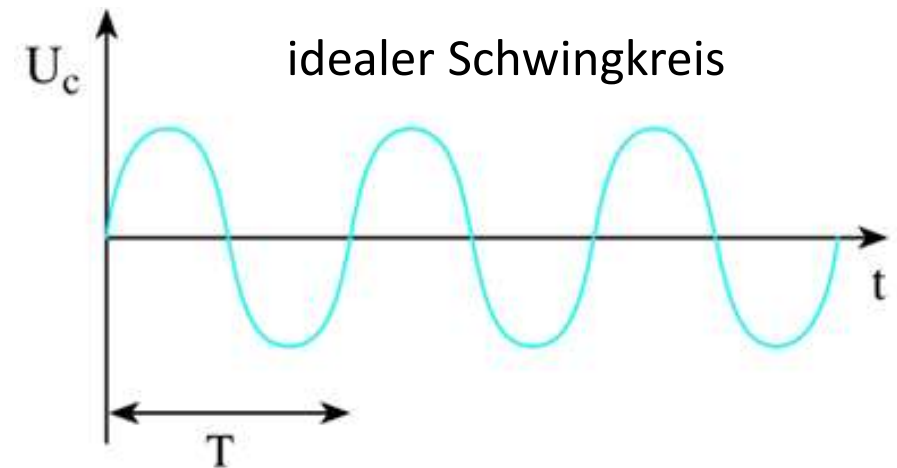
der Strom und die Spannung des **idealen Schwingkreises** hinterlassen eine **ungedämpfte sinusförmige Schwingung**

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

$$X_C = X_L$$

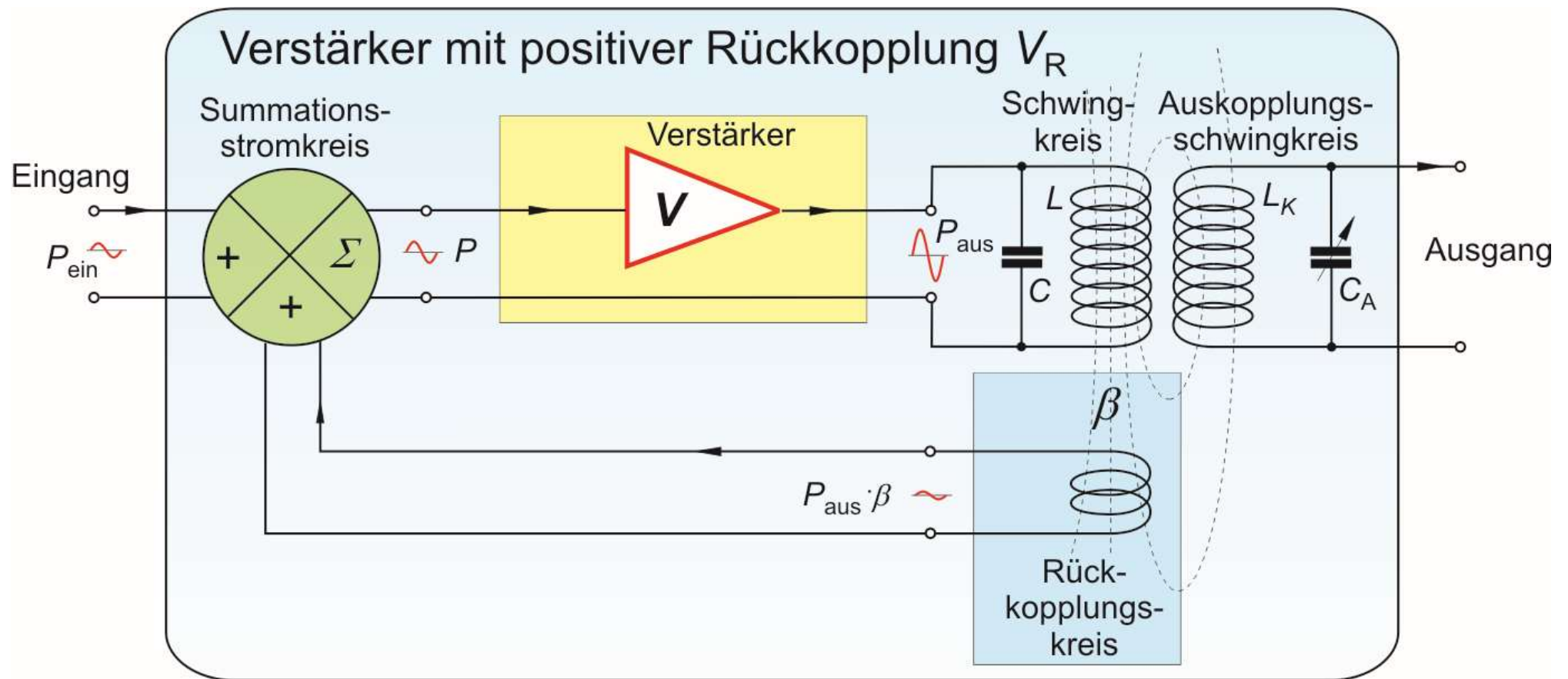
$$\frac{1}{C2\pi f} = L2\pi f$$

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



Mitkopplung

(Verstärker mit positiver Rückkopplung)

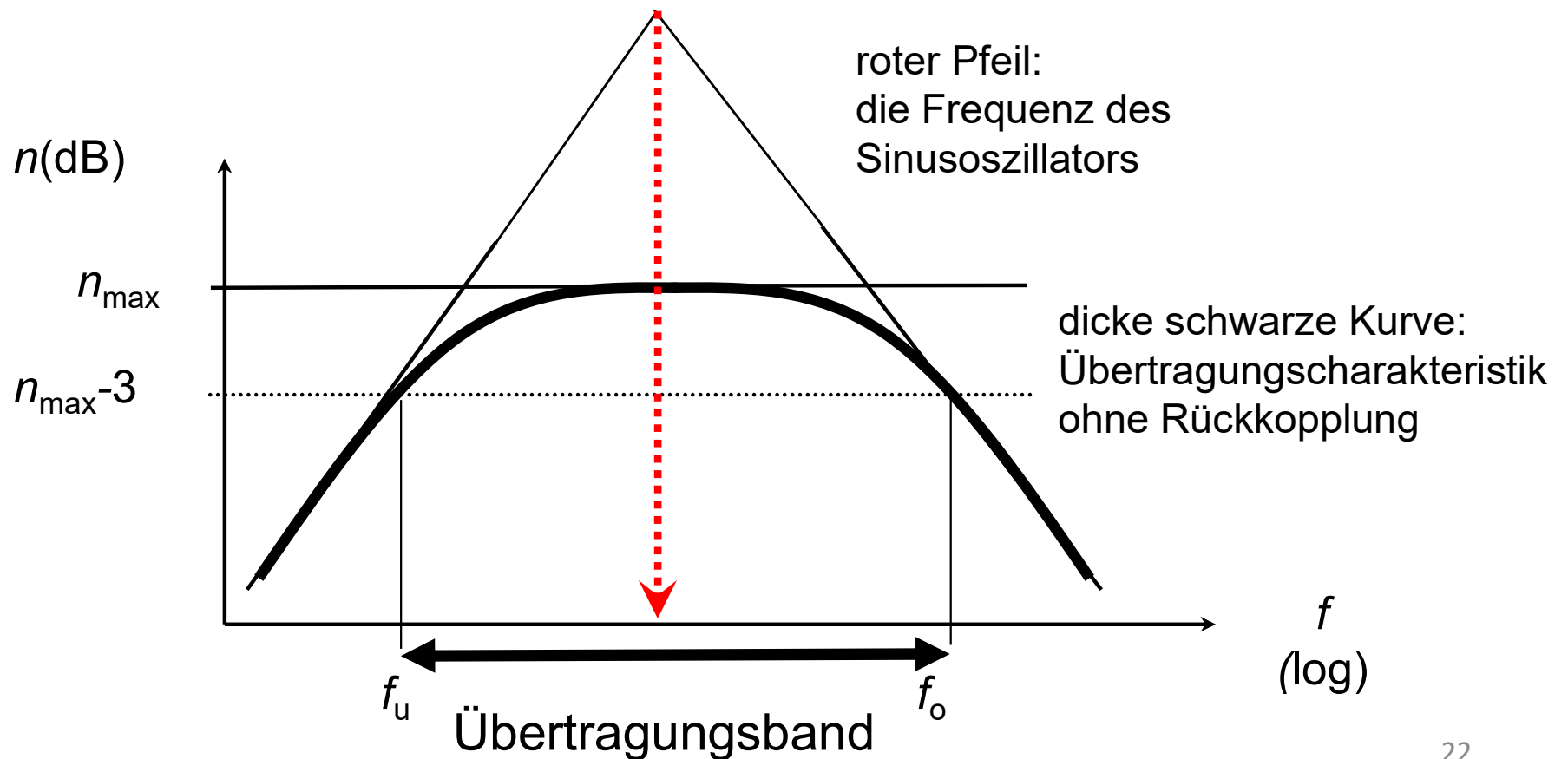


Sinusoszillator

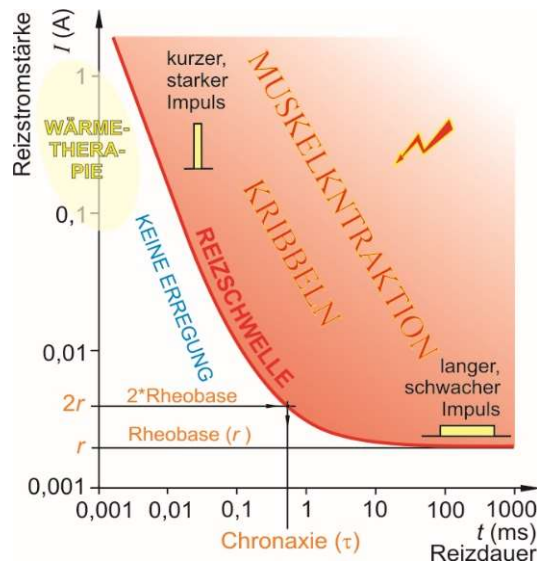
Mitkopplung (positiv rückgekoppelter Verstärker)

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

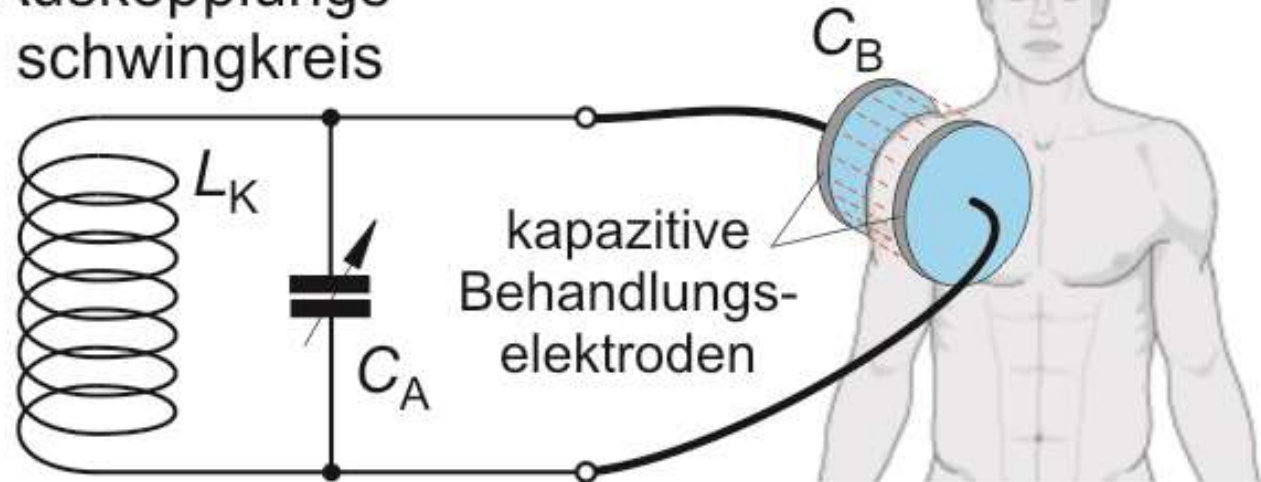
$\beta A_U = 1$, Verstärkung: „unendlich“ → Sinusoszillator
kein Eingangssignal, Ausgangssignal: Sinuswelle



Wärmetherapie. Kondensator als Diathermieelektrode



Auskopplungs-
schwingkreis



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

Lehrbuch Abb. IX.28.

Resonanzbedingung:

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

Auskopplung der Energie mit
Hilfe des elektrischen Feldes

Wärmemenge, die sich während der Kondensatorfeldmethode im Medium entwickelt

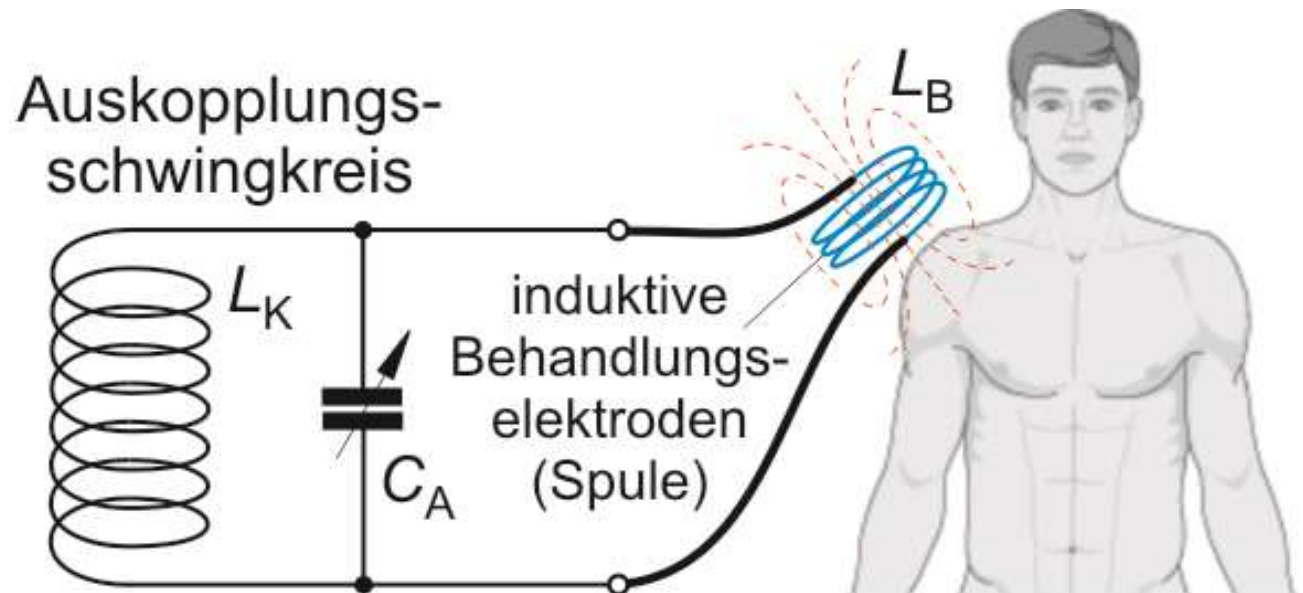
$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t = \frac{U^2}{\rho \frac{l}{A}} \cdot t = \sigma \frac{U^2}{l^2} \cdot l \cdot A \cdot t = \sigma \cdot E^2 \cdot V \cdot t,$$

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



Wärmetharapie. Spule als Diathermieelektrode



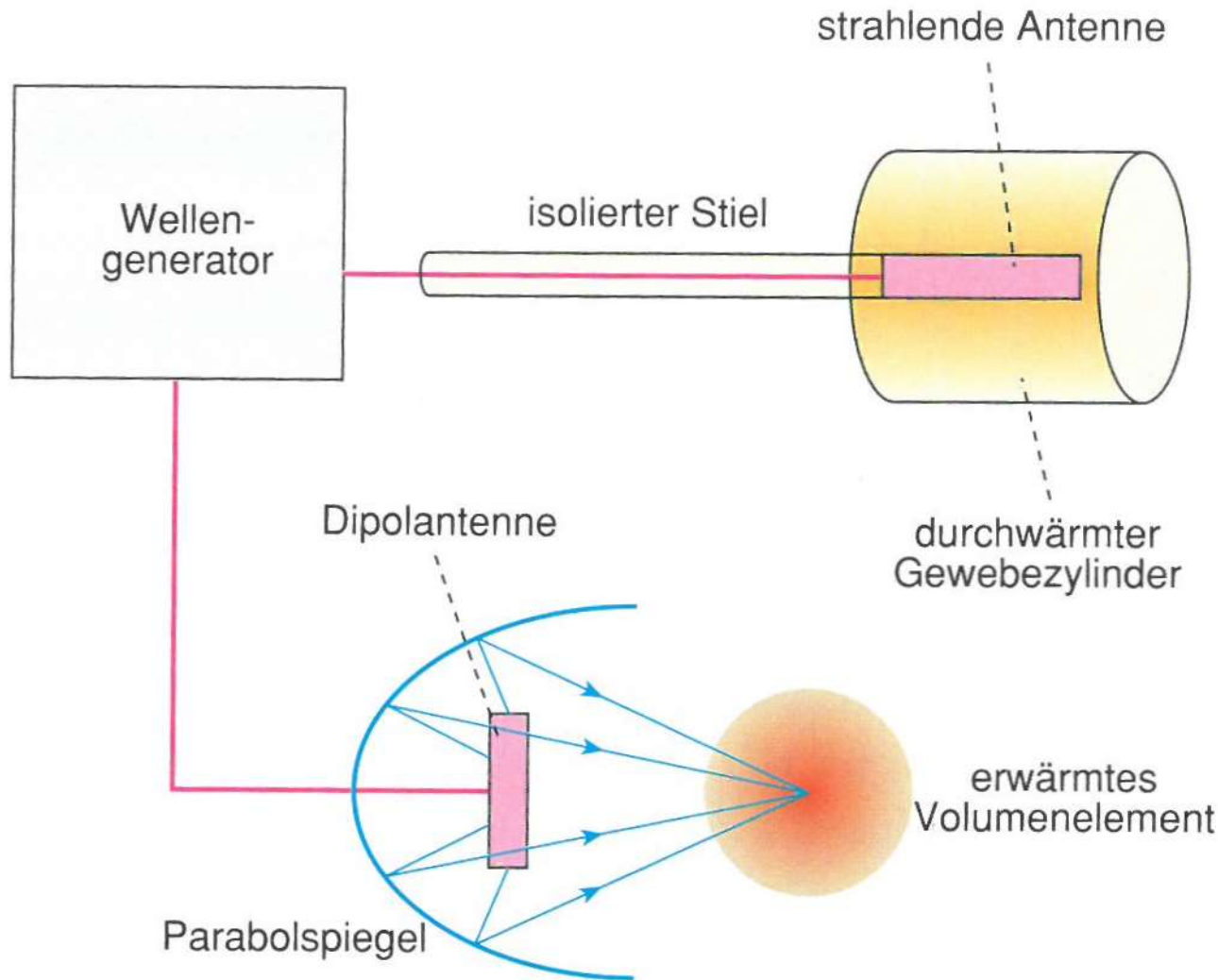
Praktikumsbuch, Messung 19.
Sinusoszillator, Abb. 5.(b)
Lehrbuch Abb. IX.29.

Rezonzanzbedingung:

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

Auskopplung der Energie
mit Hilfe des
magnetischen Feldes

Wärmetharapie. Strahlenfeldmethode

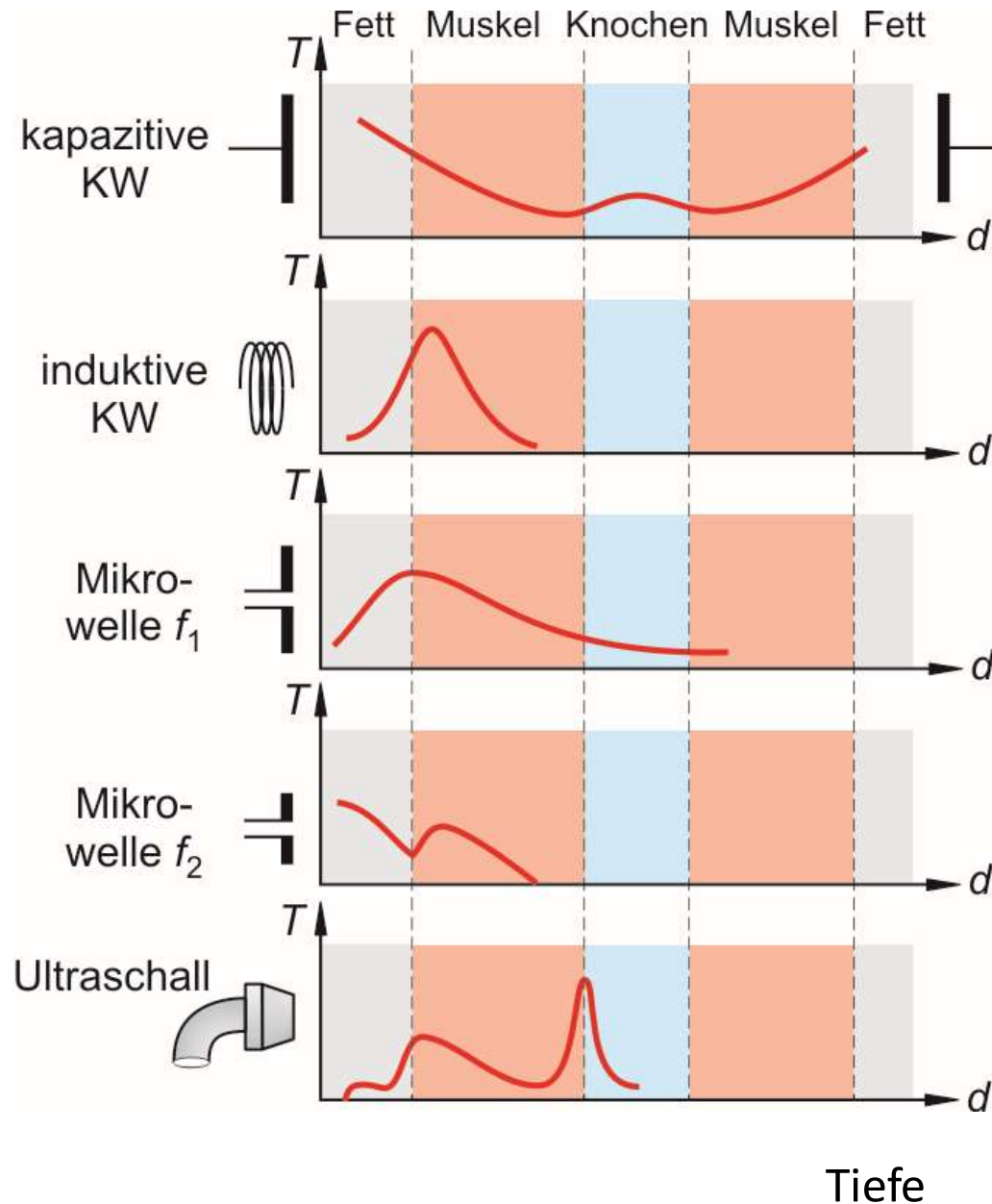


Auskopplung der Energie durch das Strahlenfeld

Lehrbuch Abb. IX.33.

vgl. Mikrowellenofen

Temperaturverteilung bei den verschiedenen Methoden



Kondestor: höchste
Temperaturerhöhung bei
Fettgewebe

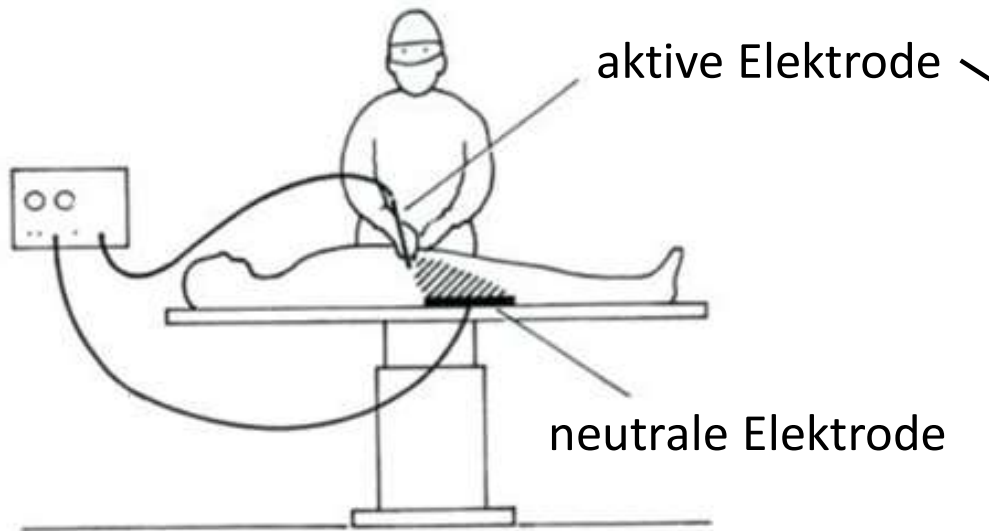
Spule: ... Muskelgewebe

Strahlenfeld
(kleinere Frequenzen)

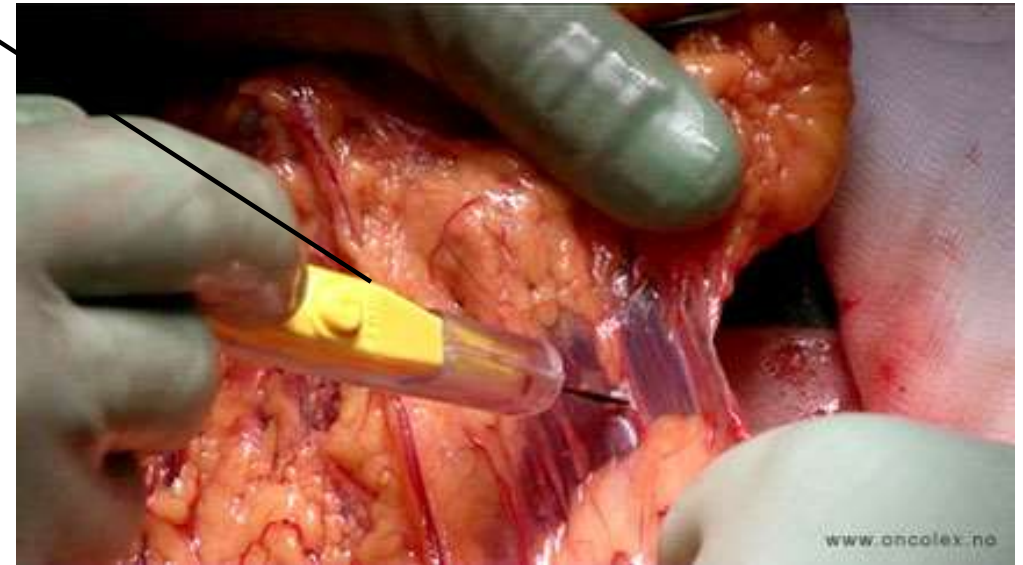
Strahlenfeld
(grössere Frequenzen)

bei Grenzflächen

Hochfrequenzchirurgie. Monopolare und bipolare Anwendungstechnik

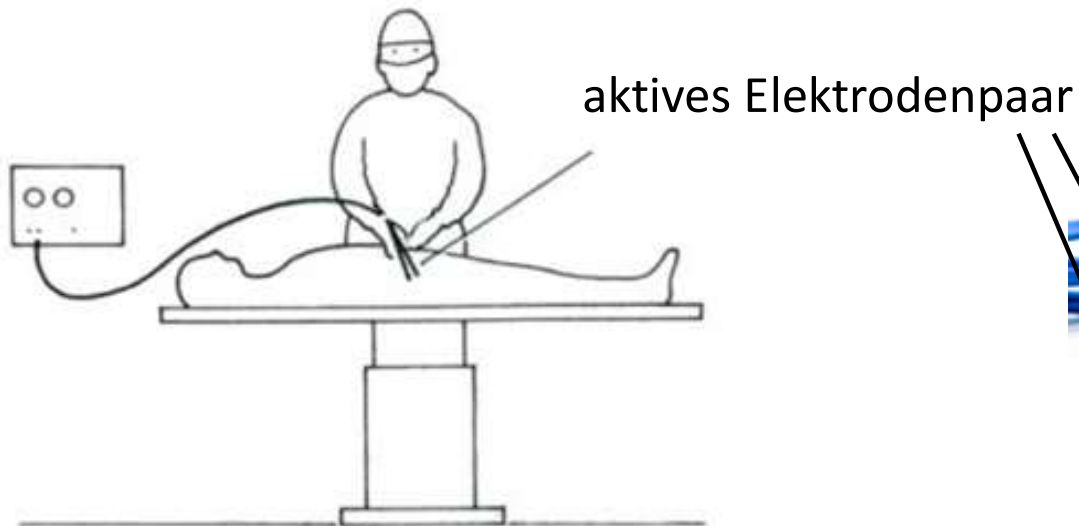


monopolare Anwendungstechnik

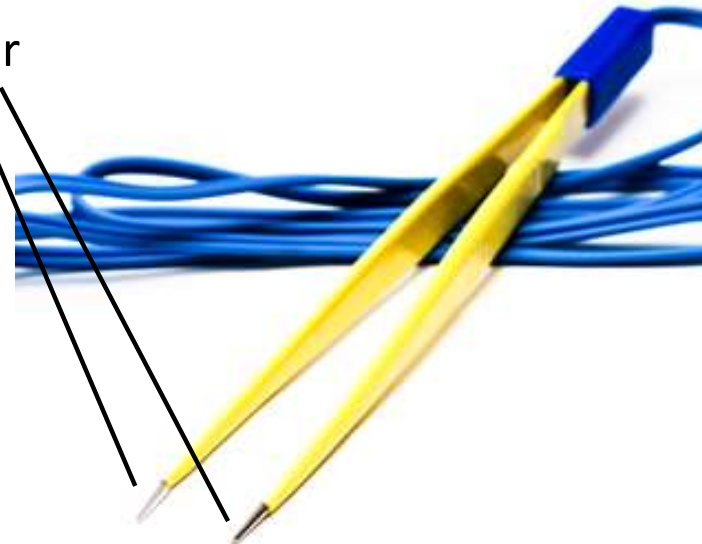


$$A_{\text{neutrale}} \gg A_{\text{aktive}}$$

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



bipolare Anwendungstechnik



Gleichstromtherapie

Galvanisation

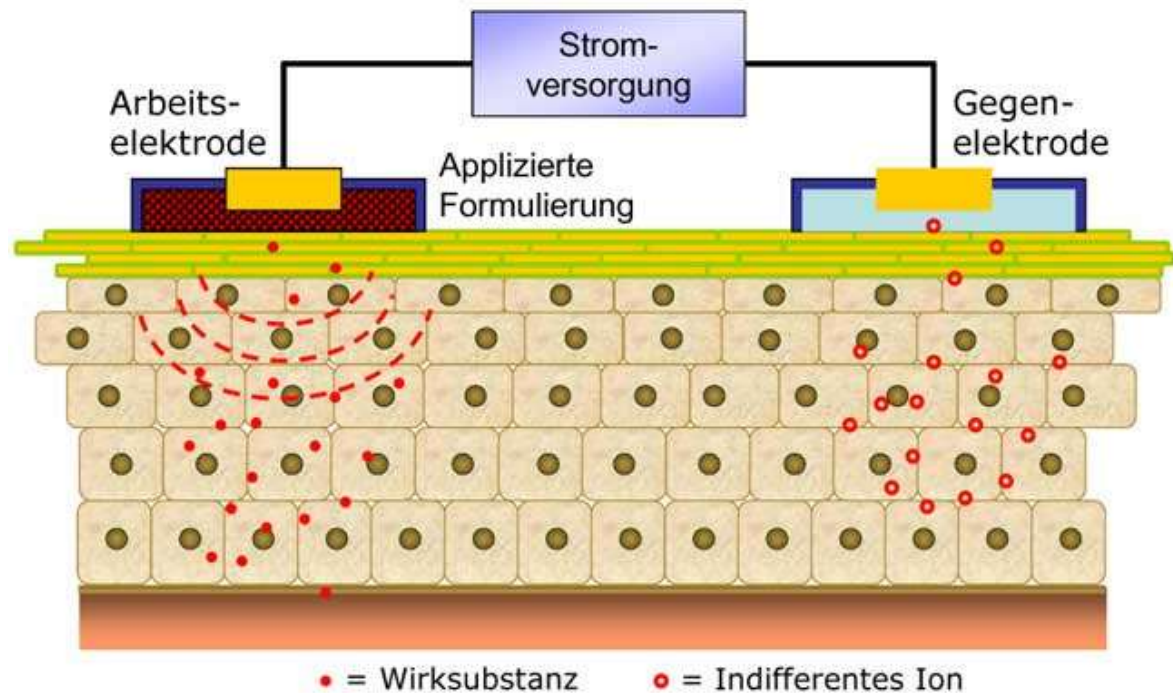


Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

Iontophorese



Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



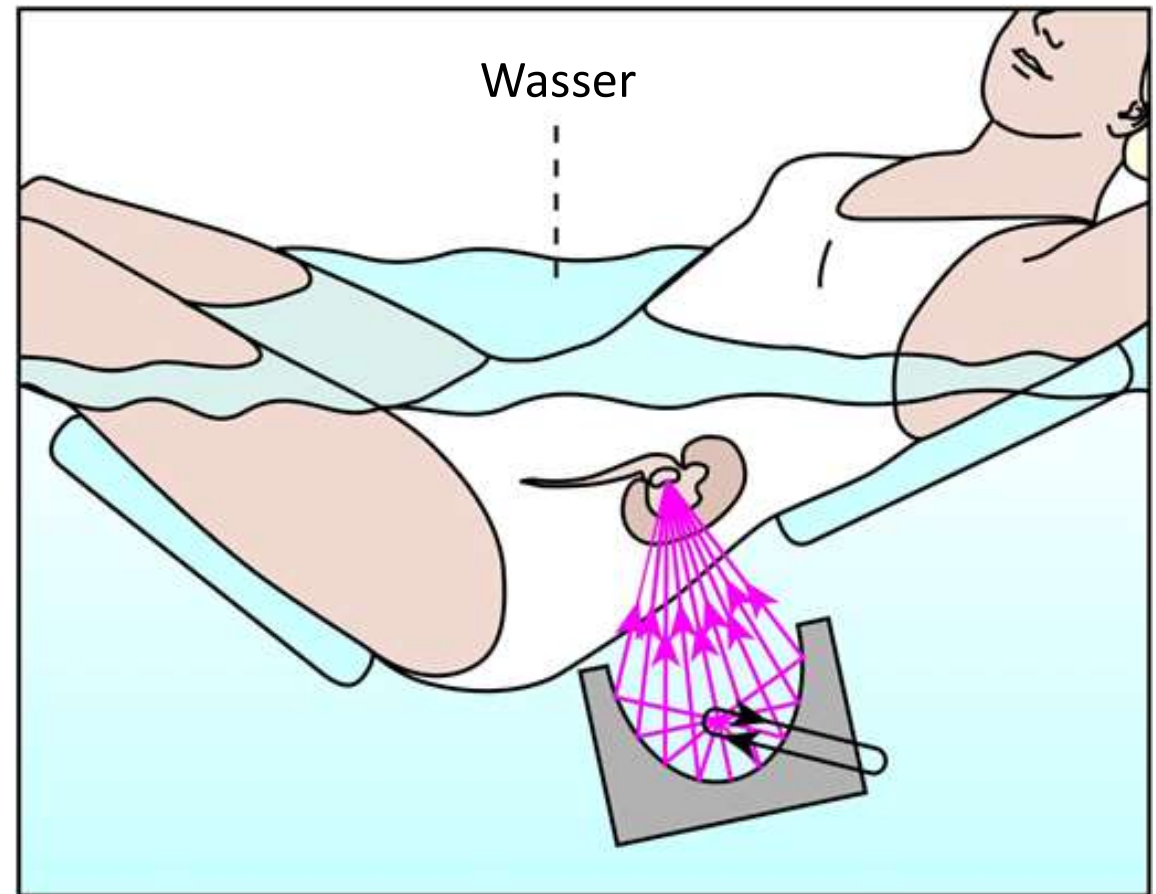
Schnelle Anreicherung des Wirkstoffes gezielt am Krankheitsort unter Umgehung des Magen-Darm-Traktes

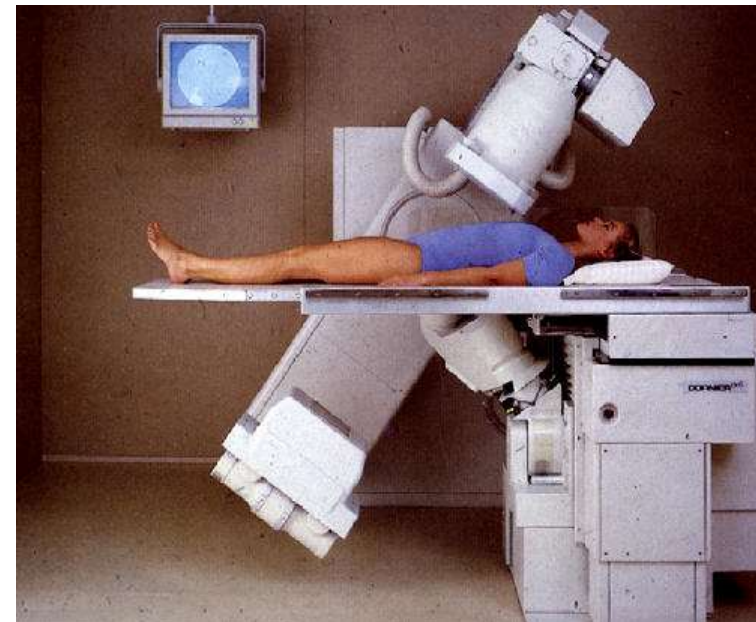
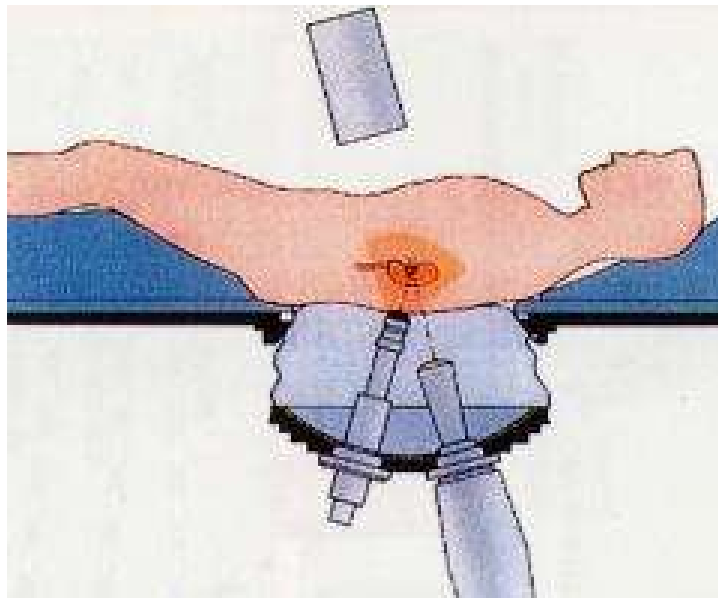
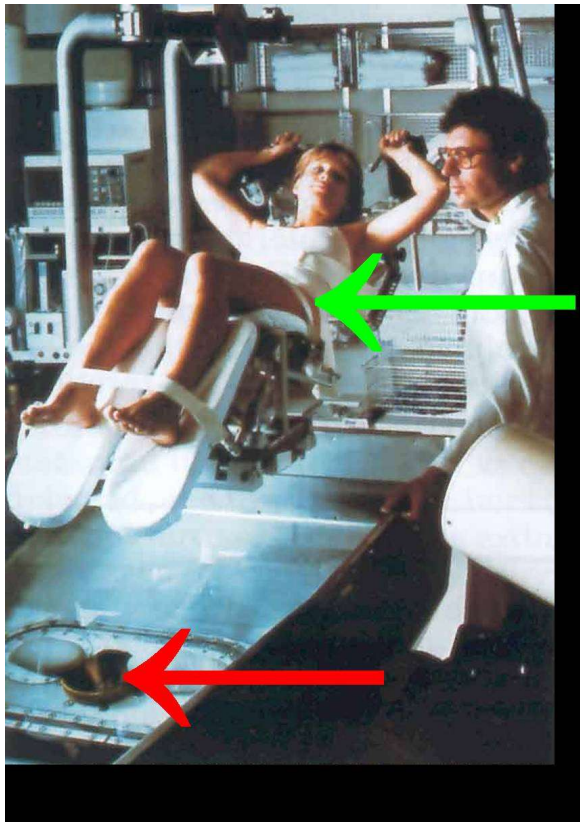
Lithotripsie, Extrakorporale Stosswellentherapie. ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)

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





Zusammenfassung der Methoden auf dem Reizdauer-Stromstärke-Diagramm

