

# Elektrizitätslehre II



Widerholung:

Elektrischer Strom

Strom = geordnete Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

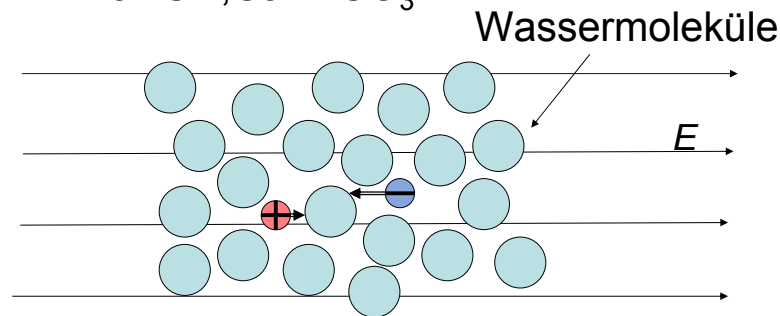
Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

Strom im Festkörper

Strom in Lösungen

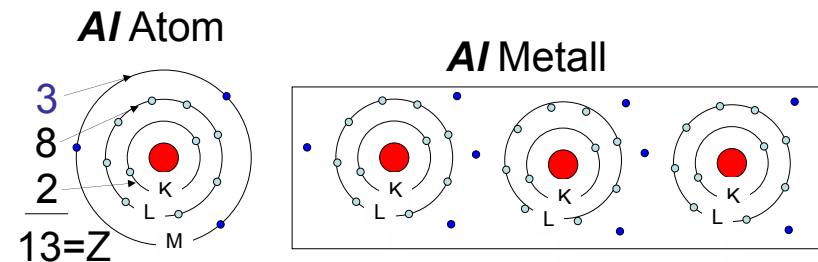
Elektrolyt: Ionen + und –  
z.B.  $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+} \text{CO}_3^{2-}$



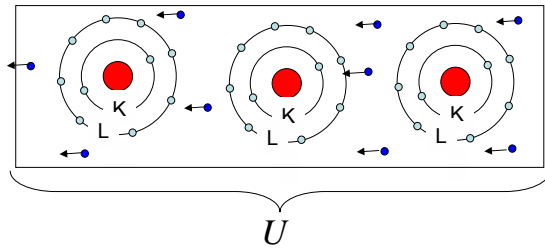
Elektrische Energie => Wärme  
+chemische Energie

Strom in Metalle

Metall: Feste Atomkerne mit  
geschlossenen Elektronenhüllen  
Die Elektronen der äußere 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  $\Delta t$  Zeit  
durchgeflossene  
Ladung

Einheit: Ampere (A)

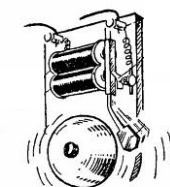
$$1A = 1C/1s$$

Konventionelle Stromrichtung: Bewegungs-  
richtung der positive Ladungen.

Wirkungen des Stromes

Wärmewirkung  
Chemische Wirkung  
Magnetische Wirkung

(Biologische Wirkung)  
(Lichtwirkung)



Bei Metallen gilt ein Zusammenhang zwischen 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

Bei Metallen gilt ein Zusammenhang zwischen der Spannung und Stromstärke:

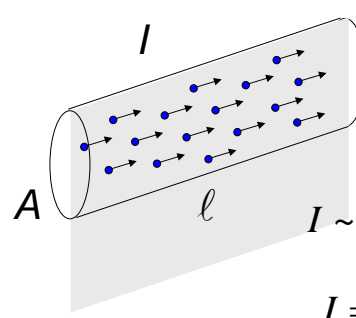
$$I \sim U$$

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

### Widerstand eines Leiters



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

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

$R \sim \frac{\ell}{A} \Rightarrow$

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

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

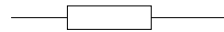
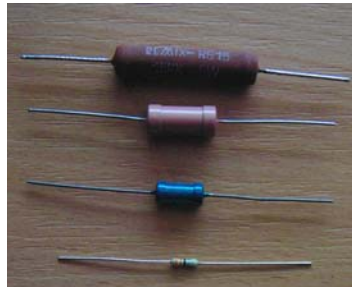
### Einige spezifische Widerstandswerte:

| Stoff      | $\rho$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) | Stoff           | $\rho$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) |
|------------|---|-----------------|---|
| Silber     | 0,016                                   | Kohlenstoff     | $\approx 35$                            |
| 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                                     |                 |   |

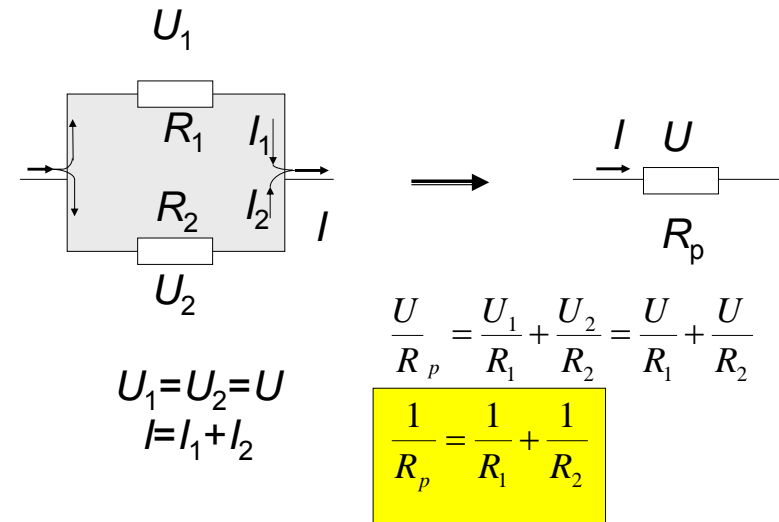
Spezifische Leitfähigkeit:  $\sigma = \frac{1}{\rho}$

## Widerstand als physikalische Größe und Schaltelement

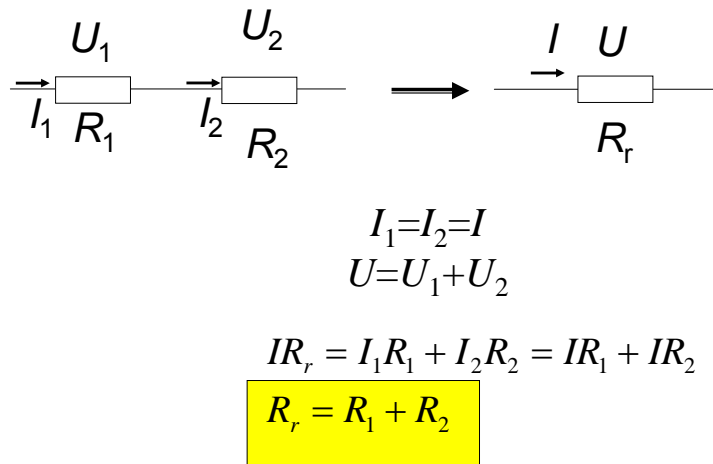
$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$



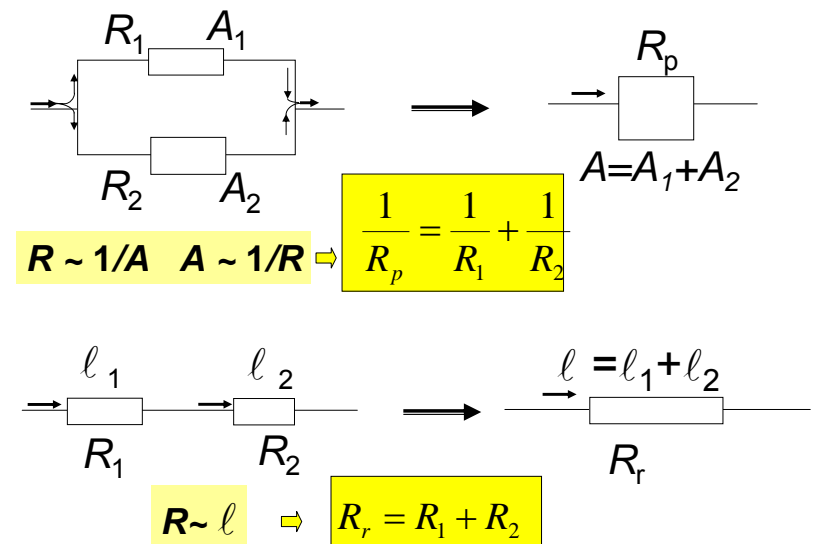
## Parallelschaltung von Widerständen



## Reihenschaltung von Widerständen



## Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen



## Elektrischer Stromkreis

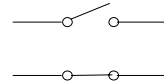
### Elektrische Schaltelemente



Batterie



Widerstand



Schalter



Spannungsquelle

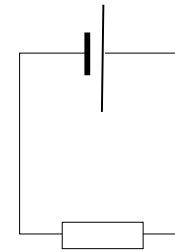


Lampe

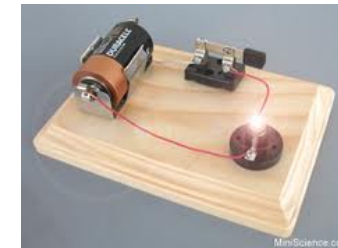
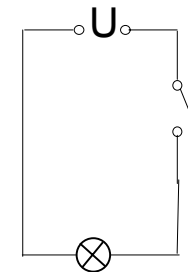


Kondensator

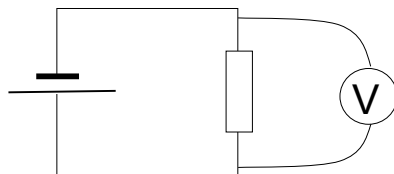
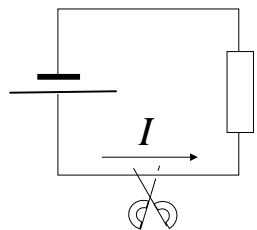
## Einfachster Stromkreis



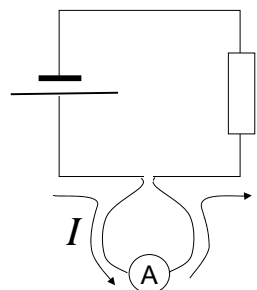
z.B.: Leselampe:



## Strom- und Spannungsmessung



Spannungsmessgerät  
in Parallelschaltung



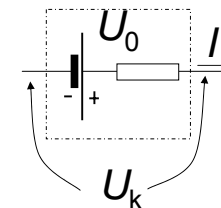
Strommessgerät in  
Reihenschaltung

## Ideale Spannungsquelle:

Spannung ist unabhängig der  
Stromstärke



## Reelle Spannungsquelle: Innerer Widerstand



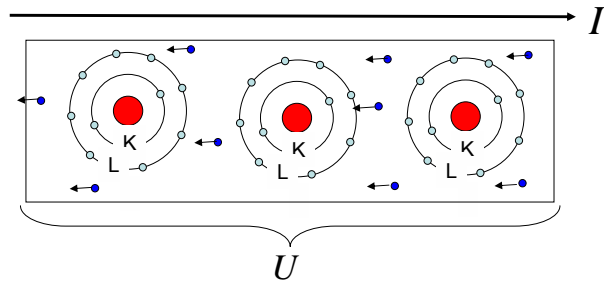
$$U_k = U_0 - IR_i$$

$U_0$ : 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:

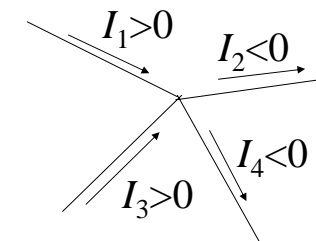
$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$$

Einheit: Watt

$$1W=1V A$$

## Kirchoffsche Gesetze

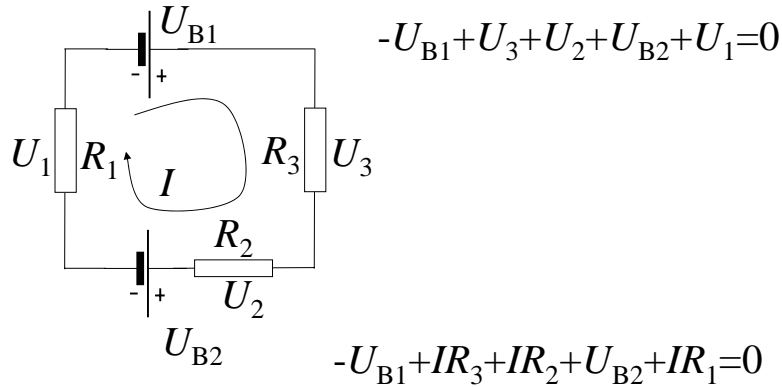
1. Kirchhoffsches Gesetz: Knotenregel



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

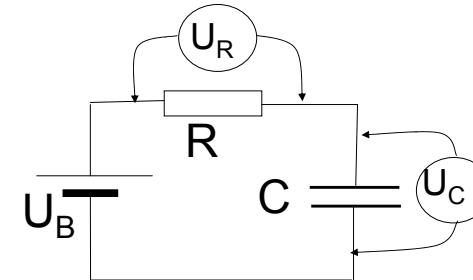
## 2. Kirchoffsches Gesetz: Maschenregel

Summe der Spannungen in einer Masche ist =0



## RC Kreis

Kondensator in einem Stromkreis:

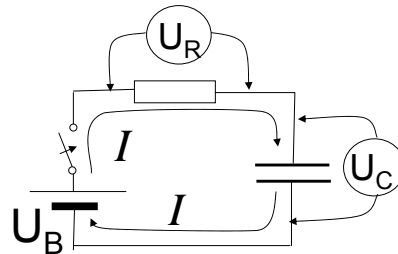


Im Gleichgewichtszustand: Kein Strom  $I=0$   
(Isolator zwischen den Platten!)

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

## Aufladung des RC Kreises

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



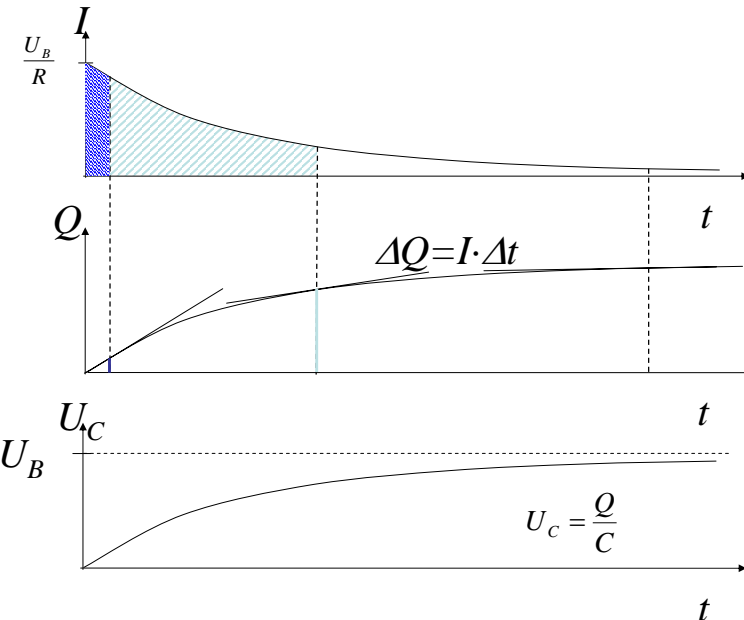
Es gilt zu jedem Zeitpunkt (t):

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

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

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:

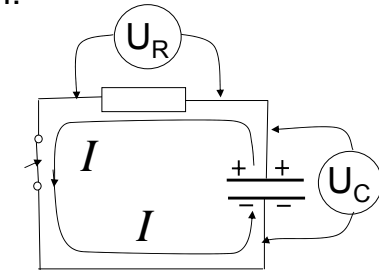
$$U_C(0) = U_0$$

Maschenregel:

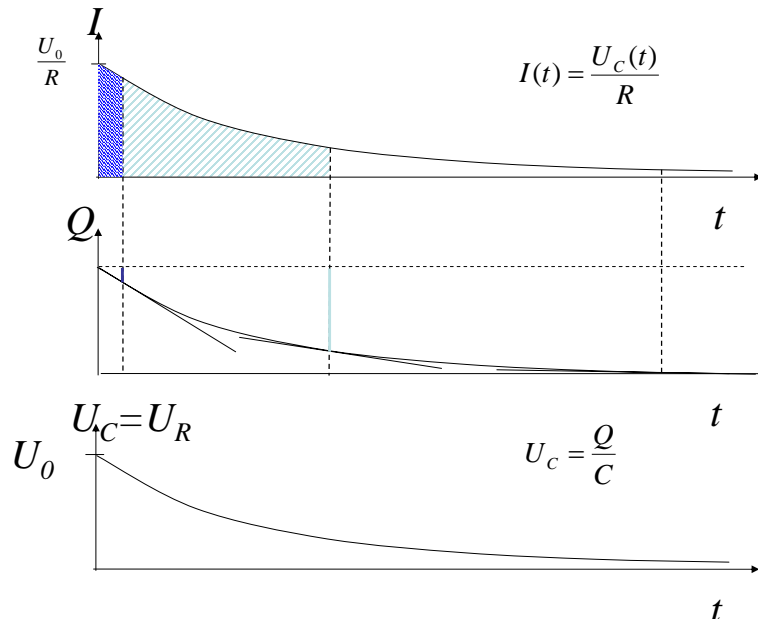
$$U_R(t) - U_C(t) = 0$$

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

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



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!

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

$$\tau = RC$$



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

$$\tau = RC$$

Zeitkonstante

