

Elektrizitätslehre



Warum?

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



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



Elektrische Erscheinungen

Reibungselektrizität



Entladung



Elektrische Geräte

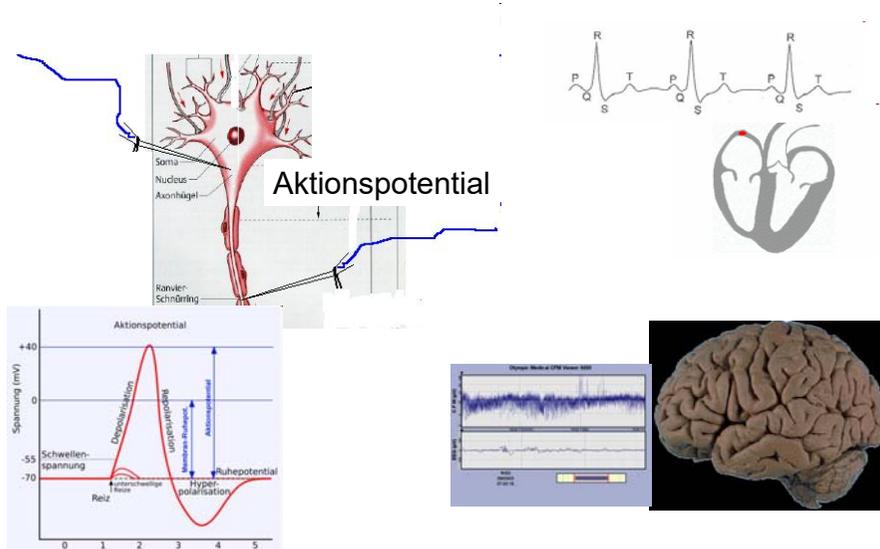
In Haushalt



In Medizin



Bioelektrische Erscheinungen



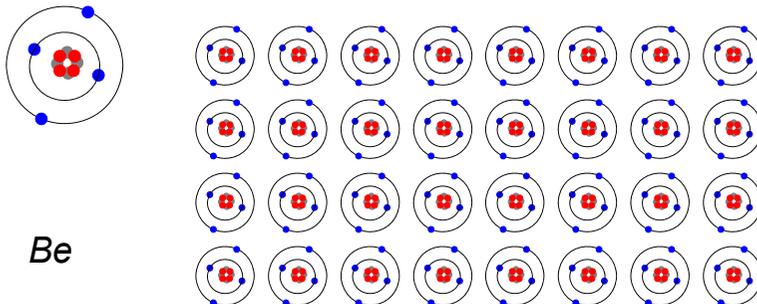
Ladung: eine wesentliche Eigenschaft der Materie
(wie z.B. die Masse)

Elementarteilchen:
Proton Neutron Elektron
+ 0 -

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

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



Leitung:

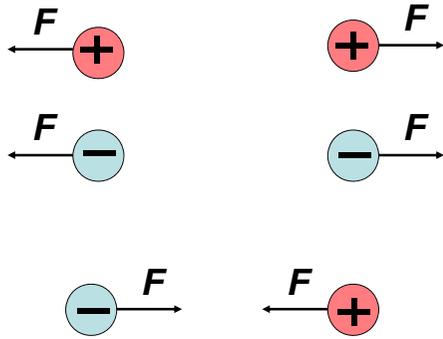
eine der elektrischen Grundeigenschaften der Körper:
Leiter: bewegbare Ladungen (z.B. Metalle)
Isolator: unbewegbare Ladungen (z.B. Kunststoff)

Rechenaufgabe: Eine Kupferkugel besitzt eine Ladung von $+2,5 \mu\text{C}$.
Wie viele Elektronen fehlen der Kugel?

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

Wechselwirkung zwischen den Ladungen

Qualitativ:



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:

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

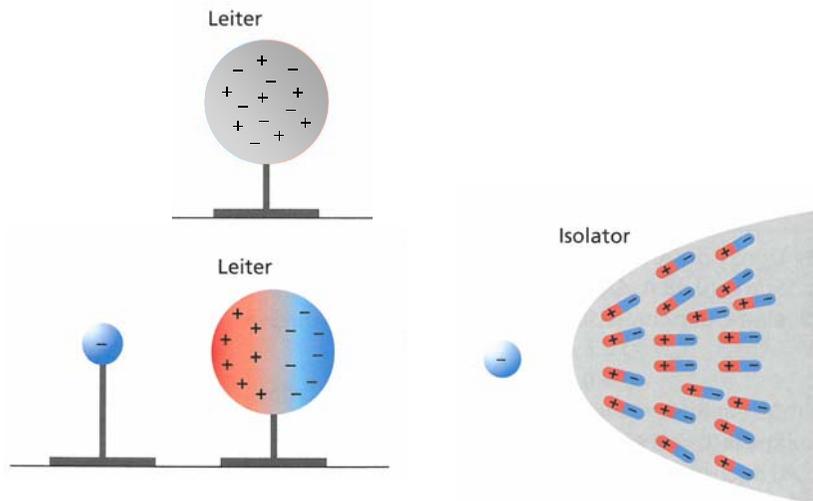
ϵ_0 = elektrische Feldkonstante

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

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

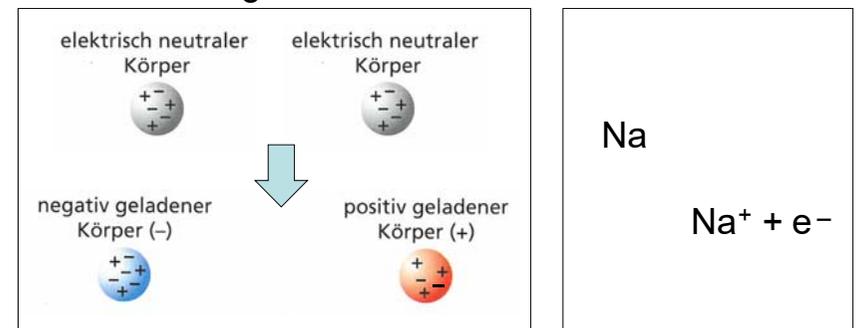
Influenz:

Eine Konsequenz der Ladungsanziehung



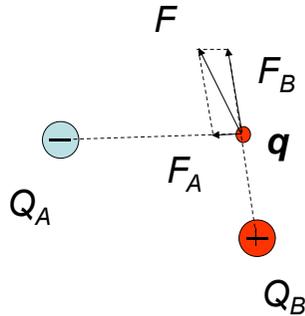
Gesetz von der Erhaltung der Ladung

In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtladung erhalten



Mehrere Ladungen

Die Kräfte addieren sich als Vektorgrößen.



Elektrische Feldstärke

Probeladung q

Resultierende Kraft F

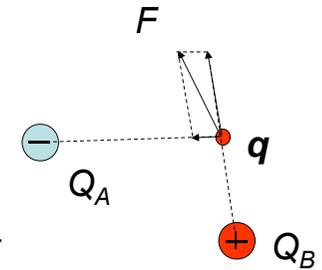
Alle Kräfte sind proportional

Zur q . $\Rightarrow F/q$ hängt nur von

der Größe und Anordnung der

Ladungen an, die auf q

mit der Kraft F wirken.

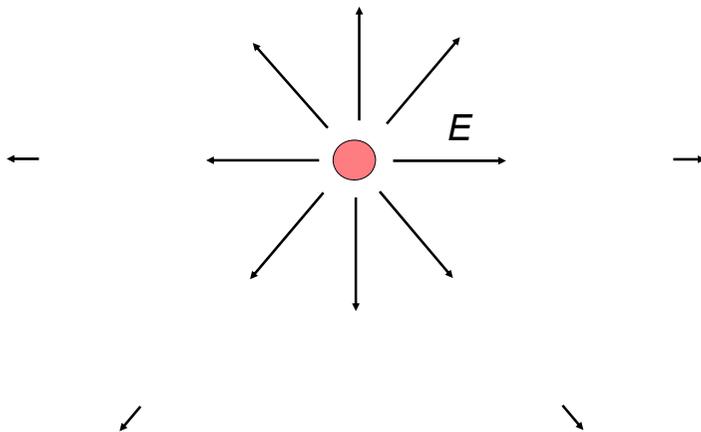


Elektrische Feldstärke
(Vektorgröße, Ortabhängig)

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

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

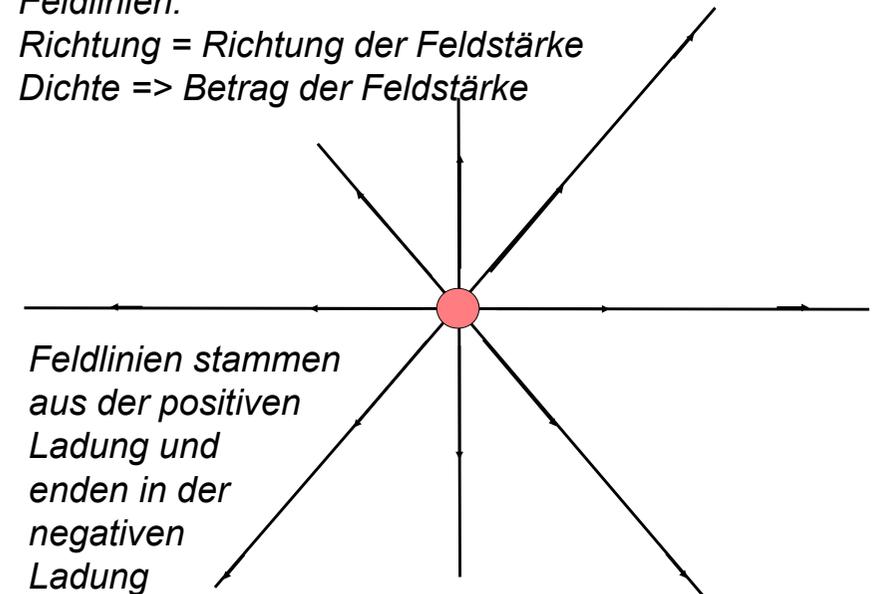
Elektrisches Feld der Punktladung:



Feldlinien:

Richtung = Richtung der Feldstärke

Dichte \Rightarrow Betrag der Feldstärke



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

Feldlinien

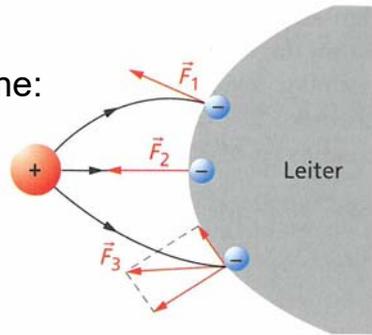
beginnen und enden in Ladungen (oder ∞)

Richtung: von + nach -

Richtung = Richtung der Kraft (+ Ladung!)

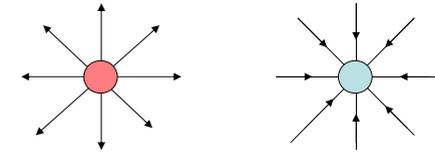
Dichte d. Feldlinien \sim
Grösse der Kraft

Feldlinien an Leiteroberfläche:
Senkrecht!

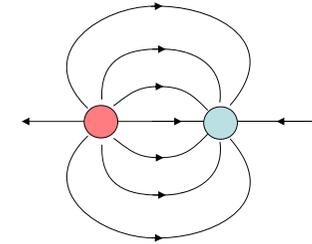


Typische Ladungsanordnungen:

Punktladung:
(Radialfeld)

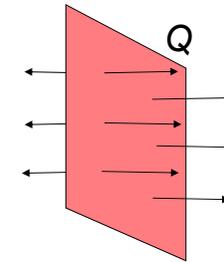


Dipol

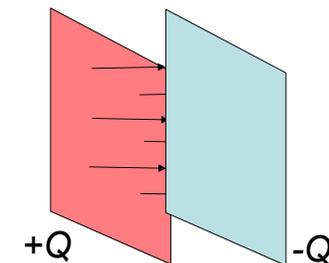


Typische Ladungsanordnungen:

Geladene Ebene

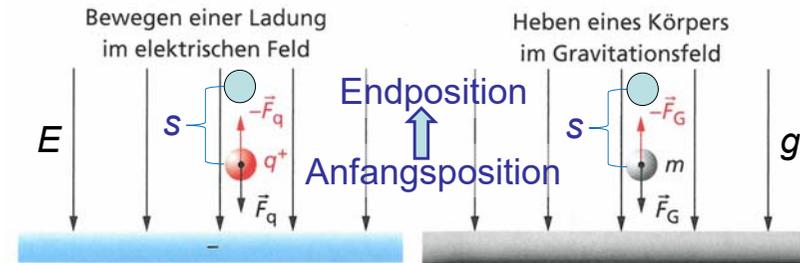


Kondensator
(Homogenes Feld)



Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung gegen die Feldstärke:

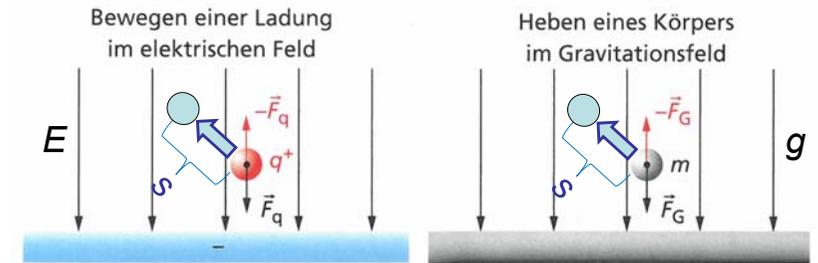


$$W = F_{\text{Hub}} s \quad \vec{F}_{\text{Hub}} = -\vec{F}_q \quad F_{\text{Hub}} = Eq$$

$$W = qEs$$

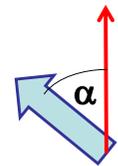
Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung schräg zu den Feldlinien:



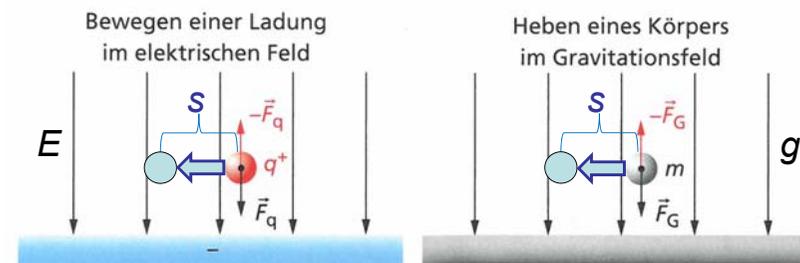
$$W = F_{\text{Hub}} s \cos \alpha \quad \vec{F}_{\text{Hub}} = -\vec{F}_q$$

$$F_{\text{Hub}} = Eq \quad W = qEs \cos \alpha$$



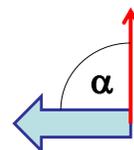
Energieumwandlung (Arbeit) im elektrischen Feld

Bewegung einer Ladung senkrecht zu den Feldlinien:



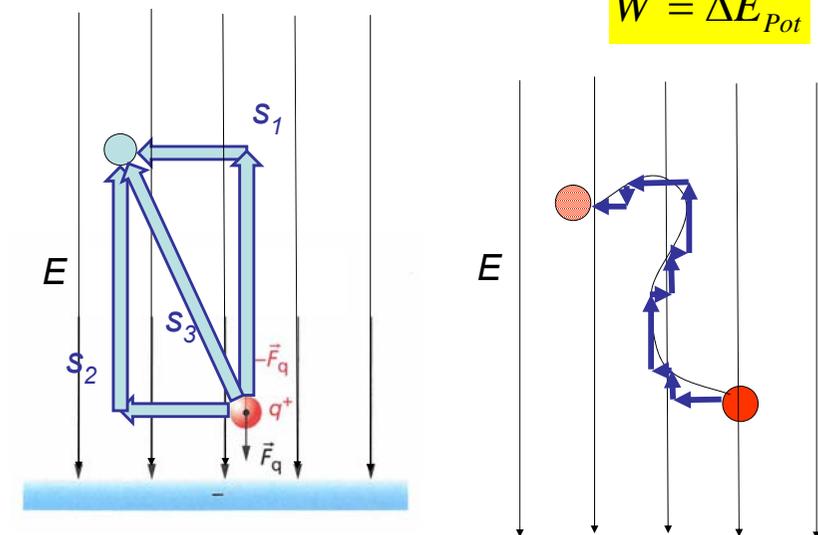
$$W = F_{\text{Hub}} s \cos \alpha = 0$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \cos \alpha = 0$$



W ist unabhängig vom Weg!

$$W = \Delta E_{\text{Pot}}$$



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]

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

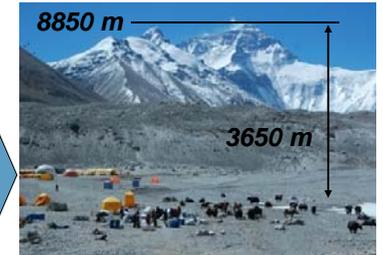


Spannung

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

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

Basislager
auf 5200 m
Noch 3650m



Bemerkungen:

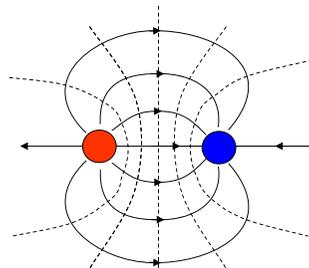
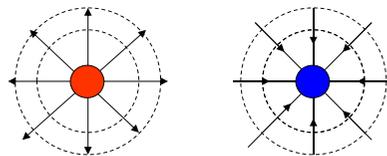
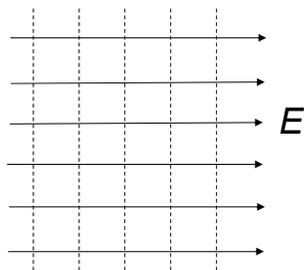
$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

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

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

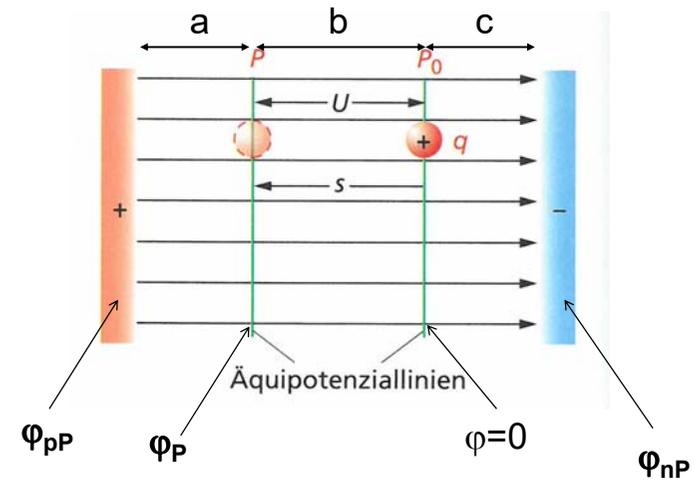
In homogenem Feld: $U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} = \frac{q|\vec{E}|s}{q} = Es$

Äquipotentialflächen



Äquipotentialflächen
verlaufen senkrecht zu den
Feldlinien

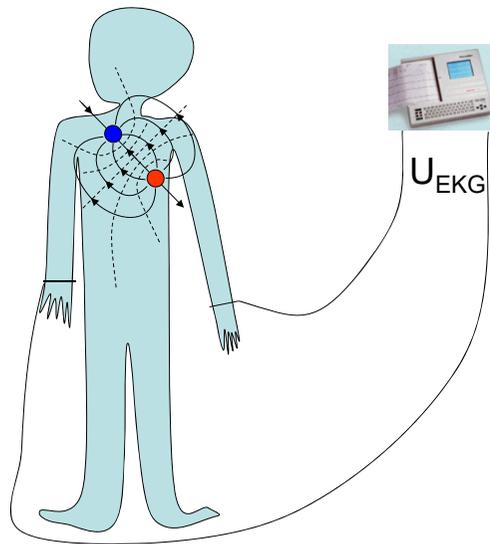
Bewegung an einer Äquipotentialfläche: keine Arbeit!



zB: $E=140 \text{ N/C}$, $a=2\text{cm}$, $b=3 \text{ cm}$ $c=2 \text{ cm}$

$\varphi_{pP}=?$ $\varphi_P=?$ $\varphi_{nP}=?$

Medizinische Anwendung: EKG



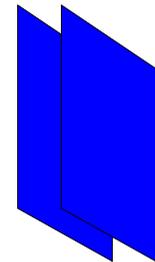
Kapazität des Kondensators

$Q = C U$ Ladungsspeicherungsfähigkeit

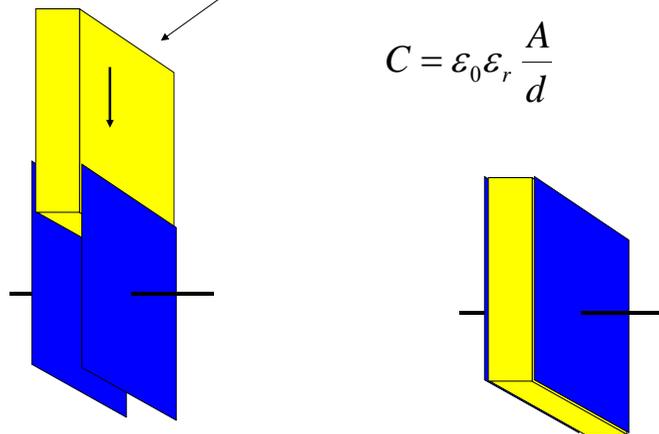
$C = \frac{Q}{U}$ Einheit: Farad, F $1F = \frac{1C}{1V}$

Für Plattenkondensator gilt:

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

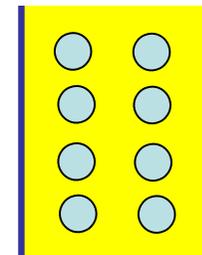


Dielektrikum zwischen
Kondensatorplatten



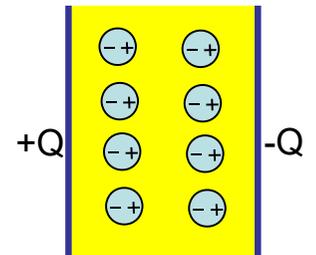
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Ohne Feld

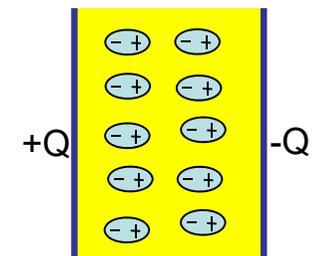
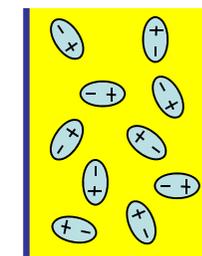


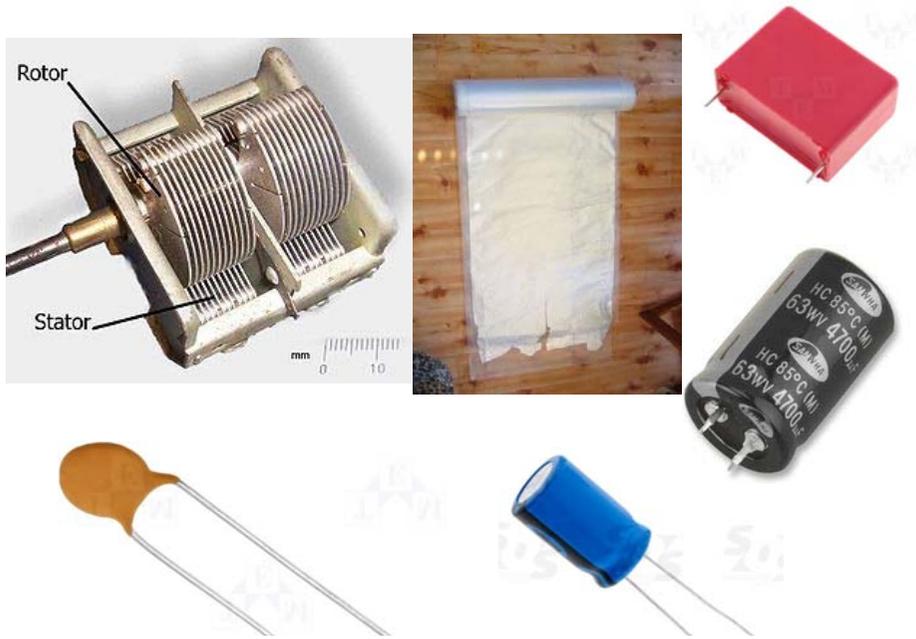
Polarisierbare
Moleküle

Im elektr. Feld



Polare
Moleküle

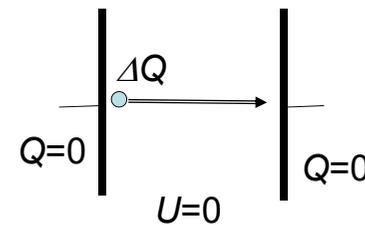




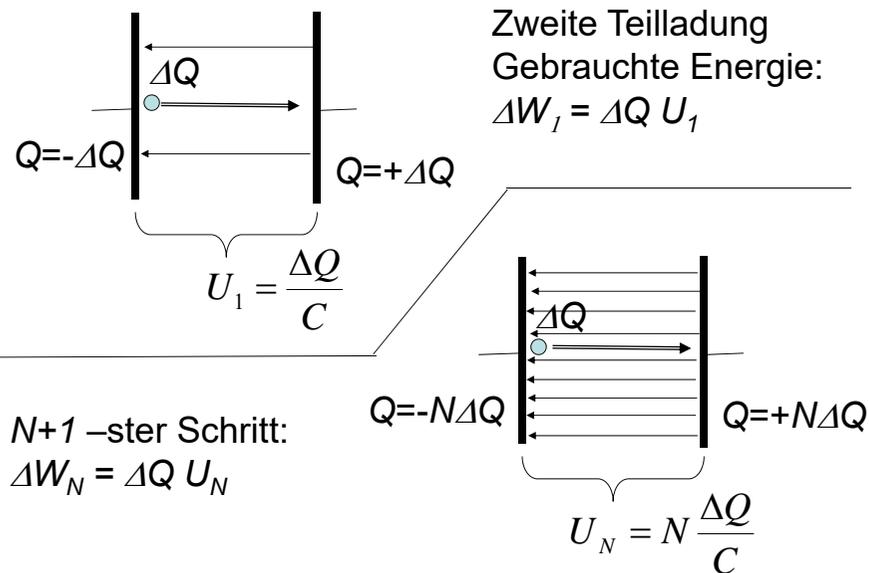
Energiespeicherung im Kondensator

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

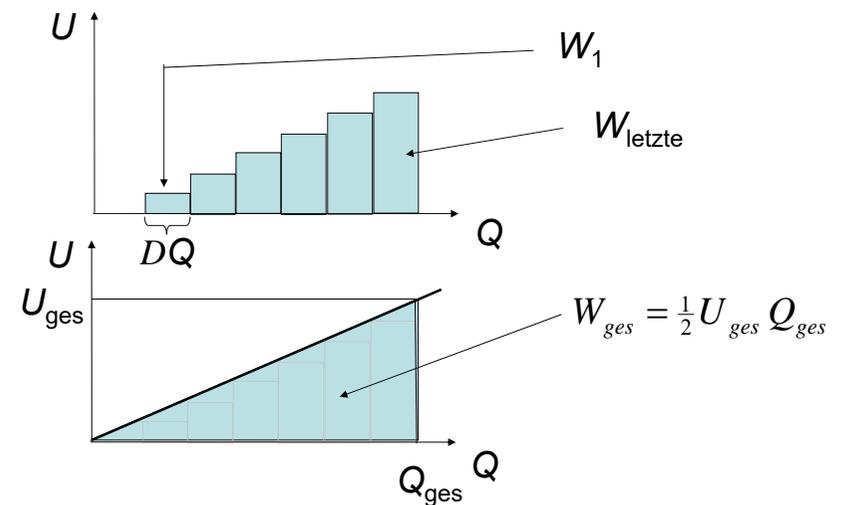
Aufladung in kleinen Schritten:
 ΔQ Teilladung wird von einer Platte zur anderen Platte gebracht



Erste Teilladung:
 Ohne Energie!
 Kein Feld !



Graphische Darstellung der Aufladungsenergie



Die in dem Kondensator gespeicherte Energie:

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

$(Q = UC)$

