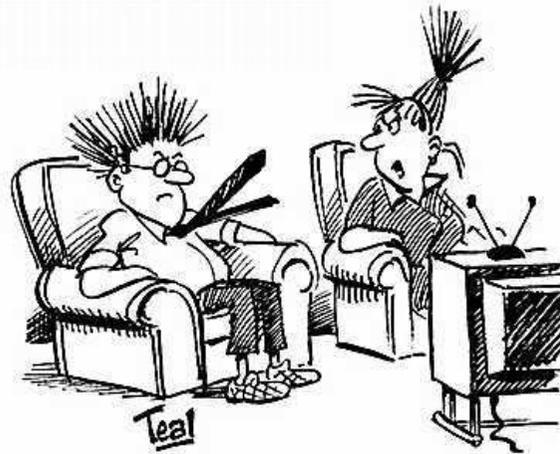
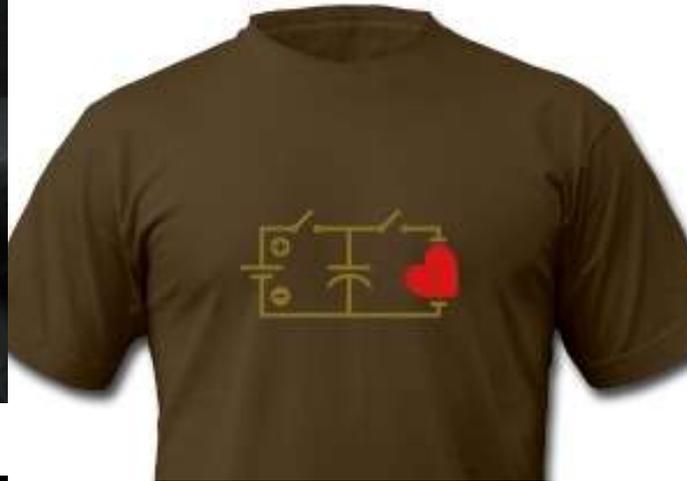




Impulsgeneratoren, Wärmetherapie



"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

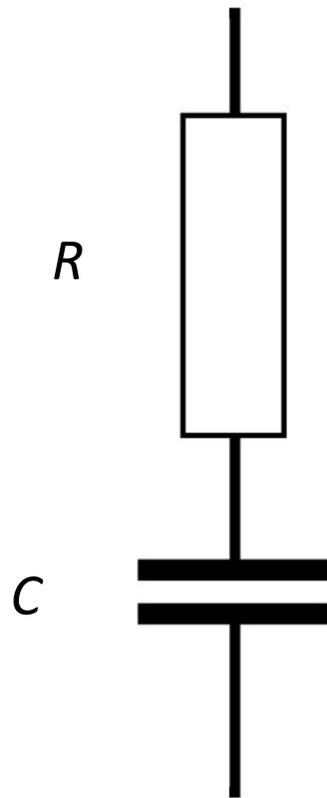
RC-Glied in einer Gleichstromschaltung

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

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

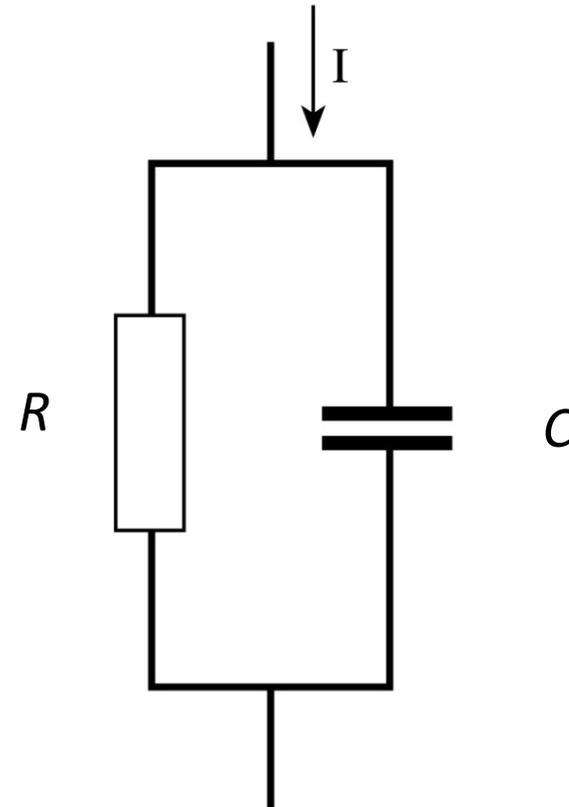
$$E = \frac{1}{2} CU^2$$

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



Reihenschaltung

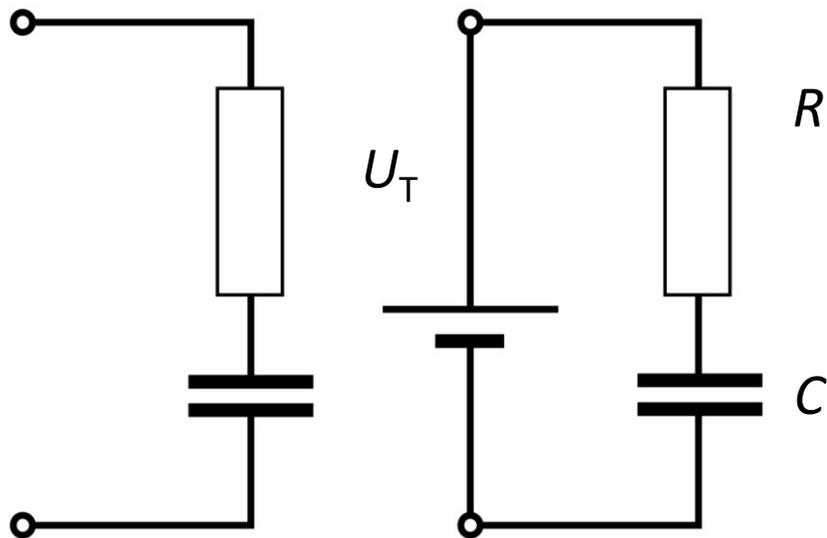
Kondensator im Gleichstromkreis wirkt wie ein Riss



Parallelschaltung

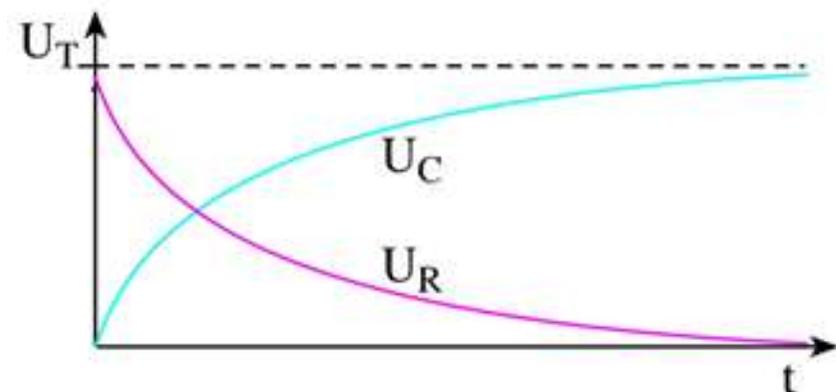
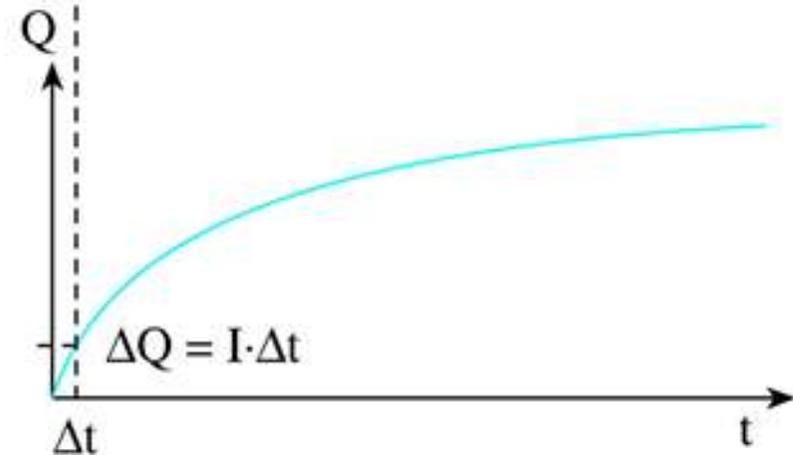
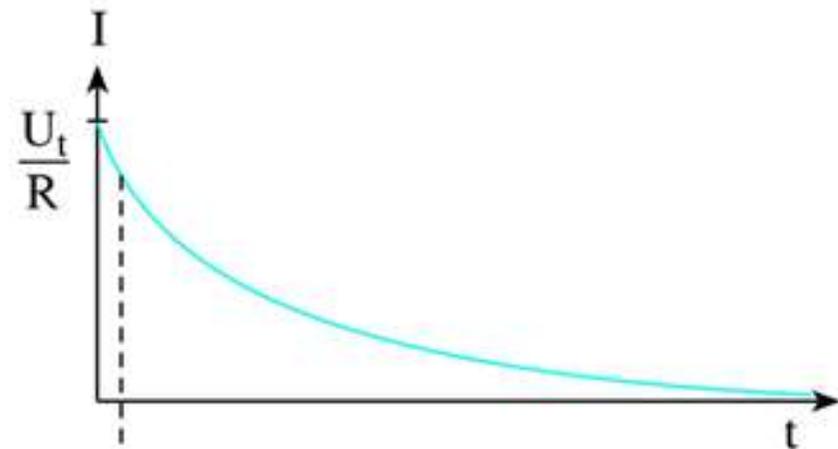
das elektrische Verhalten unserer Haut, Hautimpedanz Praktikum

Aufladen eines in Reihe geschalteten RC-Gliedes

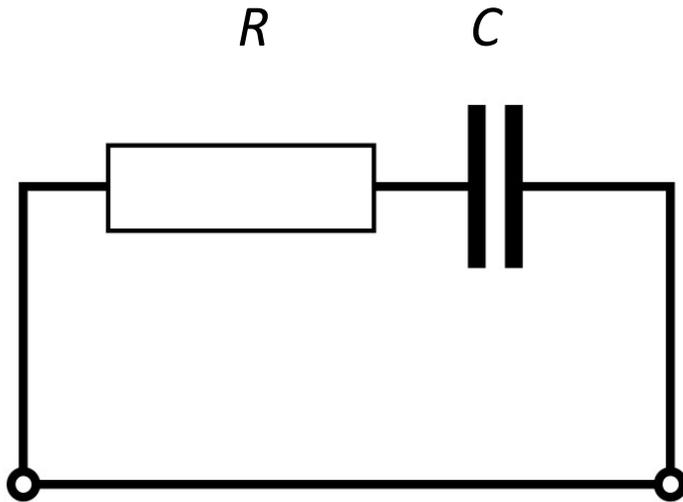


$$U_R = RI = U_T e^{-\frac{t}{RC}}$$

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



Entladung im RC-Glied



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

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

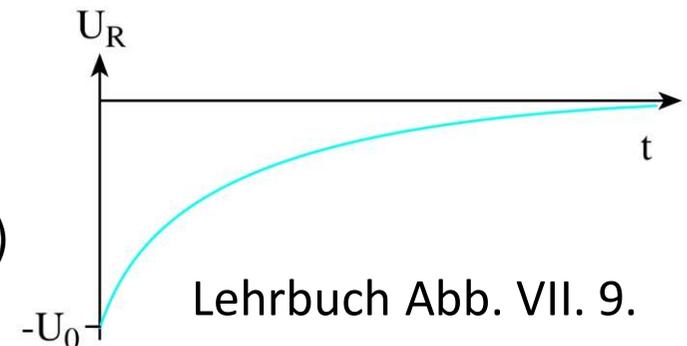
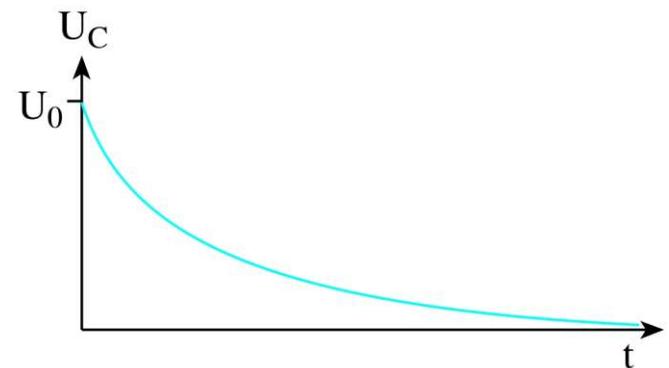
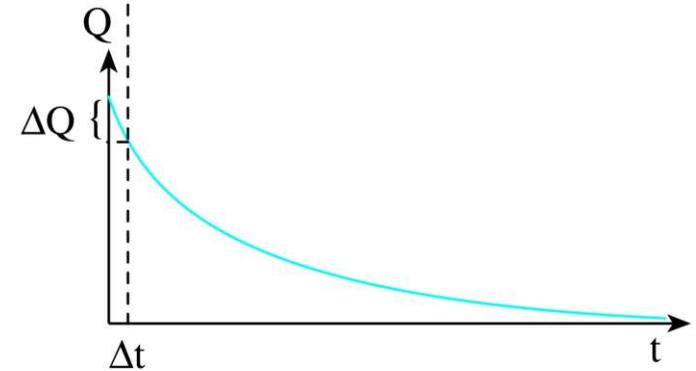
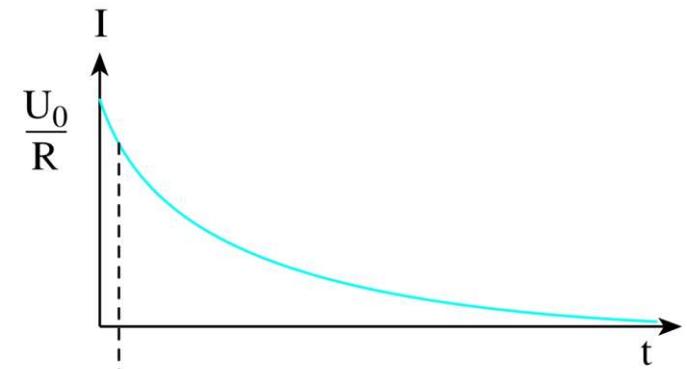
$$U_C = -U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\tau = RC$$

Zeitkonstante

(Vgl. Lebensdauer von radioaktiven
Substanzen, Fluoreszenzlebensdauer)

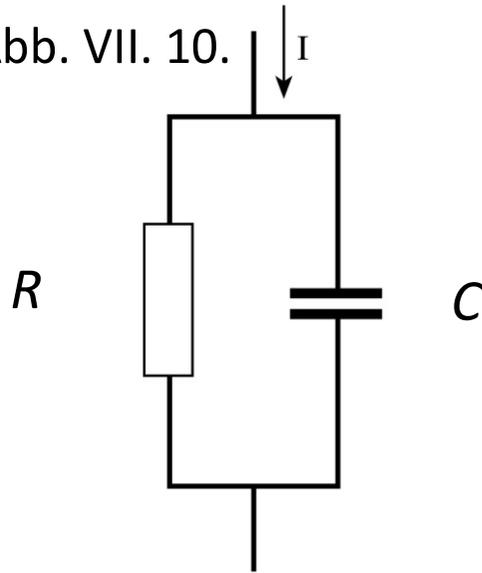
Lehrbuch Abb. VII. 8.



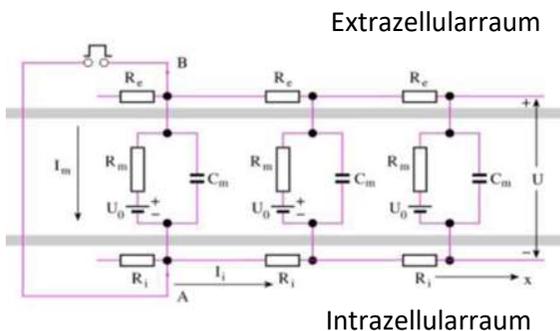
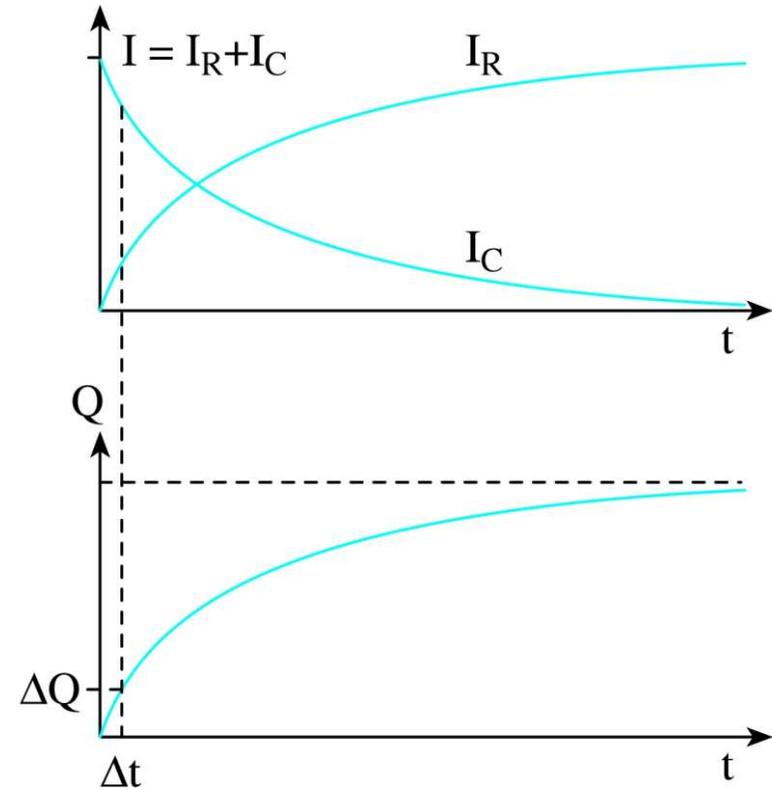
Lehrbuch Abb. VII. 9.

Aufladen des parallel geschalteten RC-Gliedes

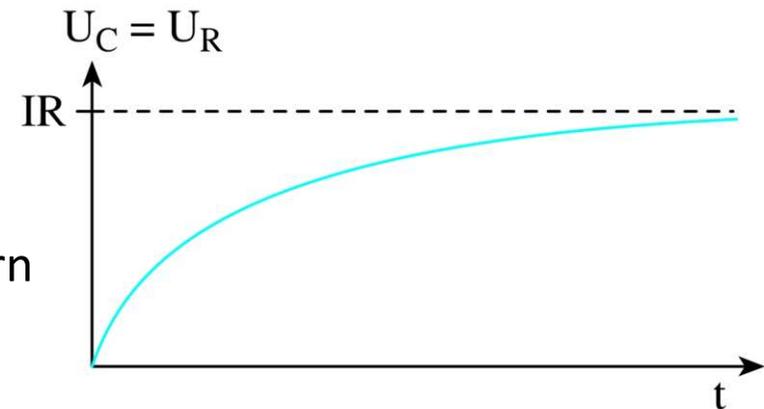
Lehrbuch Abb. VII. 10.



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

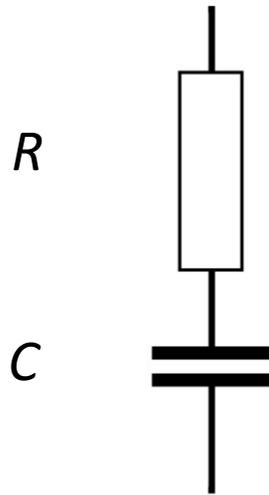


Zellmembran aus RC-Gliedern
(s. „Erregungsprozesse
Vorlesung)

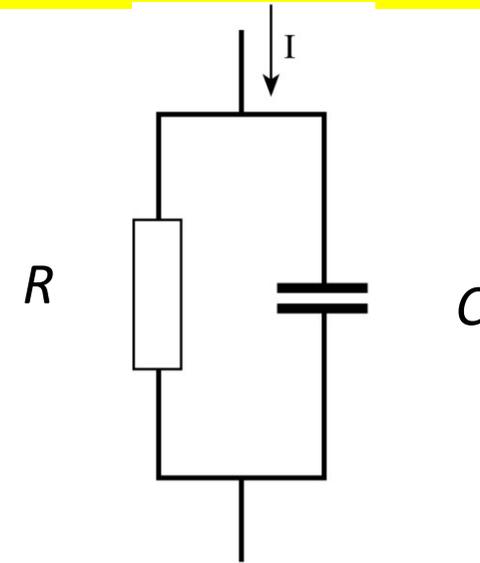


Lehrbuch Abb. VII. 11.

RC-Glied in einer Wechselstromschaltung



in Reihe geschaltetes
RC-Glied

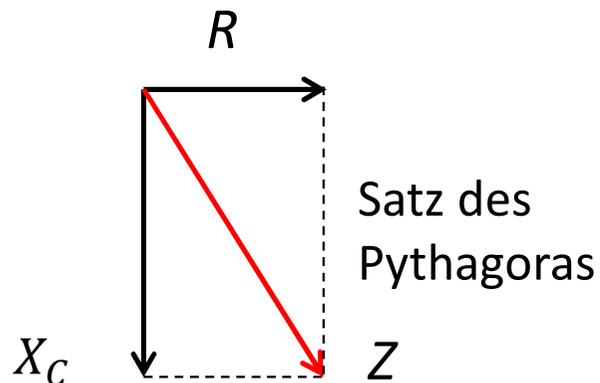


RC-parallel Schaltung

die addierende Grösse

Widerstand

Leitfähigkeit = 1/Widerstand



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

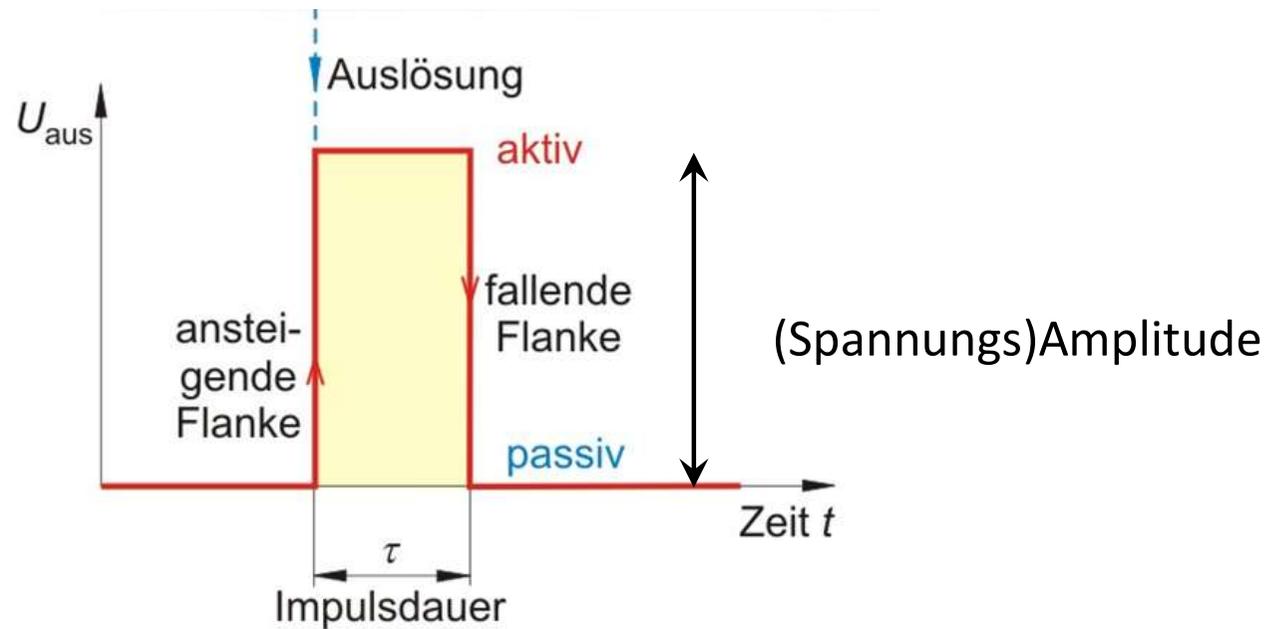
$$\frac{1}{R}, \quad \frac{1}{X_C}$$

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

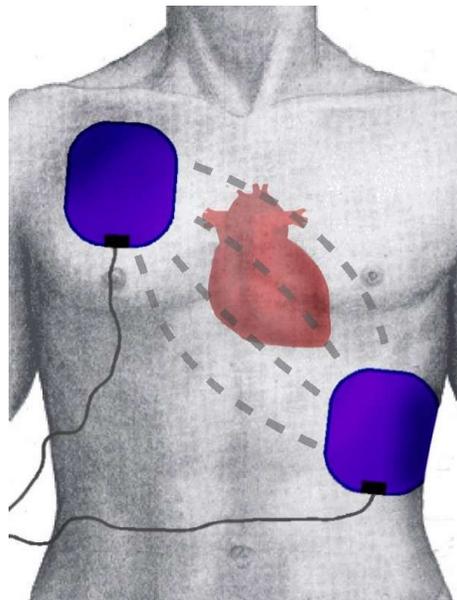
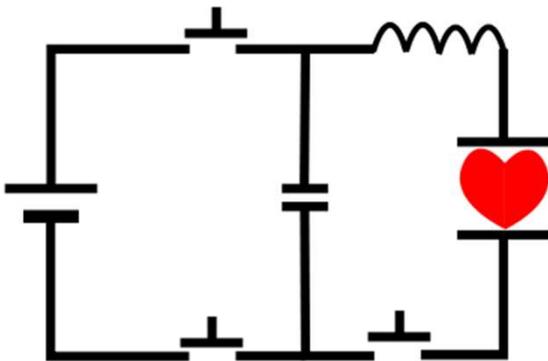
$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}}$$

Charakteristiken der elektrischen Rechteckimpulsen

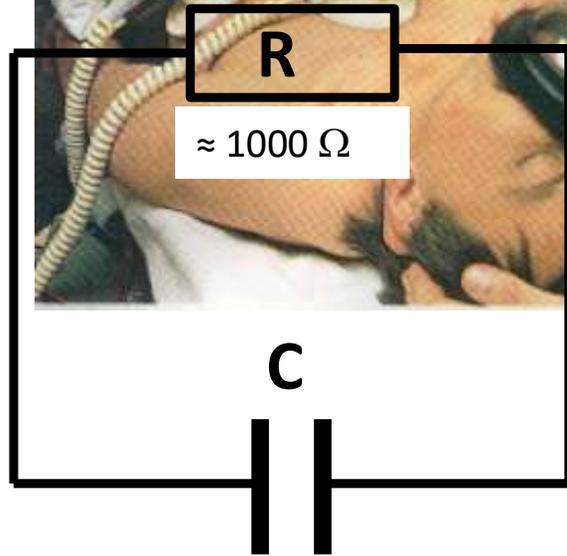
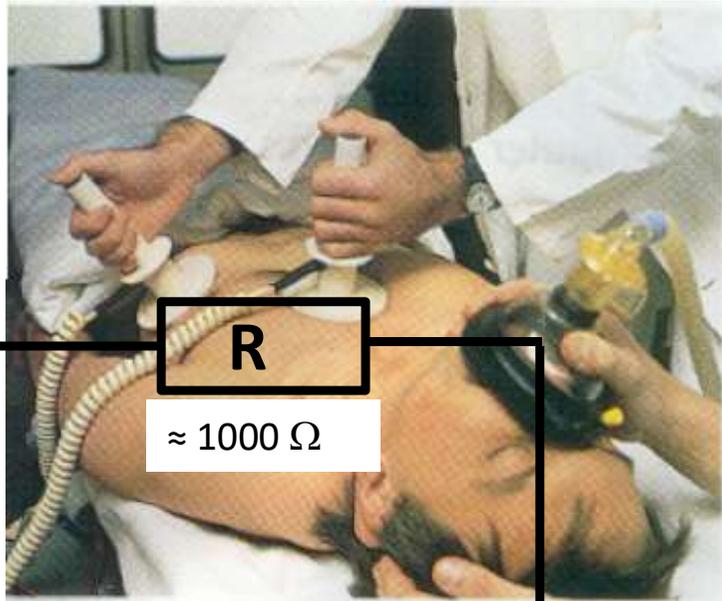
1 Rechteckimpuls
(der einfachste Impuls)



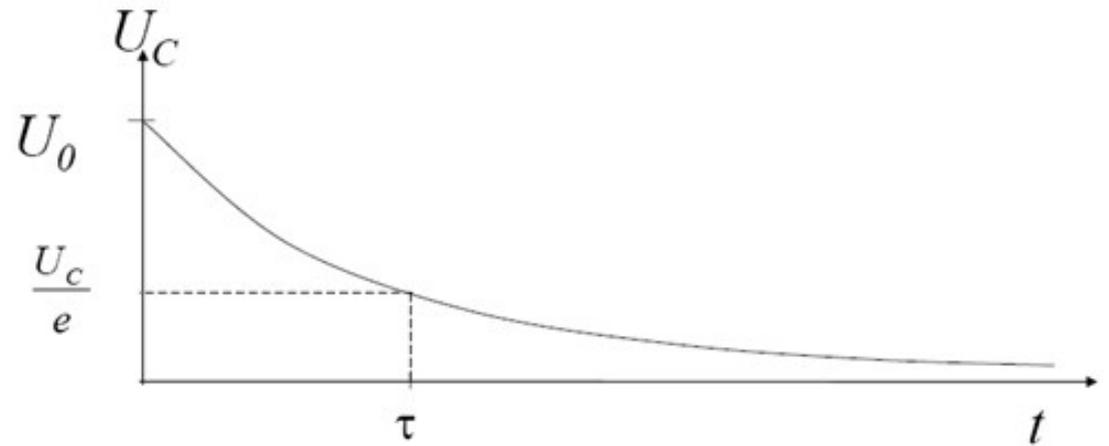
z.B. Impuls des Defibrillators



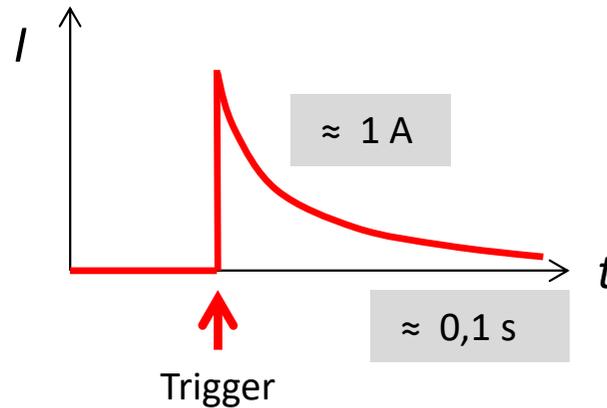
Defibrillator



$\approx 20 \mu\text{F}$, $\approx 5000 \text{ V}$, $\approx 1000 \Omega$

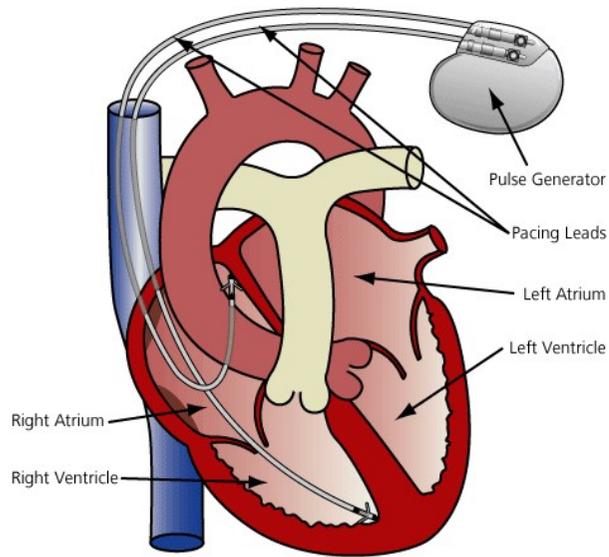


$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \begin{array}{l} I_0 = \\ \tau = \end{array}$$



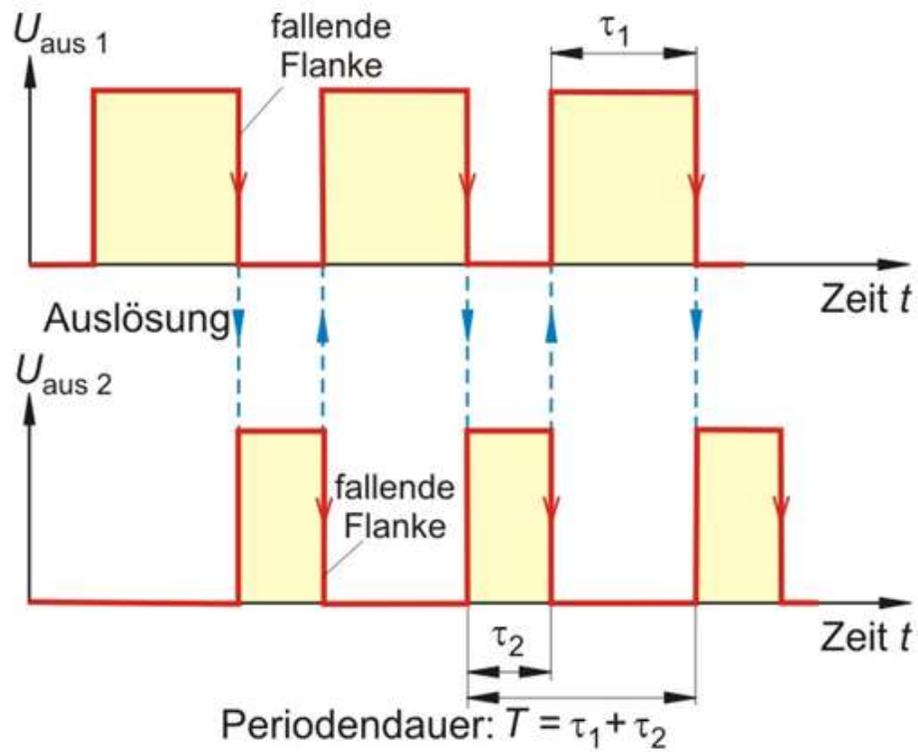
$$W = \frac{1}{2} C U^2 = 250 \text{ J}$$

periodische Rechteckimpulsen



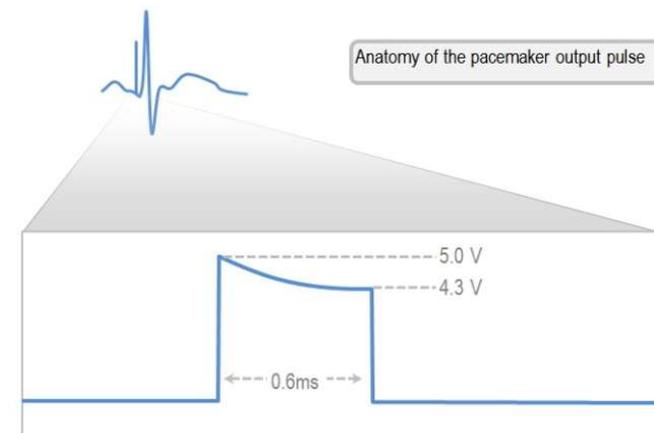
z. B. Herzschrittmacher (pacemaker)

astabiler Impulsgenerator (s. Impulsgeneratoren Praktikum)

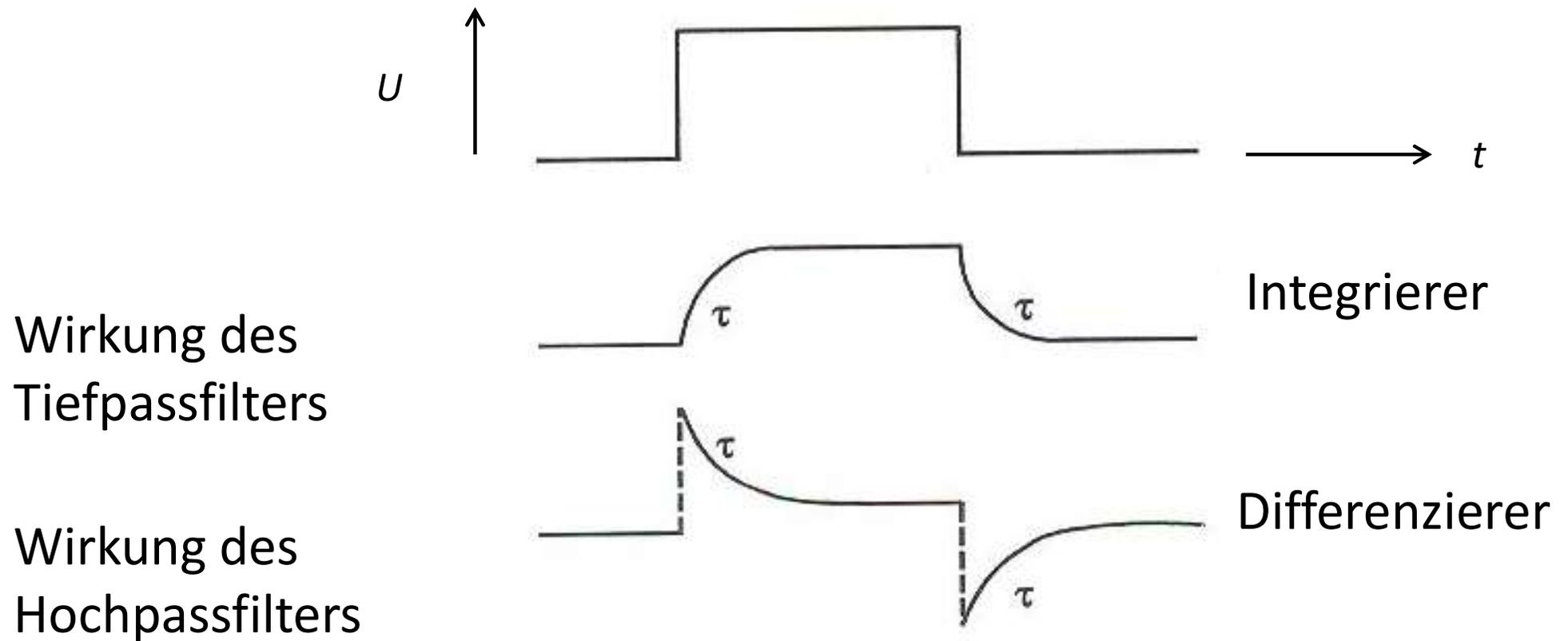


Tastverhältnis von $U_{aus 2}$: $\frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%$

(duty cycle)



Verformung von Rechteckimpulsen an RC-Elementen

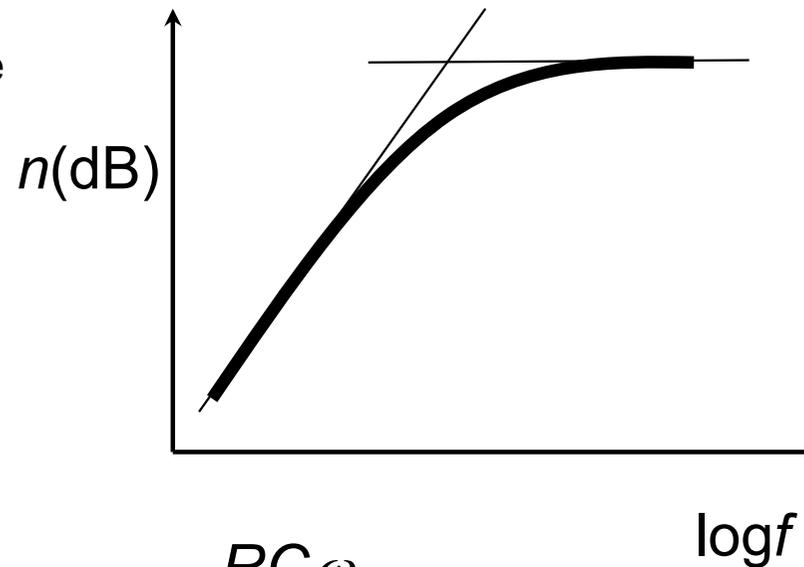
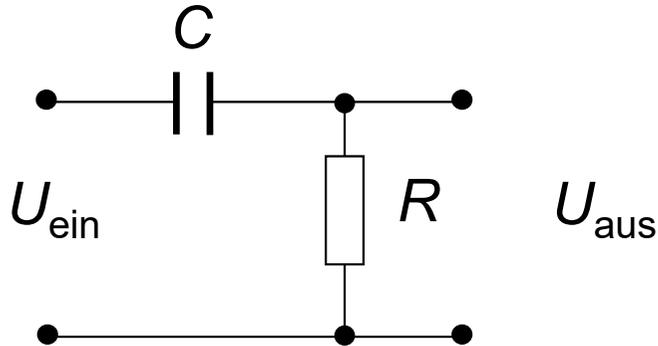


τ : Zeitkonstante

Hochpass Filter (high-pass filter)

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

Kapazität bei hohen Frequenzen wirkt wie ein Kurzschluss



Streukapazität/
parasitäre
Kapazität

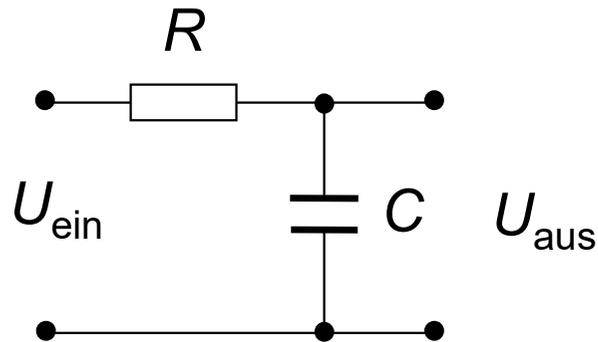
$$U_{\text{aus}} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{C^2\omega^2} + R^2}} U_{\text{ein}} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2}} U_{\text{ein}}$$

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

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

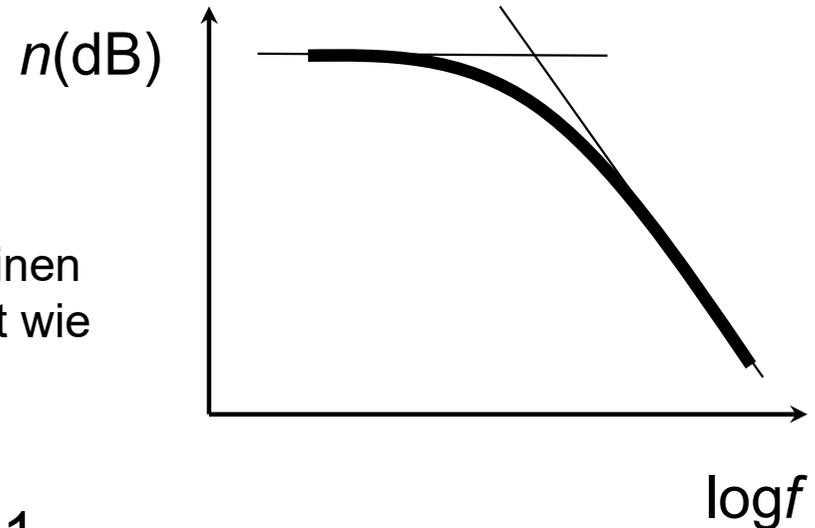
bei hohen Frequenzen: wenn $\omega \gg \omega_0$ ($\omega \approx \infty$), $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$

Tiefpass Filter (low-pass filter)



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

Kapazität bei kleinen Frequenzen wirkt wie ein Riss



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

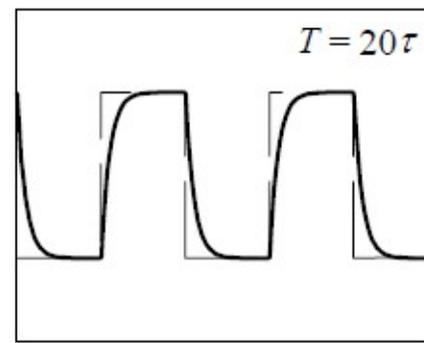
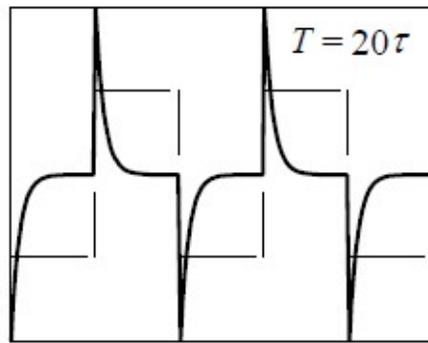
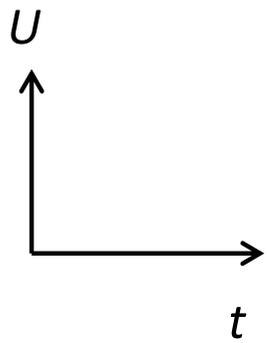
bei kleinen Frequenzen:

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

bei grossen Frequenzen:

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

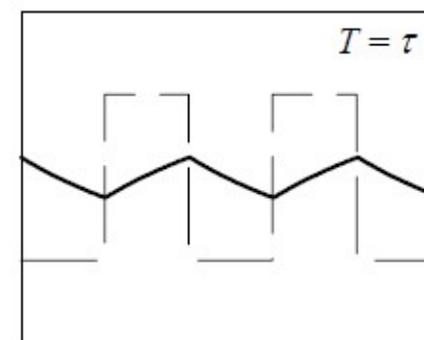
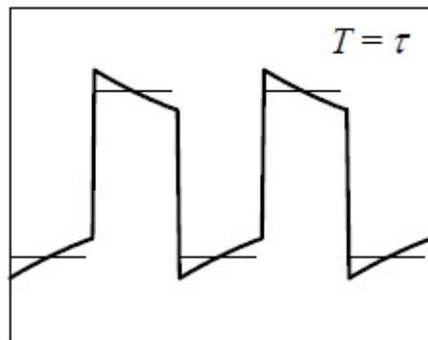
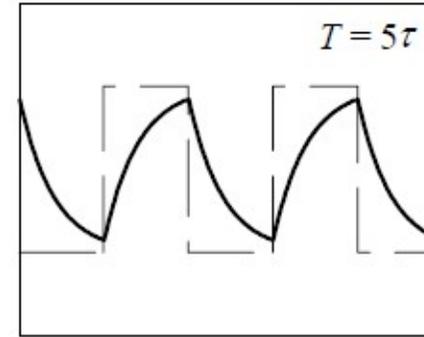
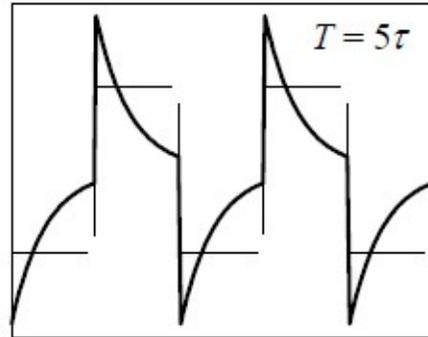
bei sehr grossen Frequenzen: wenn $\omega \approx \infty$, $U_{\text{aus}} = 0$



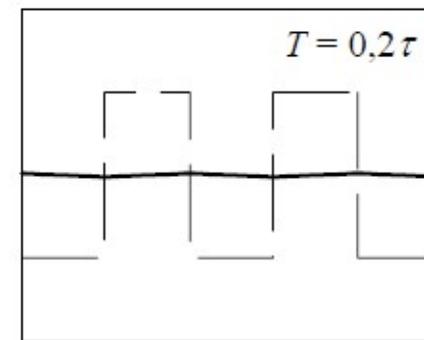
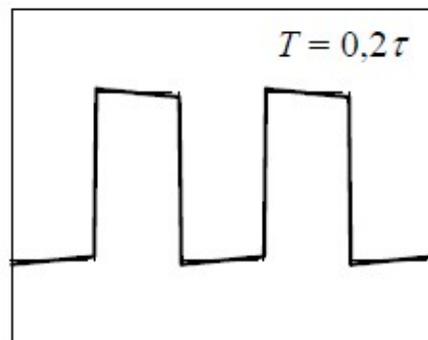
geringste Verzerrung:
 $\tau \ll \text{Impulsdauer}$

Differenzierer

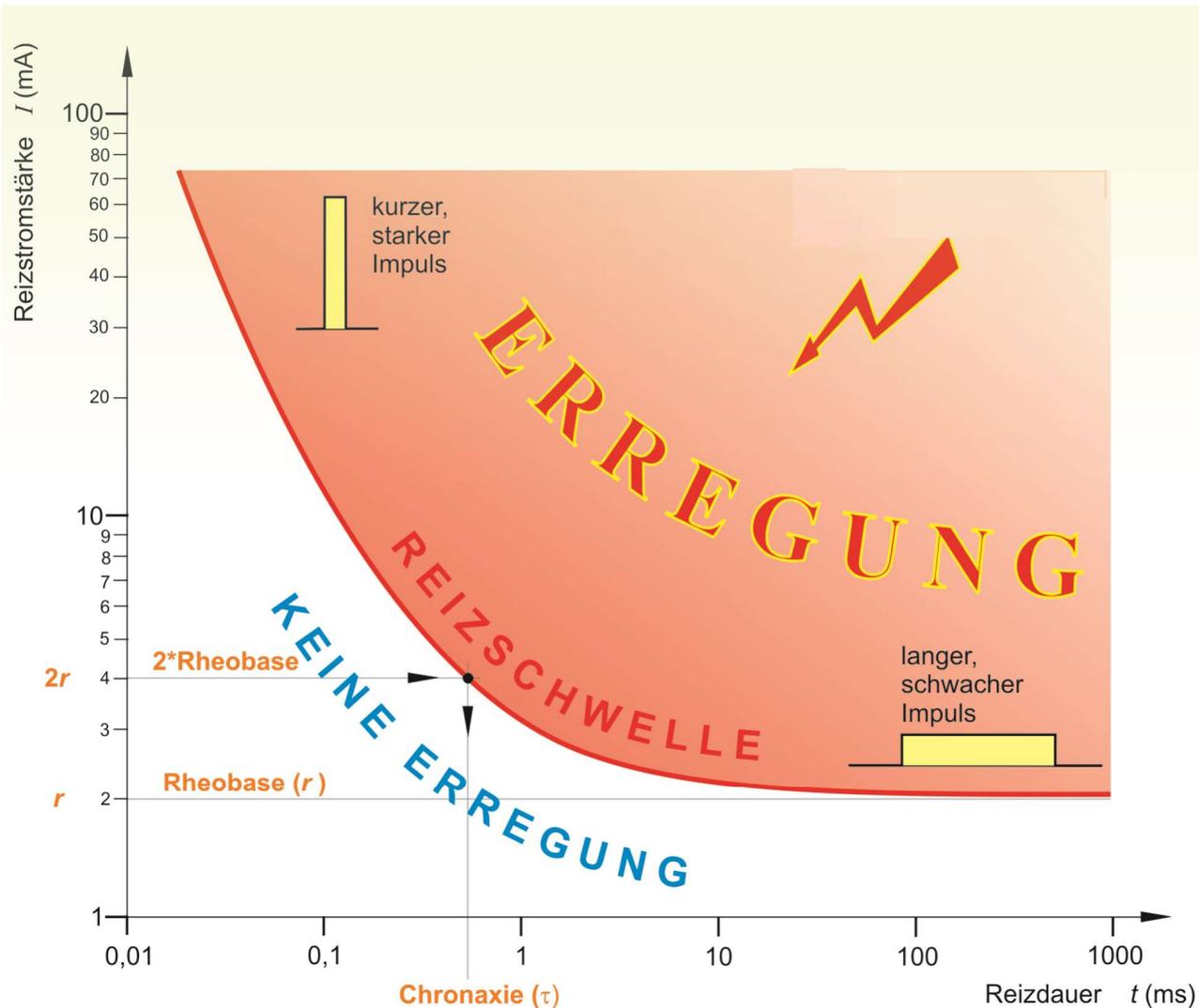
Integrierer



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



Reizcharakteristik (Reizdauer-Stromstärke-Kurve)

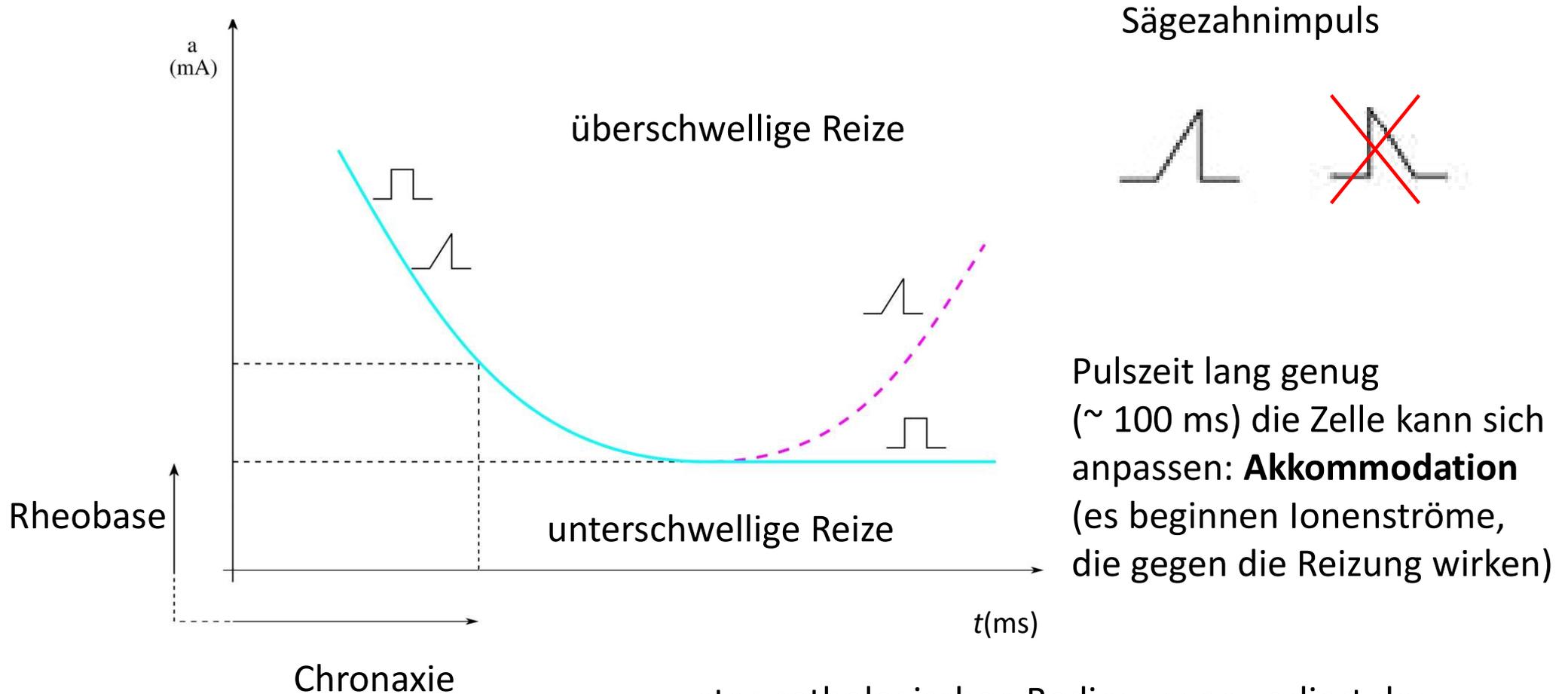


Rheobase: die minimale Reizstromstärke, die erforderlich ist, um eine Empfindung zu entwickeln

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:

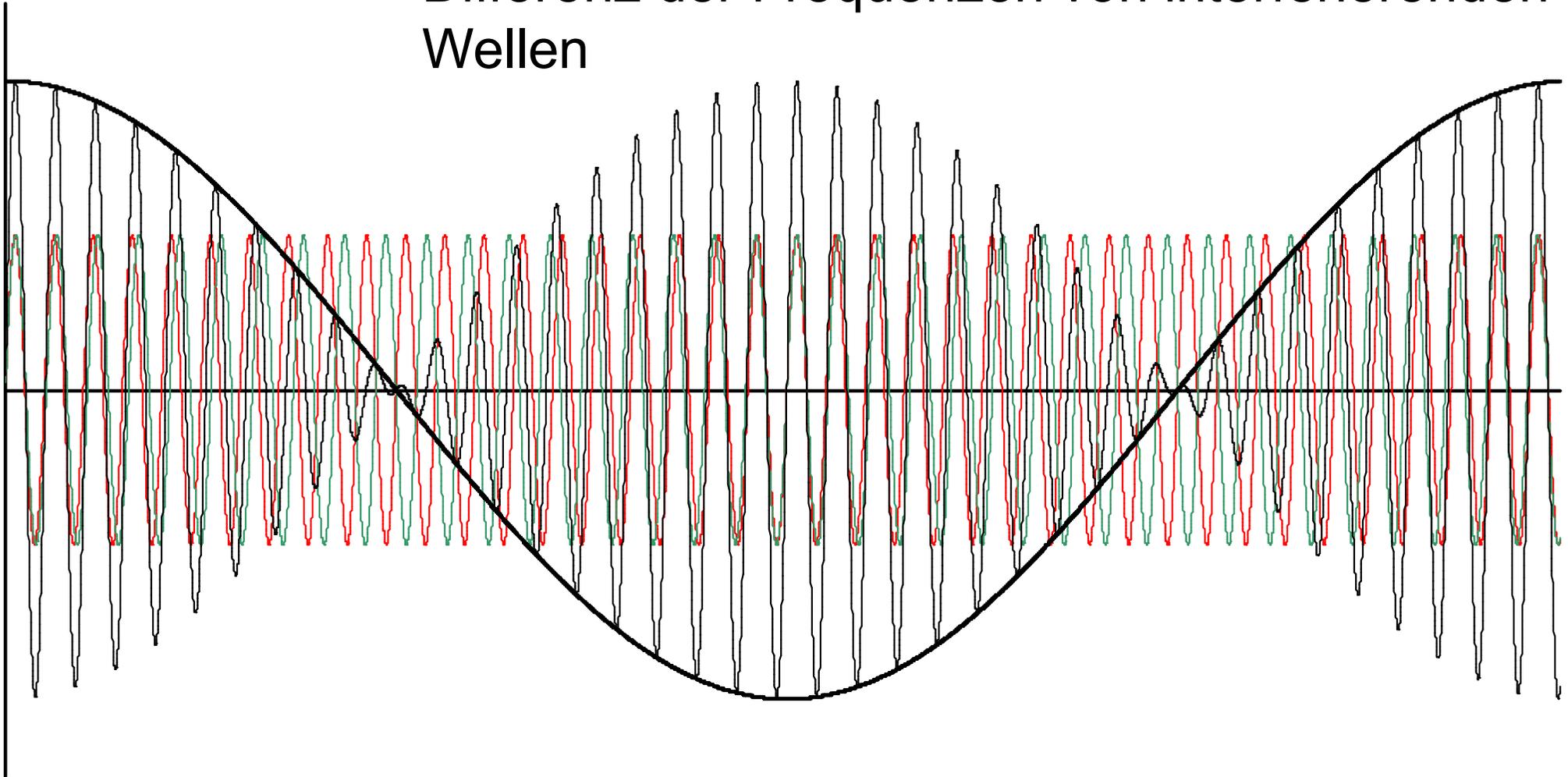
selektive Reizstromtherapie

bei Sägezahnimpulsen im Öffnungsbereich ziehen sich nur geschädigte Muskeln zusammen

Schwebung

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

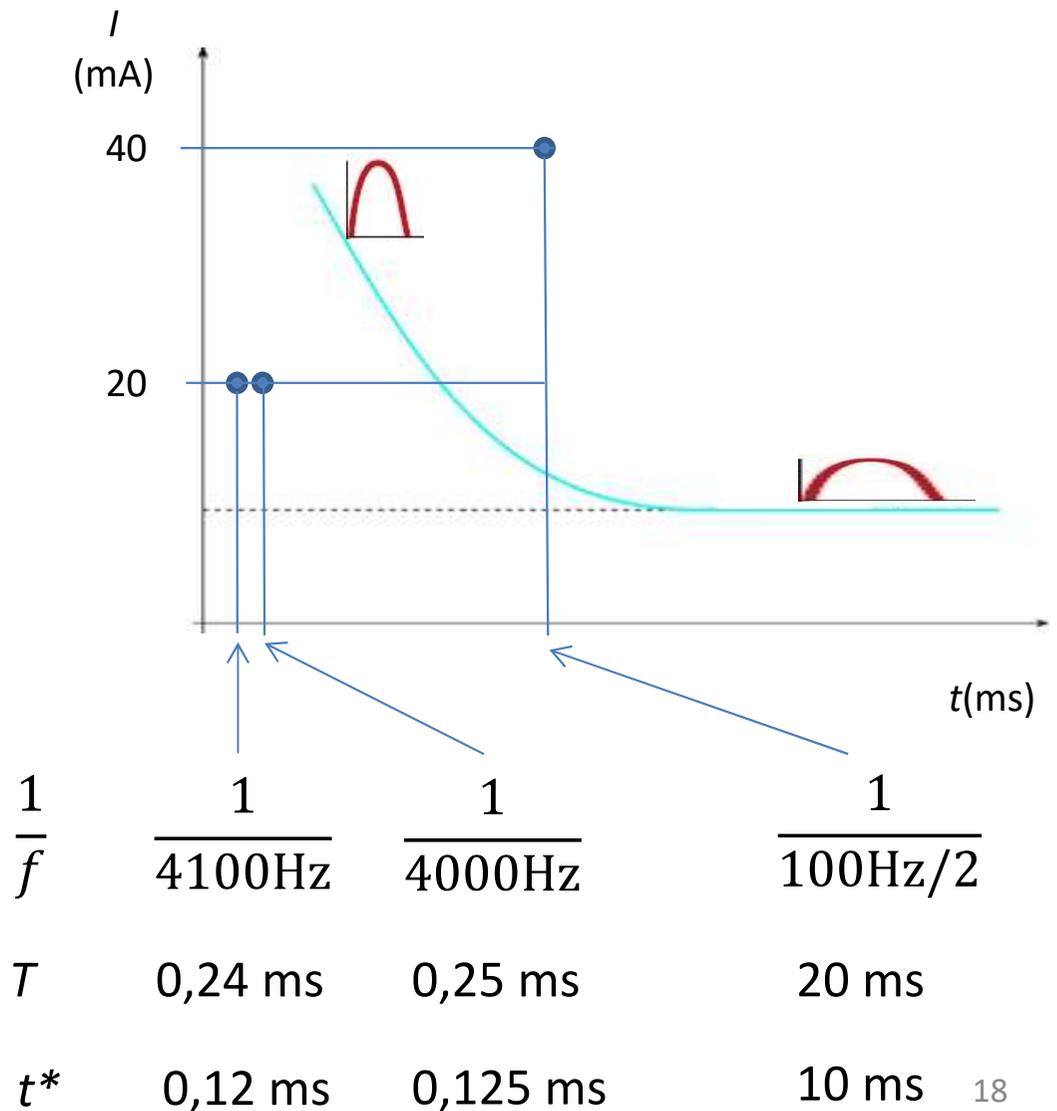
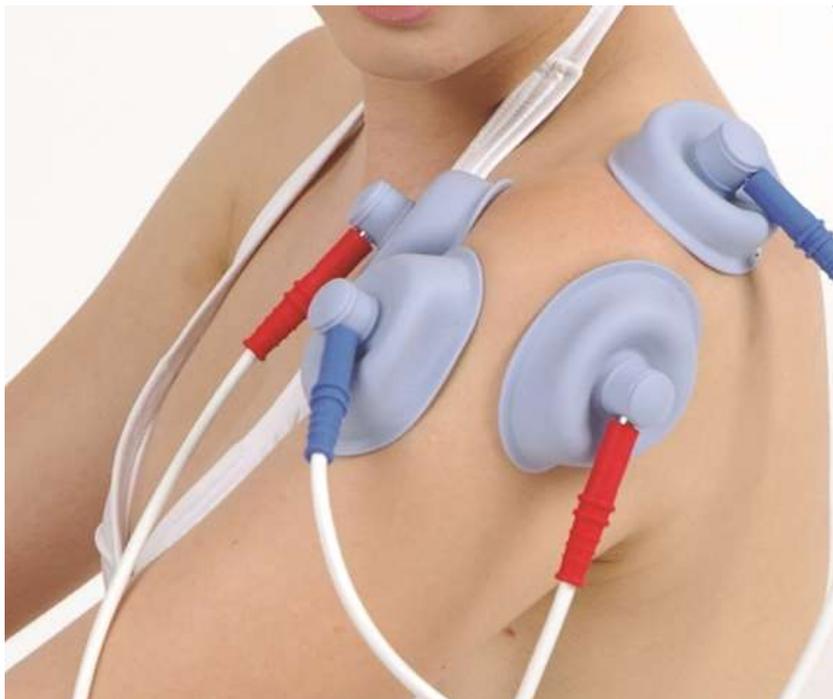
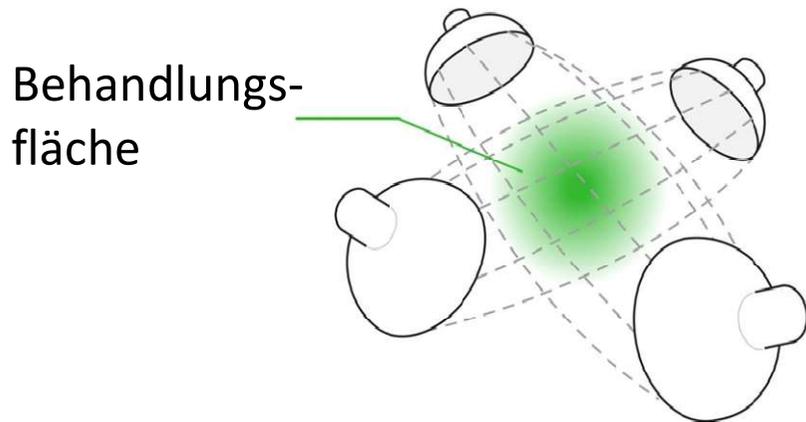
Die Frequenz der Schwebung ist gleich der Differenz der Frequenzen von interferierenden Wellen



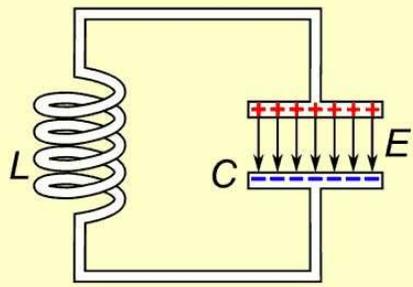
mathematische Formel: $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$

Interferenzstromtherapie

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

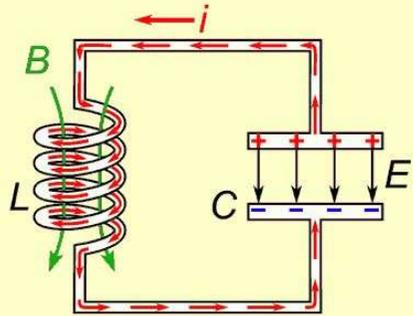


Schwingkreis. LC-kreis

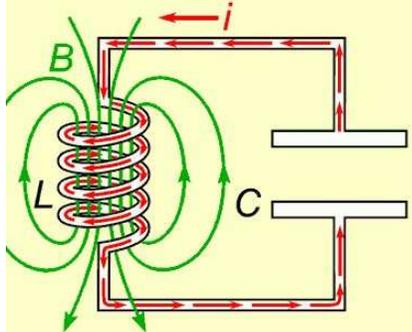


Gesamt-
energie im
elektrischen
Feld

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

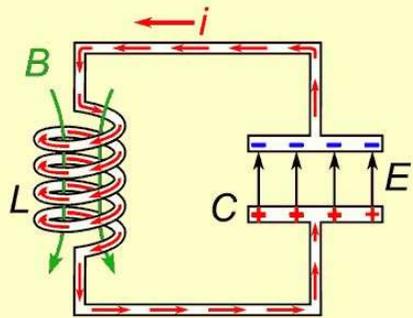


$$W = \frac{1}{2} C U^2 + \frac{1}{2} L I^2$$



Gesamt-
energie im
Magnetfeld

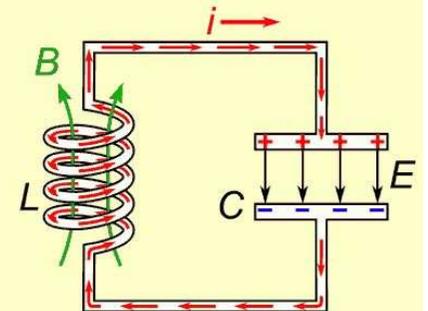
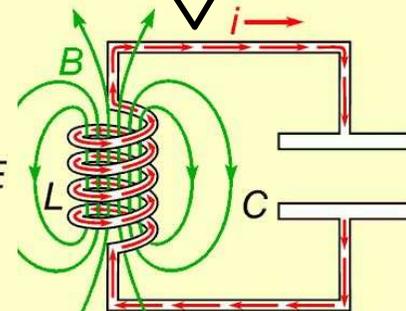
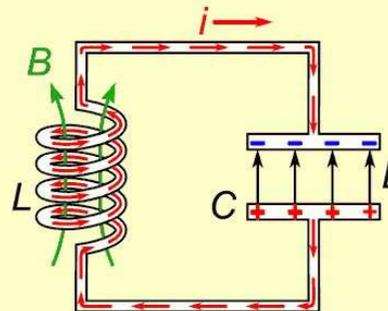
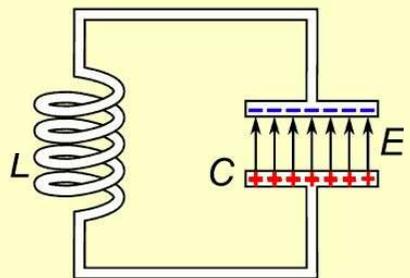
$$W = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$$



Gesamt-
energie im
elektrischen
Feld

Gesamt-
energie im
Magnetfeld

t



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

vgl. Lehrbuch
Abb. VII. 14.

Idealer und realer Schwingkreis

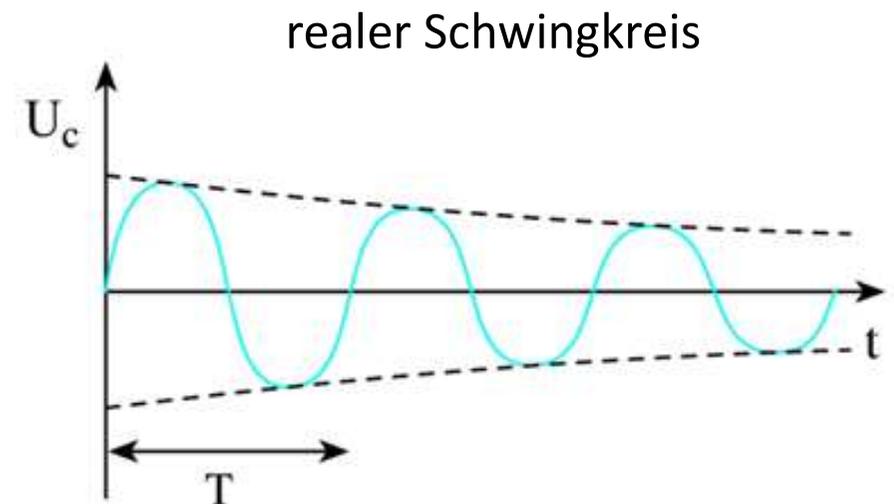
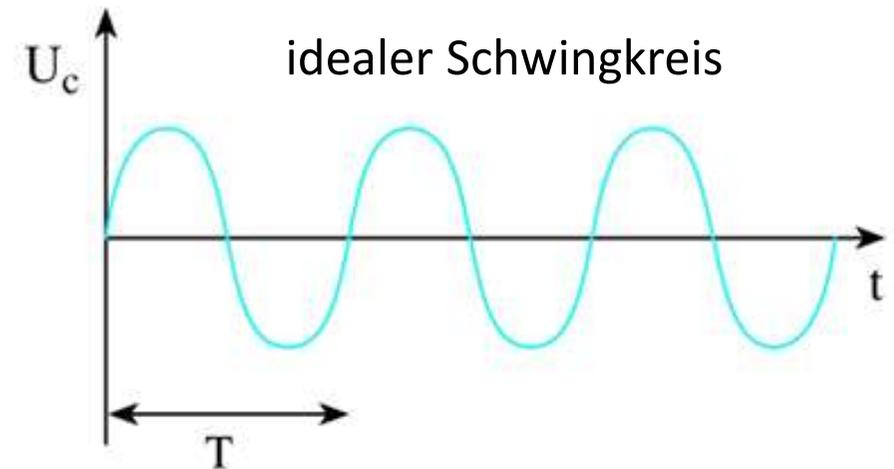
der Strom und die Spannung des **idealen Schwingkreises** hinterlassen eine **ungedämpfte sinusförmige Schwingung**

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

$$X_C = X_L$$

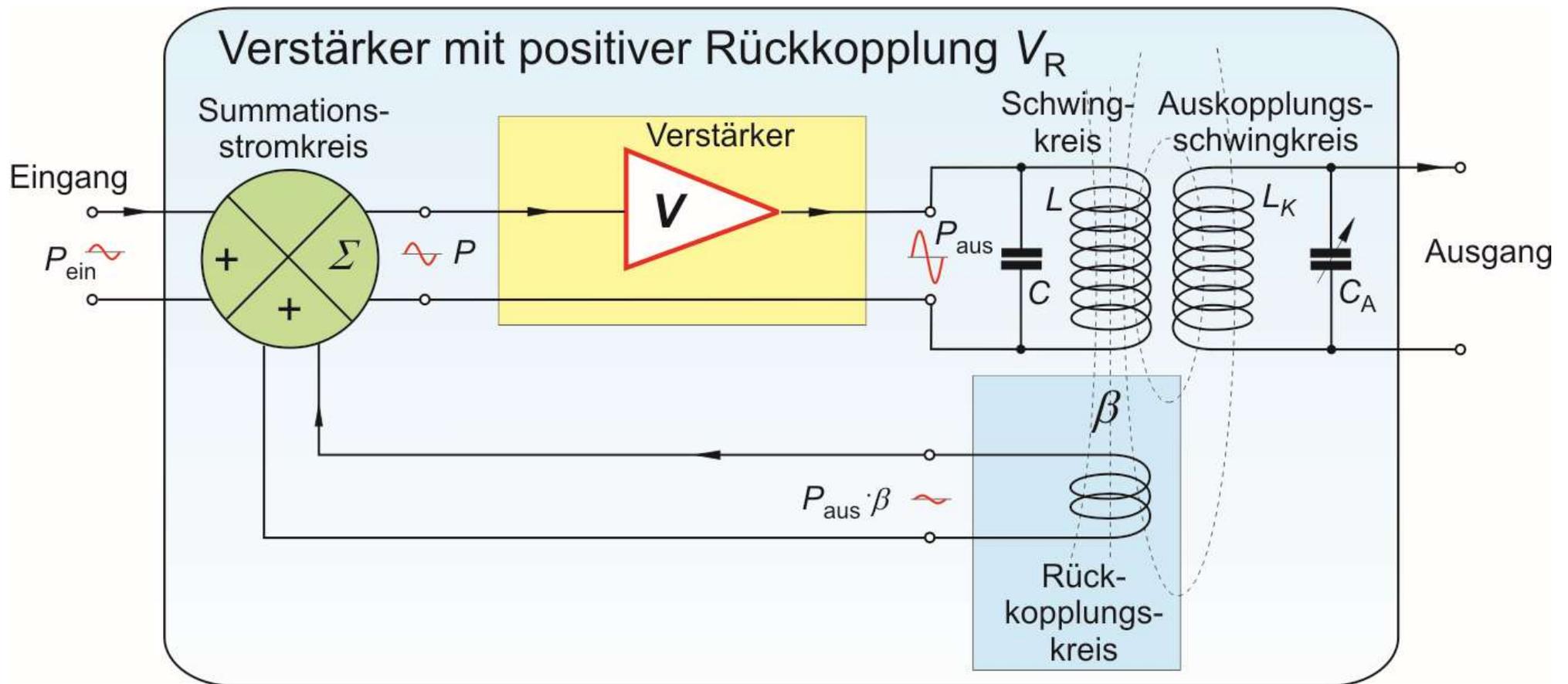
$$\frac{1}{C2\pi f} = L2\pi f$$

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



Mitkopplung

(Verstärker mit positiver Rückkopplung)

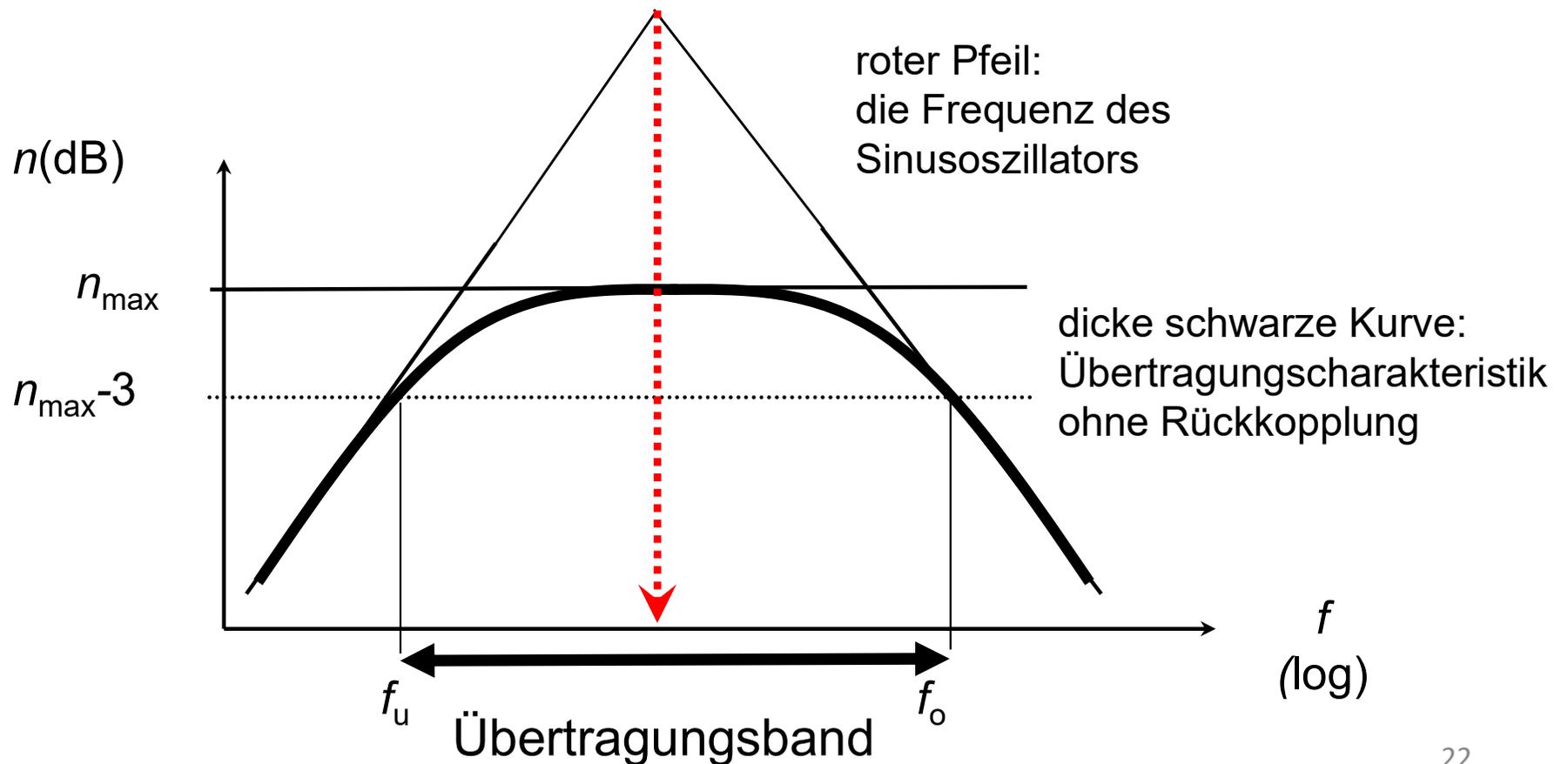


Sinusoszillator

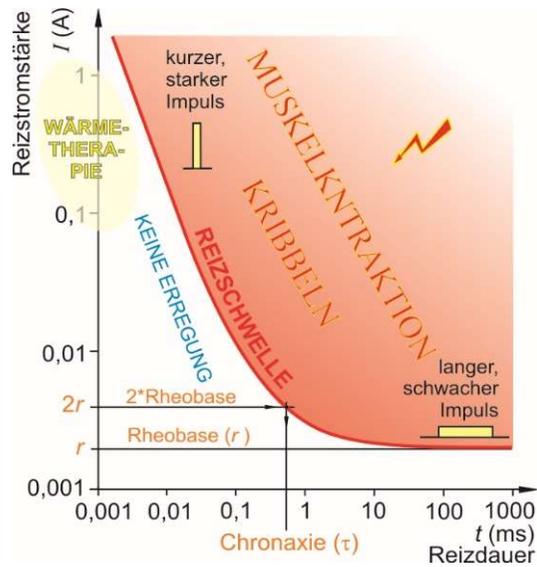
Mitkopplung (positiv rückgekoppelter Verstärker)

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

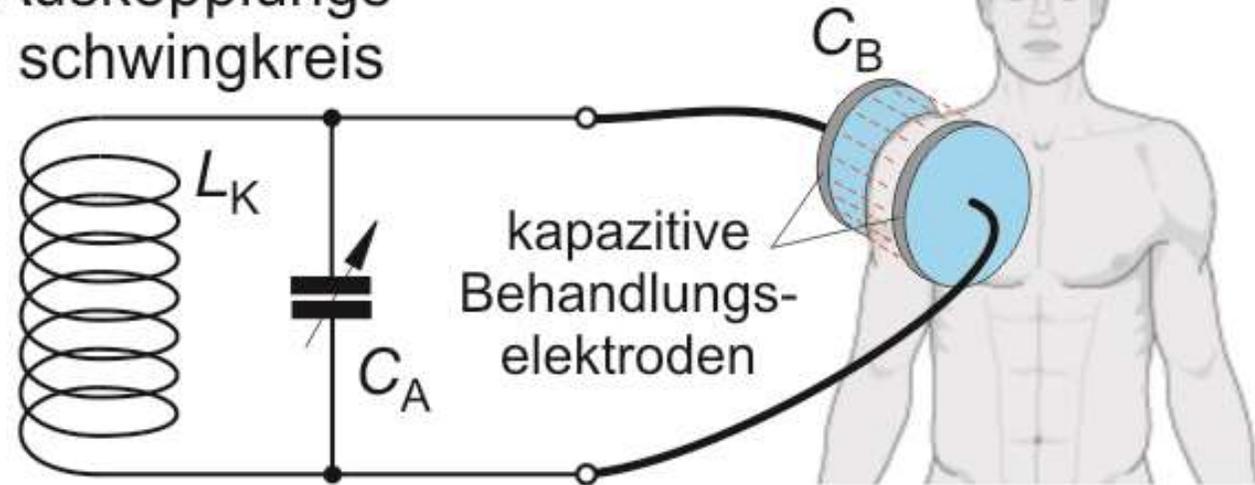
$\beta A_U = 1$, Verstärkung: „unendlich“ → Sinusoszillator
kein Eingangssignal, Ausgangssignal: Sinuswelle



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,
 $V = \underline{l \cdot A}$ das vom Strom durchdrungene Volumen des behandelten Mediums und
 t die Behandlungsdauer sind.

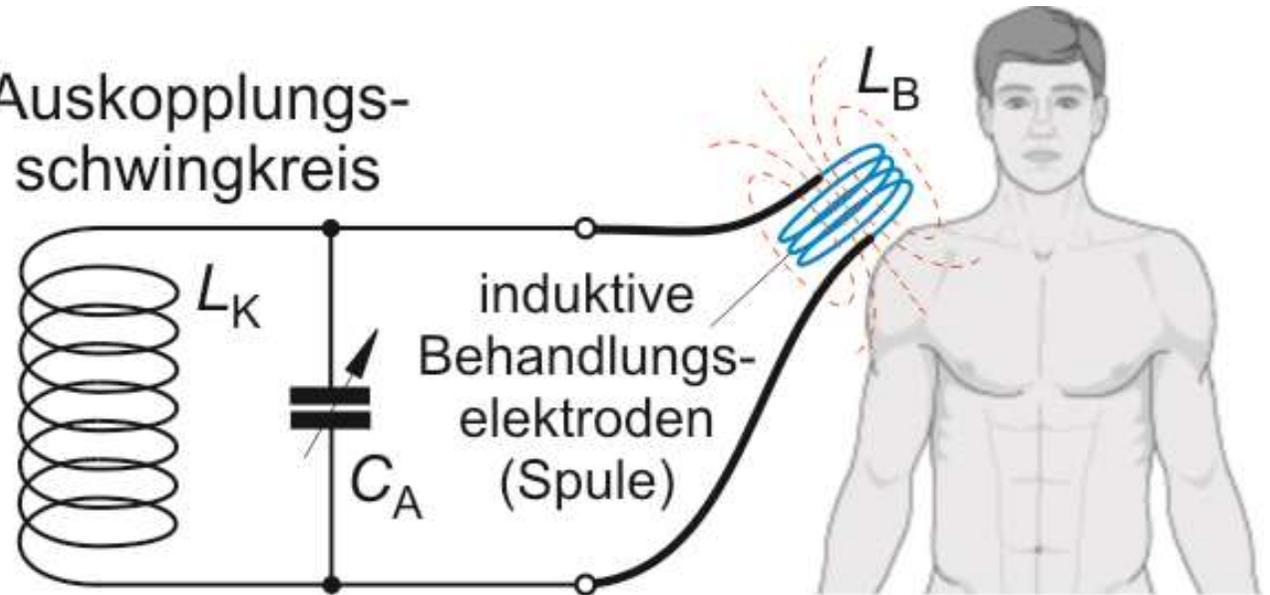
Kurzwellengerät , $f = 27,12$ MHz, $P_{\max} = 500$ W



Wärmetherapie. Spule als Diathermieelektrode



Auskopplungs-
schwingkreis



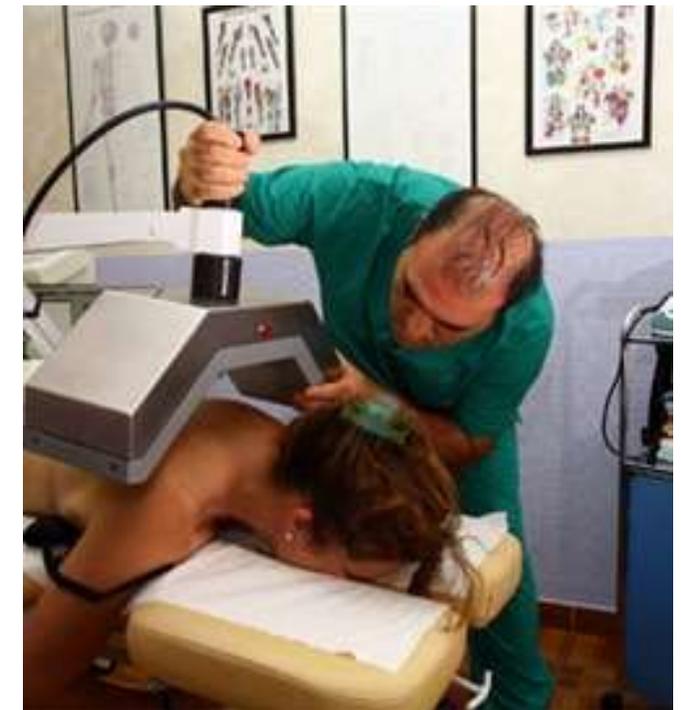
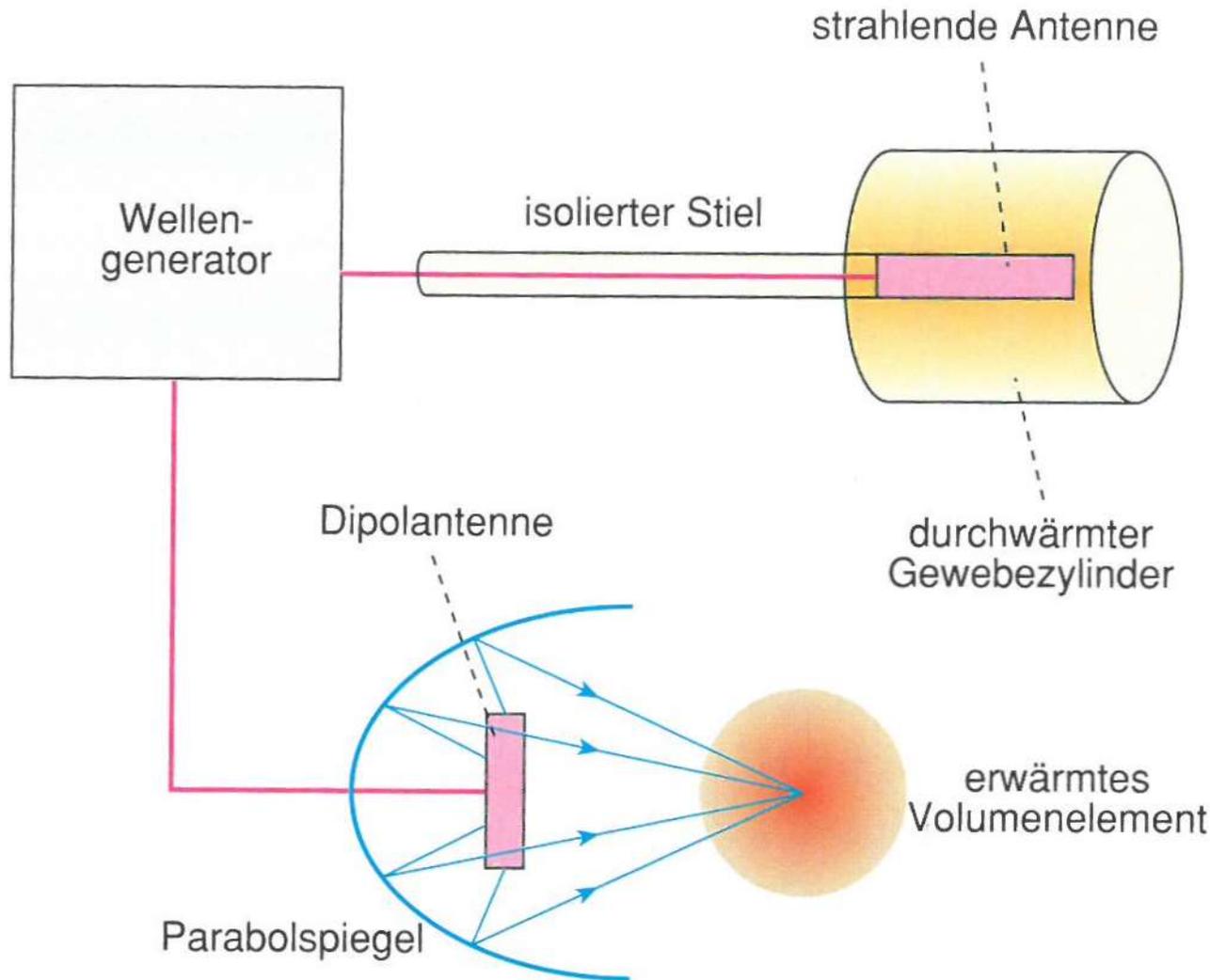
Praktikumsbuch, Messung 19.
Sinusoszillator, Abb. 5.(b)
Lehrbuch Abb. IX.29.

Resonanzbedingung:

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

Auskopplung der Energie
mit Hilfe des
magnetischen Feldes

Wärmetherapie. Strahlenfeldmethode

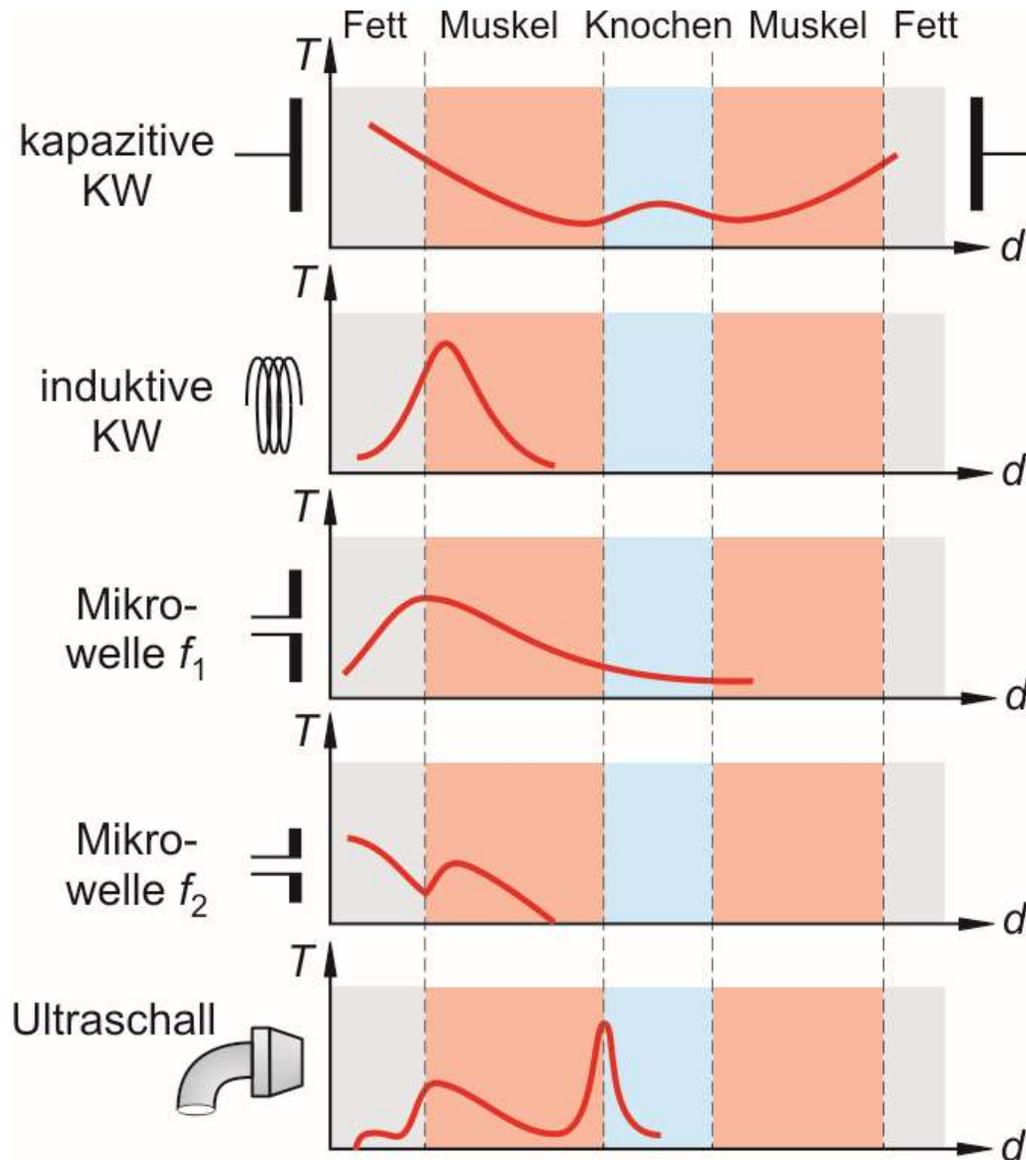


Auskopplung der Energie durch das Strahlenfeld

Lehrbuch Abb. IX.33.

vgl. Mikrowellenofen

Temperaturverteilung bei den verschiedenen Methoden



Kondestor: höchste
Temperaturerhöhung bei
Fettgewebe

Spule: ... Muskelgewebe

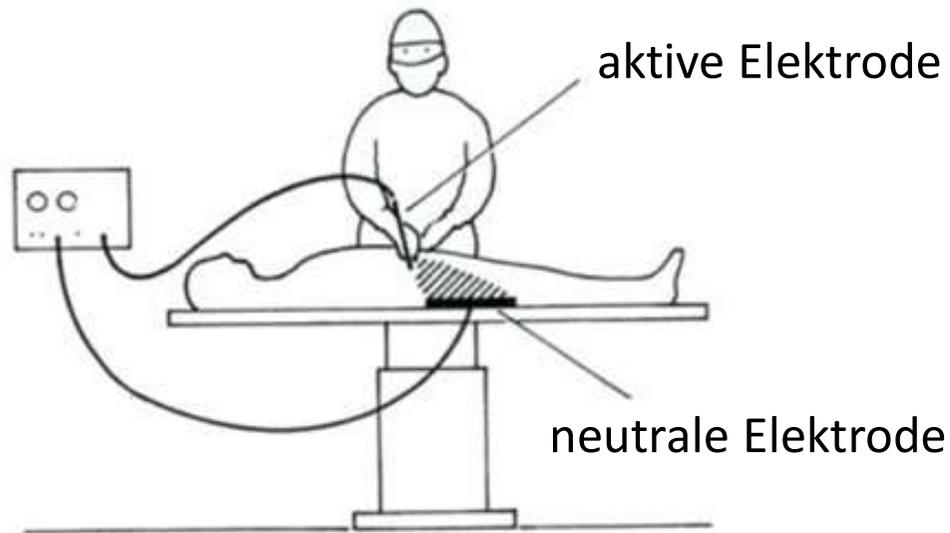
Strahlenfeld
(kleinere Frequenzen)

Strahlenfeld
(grössere Frequenzen)

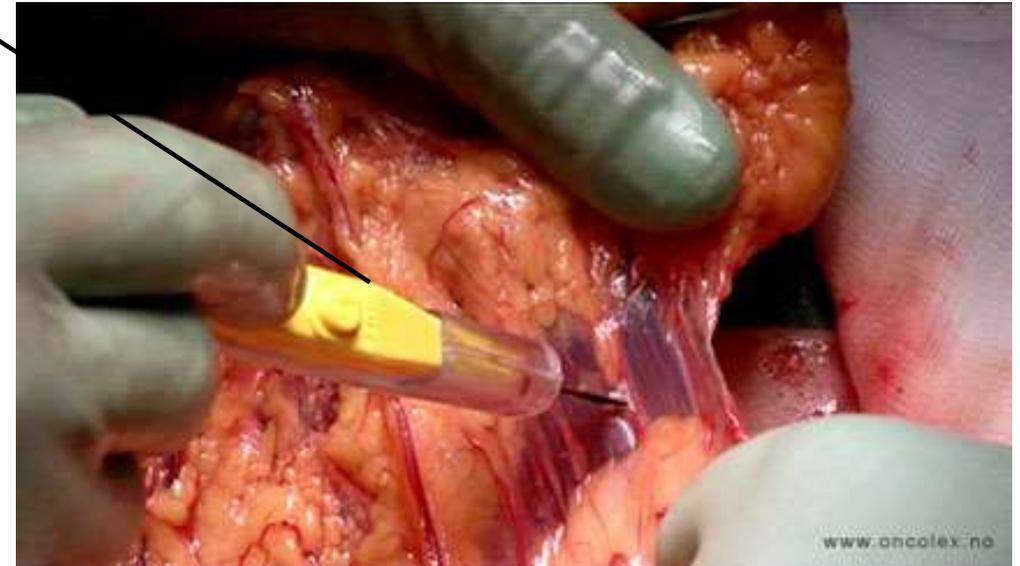
bei Grenzflächen

Tiefe

Hochfrequenzchirurgie. Monopolare und bipolare Anwendungstechnik

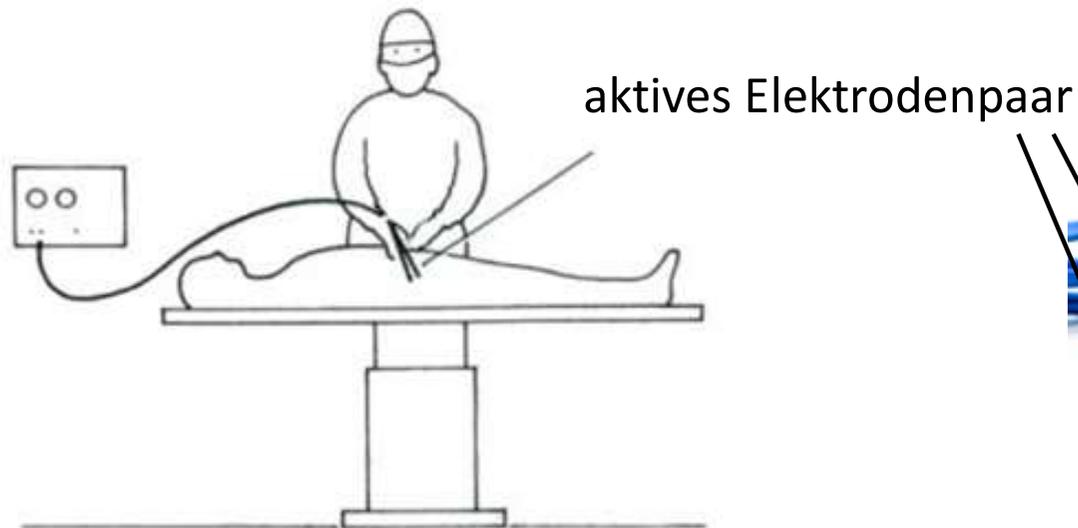


monopolare Anwendungstechnik

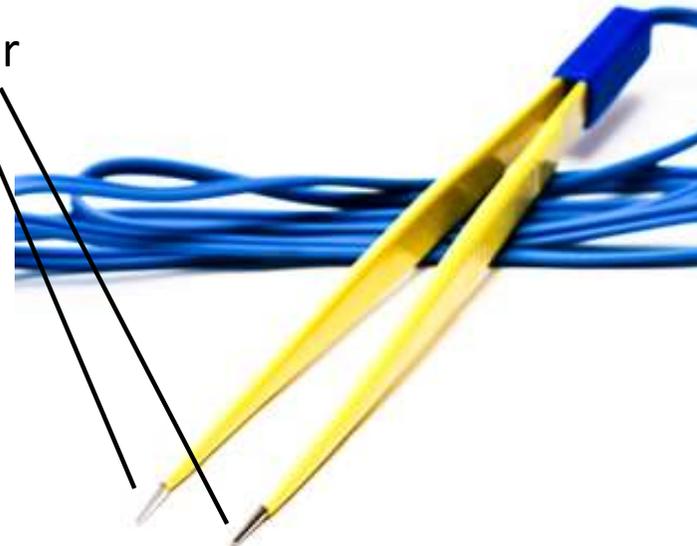


$$A_{\text{neutrale}} \gg A_{\text{aktive}}$$

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



bipolare Anwendungstechnik



Gleichstromtherapie

Galvanisation

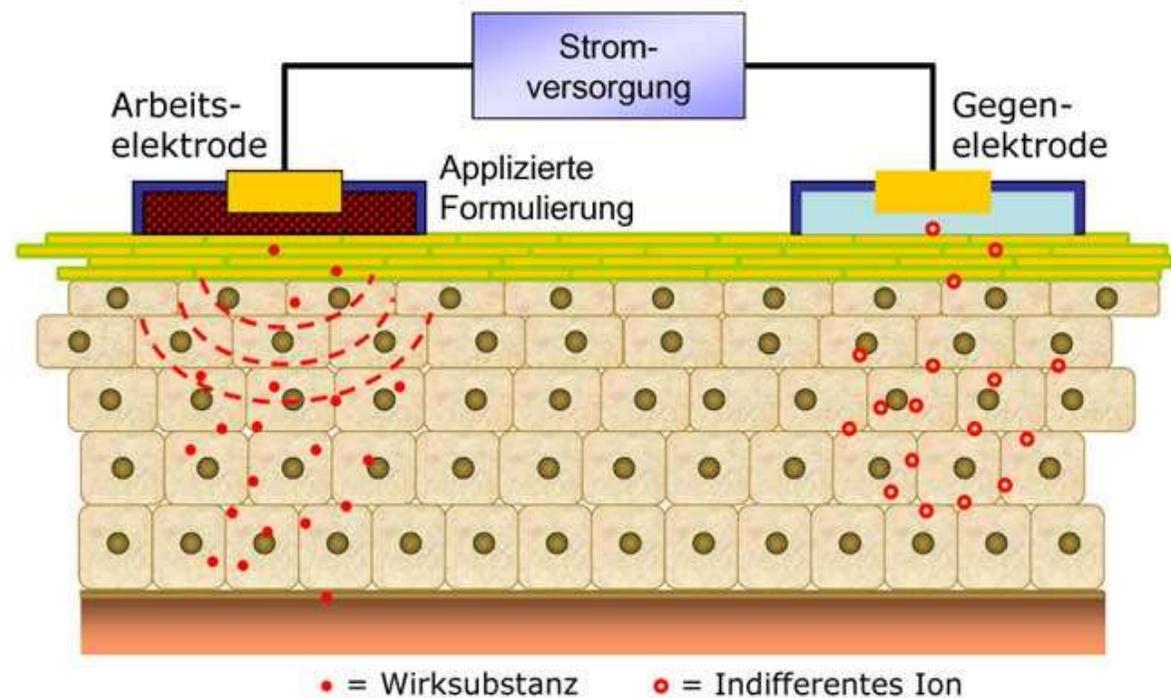


Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



- Schmerzlinderung
- Durchblutungsförderung

Iontophorese



Gleichstrom, \approx mA, \approx 10 min



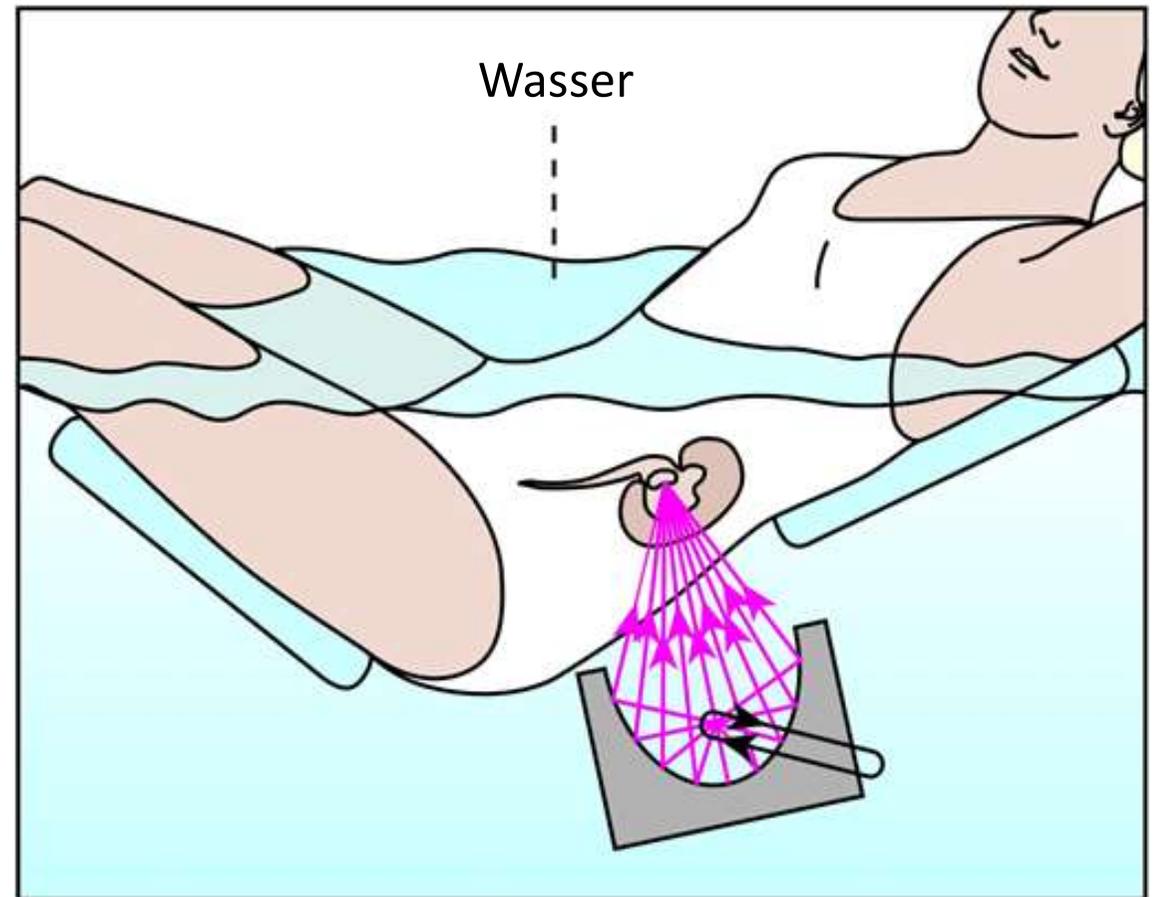
Schnelle Anreicherung des Wirkstoffes gezielt am Krankheitsort unter Umgehung des Magen-Darm-Traktes

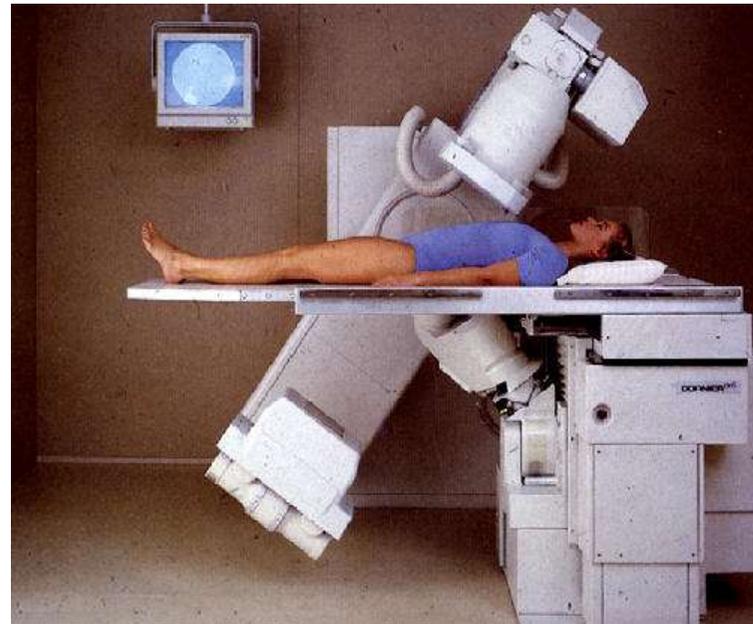
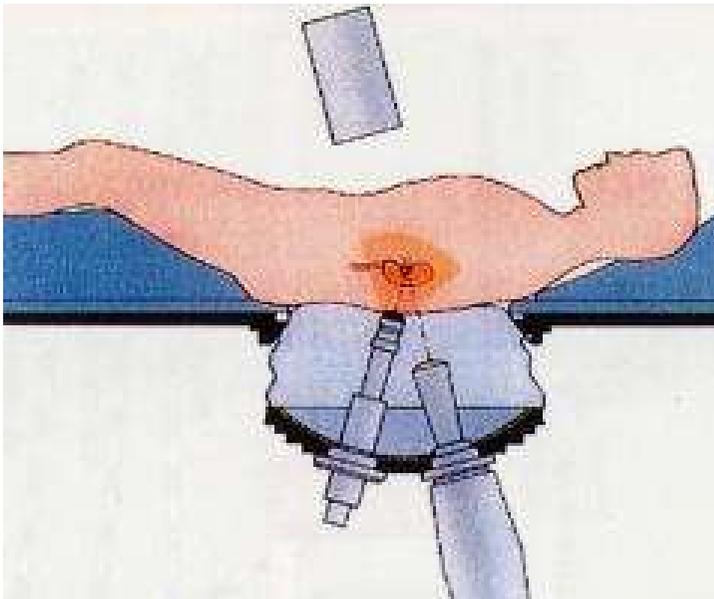
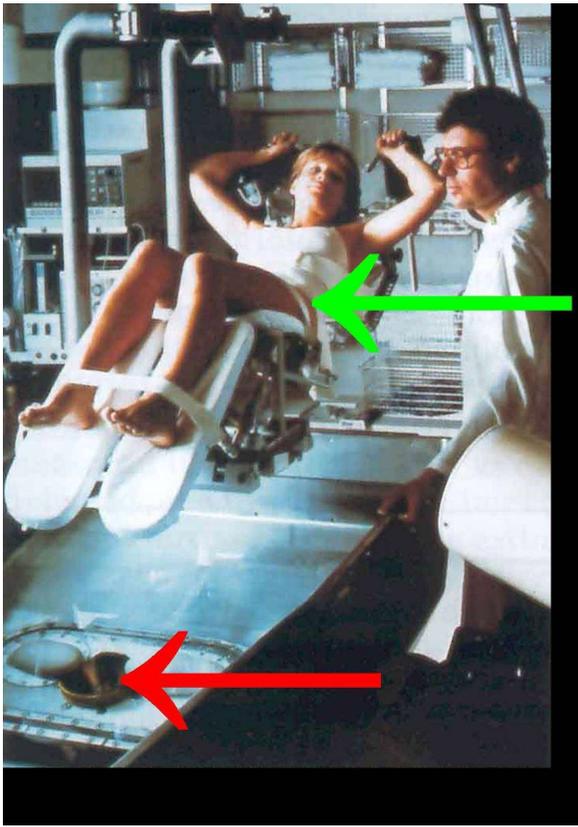
Lithotripsie, Extrakorporale Stosswellentherapie. ESWL (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy)

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

