

Elektrizitätslehre



Ladung: eine wesentliche Eigenschaft der Materie
(wie z.B. die Masse)

Elementarteilchen:

Proton	Neutron	Elektron
+	0	-

Elementarladung: Ladung des Protons
Das Elektron hat -1 Elementarladung.

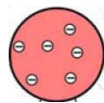
SI Einheit der Ladung ist **Coulomb (C)**
1 Elementarladung = $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Zur Erinnerung

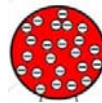
Wie groß ist die Ladung von einem Mol Elektronen? (Faraday Konstante)

geladene Körper = Makroskopische Ladungen

Positive Ladung: Elektronenmangel



Negative Ladung: Elektronenüberschuss



Zur Erinnerung

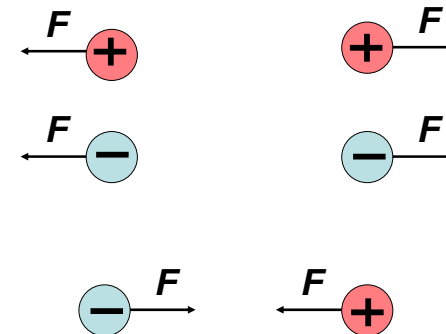
Eine der elektrischen Grundeigenschaften der Körper:

Leiter: bewegbare Ladungen (z.B. Metalle)

Isolator: unbewegbare Ladungen (z.B. Kunststoff)

Wechselwirkung zwischen den Ladungen

Qualitativ:



Zur Erinnerung

Bemerkung: Newton III !

Wechselwirkung zwischen den Ladungen

Quantitativ: die Kraft zwischen der Ladungen Q_1 und Q_2 , die voneinander im Abstand r liegen beträgt:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad \text{oder} \quad F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ϵ_0 = elektrische Feldkonstante

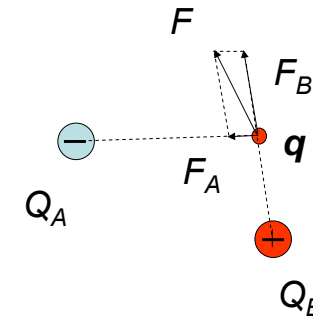
$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Zur Erinnerung

Mehrere Ladungen

Die Kräfte addieren sich als Vektorgößen.



Zur Erinnerung

Elektrische Feldstärke

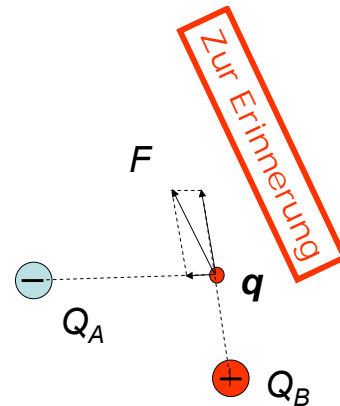
Probeladung q

Resultierende Kraft F

Alle Kräfte sind proportional
Zur q . $\Rightarrow F/q$ hängt nur von
der Größe und Anordnung der
Ladungen an, die auf q
mit der Kraft F wirken.

Elektrische Feldstärke
(Vektorgröße, Ortabhängig)

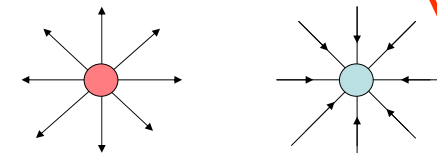
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left[\frac{N}{C} \right]$$



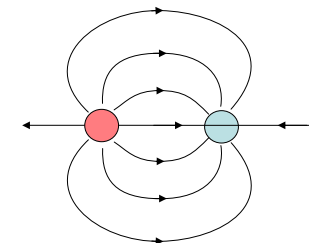
Zur Erinnerung

Typische Ladungsanordnungen:

Punktladung:
(Radialfeld)



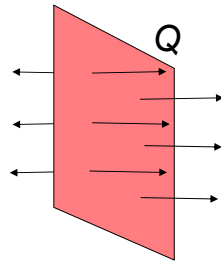
Dipol



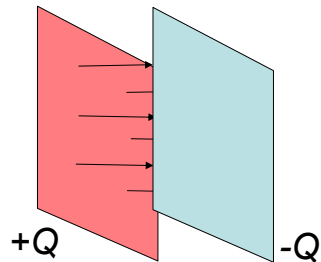
Zur Erinnerung

Typische Ladungsanordnungen:

Geladene Ebene



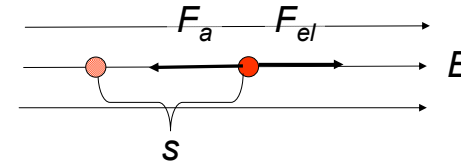
Kondensator
(Homogenes Feld)



Zur Erinnerung

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

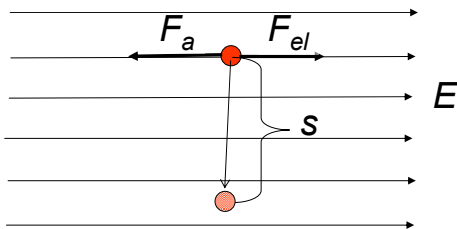
Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s = |\vec{F}_{el}| \cdot s = q|\vec{E}|s = qEs$$

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

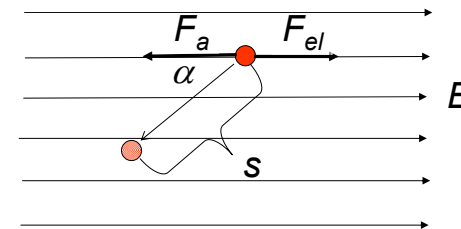
Bewegung einer Ladung senkrecht zu den Feldlinien:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s \cdot \cos \alpha = 0$$

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

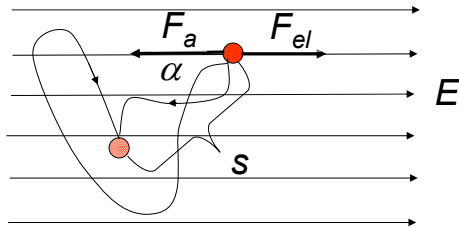
Bewegung einer Ladung schräg zu den Feldlinien:



$$W = |\vec{F}_a| \cdot s \cdot \cos \alpha = qEs \cdot \cos \alpha$$

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung im elektrischen Feld:



W ist unabhängig vom Weg!

Elektrisches Potential

Man braucht $W_{0 \rightarrow i}$ Energie um eine q Probeladung aus einem P_0 Bezugspunkt zum Punkt P_i zu bringen.

$\frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$ ist unabhängig von der Probeladung und vom Weg!

Elektrisches Potential:
Einheit: Volt [V]

$$\varphi_i = \frac{W_{0 \rightarrow i}}{q} \quad 1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$$



Spannung

Elektrische Spannung zwischen zwei Punkten P_1 P_2
(Spannung des Punktes P_2 gegenüber P_1)

$$U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} \quad \text{Einheit: Volt [V]}$$



Bemerkungen:

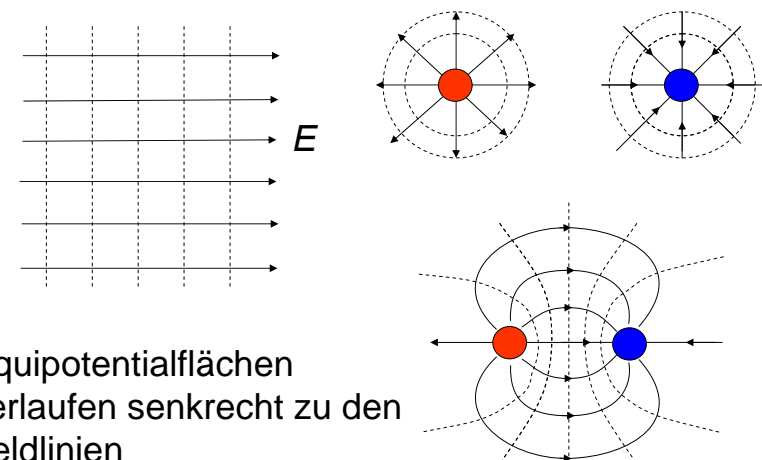
$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

Wenn $U_{21} > 0 \Rightarrow P_2$ ist „positiver“ als P_1

$$U_{21} = -U_{12}$$

In homogenem Feld:
$$U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} = \frac{q|\vec{E}|s}{q} = Es$$

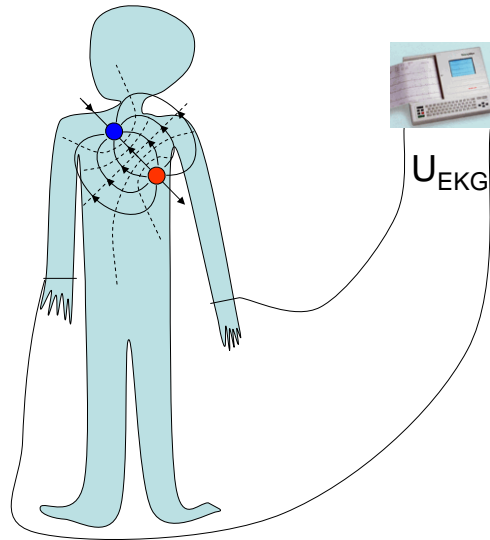
Äquipotentialflächen



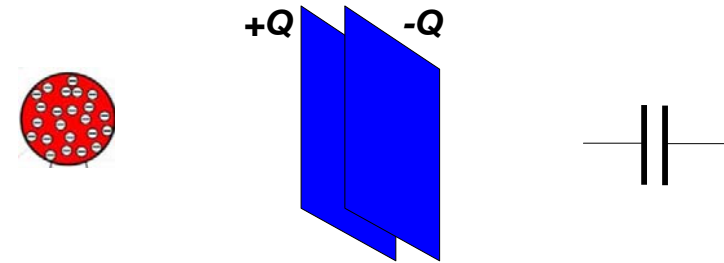
Äquipotentialflächen
verlaufen senkrecht zu den
Feldlinien

Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!

Medizinische Anwendung: EKG



Ladungsspeicherung



Kondensator

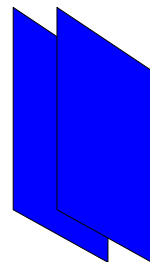
Kapazität des Kondensators

$Q = C U$ Ladungsspeicherungsfähigkeit

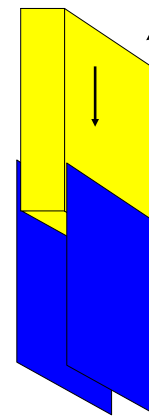
$C = \frac{Q}{U}$ Einheit: Farad, F $1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}}$

Für Plattenkondensator gilt:

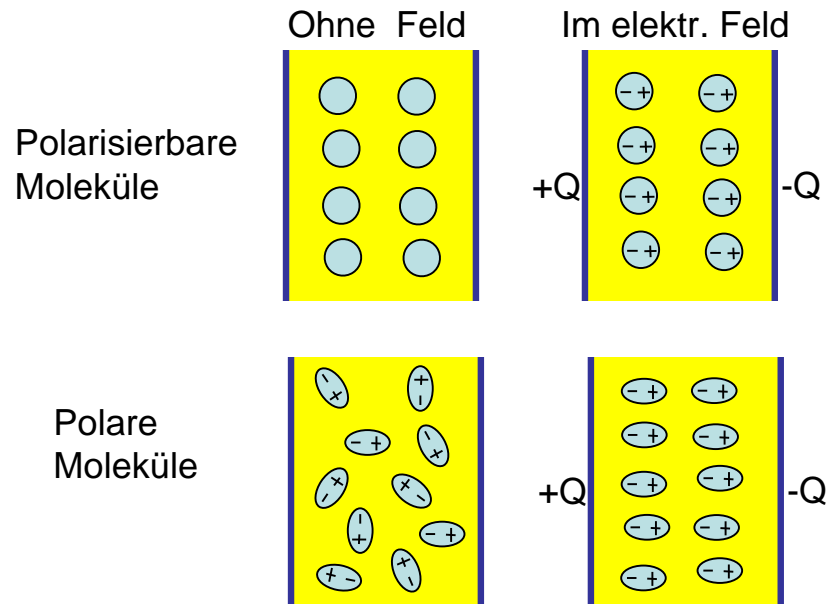
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Dielektrikum zwischen
Kondensatorplatten



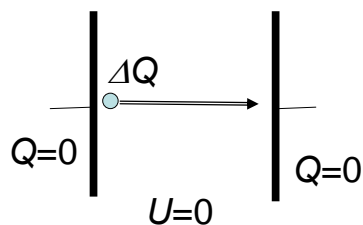
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$



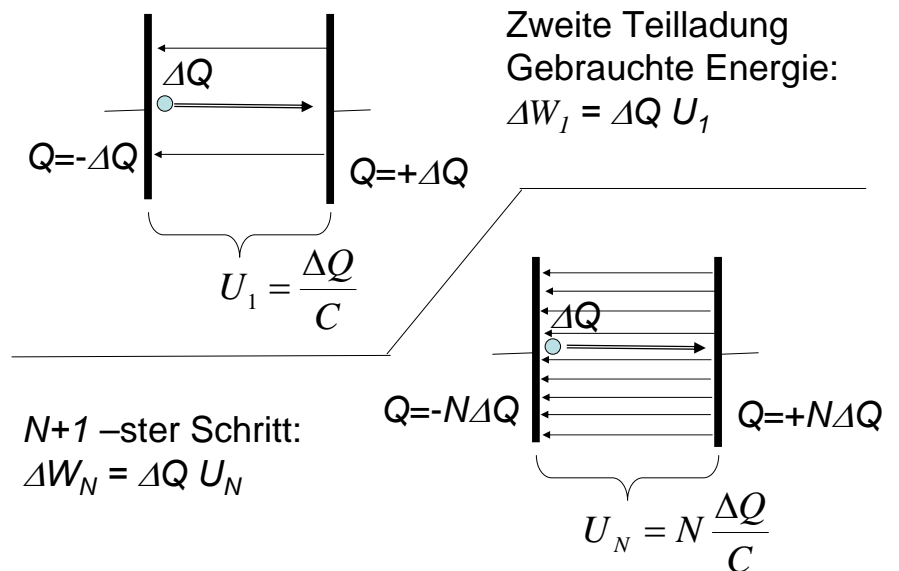
Energiespeicherung im Kondensator

Welche Energie ist nötig um einen Kondensator mit Q Ladung an U Spannung aufzuladen?

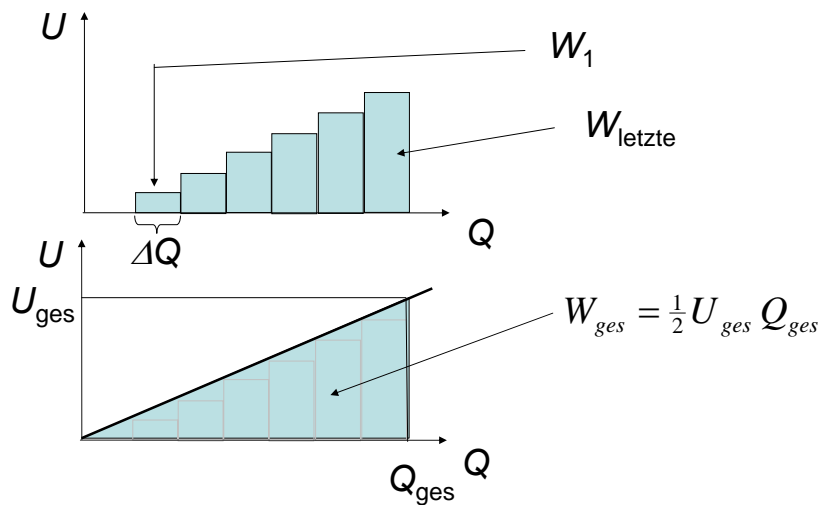
Aufladung in kleinen Schritten:
 ΔQ Teilladung wird von einer Platte zur anderen Platte gebracht



Erste Teilladung:
 Ohne Energie!
 Kein Feld !



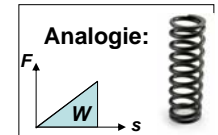
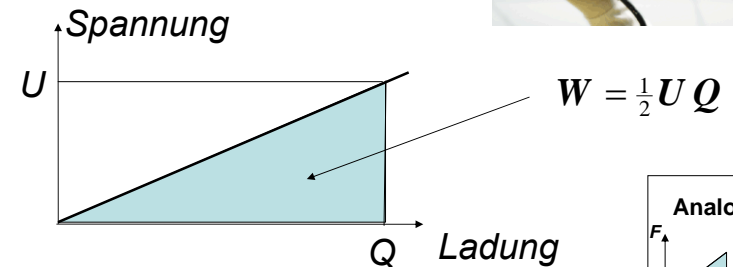
Graphische Darstellung der Aufladungsenergie



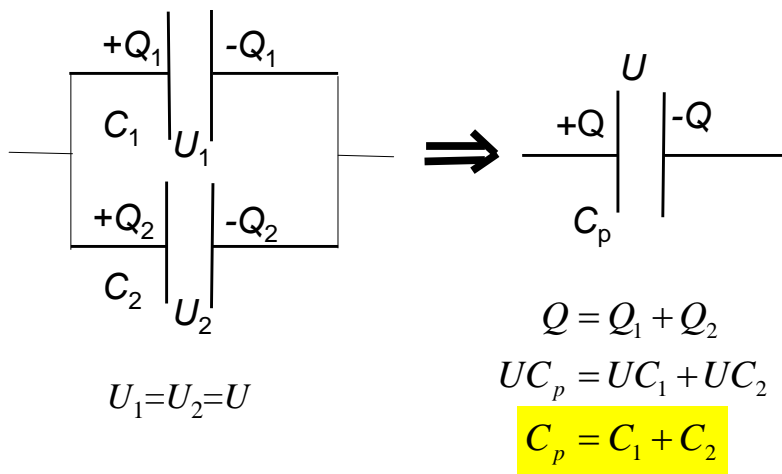
Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

$$W = \frac{1}{2} U Q = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

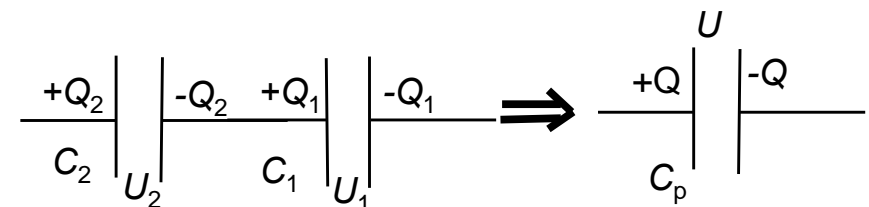
$(Q = UC)$



Parallelschaltung von Kondensatoren:



Reihenschaltung von Kondensatoren:



$$Q_1 - Q_2 = 0$$

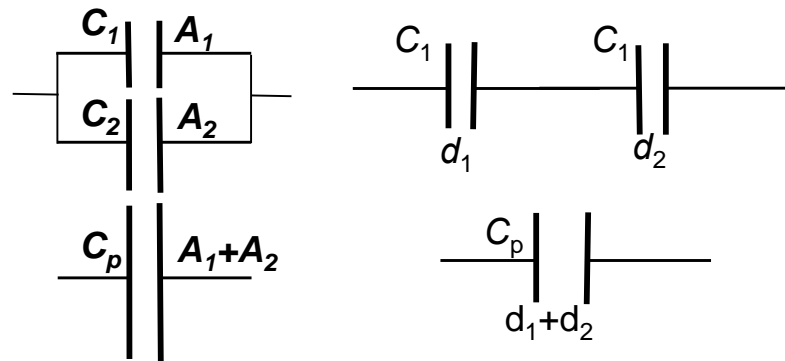
$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{Q}{C_r} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Parallel und Reihenschaltung von Kondensatoren:



$C \sim A$

$$C_p = C_1 + C_2$$

$C \sim 1/d \quad d \sim 1/C$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Parallel- und Reihenschaltung von mehreren Kondensatoren:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

$$\frac{1}{C_r} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$



Elektrischer Strom

Elektrischer Strom

Strom = Bewegung der Ladungen

Strom im Vakuum

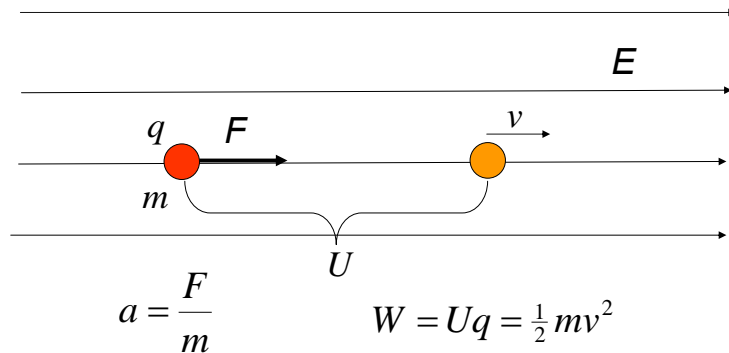
Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

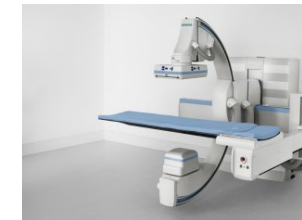
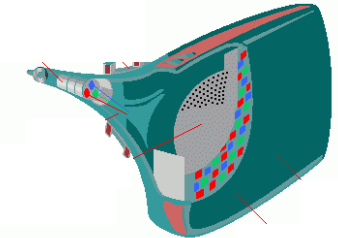
Strom im Festkörper

Strom im Vakuum:

Freie Ladungsträger werden im elektrischen Feld beschleunigt :

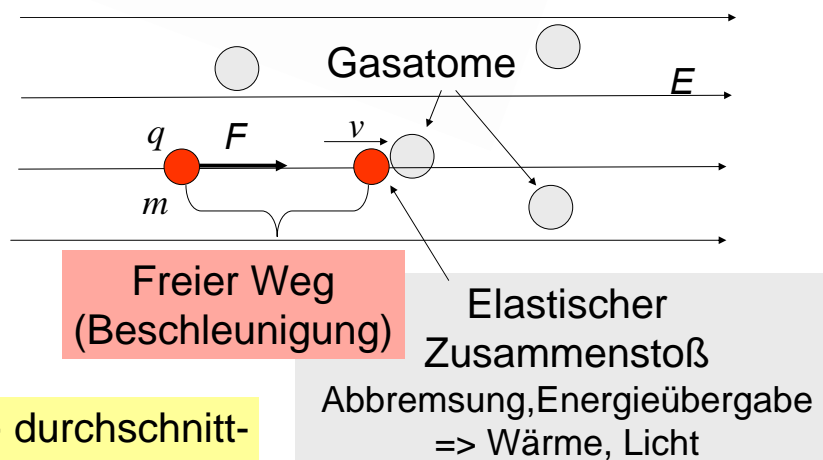


Elektrische Energie => mechanische Energie



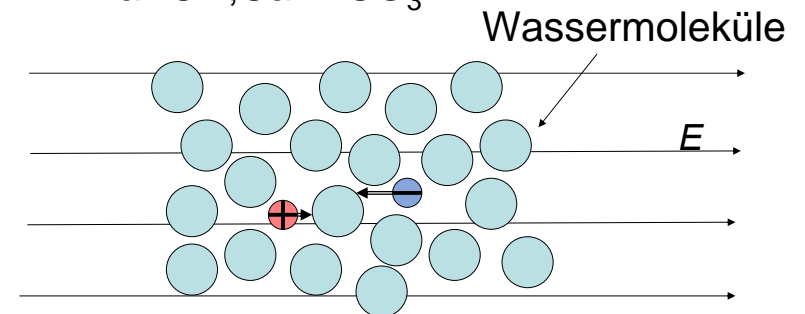
Strom im Gas

Ladungsträger: Ionen und Elektronen



Strom in Lösungen

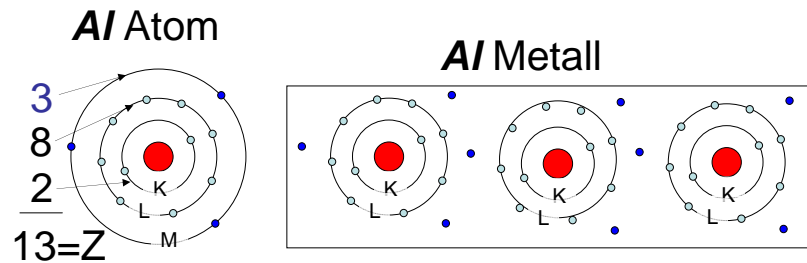
Elektrolyt: Ionen + und -
z.B. $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} \text{CO}_3^{2-}$



Elektrische Energie => Wärme
+chemische Energie

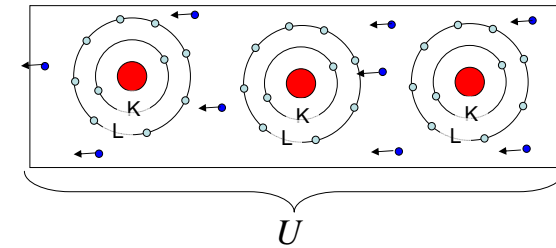
Strom in Metalle

Metall: Feste Atomkerne mit
geschlossenen Elektronenhüllen
Die Elektronen der 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)

1A = 1C/1s

Konventionelle Stromrichtung: Bewegungs-
richtung der positive Ladungen.

Wirkungen des Stromes

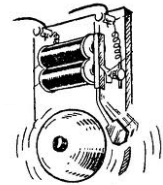
Wärmewirkung

Chemische Wirkung

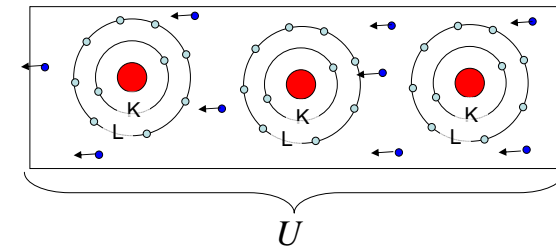
Magnetische Wirkung

(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

