

Elektrizitätslehre



Warum?

- Elektrische Erscheinungen in lebender Materie: Ruhepotential, Aktionspotential, EKG, EMG...



- Elektrische Geräte in der ärztlichen Praxis: EKG, EMG, Ultraschall, Defibrillator, CT, NMR, Wärmetherapie...



Logik des Aufbaues des Lehrstoffes der Elektrizitätslehre

- **Ladungen**: ruhende Ladungen verursachen **elektrisches Feld**
- im elektrischen Feld herrscht **Spannung** zwischen zwei Punkten
- Spannung bewegt die Ladungen:
- die bewegte Ladung bildet einen **Strom**
- Strom verursacht ein **magnetisches Feld** (magnetische Kraft)
- Änderung des Magnetfeldes verursacht **induzierten Strom**
- schwingende elektrische und magnetische Felder geben eine **elektromagnetische Welle**

Elektrische Erscheinungen

Reibungselektrizität



Entladung



Elektrische Geräte

In Haushalt

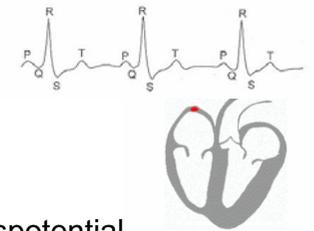
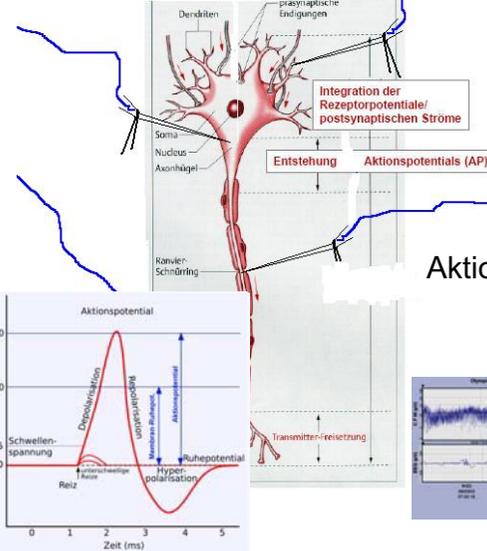


In Medizin

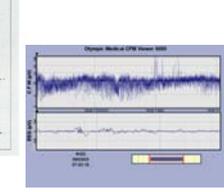


Bioelektrische Erscheinungen

Aufbau eines multipolaren Neurons



Aktionspotential



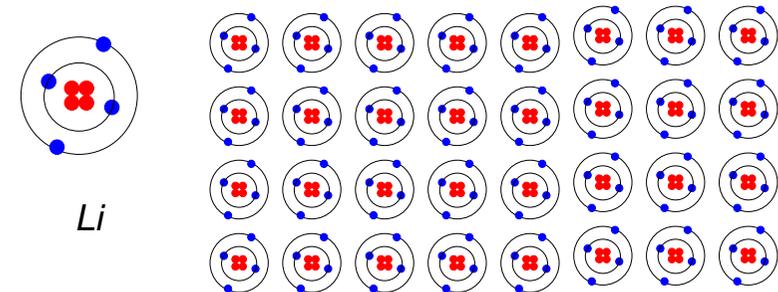
Ladung: eine wesentliche Eigenschaft der Materie (wie z.B. die Masse)

Elementarteilchen:
 Proton Neutron Elektron
 + 0 -

Elementarladung: Ladung des Protons
 Das Elektron hat -1 Elementarladung.
SI Einheit der Ladung ist **Coulomb (C)**
 1 Elementarladung = $1.6 \cdot 10^{-19}$ C

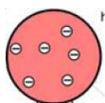
Wie groß ist die Ladung von einem Mol Elektronen? (Faraday Konstante)

Makroskopische Objekte sind im Grundzustand neutral: gleich viele positive und negative Ladungen.

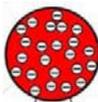


geladene Körper = Makroskopische Ladungen

Positive Ladung: Elektronenmangel

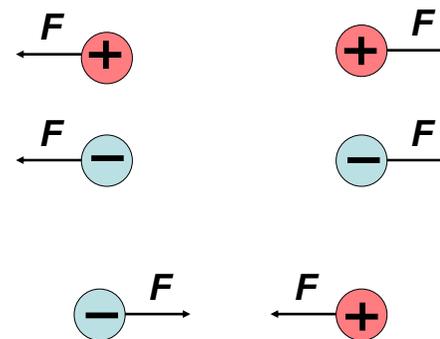


Negative Ladung: Elektronenüberschuss



Wechselwirkung zwischen den Ladungen

Qualitativ:



Bemerkung: Newton III !

Eine der elektrischen Grundeigenschaften der Körper:

Leiter: bewegbare Ladungen (z.B. Metalle)

Isolator: unbewegbare Ladungen (z.B. Kunststoff)

Wechselwirkung zwischen den Ladungen

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

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

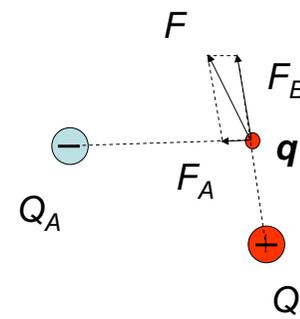
ϵ_0 = elektrische Feldkonstante

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

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

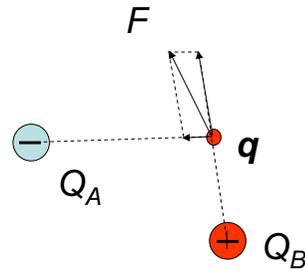
Mehrere Ladungen

Die Kräfte addieren sich als Vektorgrößen.



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.

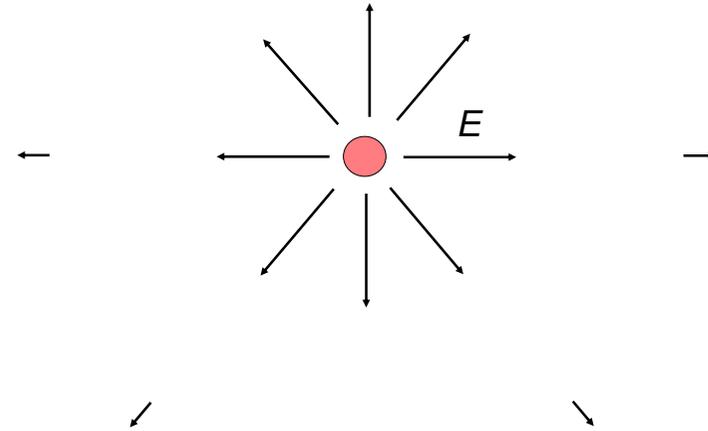


Elektrische Feldstärke
 (Vektorgroße, Ortabhängig)

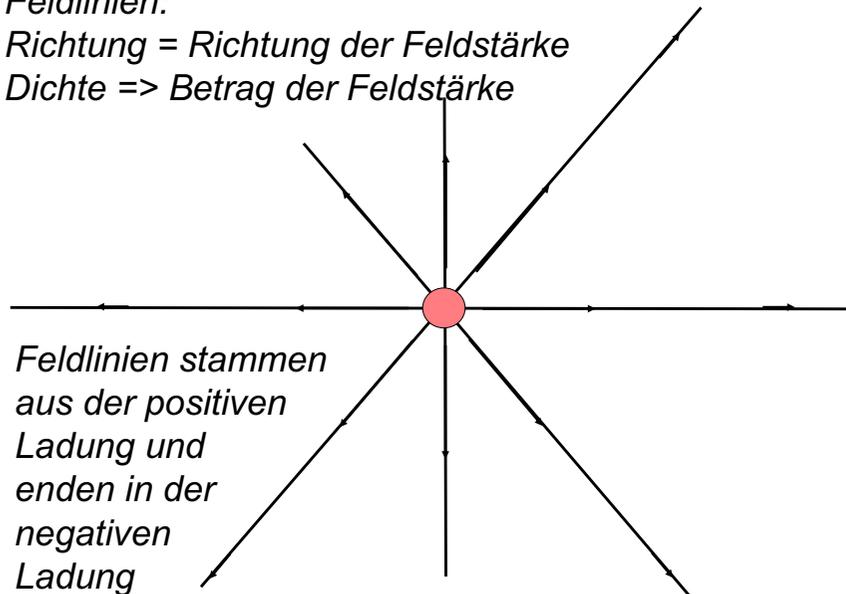
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left[\frac{N}{C} \right]$$

Charakterisierung des elektrischen Feldes mit der
 Feldstärke und seiner Veranschaulichung mit Hilfe
 der Feldlinien

Elektrisches Feld der Punktladung:



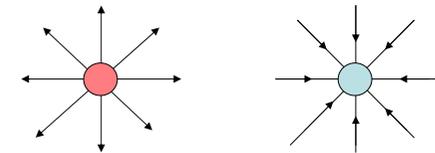
Feldlinien:
 Richtung = Richtung der Feldstärke
 Dichte \Rightarrow Betrag der Feldstärke



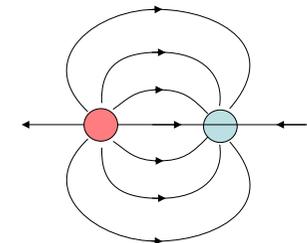
Feldlinien stammen
 aus der positiven
 Ladung und
 enden in der
 negativen
 Ladung

Typische Ladungsanordnungen:

Punktladung:
 (Radialfeld)

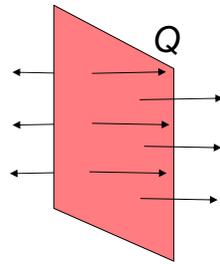


Dipol

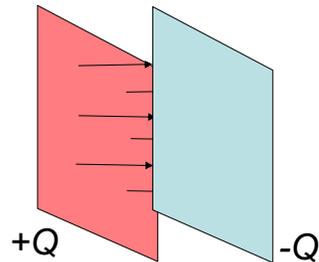


Typische Ladungsanordnungen:

Geladene Ebene

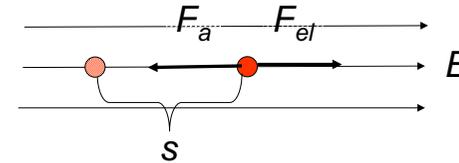


Kondensator
(Homogenes Feld)



Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

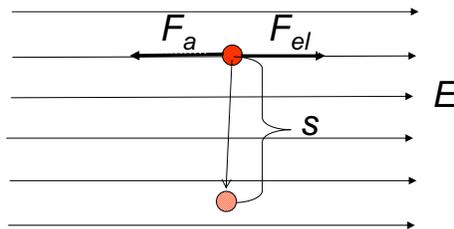
Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:



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

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

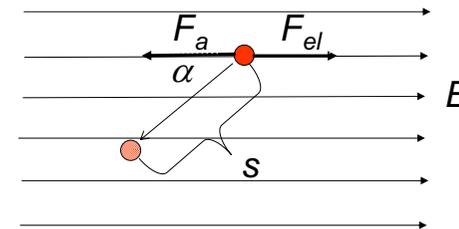
Bewegung einer Ladung senkrecht zu den Feldlinien:



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

Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

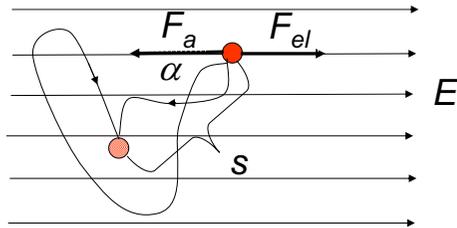
Bewegung einer Ladung schräg zu den Feldlinien:



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

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:

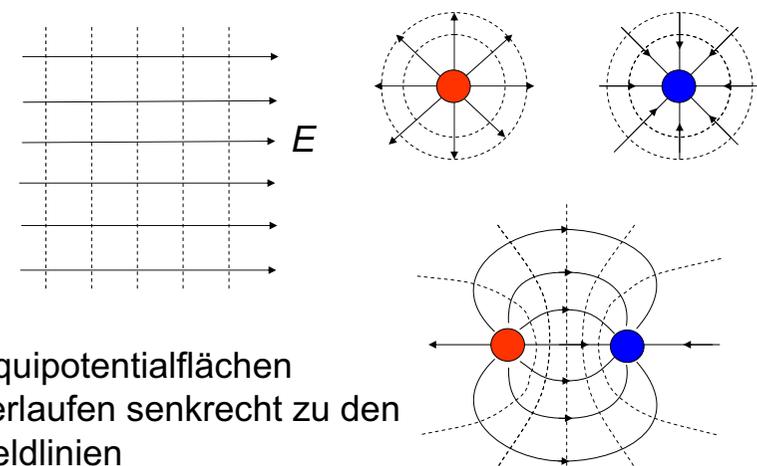
$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

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

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

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

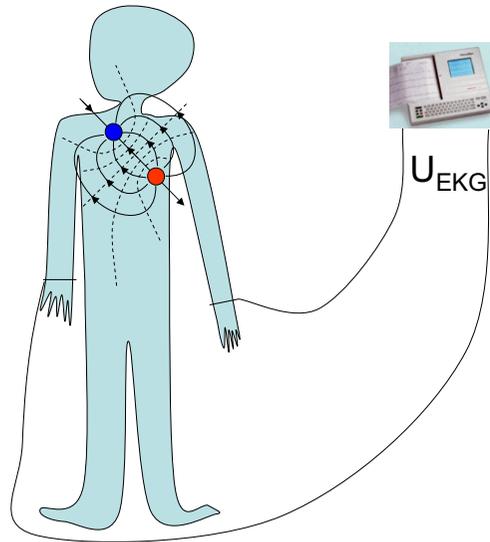
Äquipotentialflächen



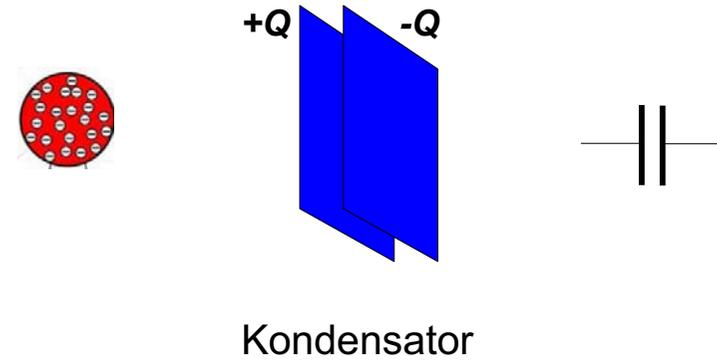
Äquipotentialflächen verlaufen senkrecht zu den Feldlinien

Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!

Medizinische Anwendung: EKG



Ladungsspeicherung



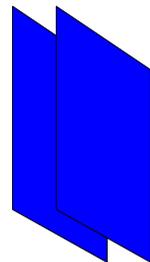
Kapazität des Kondensators

$Q = C U$ Ladungsspeicherungsfähigkeit

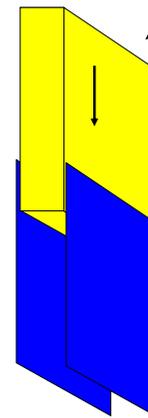
$C = \frac{Q}{U}$ Einheit: Farad, F $1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}}$

Für Plattenkondensator gilt:

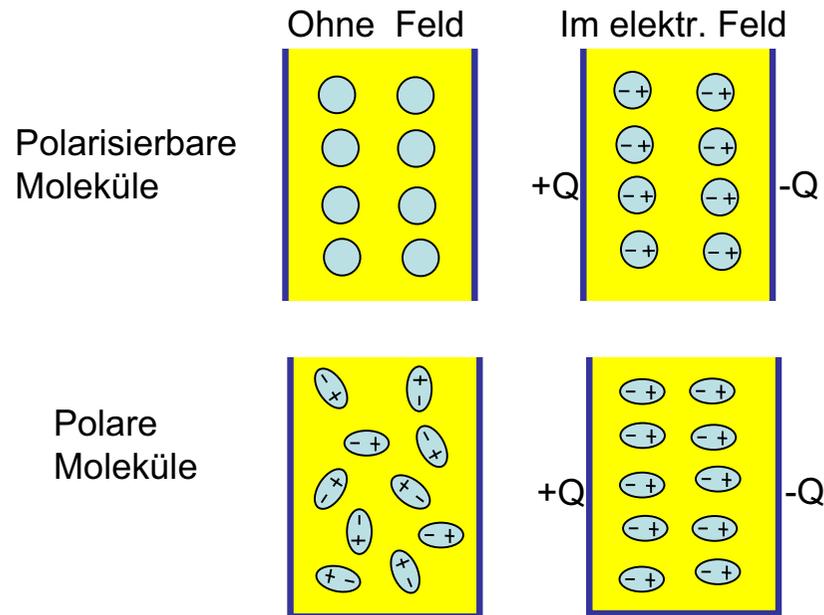
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Dielektrikum zwischen
Kondensatorplatten



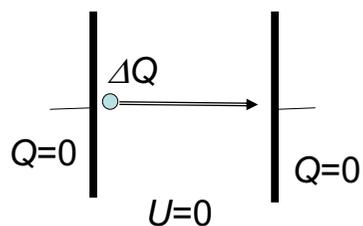
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$



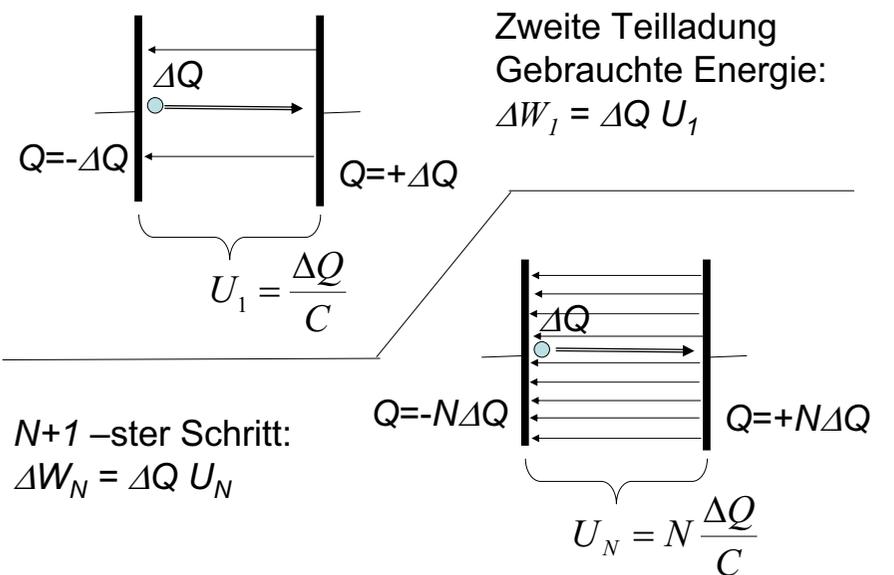
Energiespeicherung im Kondensator

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

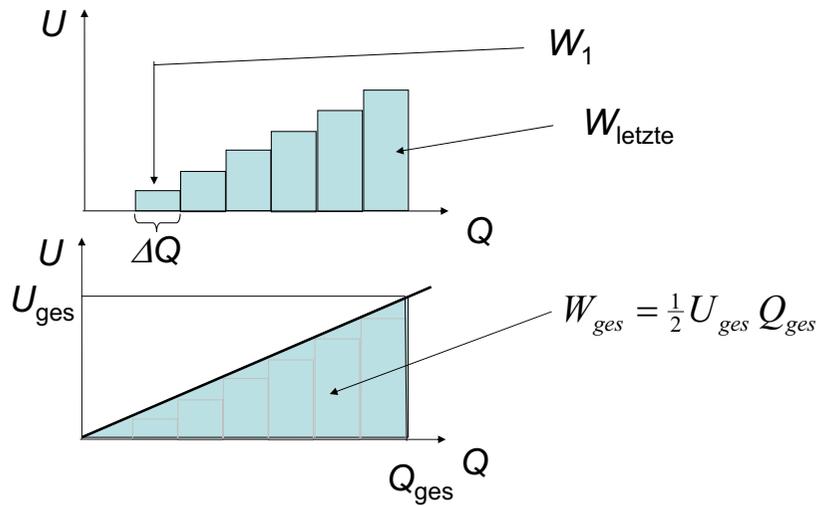
Aufladung in kleinen Schritten:
 ΔQ Teilladung wird von einer Platte zur anderen Platte gebracht



Erste Teilladung:
 Ohne Energie!
 Kein Feld!



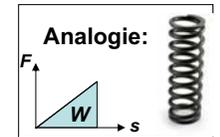
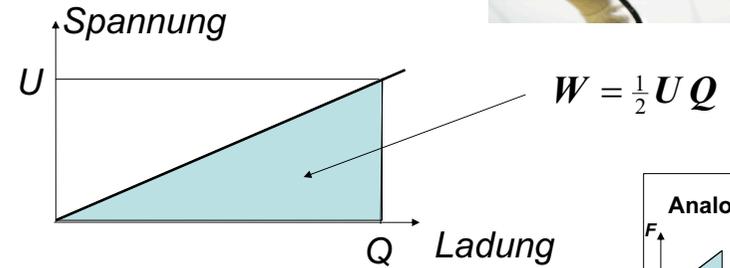
Graphische Darstellung der Aufladungsenergie



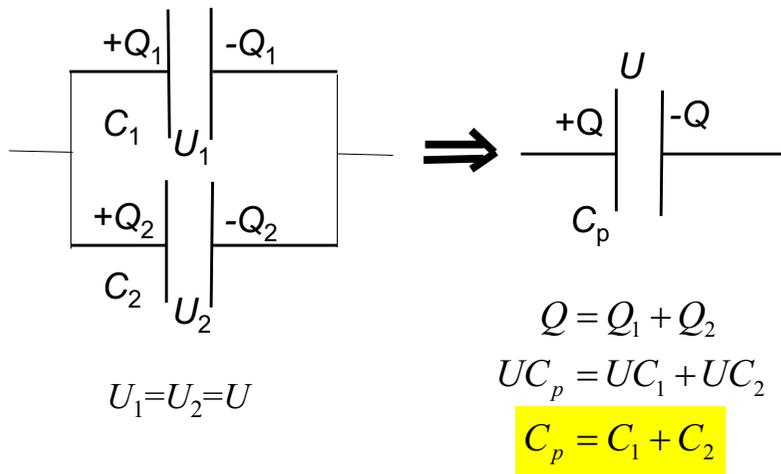
Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

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

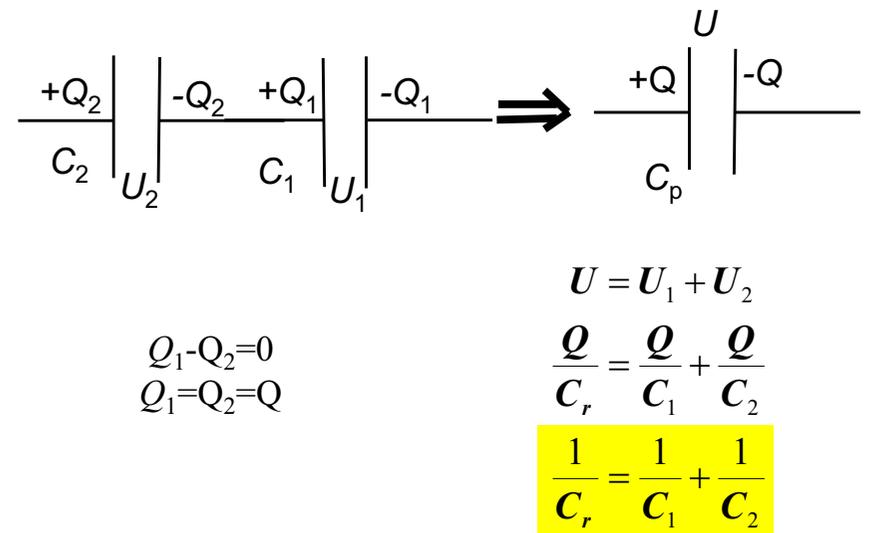
$(Q=UC)$



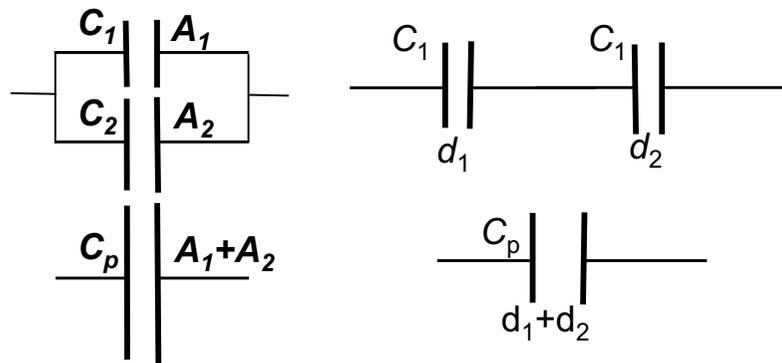
Parallelschaltung von Kondensatoren:



Reihenschaltung von Kondensatoren:



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

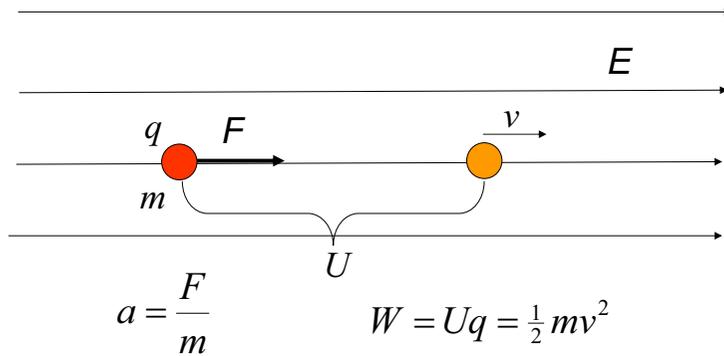
Strom im Gas

Strom in Flüssigkeit (Lösung)

Strom im Festkörper

Strom im Vakuum:

Freie Ladungsträger werden im elektrischen Feld beschleunigt :

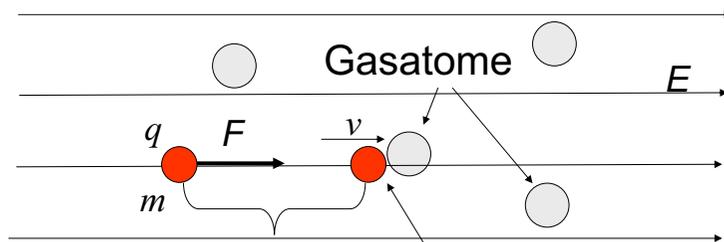


Elektrische Energie => mechanische Energie



Strom im Gas

Ladungsträger: Ionen und Elektronen



Freier Weg
(Beschleunigung)

Elastischer
Zusammenstoß

Abbremsung, Energieübergabe
=> Wärme, Licht

T ~ durchschnittliche kin. E

