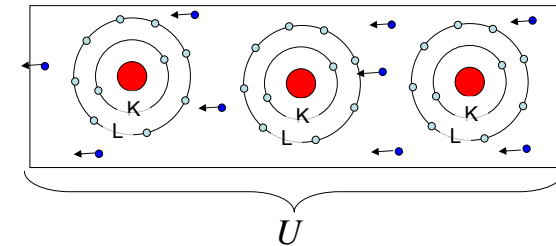


Elektrizitätslehre 3

Strom in Metalle:
Wanderung der Elektronen.



Zur Erinnerung

Zusammenstoß mit der Atome =>
=> Wärme
Elektrische Energie => Wärmeenergie

Bei Metallen gilt ein Zusammenhang
zwischen der Spannung und Stromstärke:

$$I \sim U$$

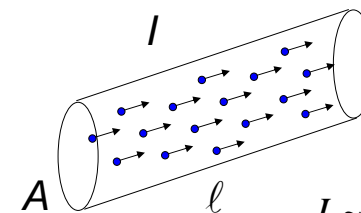
d.h. U/I ist konstant. Diese Konstante wird
als **Widerstand** bezeichnet:

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

Ohmsches Gesetz

Zur Erinnerung

Widerstand eines Leiters



$$\begin{aligned} I &\sim v \sim E = U/\ell \\ I &\sim Q \sim A \end{aligned}$$

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

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

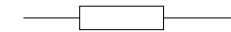
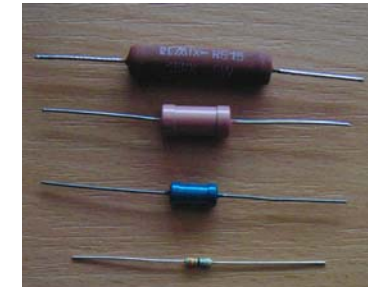
Einige spezifische Widerstandswerte:

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	Transforma-	
Aluminium	0,028	torenöl	$10^{15}-10^{16}$
Eisen	0,1	Porzellan	10^{18}
Wolfram	0,05	Quarzglass	$5 \cdot 10^{22}$
Konstantan	0,5		

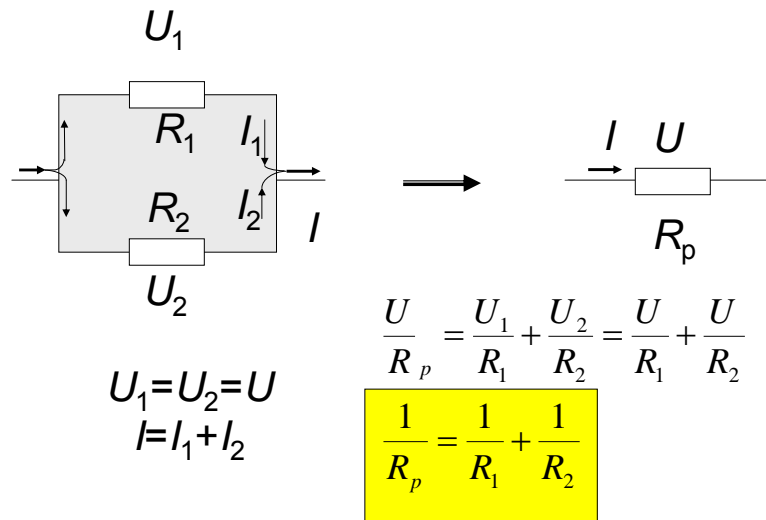
Spezifische Leitfähigkeit: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

Widerstand als physikalische Größe und Schaltelement

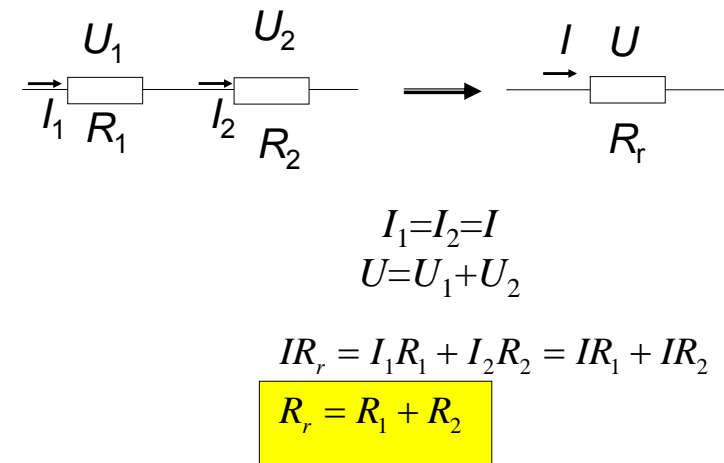
$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$



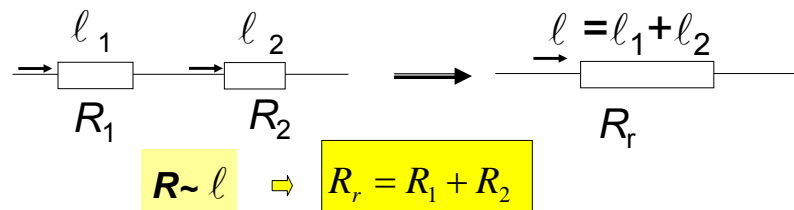
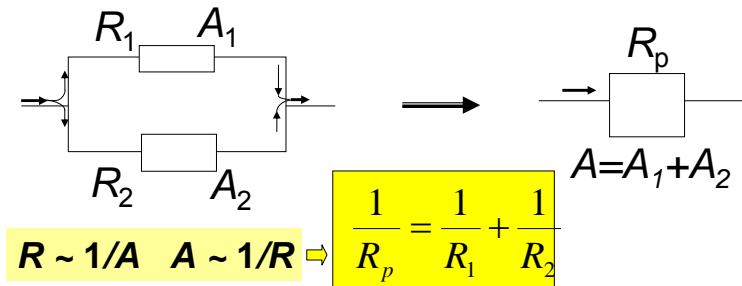
Parallelschaltung von Widerständen



Reihenschaltung von Widerständen



Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen



Elektrischer Stromkreis

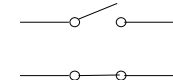
Elektrische Schaltelemente



Batterie



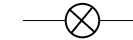
Widerstand



Schalter



Spannungsquelle

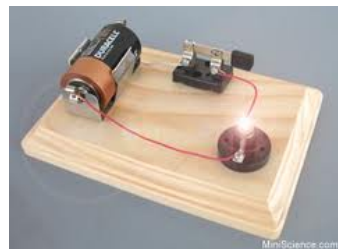
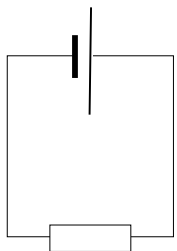


Lampe

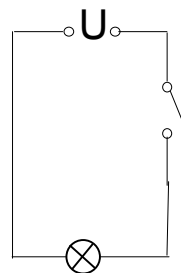


Kondensator

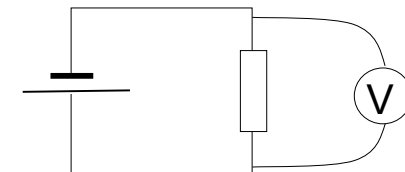
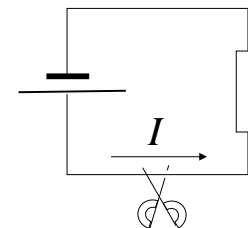
Einfachster Stromkreis



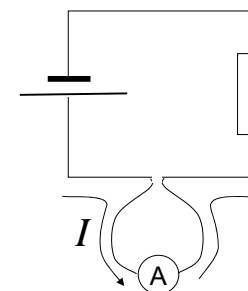
z.B.: Leselampe:



Strom- und Spannungsmessung



Spannungsmessgerät
in Parallelschaltung



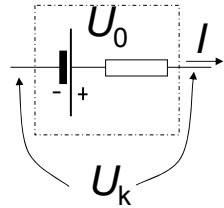
Strommessgerät in
Reihenschaltung

Ideale Spannungsquelle:

Spannung ist unabhängig der Stromstärke



Reelle Spannungsquelle: Innerer Widerstand



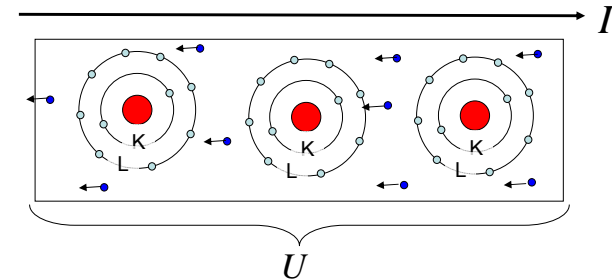
$$U_k = U_0 - IR_i$$

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

$$1W = 1V A$$



5-100 mW



50-100 W



20-40 W



1-2 kW

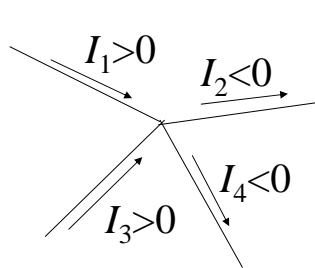


Zum Vergleich:

~100 W

Kirchoffsche Gesetze

1. Kirchhoff'sches Gesetz: Knotenregel

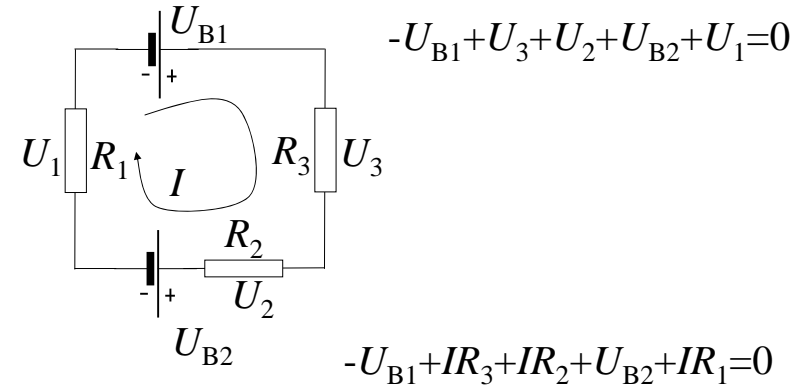


$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$



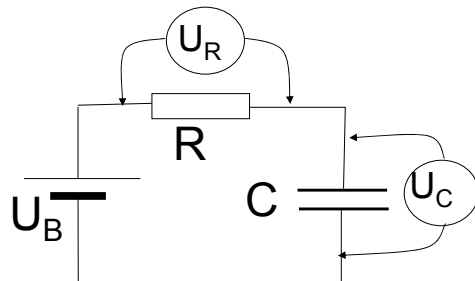
2. Kirchhoff'sches Gesetz: Maschenregel

Summe der Spannungen in einer Masche ist =0



RC Kreis

Kondensator in einem Stromkreis:

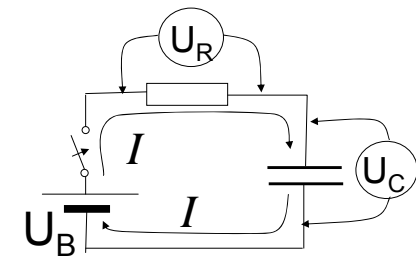


Im Gleichgewichtszustand: Kein Strom $I=0$
(Isolator zwischen den Platten!)

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

Aufladung des RC Kreises

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



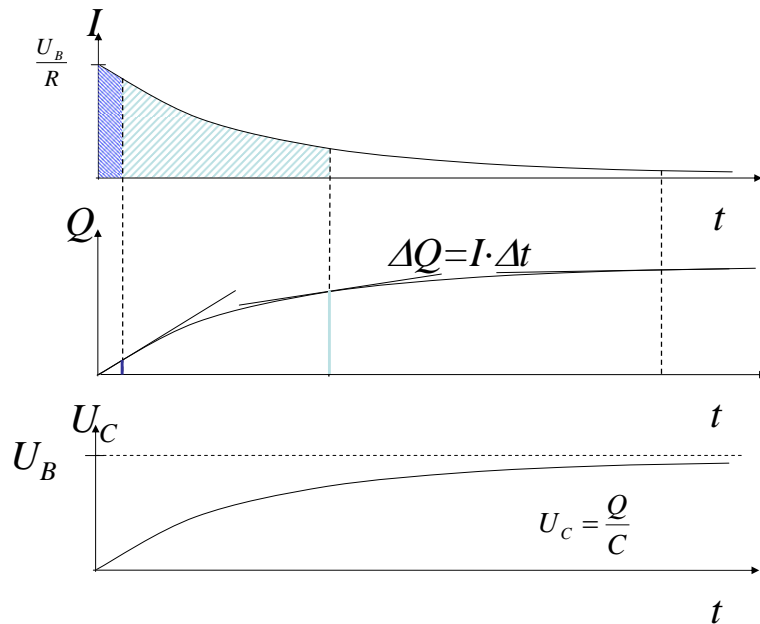
Es gilt zu jedem Zeitpunkt (t):

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

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

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:

$$U_C(0) = U_0$$

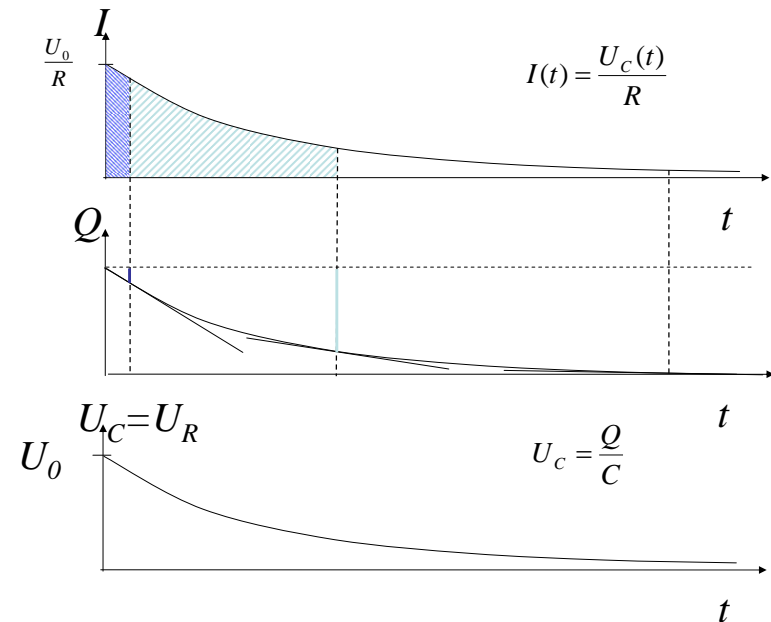
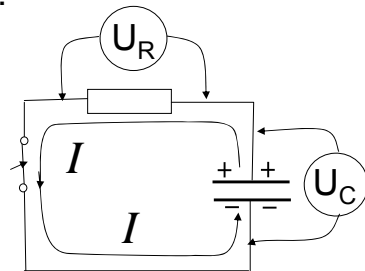
Maschenregel:

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

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

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

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



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

Änderungsgeschwindigkeit der Spannung (U_c) ist proportional zur U_c .

=> Exponentialfunktion!

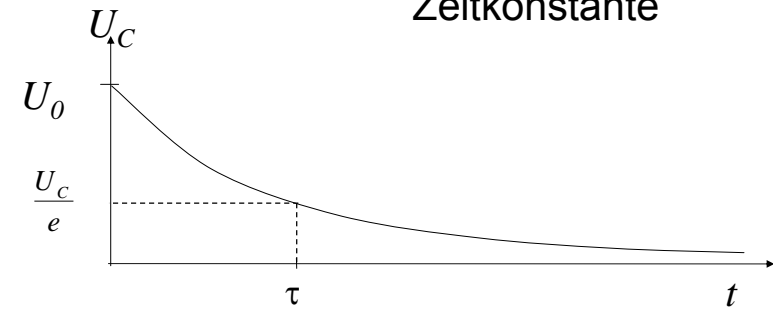
$$U_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

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

$$\tau = RC$$

Zeitkonstante

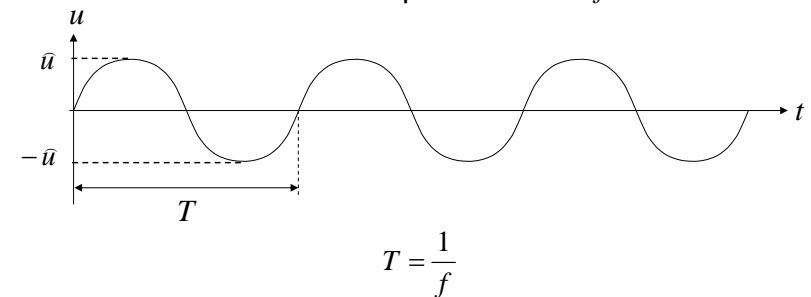


Wechselspannung

Wechselspannung Scheitelwert

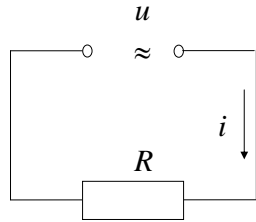
$$u(t) = \bar{u} \sin(\omega t)$$

$$\text{Kreisfrequenz: } \omega = 2\pi f$$



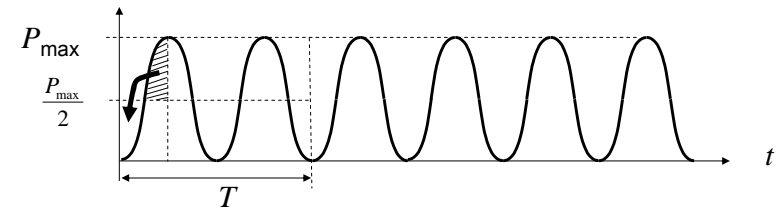
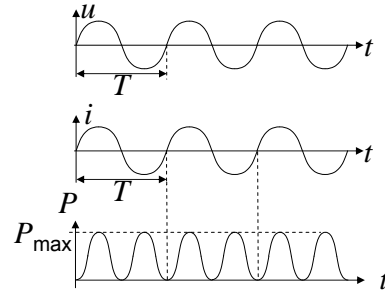
$$T = \frac{1}{f}$$

Wechselspannungskreis



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

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



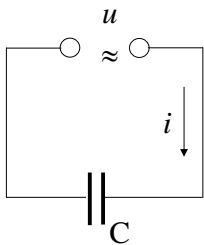
Durchschnittliche Leistung:

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

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

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

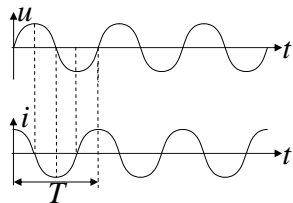
Kondensator im Wechselstromkreis



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

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

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



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

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

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

Kapazitiver Widerstand

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

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