

# 4 Elektrizität und Magnetismus

## Elektrostatik:

▶ elektrische Ladung  $Q$ , Einheit Coulomb,  $1C = 1As$

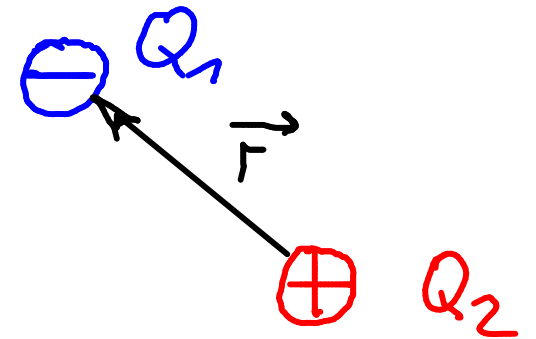
□ kann positiv oder negativ sein (unterscheidbar durch Kraftwirkung)

□ ist quantisiert in Einheiten der Elementarladung:  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} C$   
→  $Q = \pm n \cdot e$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$

□ zwischen Ladungen  $Q_1, Q_2$  im Abstand  $r$  wirkt elektr. Kraft

$$\vec{F}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}|^2} \cdot \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

Coulombsches Gesetz



mit  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$  (Dielektrizitätskonstante des Vakuums)

NB: □ Ladungserzeugung durch Ladungstrennung (→ Ladung bleibt erhalten)

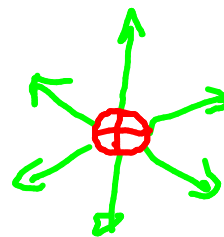
□ Ladungsträger: Elektron, Ionen (Anionen  $\hat{=}$  negativ geladen, Kationen  $\hat{=}$  positiv — " —)

□ elektr. Kräfte viel größer als Gravitationskraft  
→ Materie im wesentlichen elektr. neutral

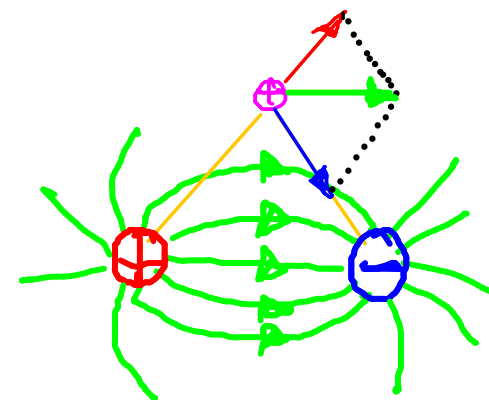
▶ Elektrisches Feld =  $\frac{\text{Kraft}}{\text{Ladung}}$ ,  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$  Einheit:  $\frac{V}{m}$   
Richtung  $\hat{=}$  Kraftrichtung auf positive Ladung

Versuch Feldlinienbilder:

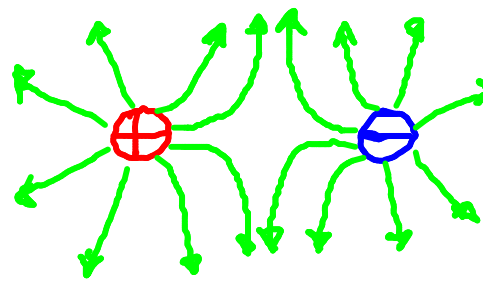
□ isolierte Ladung



□ ungleichnamige Ladungen (ziehen sich an)



- gleichnamige Ladungen  
(stoßsich ab)



## ■ Superpositionsprinzip

Gesamtes elektrisches Feld = Summe aller Einzelfelder

$$\vec{E}_{\text{ges}}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\vec{r}) = \vec{E}_1(\vec{r}) + \vec{E}_2(\vec{r}) + \dots$$

## ▶ Elektrisches Potential, elektr. Spannung

- elektr. Feld führt zu Kraft auf Ladung
- Bewegung von Ladung im elektr. Feld erfordert Arbeit

$$\Delta W = -\vec{F} \cdot \Delta \vec{s} = -QE \cdot \Delta s$$

→ elektr. Potential:  $\varphi(\vec{r}) = \frac{\Delta W}{Q} = -\vec{E} \cdot \vec{\Delta s} = \frac{E_{\text{pot}}}{Q}$

→ elektr. Spannung:  $U = \varphi(\vec{r}_2) - \varphi(\vec{r}_1)$  ist Potentialdifferenz  
Einheit: Volt,  $1V = 1 \frac{J}{C}$

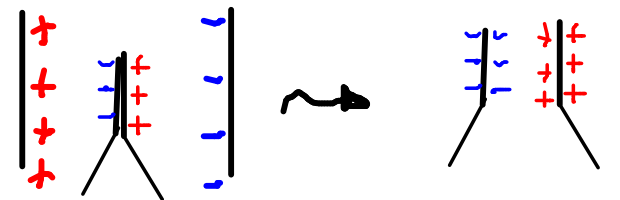
□ Arbeit, eine (Elementar)ladung  $Q$  gegen eine Spannung  $U$  zu bewegen:

$$\Delta W = Q \cdot \Delta U, \text{ Einheit: Elektronenvolt, eV}$$

$$1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$$

► Influenz: elektr. Feld führt zu Ladungsverschiebung  
→ dielektrische Verschiebung  $|\vec{D}| = \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \epsilon_0 \left( \vec{E} \right)_{\text{im Vakuum}}$

Versuch: Ladungstrennung im elektr. Feld





Polarisationsfeld  $\vec{P}$  überlagert dem elektr. Feld  $\vec{E}$

→ Gesamtfeld wird vermindert

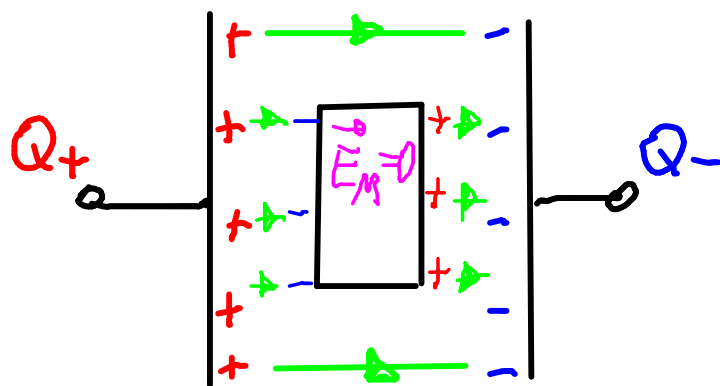
→ mehr Ladungen auf Platten möglich

→ Kapazität  $C$  steigt:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

relative Dielektrizitätskonstante  
(z.B. Wasser  $\epsilon_r = 80$ , Luft  $\epsilon_r \approx 1$ )

□ Influenzwirkung auf Metalle → Faradayscher Käfig



Influenzladung schirmt äußeres Feld  $\vec{E}$  ab,  
inneres Feld  $\vec{E}_M = 0$

## ● Elektrischer Strom

... kennzeichnet Bewegung von elektrisch geladenen Teilchen in (leitenden) Medien

▶ Stromstärke:  $I = \frac{\text{Ladungsmenge}}{\text{Zeitabschnitt}} \longrightarrow \boxed{I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}}$

Einheit: Ampère, A,  $1A = 1 \frac{C}{s}$

NB: □ technische Stromrichtung vom Pluspol zum Minuspol  
 □ Gleichstrom (DC: direct current)  
 □ Wechselstrom (AC: alternating current)

## ▶ elektrischer Widerstand R

■  $\boxed{\text{Ohmsches Gesetz: } \frac{U}{I} = \text{const.}}$

→  $\boxed{U = R \cdot I}$

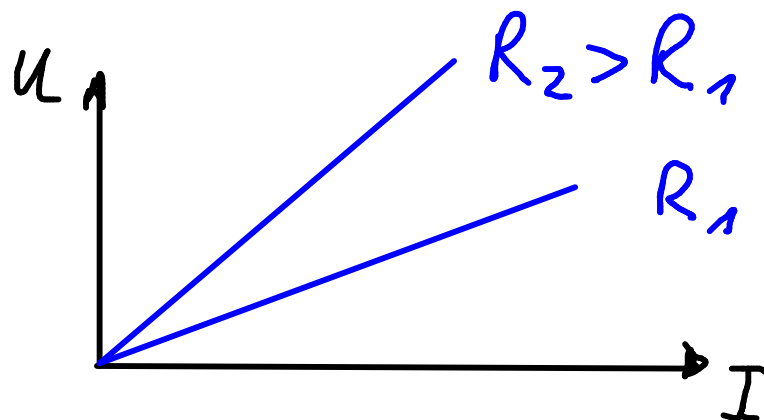
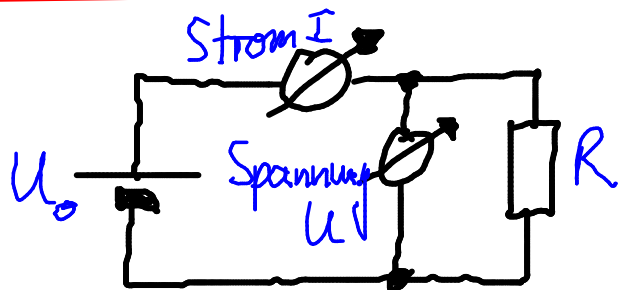
R: Ohmscher Widerstand  
 Einheit: Ohm,  $\Omega$ ,  $1\Omega = 1 \frac{V}{A}$

z.B. Widerstand eines Drahtes

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

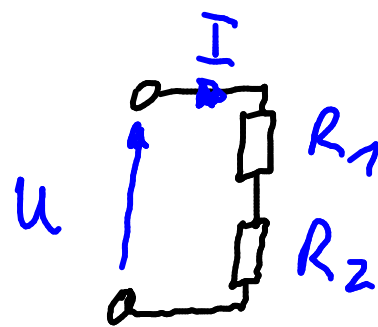
$\rho$ : spezifischer Widerstand  
 $l$ : Länge  
 $A$ : Querschnittsfläche

### ➤ elektrischer Stromkreis



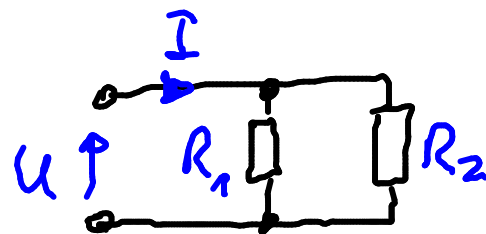
### ➤ Kirchhoffsche Regeln

□ Serien- / Reihenschaltung



$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$$

□ Parallelschaltung:



$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

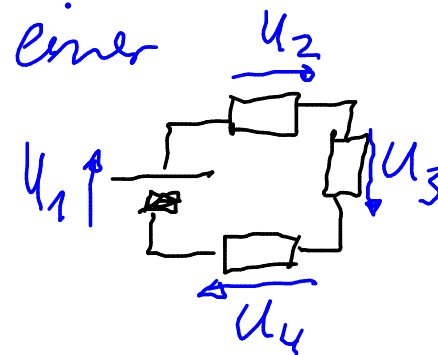


□ Physikalisch: Kirchhoffsche Regeln  $\leftrightarrow$  Erhaltungssätze

Maschenregel: Summe aller Spannungen  $U_i$  in einer Masche ist gleich Null

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$

( $\hat{=}$  Energieerhaltung)

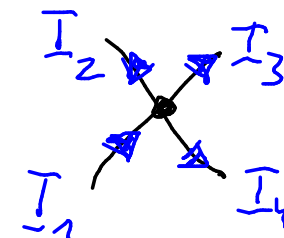


Knotenregel:

Summe aller Ströme  $I_i$  an einem Knoten ist gleich Null

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

( $\hat{=}$  Kontinuitätsgleichung)



## ► Elektrische Leistung

Arbeit  $W$ , um Ladungsmenge  $Q$  gegen Potentialdifferenz  $U = \vec{E} \cdot \vec{\Delta s}$  zu bewegen:

$$W = Q \cdot U$$

→ Leistung:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta(Q \cdot U)}{\Delta t} = U \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

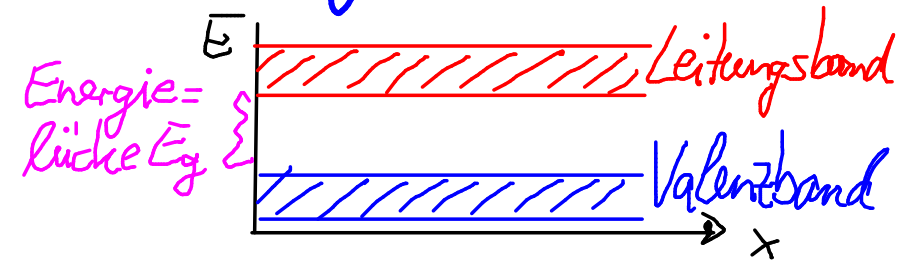
für ohmsche Verbraucher

Einheit Watt,  $W$ ,  $1W = 1 \frac{J}{s} = 1 V \cdot A$

► Ladungstransport  
elektrischer Strom erfordert frei bewegliche Ladungsträger

□ Festkörper: i.a. Elektronen im Leitungsband

Metalle: es befinden sich immer Elektronen im Leitungsband

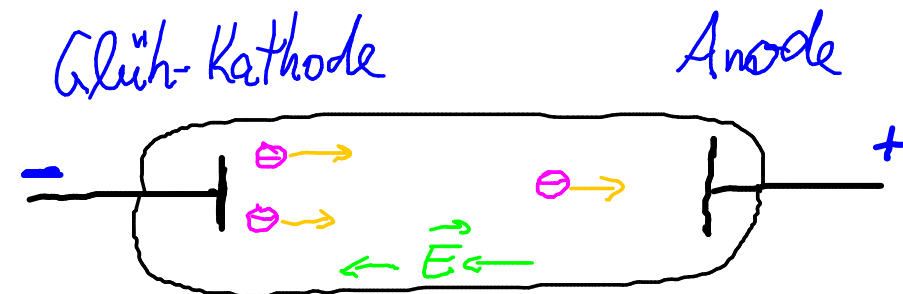


Halbleiter: typischerweise keine/wenige Elektronen im Leitungsband aber kleine Energielücke  $E_g \approx 1\text{eV}$

Isolatoren: alle Elektronen im Valenzband, Energielücke  $E_g > 3\text{eV}$

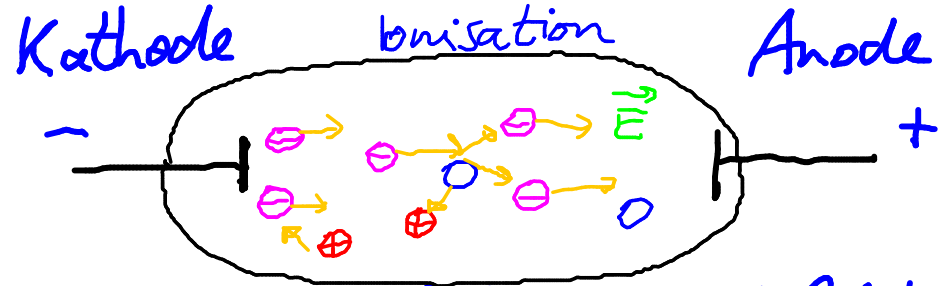
NB: Wärmeenergie kann Elektronen aus Valenzband ins Leitungsband heben  
→ Halbleiter/Isolatoren werden leitfähig

□ Vakuum:



Glühemission von Elektronen aus Kathode: Leitung im Vakuum

□ Gas:



Elektronen und Ionen werden im elektrischen Feld beschleunigt  
Elektronen können durch Stöße Gasteilchen ionisieren

□ Flüssigkeiten:

Elektrolyse: Zerlegung eines Stoffes durch Stromfluss  
Elektrolyt: Flüssigkeit, die den elektrischen Strom leitet

Ladungsträger: positive und negative Ionen

Faraday'sche Gesetze: Zusammenhang zwischen elektrischem Strom durch Elektrolyten und abgeschiedenen Stoffmengen auf Elektroden  
1. Abgeschiedene Masse ist proportional zur transportierten Ladung  $Q$

$$m = \overset{\text{Ä}}{\text{Ä}} \cdot Q, \quad \text{Ä: elektrochemisches Äquivalent}$$

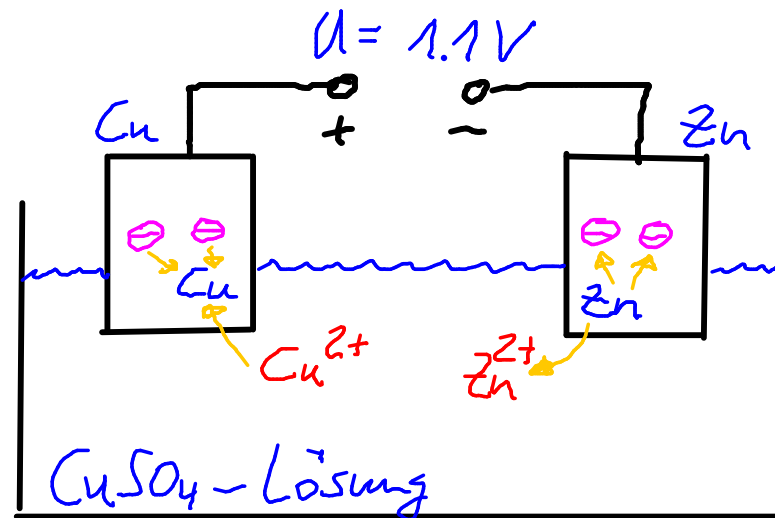
$$\rightarrow m = \frac{M_a}{z} \cdot \frac{1}{F} \cdot Q$$

$M_a$ : Molmasse  
 $z$ : Ladungszahl der Ionen

mit  $F = e \cdot N_A = 96485.338 \frac{C}{mol}$  Faraday Konstante

$$2. \frac{m_1}{m_2} = \frac{\dot{A}_1}{\dot{A}_2}$$

## ► Galvanische Elemente



aus Metall-Elektrode lösen  
sich Metallionen im Elektrolyten

→ galvanisches Potential ( $\hat{=}$  Spannung) zwischen Elektrode und Elektrolyt

galvanisches Potential ist Materialeigenschaft: elektrochemische Spannungsreihe

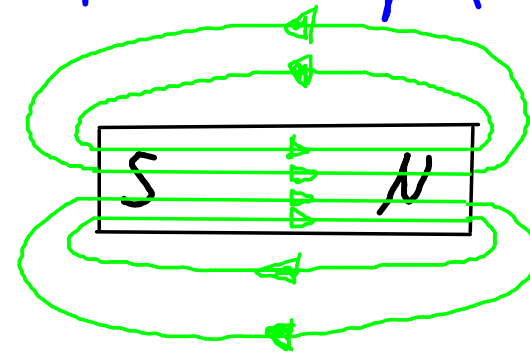
z.B.: Gold	$Au^{3+}$	+1.40 V	↑ edle ----- ↓ unedle	Metalle
Quecksilber	$Hg^{2+}$	+0.80 V		
Kupfer	$Cu^{2+}$	+0.34 V		
Wasserstoff	$H^+$	0.00 V		
Zink	$Zn^{2+}$	-0.76 V		
Natrium	$Na^+$	-2.71 V		

⇒ Cu Zn - Galvanisches Element:  $+0.34V - (-0.76V) = 1.10V$

# • Magnetische Felder

beschreibbar wie elektrische Felder, aber

□ keine magnetische Ladungen, nur Dipole



⇒ keine magnetischen Monopole  
Magnetfeldlinien immer geschlossen  
Nord- und Südpole treten immer gemeinsam auf

□ magnetische Flussdichte  $\vec{B}$ , Einheit Tesla,  $1\text{T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}}$   
veraltet: Gauss,  $1\text{Gauss} \hat{=} 10^{-4}\text{T}$

□ Magnetfeld  $\vec{H}$ , Einheit  $\frac{\text{A}}{\text{m}}$ ,  $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$  im Vakuum  
mit  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$