



Elektrizitätslehre III.



Elektrischer Strom

Strom = Geordnete Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

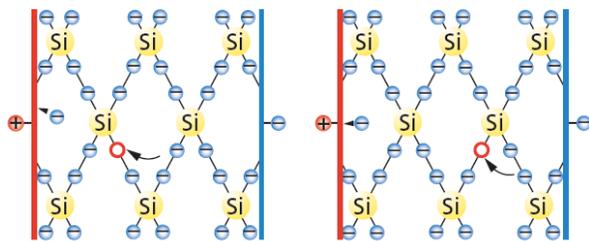
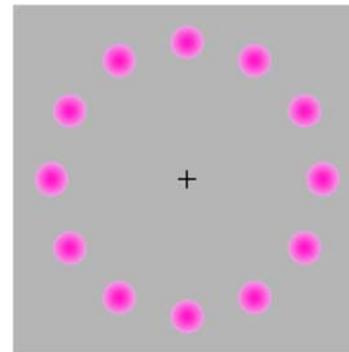
Strom im Festkörper

- Leiter
- Halbleiter

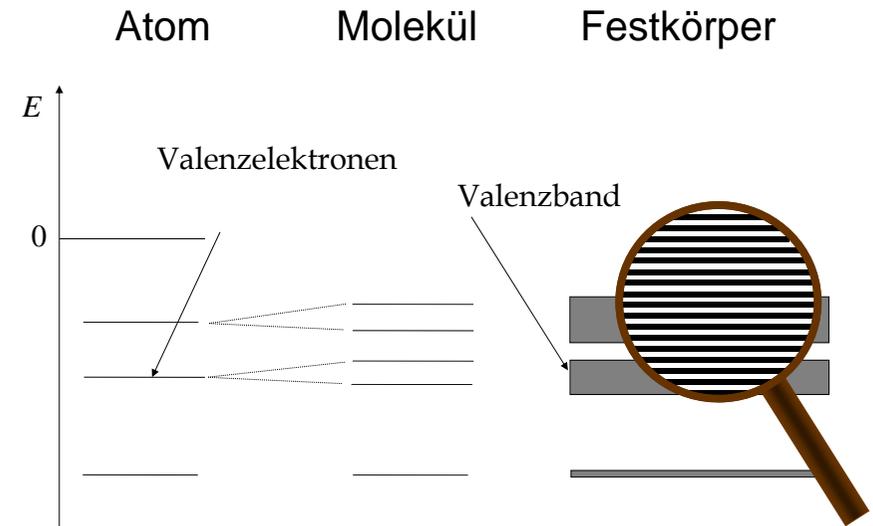
Zur Erinnerung

Strom in Halbleitern

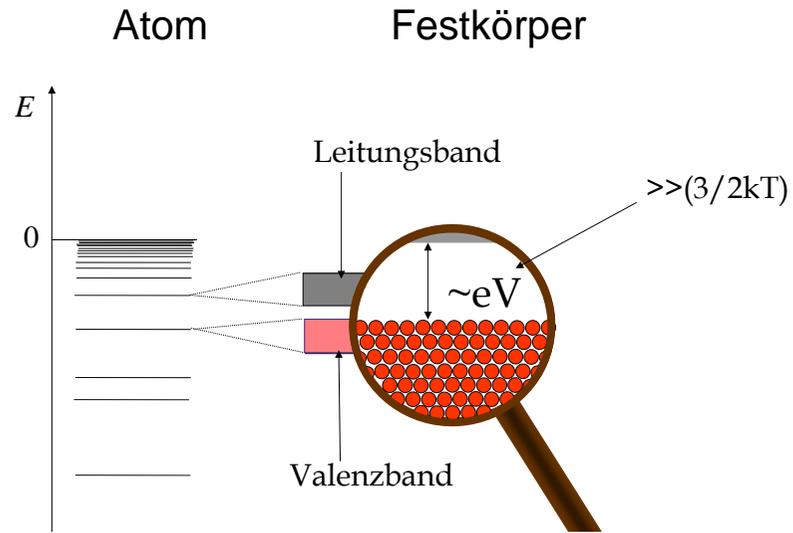
Ladungsträgern:
Elektronen und
Löchern



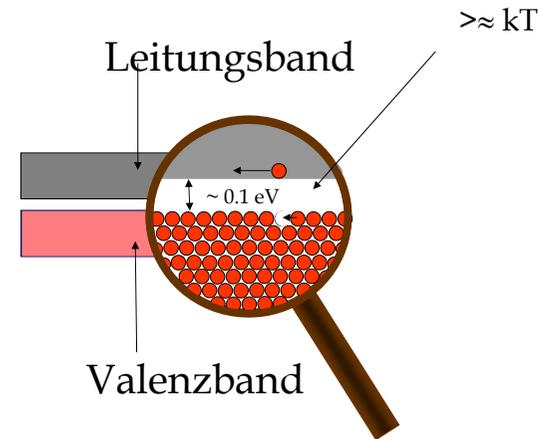
Bändermodell:



Isolatoren



Halbleiter (reiner Halbleiter)

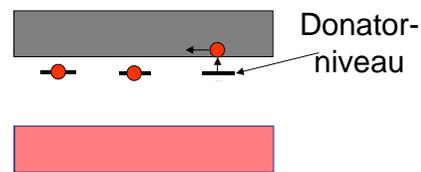
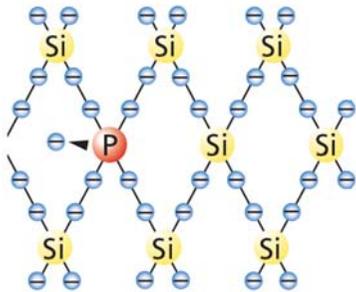


Dotierte Halbleiter

Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Donator

P, As (Spalte V.)



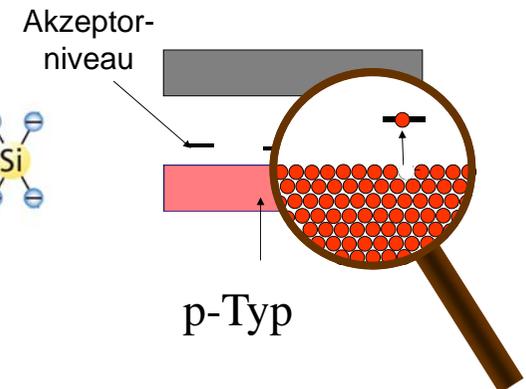
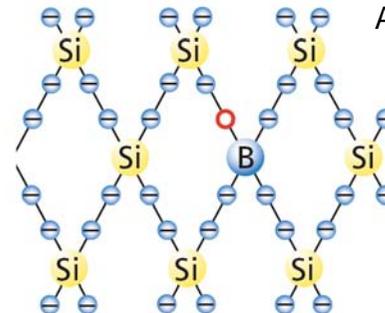
n-Typ

Dotierte Halbleiter

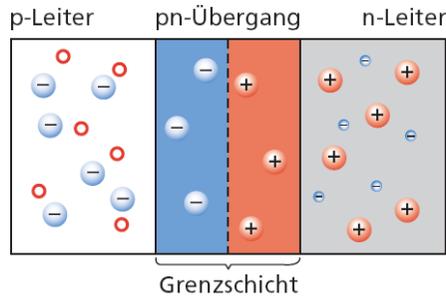
Halbleiter: Si, Ge, (Spalte IV)

Akzeptor

B, Al (Spalte III.)



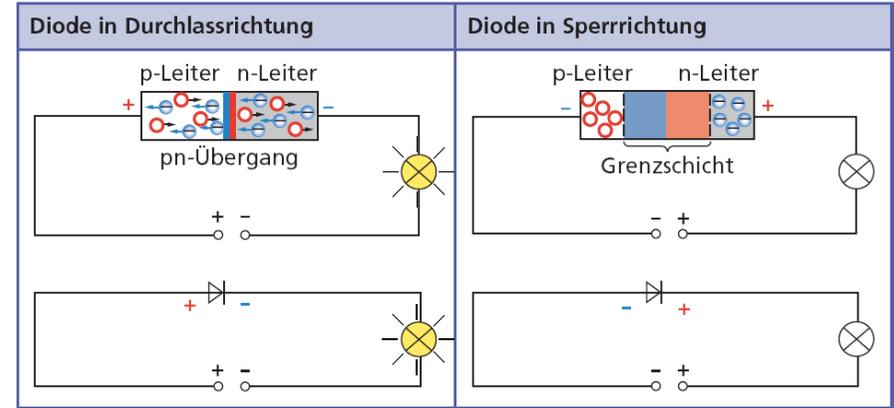
Halbleiterdiode



- Bewegbar**
- ⊖ Bor-Ion
 - ⊖ Defektelektron
 - ⊕ Phosphor-Ion
 - ⊖ freies Elektron

Halbleiterdiode

Leitet nur in einer Richtung



Wirkungen des Stromes

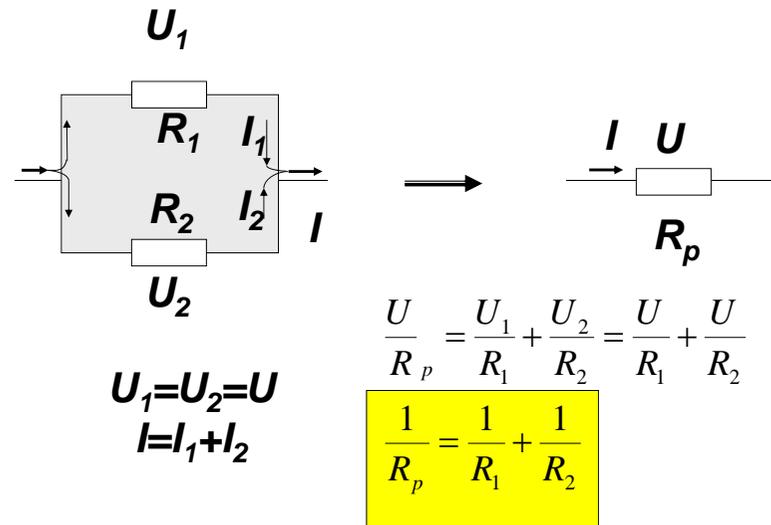
- Wärmewirkung
- Chemische Wirkung
- Magnetische Wirkung
- (Biologische Wirkung)
- (Lichtwirkung)



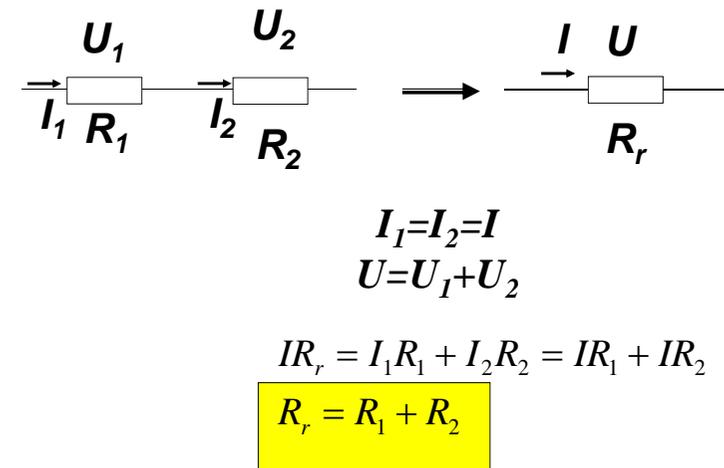
Spannung und Stromstärke



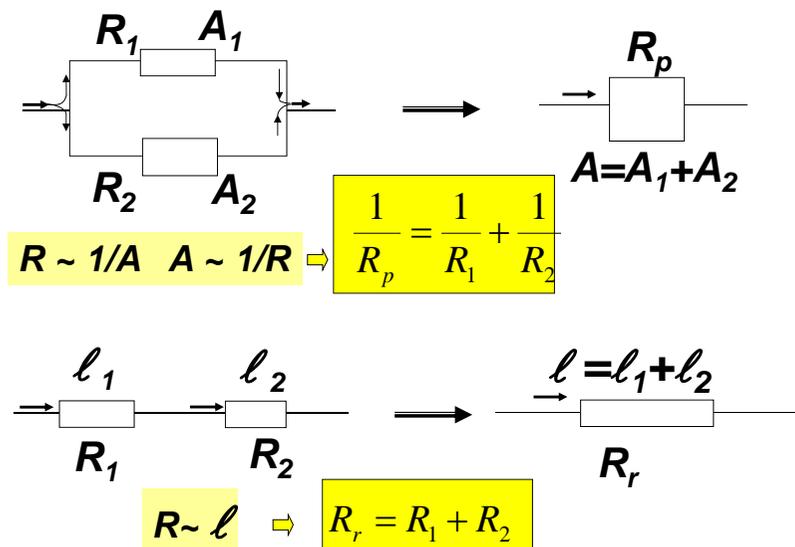
Parallelschaltung von Widerstände



Reihenschaltung von Widerstände

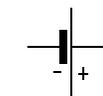


Parallel- und Reihenschaltung von Widerstän

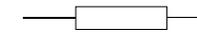


Elektrischer Stromkreis

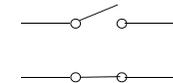
Elektrische Schaltelemente



Batterie



Widerstand



Schalter



Spannungsquelle

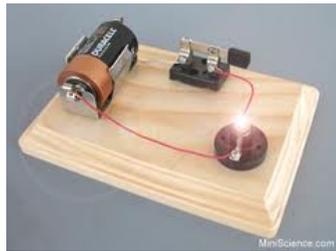
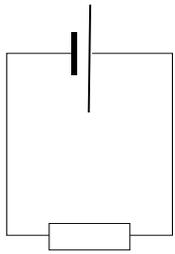


Lampe

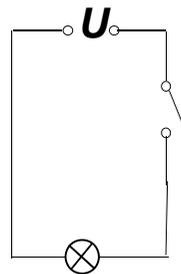


Kondensator

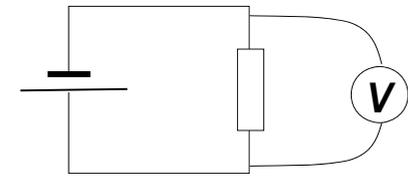
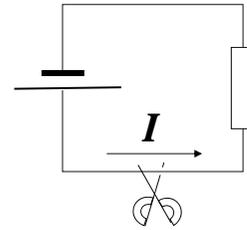
Einfachster Stromkreis



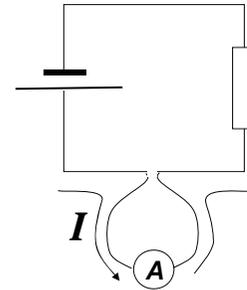
z.B.: Leselampe:



Strom- und Spannungsmessung



Spannungsmessgerät
in Parallelschaltung

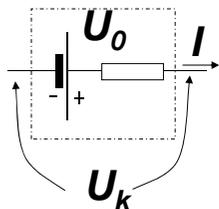


Strommessgerät in
Reihenschaltung

Ideale Spannungsquelle:
Spannung ist unabhängig der
Stromstärke



Reelle Spannungsquelle: Innerer Widerstand



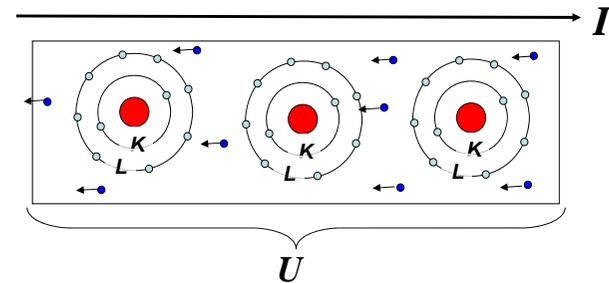
$$U_k = U_0 - IR_i$$

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:

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

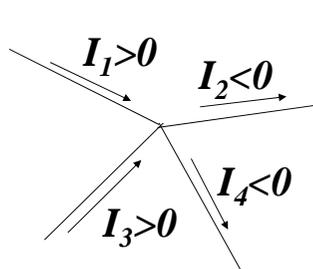
Einheit: Watt

$$1W=1V A$$



Kirchoffsche Gesetze

1. Kirchoffsches Gesetz: Knotenregel

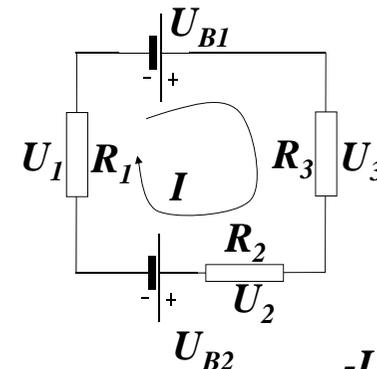


$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$



2. Kirchoffsches Gesetz: Maschenregel

Summe der Spannungen in einer Masche ist = 0

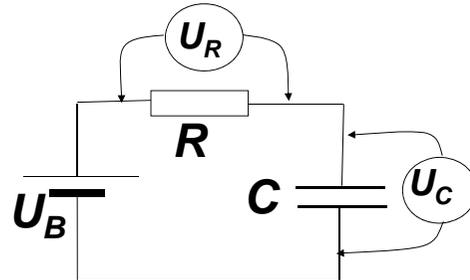


$$-U_{B1} + U_3 + U_2 + U_{B2} + U_1 = 0$$

$$-U_{B1} + IR_3 + IR_2 + U_{B2} + IR_1 = 0$$

RC Kreis

Kondensator in einem Stromkreis:

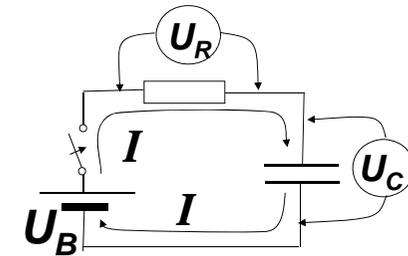


Im Gleichgewichtszustand: Kein Strom $I=0$
(Isolator zwischen den Platten!)

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

Aufladung des RC Kreises

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



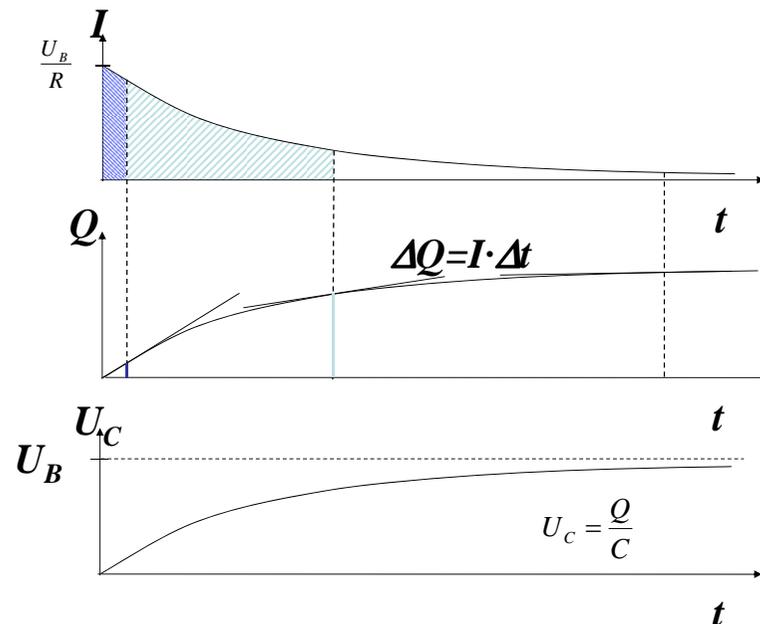
Es gilt zu jedem Zeitpunkt (t):

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

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

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:

$$U_C(0) = U_0$$

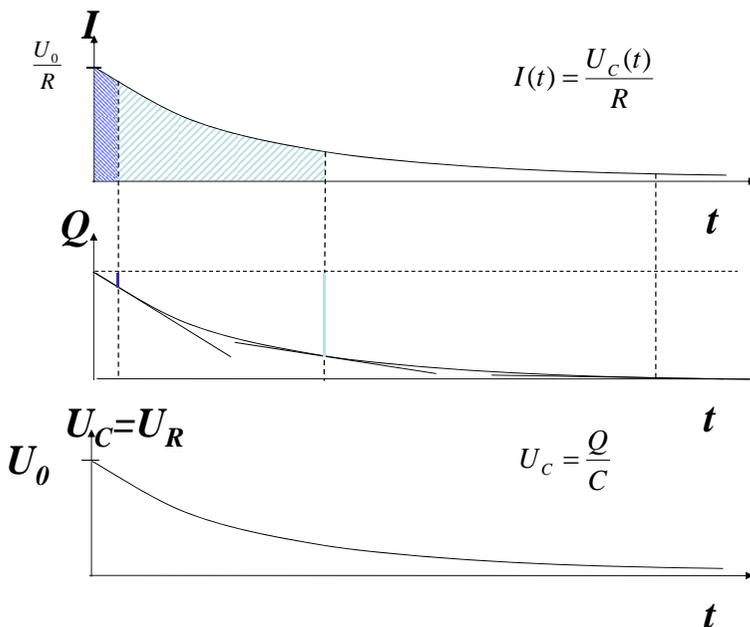
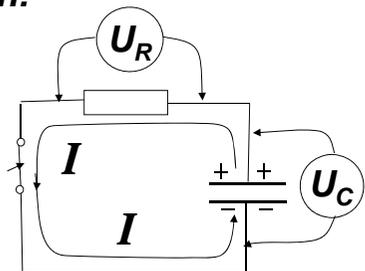
Maschenregel:

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

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

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

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



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

Änderungsgeschwindigkeit der Spannung (U_C) ist proportional zur U_C .

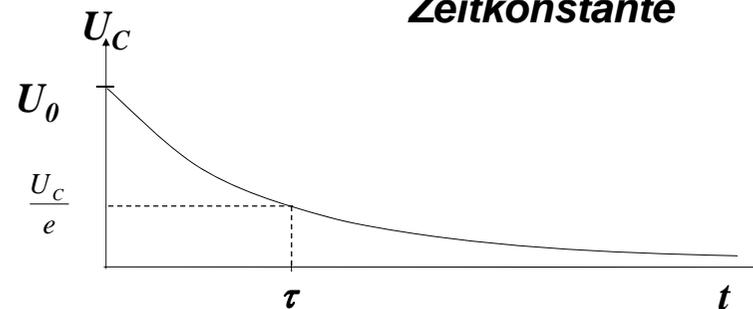
\Rightarrow Exponentialfunktion!

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

$$\tau = RC$$

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

Zeitkonstante

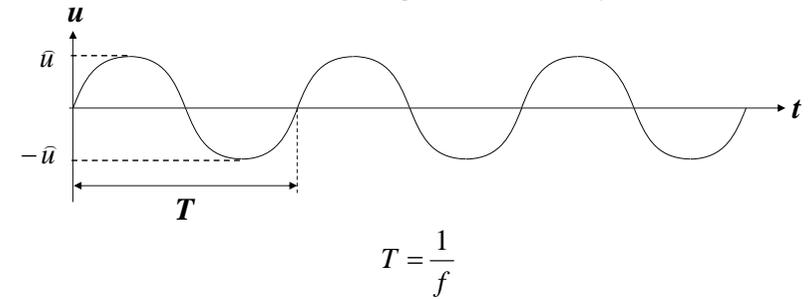


Wechselspannung

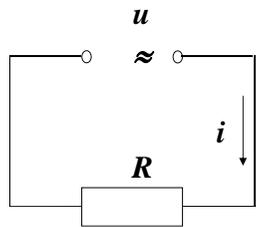
Wechselspannung Scheitelwert

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

Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi f$

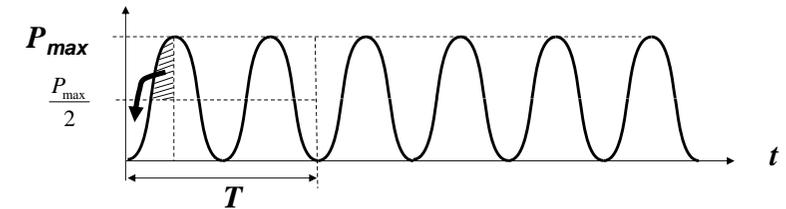
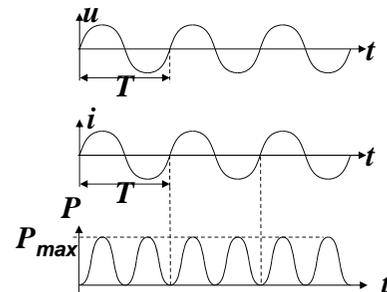


Wechselspannungskreis



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

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



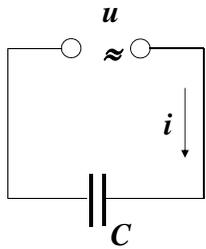
Durchschnittliche Leistung:

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

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

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

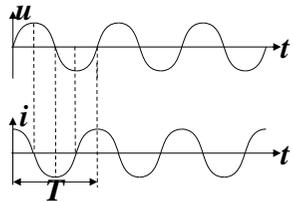
Kondensator im Wechselstromkreis



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

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

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



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

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

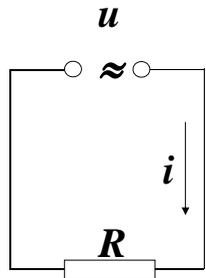
$$\frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{1}{\omega C} = X_c$$

Kapazitiver Widerstand

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

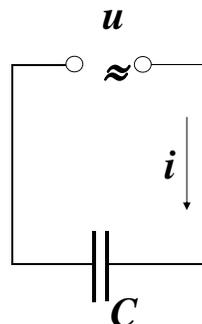
$$X_c \neq \frac{u}{i}$$

Zusammenfassung:



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

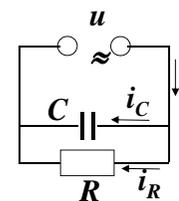
***u* und *i* in gleicher Phase**



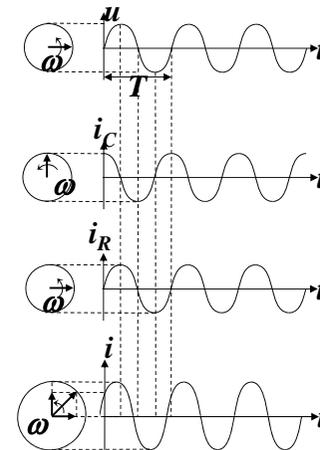
$$X_c = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} \neq \frac{u}{i}$$

i* eilt sich im Vergleich zum *u

Wechselstromkreis mit Widerstand und Kondensator in Parallelschaltung



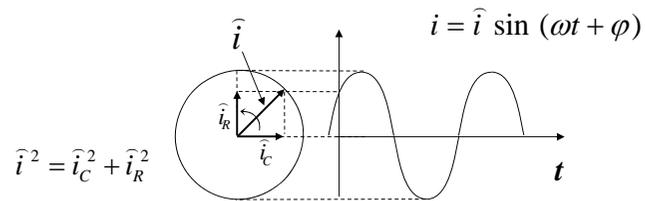
$$i = i_C + i_R$$



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

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

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



$$\hat{i}^2 = \hat{i}_C^2 + \hat{i}_R^2$$

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

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

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

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

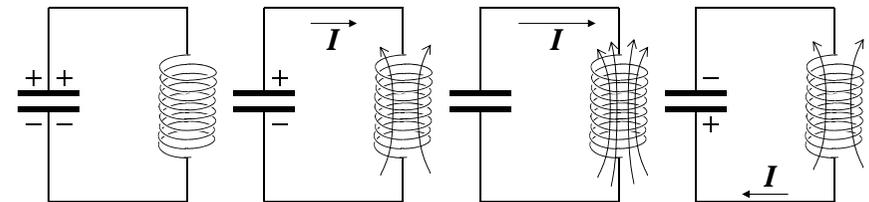
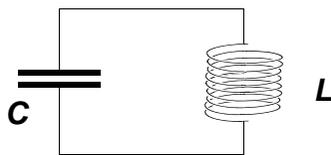
↑
Impedanz

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:

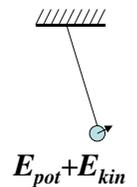
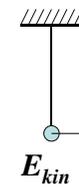
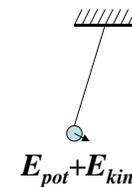
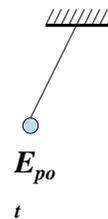
Erzeugung der elektromagnetischen Schwingungen



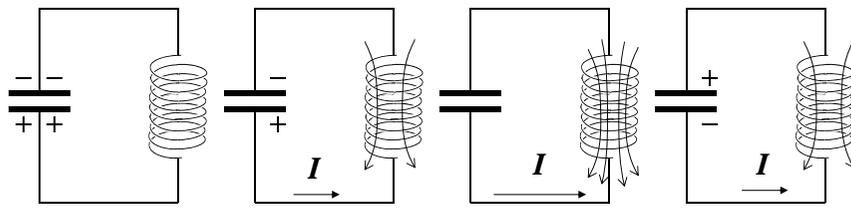
U max
 I 0

0
 U max

Mechanische Analogie: Pendel

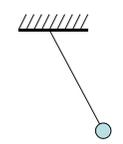


t

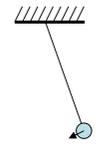


U - max
 I 0

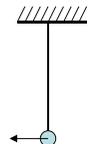
0
- max



E_{pot}



$E_{pot} + E_{kin}$

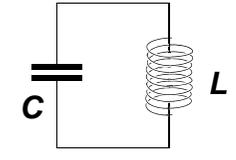
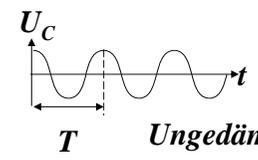


E_{kin}



$E_{pot} + E_{kin}$

Idealer Schwingkreis:



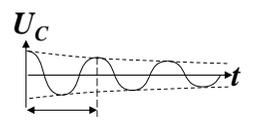
Ungedämpfte Schwingung

Eigenfrequenz:

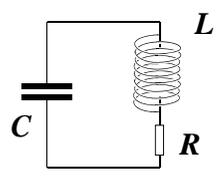
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Resonanz!

Reeller Schwingkreis



T



Gedämpfte Schwingung

Energieverlust am Widerstand