



Elektrizitätslehre III.



Elektrischer Strom

Strom = Geordnete Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

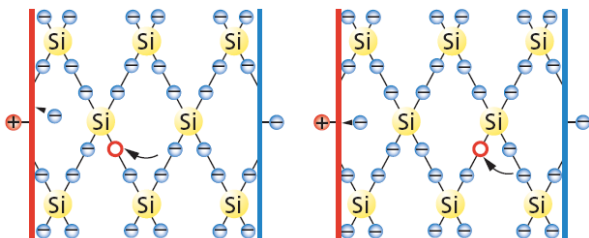
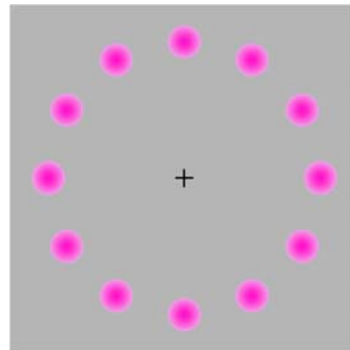
Strom im Festkörper

- Leiter
- Halbleiter

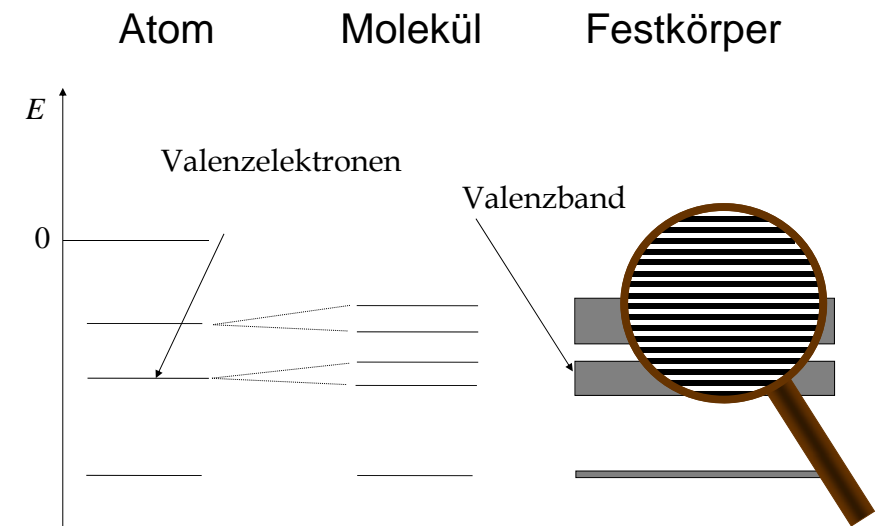
Zur Erinnerung

Strom in **Halbleitern**

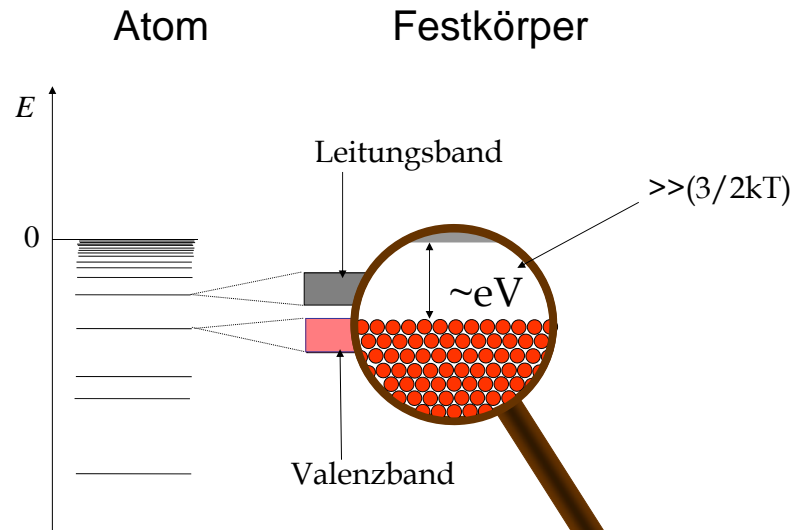
Ladungsträgern:
Elektronen und
Löchern



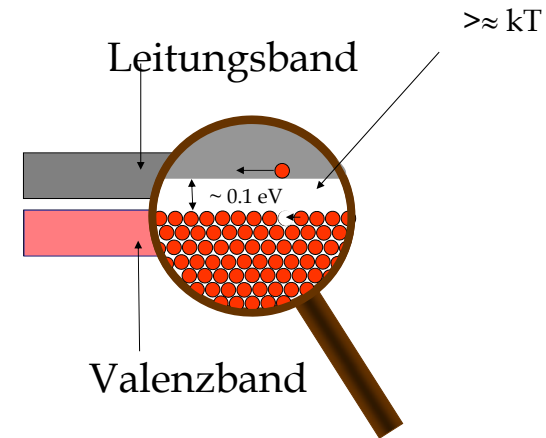
Bändermodell:



Isolatoren



Halbleiter (reiner Halbleiter)

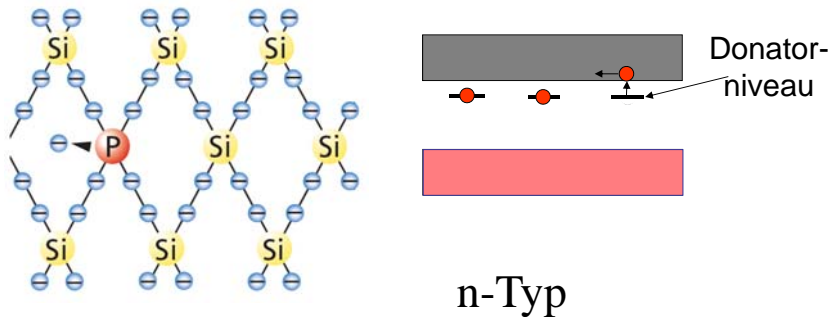


Dotierte Halbleiter

Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Donator

P, As (Spalte V.)

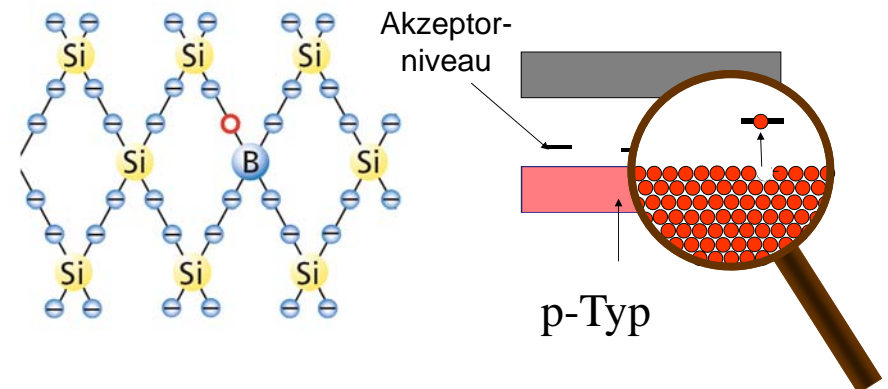


Dotierte Halbleiter

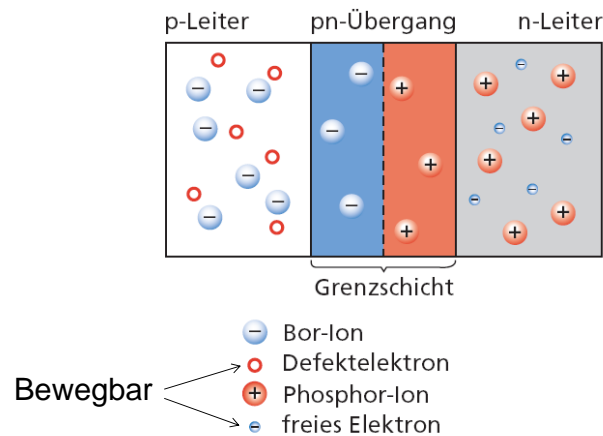
Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Akzeptor

B, Al (Spalte III.)

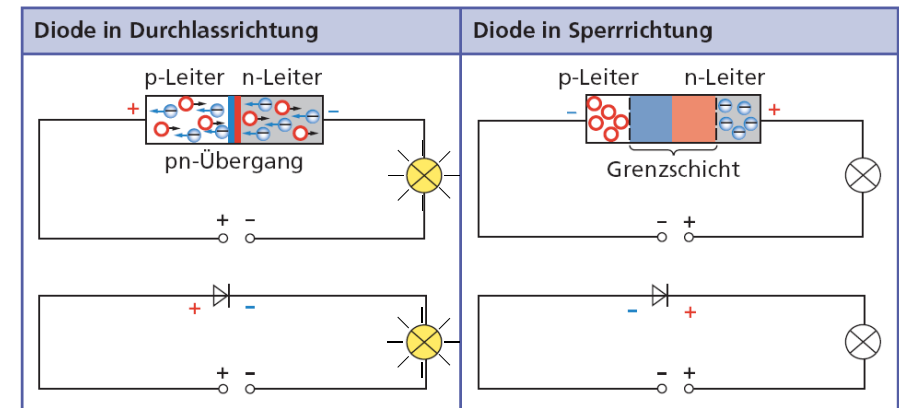


Halbleiterdiode



Halbleiterdiode

Leitet nur in einer Richtung



Wirkungen des Stromes

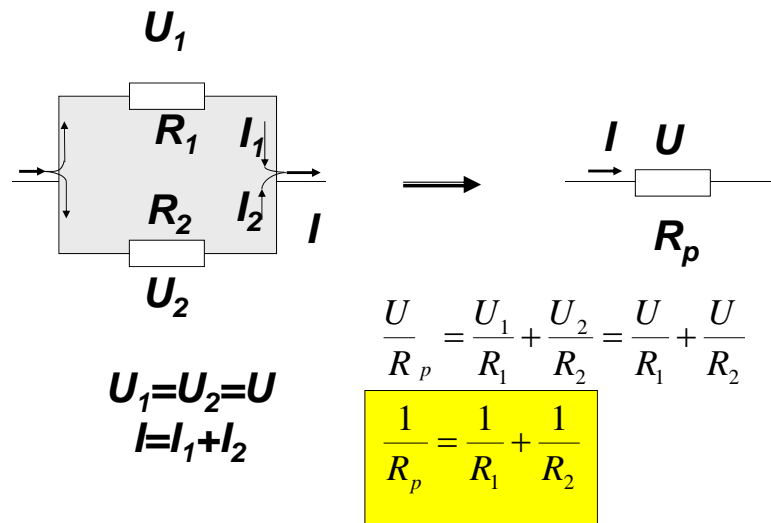
Wärmewirkung
Chemische Wirkung
Magnetische Wirkung
(Biologische Wirkung)
(Lichtwirkung)



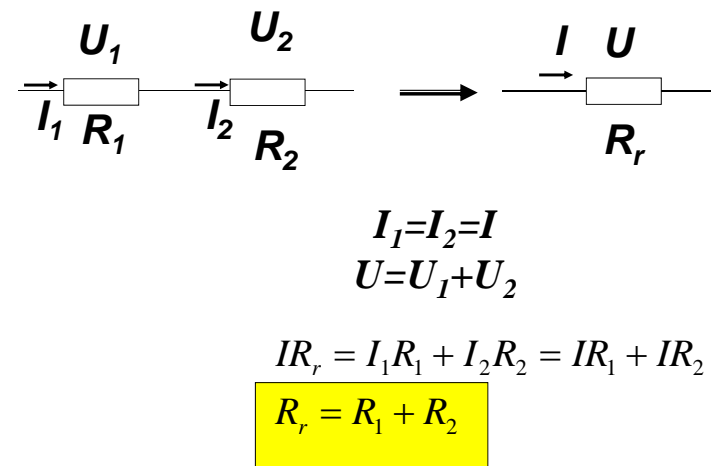
Spannung und Stromstärke



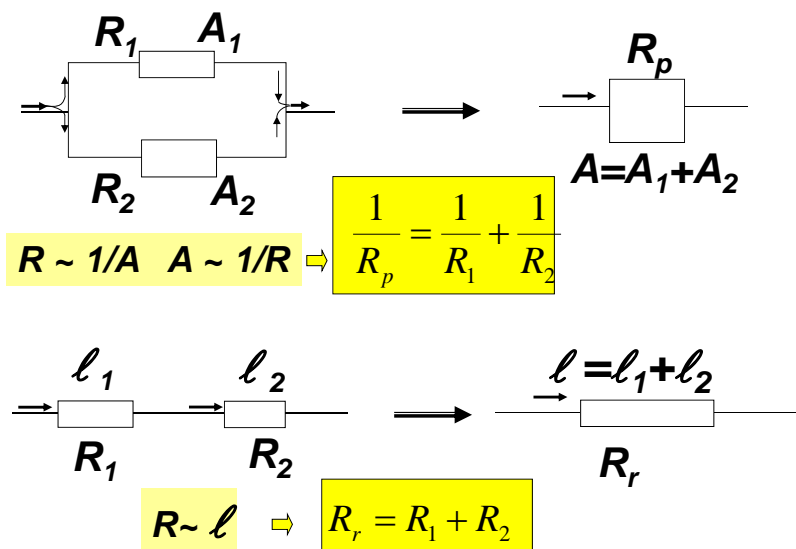
Parallelschaltung von Widerständen



Reihenschaltung von Widerständen

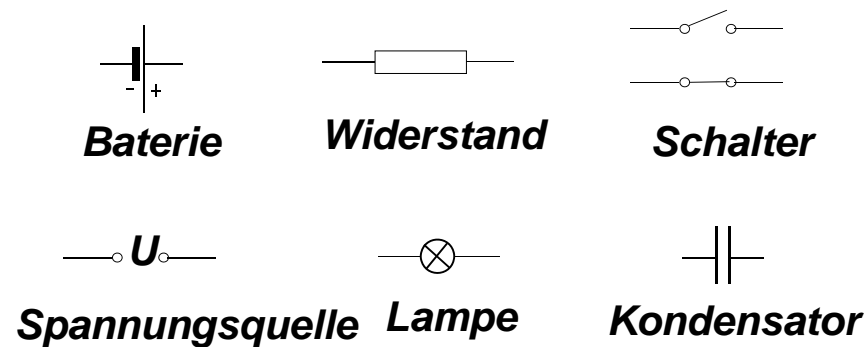


Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen

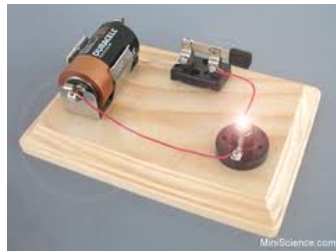
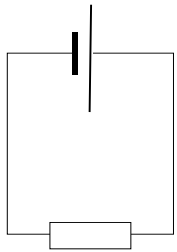


Elektrischer Stromkreis

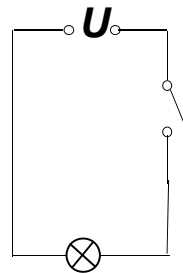
Elektrische Schaltelemente



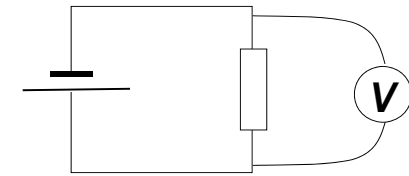
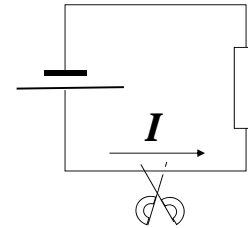
Einfachster Stromkreis



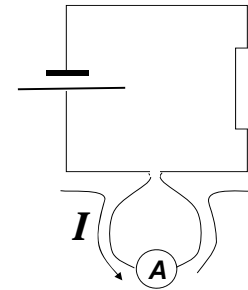
z.B.: Leselampe:



Strom- und Spannungsmessung



Spannungsmessgerät
in Parallelschaltung

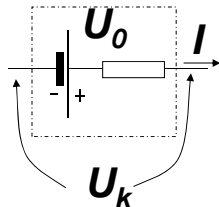


Strommessgerät in
Reihenschaltung

Ideale Spannungsquelle:
Spannung ist unabhängig der
Stromstärke



Reelle Spannungsquelle: Innerer Widerstand



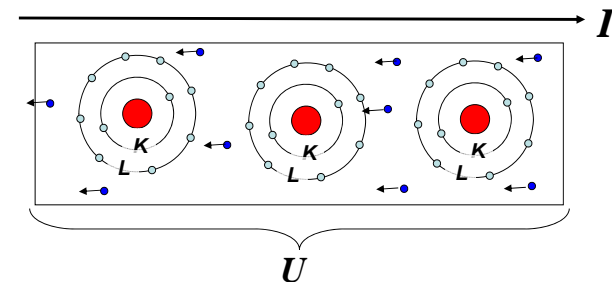
$$U_k = U_0 - IR_i$$

U_0 : Leerlaufspannung
Elektromotorische Kraft

U_k : Klemmenspannung der Spannungsquelle

$$U_0 \geq U_k \geq 0$$

Joulesche Wärme und Elektrische Leistung



Elektronenbewegung:
Beschleunigung, Zusammenstoß

Energieaufnahme

Energieabgabe

Um Q Ladung gegen U Spannung zu transportieren braucht man $W=QU$ Energie.

Wenn sich Q Ladung durch das elektrische Feld bewegt, gibt das Feld $W=UQ=UIt$ Energie ab.

Diese Energie wird in Wärme umgewandelt. (Joul'sche Wärme)

$$W=U I t$$

Die Elektrische Leistung:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$$

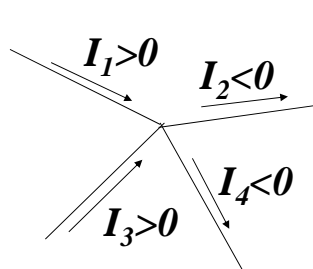
Einheit: Watt

$$1W=1V A$$



Kirchhoffsche Gesetze

1. Kirchhoffsches Gesetz: Knotenregel

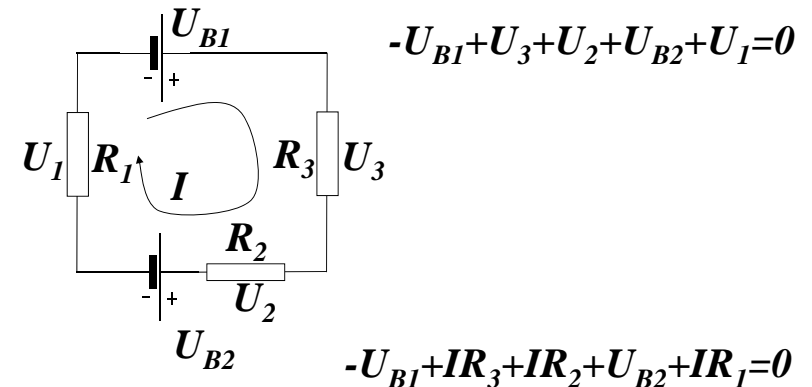


$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$



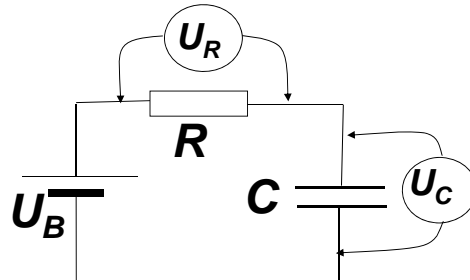
2. Kirchhoffsches Gesetz: Maschenregel

Summe der Spannungen in einer Masche ist $=0$



RC Kreis

Kondensator in einem Stromkreis:

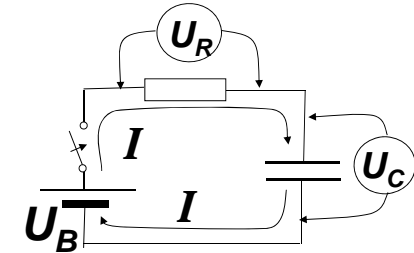


Im Gleichgewichtszustand: Kein Strom $I=0$
(Isolator zwischen den Platten!)

$$\Rightarrow U_R = IR = 0 \Rightarrow U_C = U_B - U_R = U_B$$

Aufladung des RC Kreises

Sei der Kondensator
ungeladen vor
dem Einschalten
des Schalters:
 $U_C = 0$



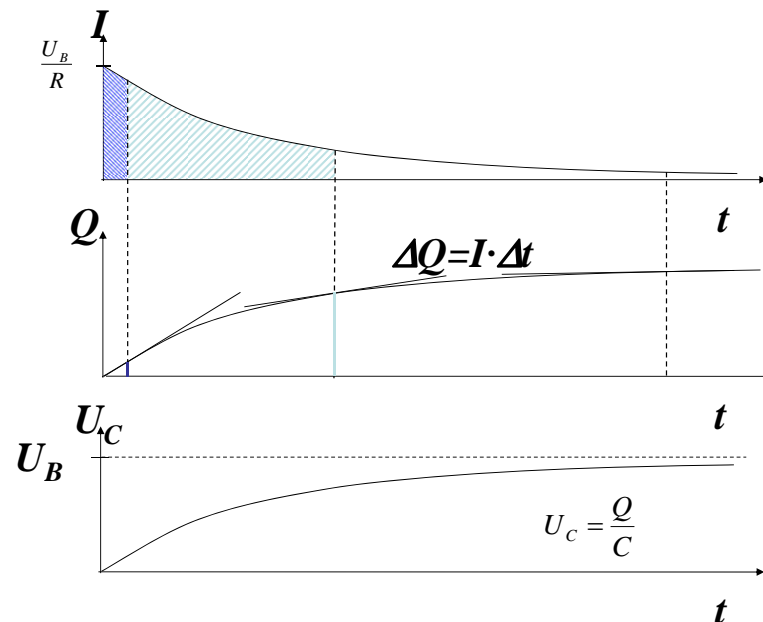
Es gilt zu jedem Zeitpunkt (t):

$$U_R(t) + U_C(t) - U_B = 0 \quad (\text{Maschenregel})$$

$$\Rightarrow U_B = U_R + U_C(t) = I(t) \cdot R + U_C(t)$$

Im Moment des Einschaltens:

$$U_B = I(0)R \Rightarrow I(0) = \frac{U_B}{R}$$



Die Stromstärke annähert Null asymptotisch.

$U_R = IR \Rightarrow U_R$ annähert Null asymptotisch.

U_C annähert U_B asymptotisch.

$$U_C = U_B \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\tau = RC$$

$$U_R = U_B e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Entladung des RC Kreises

Sei der Kondensator vor dem Einschalten des Schalters aufgeladen:

$$U_C(0) = U_0$$

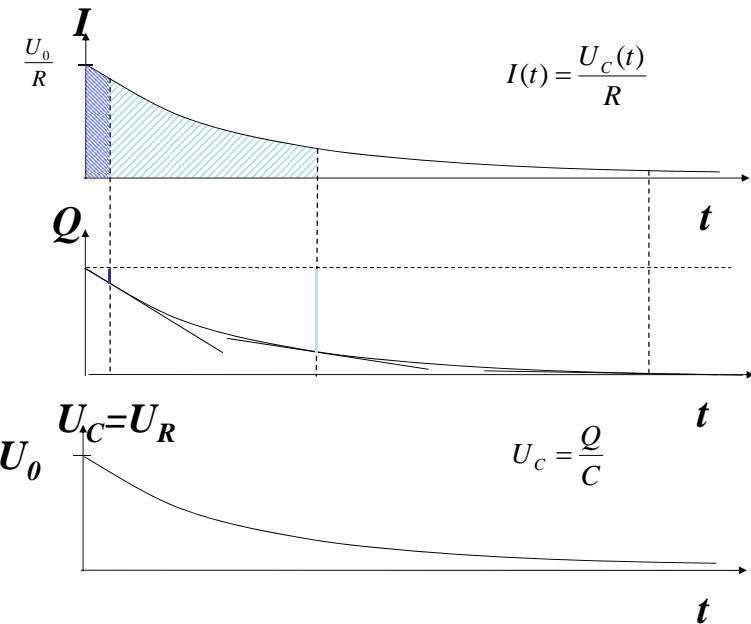
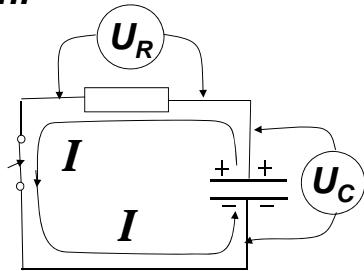
Maschenregel:

$$U_R(t) - U_C(t) = 0$$

$$\Rightarrow I(t)R = U_C(t)$$

$$I(t) = \frac{U_C(t)}{R}$$

Am Anfang der Entladung: $I(0)R = U_0$ $I(0) = \frac{U_0}{R}$



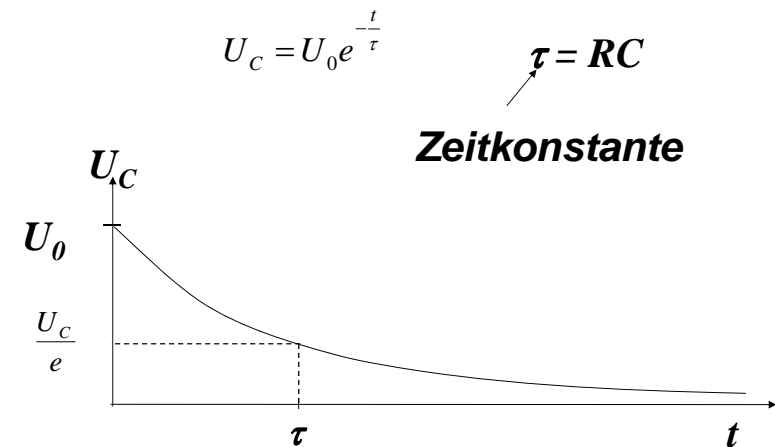
$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{U_C}{R} \\ \Delta Q = -I \Delta t \\ \Delta U_C = \frac{\Delta Q}{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{\Delta U_C}{\Delta t} = -\frac{1}{RC} U_C \\ \frac{\Delta U_C}{\Delta t} \sim U_C \end{array}$$

Änderungsgeschwindigkeit der Spannung (U_C) ist proportional zur U_C .

\Rightarrow Exponentialfunktion!

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

$$\tau = RC$$

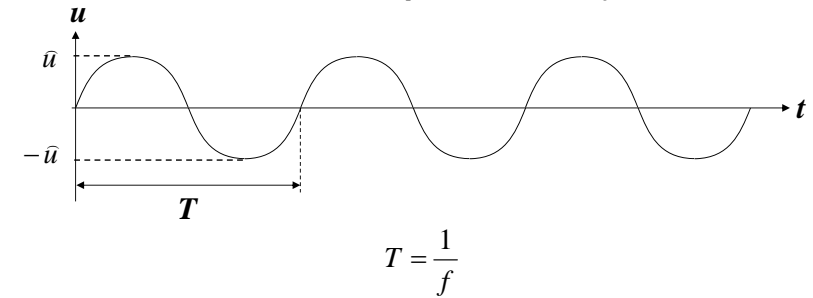


Wechselspannung

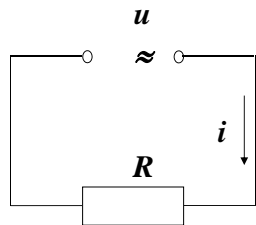
Wechselspannung Scheitelwert

$$u(t) = \hat{u} \sin(\omega t)$$

Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi f$

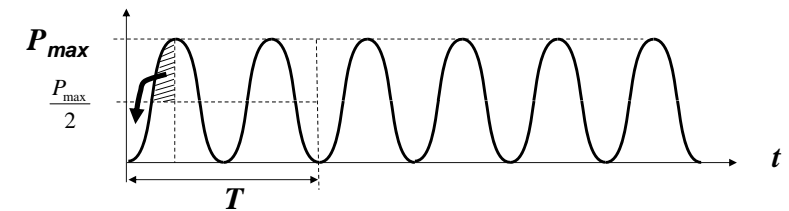
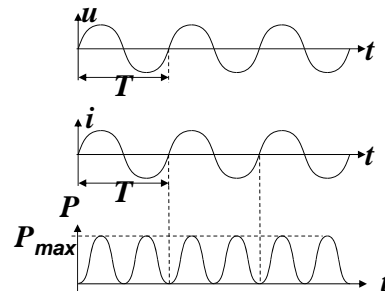


Wechselspannungskreis



$$u(t) = \hat{u} \sin(\omega t)$$

$$i(t) = \hat{i} \sin(\omega t)$$



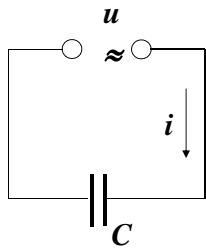
Durchschnittliche Leistung:

$$\bar{P} = \frac{P_{\max}}{2} = \frac{\hat{u}\hat{i}}{2} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$$

Effektive Spannung: $U_{\text{eff}} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$

Effektive Stromstärke: $I_{\text{eff}} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$

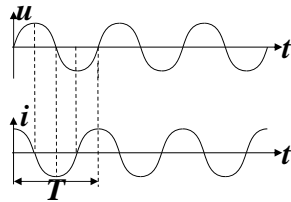
Kondensator im Wechselstromkreis



$$u = U_c = \frac{Q}{C}$$

$$Q = C \cdot u = C \cdot \hat{u} \sin(\omega t)$$

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \hat{u} \frac{\Delta \sin(\omega t)}{\Delta t} = \hat{i} \cos(\omega t)$$



$$\frac{\Delta \sin(\omega t)}{\Delta t} = \omega \cos(\omega t)$$

$$\hat{i} = \hat{u} \cdot C \cdot \omega$$

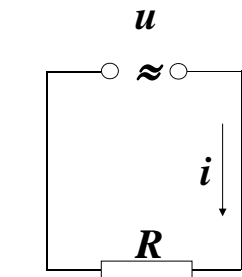
$$\frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{1}{\omega C} = X_c$$

Kapazitiver Widerstand

$$X_c = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

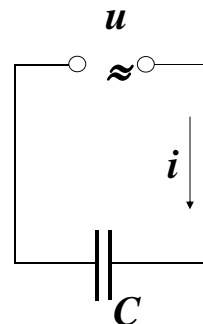
$$X_c \neq \frac{u}{i}$$

Zusammenfassung:



$$R = \frac{u}{i} = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

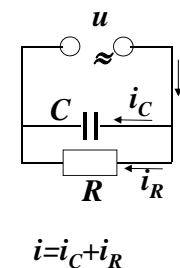
u und i in gleicher Phase



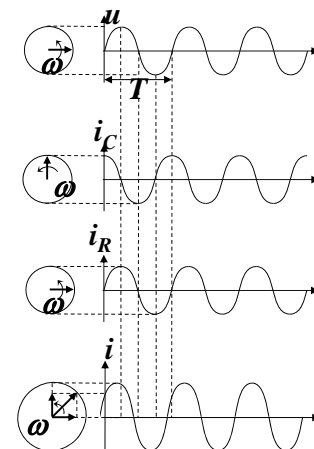
$$X_c = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} \neq \frac{u}{i}$$

i eilt sich im Vergleich zum u

Wechselstromkreis mit Widerstand und Kondensator in Parallelschaltung



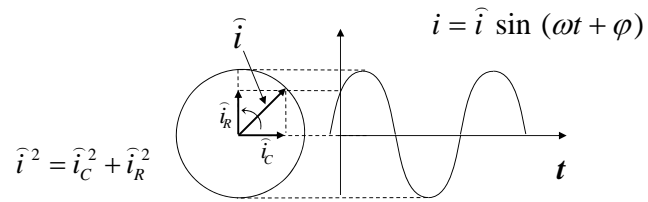
$$i = i_C + i_R$$



$$\frac{\hat{u}}{X_c} \cos(\omega t)$$

$$\frac{\hat{u}}{R} \sin(\omega t)$$

$$\hat{i} \sin(\omega t + \varphi)$$



$$\hat{i} = \sqrt{\hat{i}_C^2 + \hat{i}_R^2} = \sqrt{\frac{\hat{u}^2}{X_C^2} + \frac{\hat{u}^2}{R^2}} =$$

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

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

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

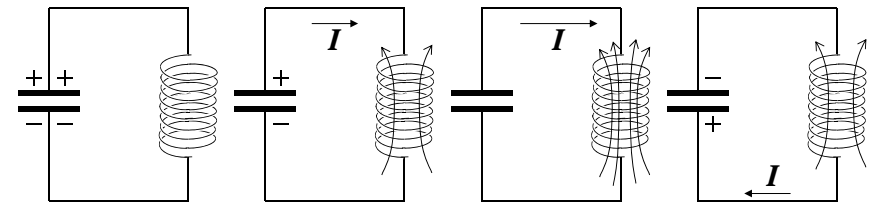
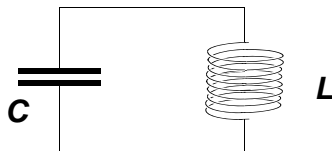
↑
Impedanz

Zusammenfassung

	Reihenschaltung	Parallelschaltung
	$R_r = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
	$Z = \sqrt{X_C^2 + R^2}$	$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}}$

Schwingkreis:

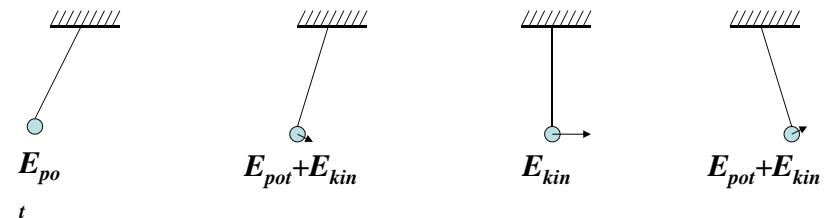
Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen

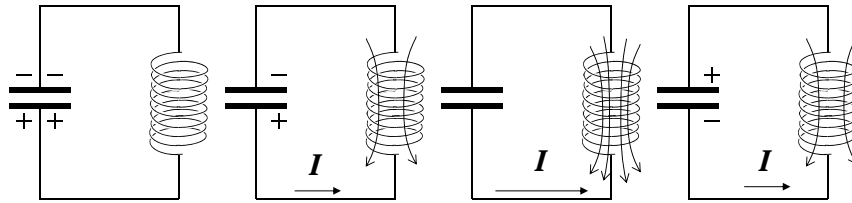


U max
 I 0

0
max

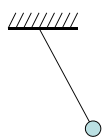
Mechanische Analogie: Pendel





U - max
 I 0

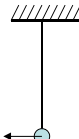
0
- max



E_{pot}



$E_{pot} + E_{kin}$

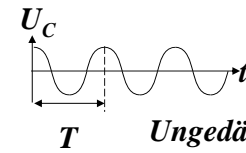


E_{kin}

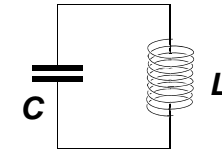


$E_{pot} + E_{kin}$

Idealer Schwingkreis:



Ungedämpfte Schwingung

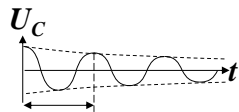


Eigenfrequenz:

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

Resonanz!

Reeller Schwingkreis



T

Gedämpfte Schwingung

Energieverlust am Widerstand

