

Elektrizitätslehre 3



Elektrischer Strom

Strom = Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

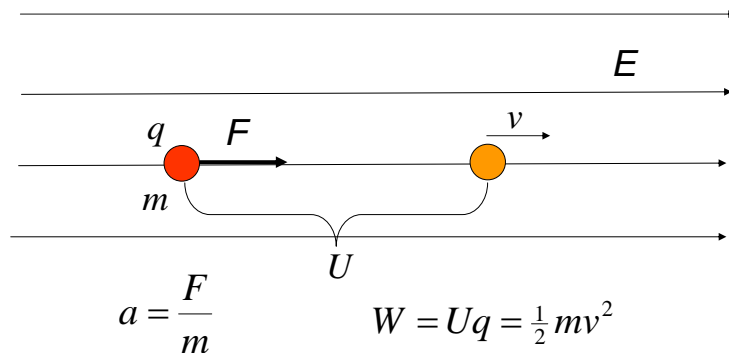
Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

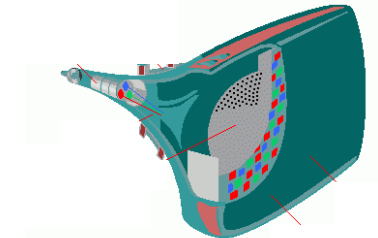
Strom im Festkörper

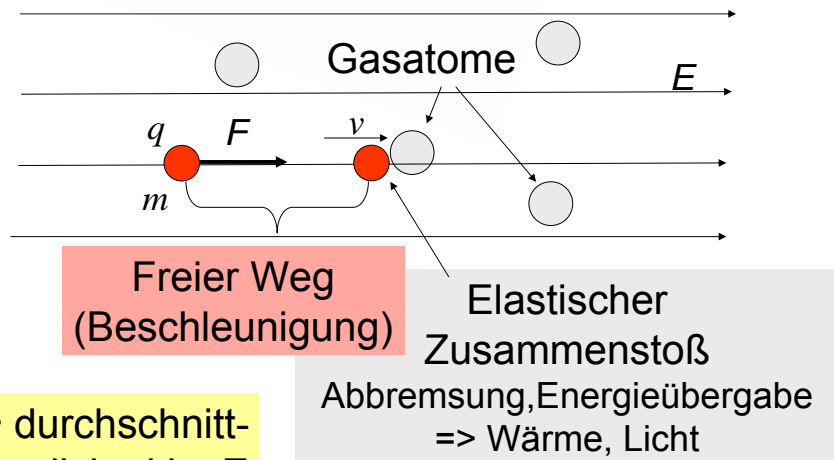
Strom im Vakuum:

Freie Ladungsträger werden im elektrischen Feld beschleunigt :



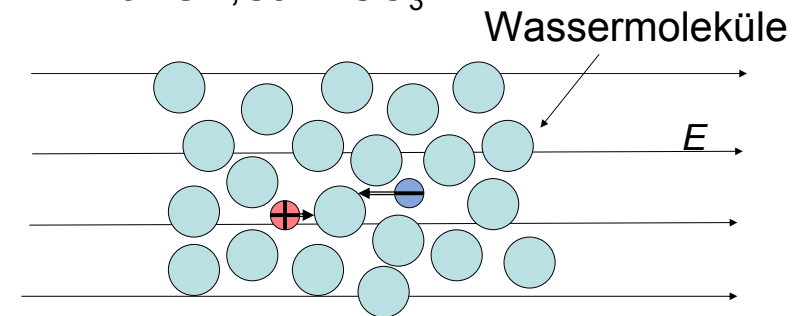
Elektrische Energie => mechanische Energie





Strom in Lösungen

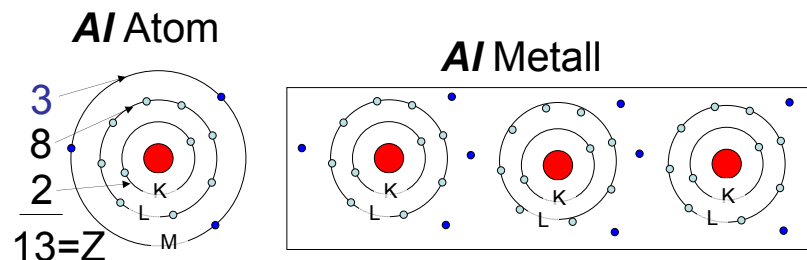
Elektrolyt: Ionen + und -
z.B. Na^+ Cl^- ; Ca^{2+} CO_3^{2-}



Elektrische Energie => Wärme
+ chemische Energie

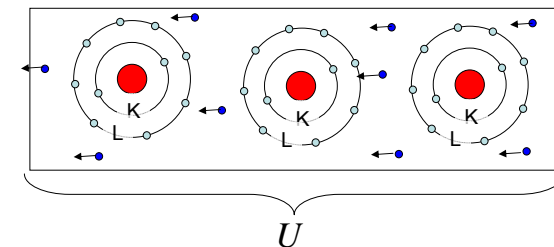
Strom in Metalle

Metall: Feste Atomkerne mit
geschlossenen Elektronenhüllen
Die Elektronen der äußeren Hüllen
bewegen sich frei. (Sie sind
„kollektive“ Elektronen)



Strom in Metalle:

Wanderung der Elektronen.



Zusammenstoß mit der Atome =>
=> Wärme

Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bemerkung: Wärmebewegung (km/s)
 Strombewegung (mm/s)
 (Driftgeschwindigkeit)

Analogie: Warenhaus



Elektrische Stromstärke

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Durch einen
 Leiterquerschnitt
 während Δt Zeit
 durchgeflossene
 Ladung

Einheit: Ampere (A)

$$1\text{A} = 1\text{C}/1\text{s}$$

Konventionelle Stromrichtung: Bewegungs-
 richtung der positive Ladungen.

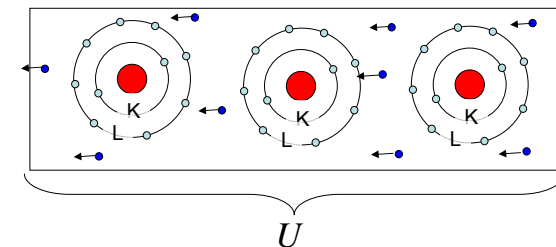
Wirkungen des Stromes

Wärmewirkung
 Chemische Wirkung
 Magnetische Wirkung

(Biologische Wirkung)
 (Lichtwirkung)



Strom in Metalle: Wanderung der Elektronen.



Zusammenstoß mit der Atome =>

=> Wärme

Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bei Metallen gilt ein Zusammenhang zwischen der Spannung und Stromstärke:

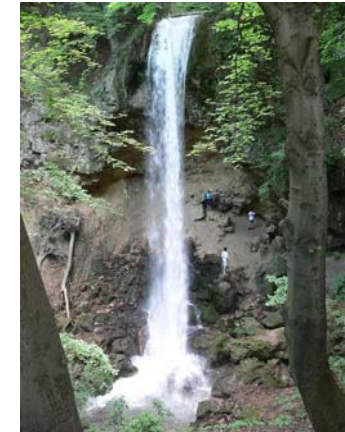
$$I \sim U$$

d.h. U/I ist konstant. Diese Konstante wird als **Widerstand** bezeichnet:

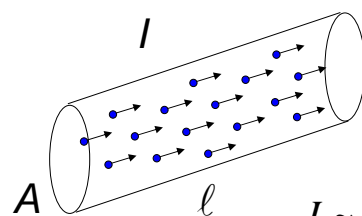
$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Einheit : Ohm } \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

└ Ohmsches Gesetz

Spannung und Stromstärke



Widerstand eines Leiters



$$I \sim v \sim E = U/\ell$$

$$I \sim Q \sim A$$

$$\left. \begin{array}{l} I \sim \frac{A}{\ell} U \\ I = \frac{U}{R} \end{array} \right\} R \sim \frac{\ell}{A} \Rightarrow R = \rho \frac{\ell}{A}$$

Spezifischer Widerstand $\Omega\text{m}; \Omega\text{mm}^2/\text{m}$

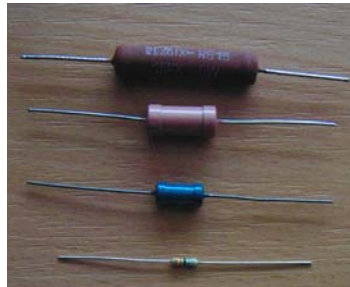
Einige spezifische Widerstandswerte:

Stoff	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Stoff	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Silber	0,016	Kohlenstoff	≈ 35
Kupfer	0,017	Dest. Wasser	10^{10}
Gold	0,023	Transformatoröl	$10^{15}-10^{16}$
Aluminium	0,028	Porzellan	10^{18}
Eisen	0,1	Quarzglass	$5 \cdot 10^{22}$
Wolfram	0,05		
Konstantan	0,5		

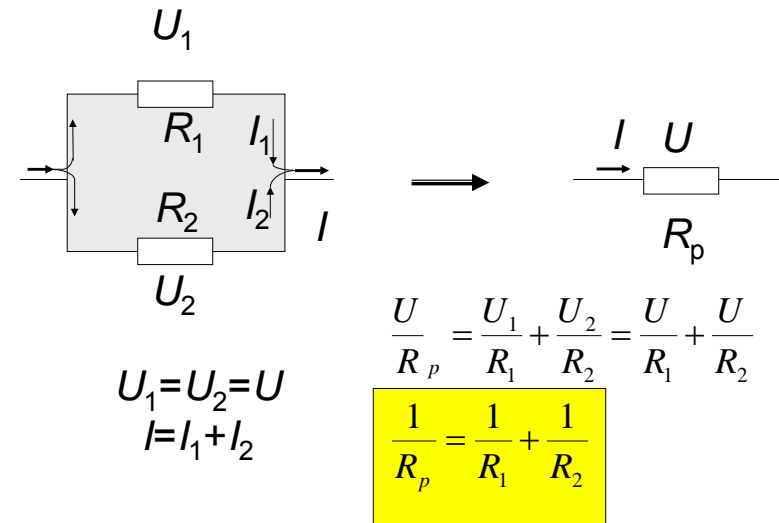
Spezifische Leitfähigkeit: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

Widerstand als physikalische Größe und Schaltelement

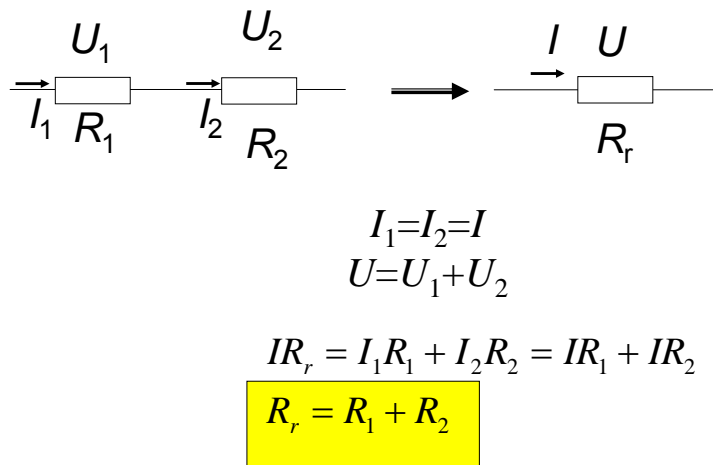
$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$



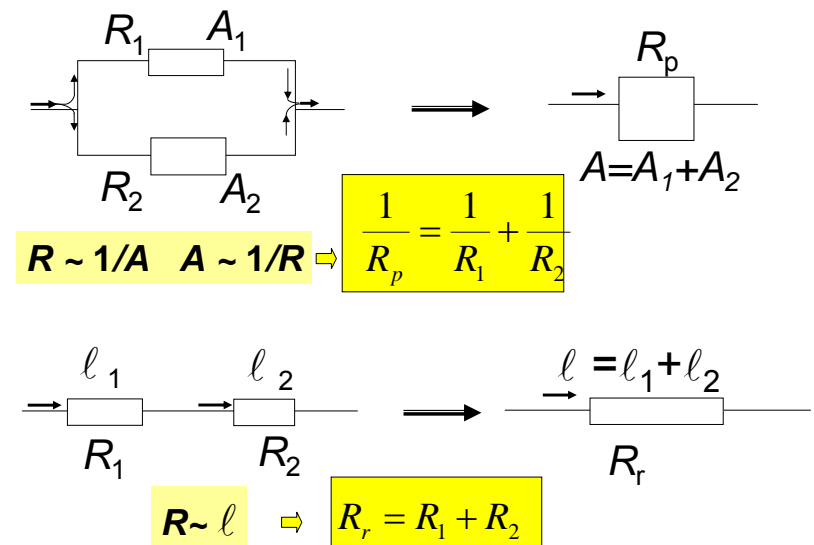
Parallelschaltung von Widerständen



Reihenschaltung von Widerständen



Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen



Elektrischer Stromkreis

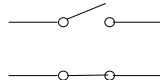
Elektrische Schaltelemente



Batterie



Widerstand



Schalter



Spannungsquelle

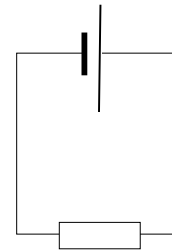


Lampe

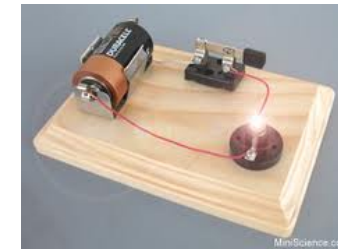
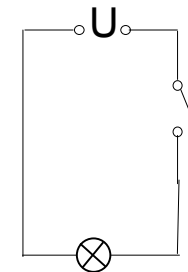


Kondensator

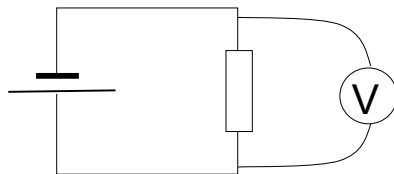
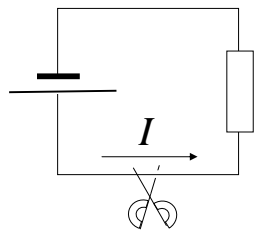
Einfachster Stromkreis



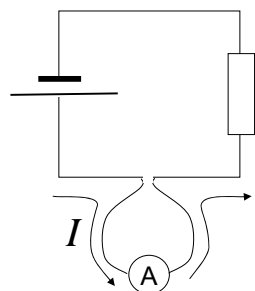
z.B.: Leselampe:



Strom- und Spannungsmessung



Spannungsmessgerät
in Parallelschaltung



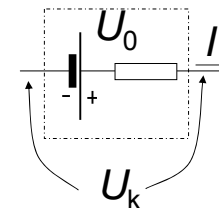
Strommessgerät in
Reihenschaltung

Ideale Spannungsquelle:

Spannung ist unabhängig der
Stromstärke



Reelle Spannungsquelle: Innerer Widerstand



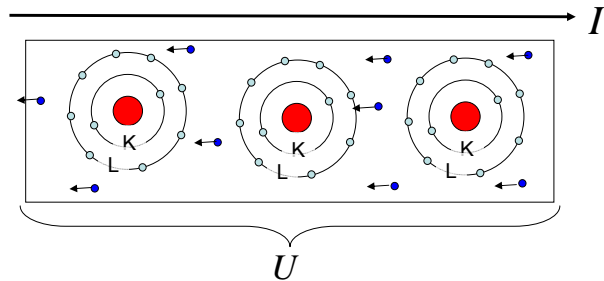
$$U_k = U_0 - IR_i$$

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)

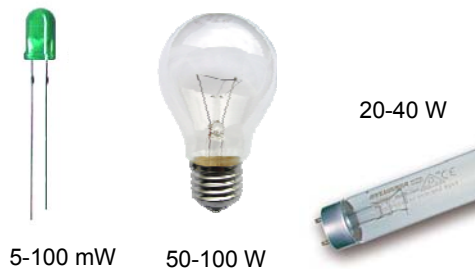
$$W=U I t$$

Die Elektrische Leistung:

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

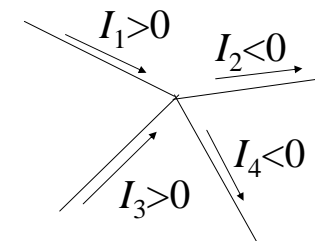
Einheit: Watt

$$1W=1V A$$



Kirchoffsche Gesetze

1. Kirchhoffsches Gesetz: Knotenregel

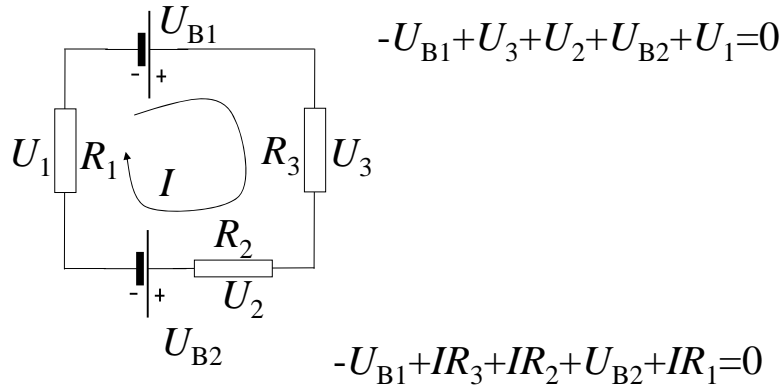


$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$



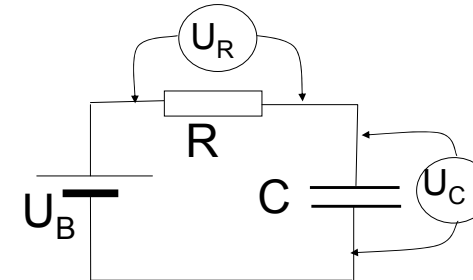
2. Kirchoffsches Gesetz: Maschenregel

Summe der Spannungen in einer Masche ist =0



RC Kreis

Kondensator in einem Stromkreis:

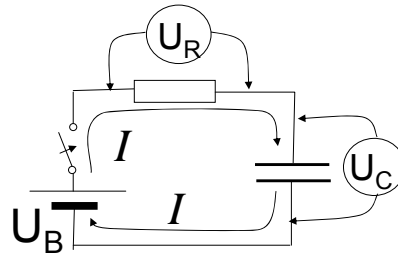


Im Gleichgewichtszustand: Kein Strom $I=0$
(Isolator zwischen den Platten!)

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

Aufladung des RC Kreises

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



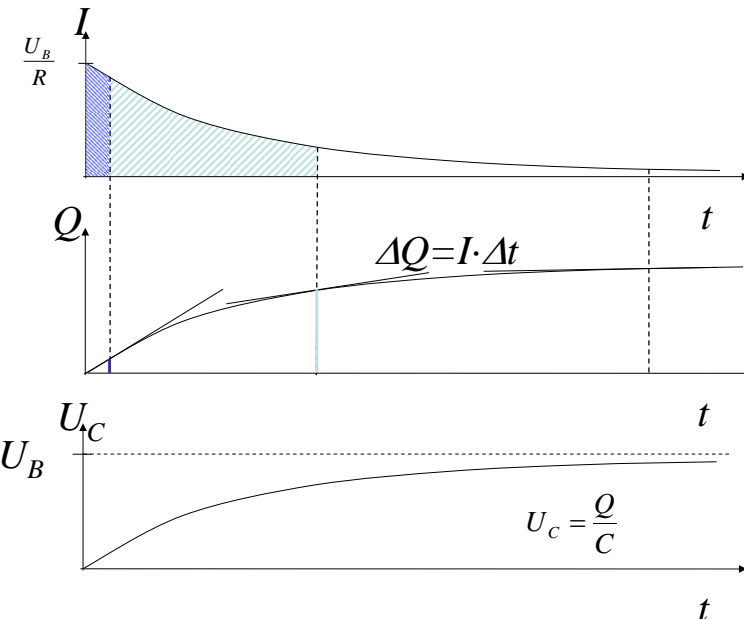
Es gilt zu jedem Zeitpunkt (t):

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

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

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:

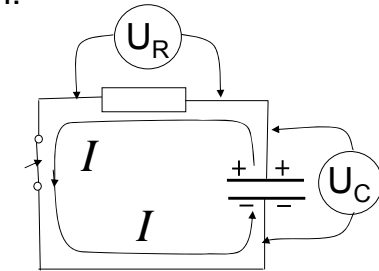
$$U_C(0) = U_0$$

Maschenregel:

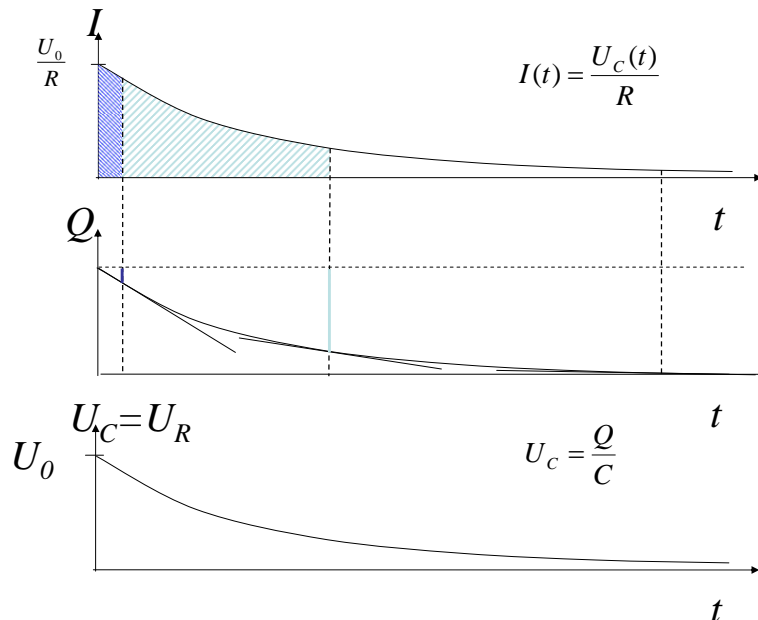
$$U_R(t) - U_C(t) = 0$$

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

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



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



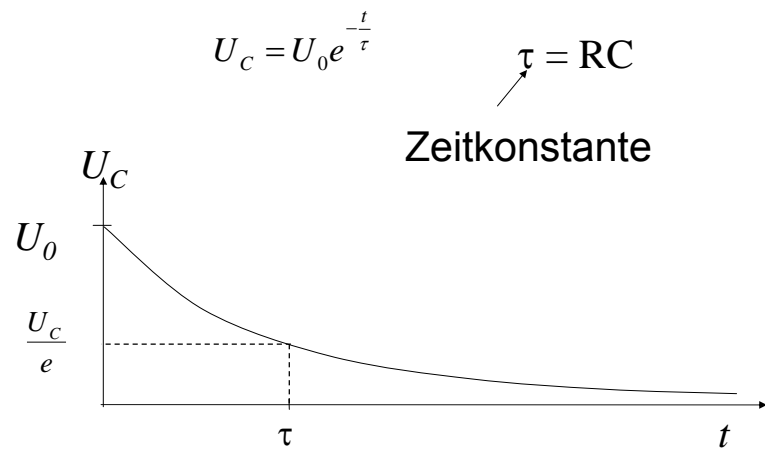
$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U_C}{R} \\ \Delta Q &= -I \Delta t \\ \Delta U_C &= \frac{\Delta Q}{C} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{\Delta U_C}{\Delta t} &= -\frac{1}{RC} U_C \\ \frac{\Delta U_C}{\Delta t} &\sim U_C \end{aligned}$$

Änderungsgeschwindigkeit der Spannung (U_C) ist proportional zur U_C .

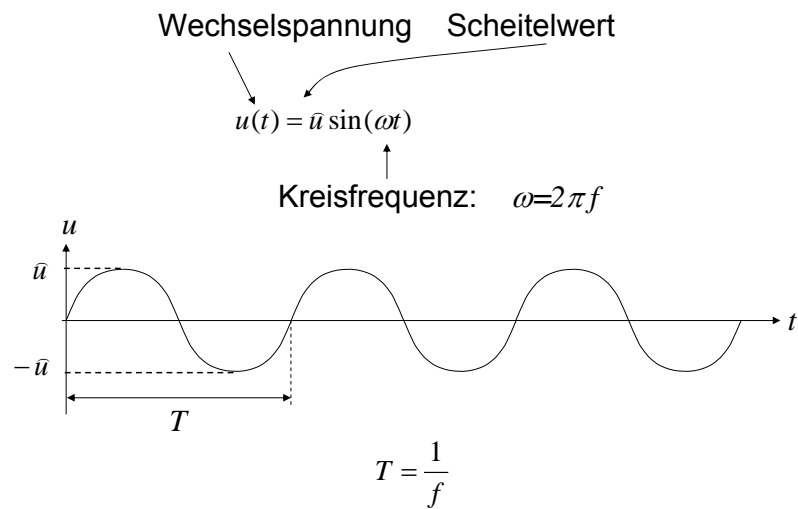
\Rightarrow Exponentialfunktion!

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

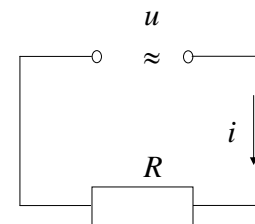
$$\tau = RC$$



Wechselspannung

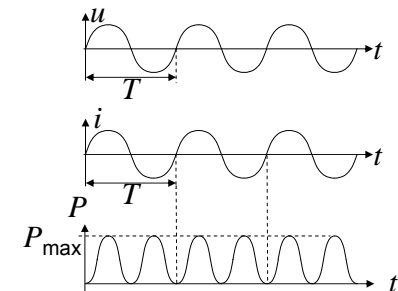


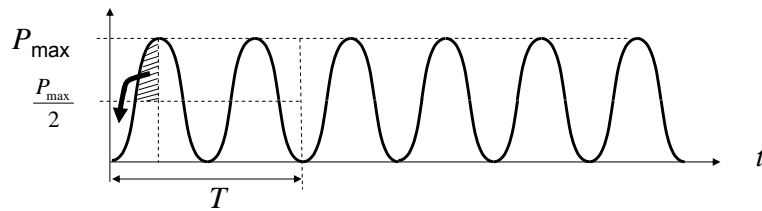
Wechselspannungskreis



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

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





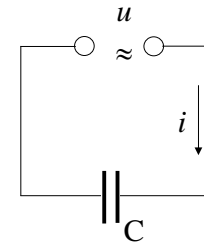
Durchschnittliche Leistung:

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

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

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

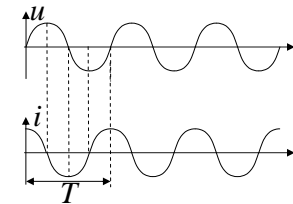
Kondensator im Wechselstromkreis



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

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

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



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

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

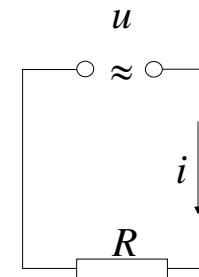
$$\frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{1}{\omega C} = X_C$$

Kapazitiver Widerstand

$$X_C = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}}$$

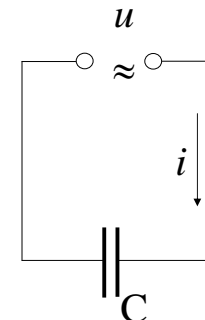
$$X_C \neq \frac{u}{i}$$

Zusammenfassung:



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

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



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

i* eilt sich im Vergleich zum *u