

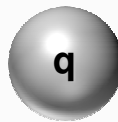
Grundlagen II:

- ◆ Arbeit
- ◆ Spannung
- ◆ Energie
- ◆ Leistung



Elektrische Ladung

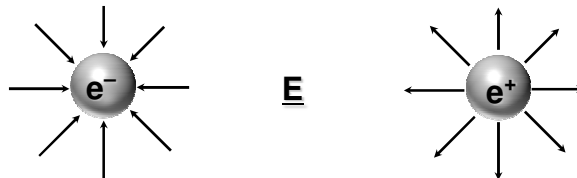
- ◆ Grundlage aller elektrischen Phänomene ist die elektrische Ladung: q



- ◆ Elektrische Ladungen sind an Materieteilchen gebunden:
 - Die negative Ladung ist eine Eigenschaft des Elektrons.
 - Die positive Ladung ist eine Eigenschaft des Protons. Positive Ladungen sind in der Regel Ionen.

Elektrisches Feld

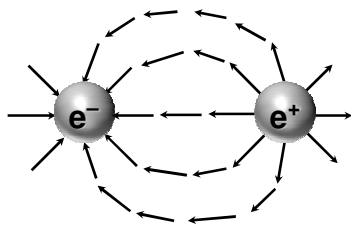
- ◆ Elektrische Ladungen sind umgeben vom elektrischen Feldern $\underline{E}(\underline{r})$.



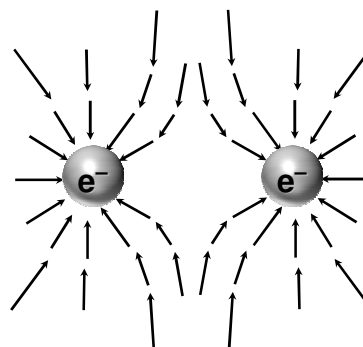
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

Überlagerung elektrischer Felder

- ◆ Das resultierende elektrische Feld mehrerer Punktladungen ergibt sich aus der Überlagerung (Superposition) der Einzelfelder.



→ Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an.



Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.

Elektrostatische Kraft

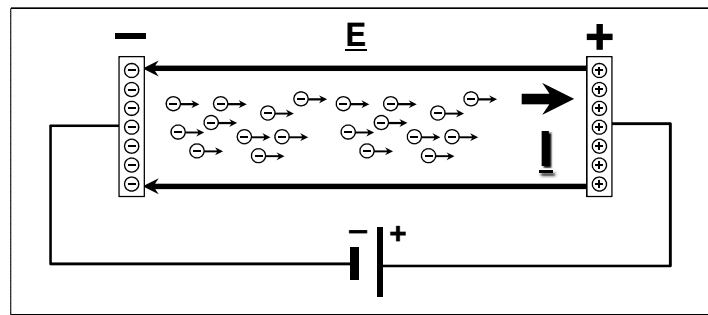
- Die Stärke der Kraft, die ruhende elektrische Ladungen aufeinander ausüben, wird gegeben durch die elektrostatische Kraft $\vec{F}(\vec{r})$, die auch Coulomb-Kraft genannt wird:

$$\vec{F}(\vec{r}) = q_2 \cdot \vec{E}(\vec{r}) = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

- Die Richtung der elektrostatischen Kraft wird von den Feldlinien des elektrischen Feldes bestimmt.

1.4 Elektrischer Strom

- Befinden sich in einem elektrischen Feld \vec{E} elektrische Ladungen q , so werden sie auf Grund der elektrostatischen Kraft \vec{F} bewegt und werden somit zur Ursache des elektrischen Stromes I .



Elektrischer Strom

Strom ist die Gesamtmenge von Ladungen ΔQ , die in einer bestimmten Zeiteinheit Δt durch eine Meßfläche fließen.

$$I = \Delta Q / \Delta t$$

- ♦ Die Einheit des Stromes ist Ampere [A].

**Stromdichte S =
Strom I bezogen auf die Meß- bzw. Durchtrittsfläche A**

$$S = I / A$$

- ♦ Die Einheit der Stromdichte ist demzufolge [A/m²]

Inhalt der Vorlesung 02: Grundlagen II

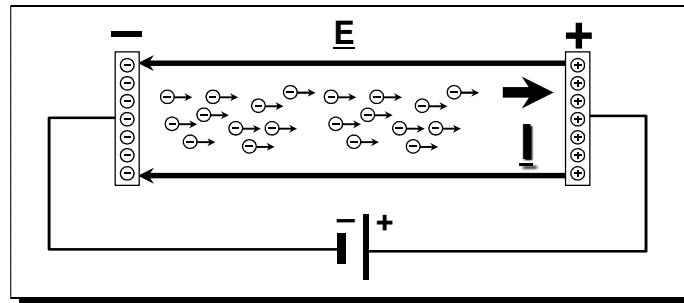
Übersicht:

- 2.1 Elektrische Arbeit
- 2.2 Elektrische Spannung
- 2.3 Potential und Potentialdifferenz
- 2.4 Elektrische Energie im Gleichstromkreis
- 2.5 Elektrische Leistung im Gleichstromkreis

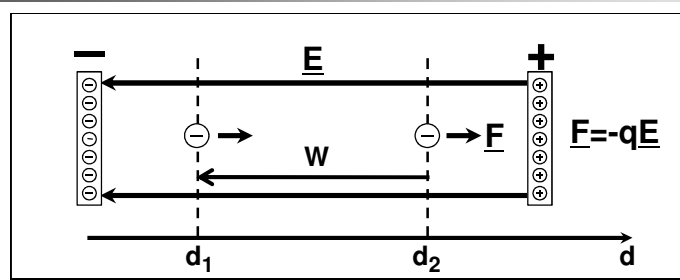


2.1 Elektrische Arbeit

- ◆ **Frage:**
Wodurch wird das elektrische Feld beim Stromfluß aufrechterhalten?
- ◆ **Antwort:**
Durch Arbeit, die zur elektrischen Ladungstrennung aufgebracht werden muß.



Elektrische Arbeit



- ◆ Elektrische Arbeit W (= Kraft · Weg) wird durch den Transport von Ladungen gegen eine wirkende elektrische Kraft geleistet.

$$W_{21} = F (d_2 - d_1) = F \cdot d_{21} \quad (2.1)$$

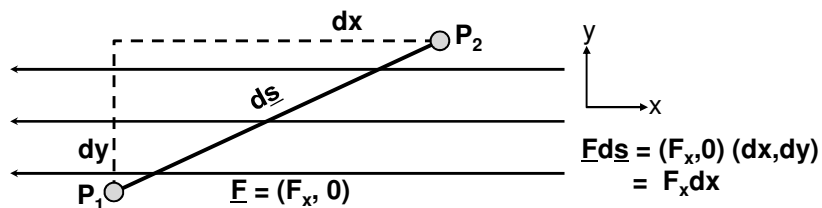
(Gilt nur für homogenes elektrisches Feld)

Allgemeine Formulierung: Elektrische Arbeit

$$W = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (2.2)$$

dabei stellt $d\vec{s} = (dx, dy)$ das Wegelement dar, welches den Punkt P_1 mit dem Punkt P_2 verbindet.

Beachte: Steht $d\vec{s} = (dx, dy)$ senkrecht auf $\vec{E} = (F_x, F_y)$, dann ist das innere Produkt $\vec{F} \cdot d\vec{s} = 0$, d.h. $W=0$.



Elektrische Spannung

- ◆ Werden in einem elektrischen Feld Ladungen entgegen der Kraftrichtung von P_2 nach P_1 transportiert, entsteht eine elektrische Spannung U_{21} . Sie ist definiert als geleistete Arbeit bezogen auf die elektrische Ladung.

$$U_{21} = W_{21} / q \quad (2.3)$$

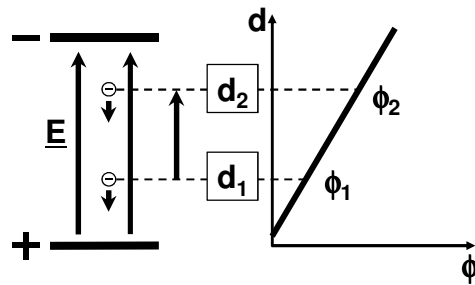
- ◆ Die Einheit der elektrischen Spannung ist Volt [V]
- ◆ U_{21} am Beispiel des Plattenkondensators ($W_{21} = F d_{21}$):

$$U_{21} = F d_{21} / q = -q E d_{21} / q$$

$$U_{21} = -E d_{21} \quad (2.4)$$

Potential

- Das 'Potential' ϕ eines Punktes P_i im Raum kennzeichnet die auf die Ladung bezogene Arbeit, um eine Ladung an diesen Punkt zu bringen (entspricht der potentiellen Energie bzw der Fähigkeit, Arbeit zu verrichten).
- Die Ursache der elektrischen Spannung U ist die sog. 'Potentialdifferenz'.



$$\phi_i = W_i / q \quad (2.5)$$

$$\phi_i = F d_i / q \quad (2.6)$$
$$\phi_i = - E \cdot d_i$$

Potentialdifferenz

- Die elektrische Spannung $U_{21} = W_{21} / q$ ist mit $\phi_i = W_i / q = - E d_i$ identisch mit der Potentialdifferenz

$$U_{21} = \phi_{21} = \phi_2 - \phi_1 \quad (2.7)$$

$$U_{21} = - E (d_2 - d_1) = - E \cdot d_{21} \quad (2.8)$$

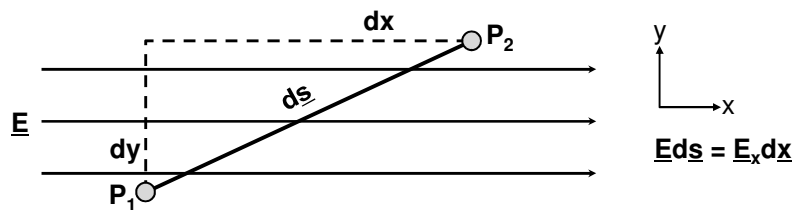
- Elektrische Spannungen sind Potentialdifferenzen in elektrischen Feldern.
- Sie sind die Ursache für das Fließen elektrischer Ströme.

Allgemeine Formulierung: Elektrische Spannung

$$U_{21} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (2.9)$$

dabei stellt $d\vec{s}$ das Wegelement dar, welches den Punkt P_1 mit dem dem Punkt P_2 verbindet.

(Beachte: Steht \vec{E} senkrecht auf $d\vec{s}$, dann ist das innere Produkt $\vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$.)



Elektrische Energieim Gleichstromkreis

- ◆ **Energie W ist identisch mit geleisteter Arbeit W**
- ◆ **Elektrische Arbeit ist definiert als Verschiebung von Ladungen gegen die elektrische Feldkraft: $F \cdot d$**

$$W_{el} = Fd = QEd = QU = ItU \quad 2.10$$

- ◆ **Die elektrische Energie ist somit definiert als**

$$W_{el} = UIt \quad 2.11$$

Elektrische Energie

- ◆ Die Einheit der elektrischen Energie ist eine Wattsekunde [Ws]
- ◆ Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie:
 $1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$ (Newtonmeter)
- ◆ Umwandlung von elektrischer in Wärmeenergie:
 $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$ (Joule)
- ◆ Verbrauchte Energie ist letztlich die Größe, die bezahlt werden muß: z.B. $1 \text{ kWh} = 0,2 \text{ €}$

Elektrische Leistung

- ◆ Leistung P ist definiert als Arbeit W pro Zeiteinheit Δt , bzw. als Energieverbrauch W pro Zeiteinheit:

$$P = W / t \quad 2.12$$

- ◆ Mit 2.11 ($W=UIt$) folgt daraus für die elektrische Leistung:

$$P_{\text{el}} = UI \quad 2.13$$

- ◆ Die Einheit der elektrischen Leistung ist ein Watt [W]

Elektrische Leistung / Energie

- ◆ **Beispiel 1:**
 - Ein Batterie-Gerät mit einer Betriebsspannung von 10V hat eine Stromaufnahme von 100 mA.
 - Daraus folgt: $P = 10V \cdot 0,1A = 1W$
- ◆ **Beispiel 2:**
 - Eine Kochplatte hat eine Leistung von 1000 W.
 - Wird diese Platte eine Stunde betrieben, so verbraucht sie eine Energie von 1 KWh, die ca. 0,2 € kosten.
- ◆ **Auf den Typenschildern von Geräten steht die Leistungsaufnahme in W bzw. kW angegeben, nicht die Energie: Die hängt von der Betriebsdauer ab.**

Wichtige Formeln

Elektrische Arbeit:

$$W_{21} = \int_{P1}^{P2} \vec{F} d\vec{s}$$

Einheit

[Ws]

Im homogenen E-Feld gilt:

$$W_{21} = F d_{21}$$

[Ws]

wobei F und d_{21} parallel verlaufen.

Wichtige Formeln

Potential:

$$\phi_i = W_i / q \quad [V]$$

**Spannung bzw.
Potentialdifferenz:**

$$U_{21} = \phi_2 - \phi_1 = \int_{P1}^{P2} \vec{E} \, d\vec{s} \quad [V]$$

Im homogenen E-Feld gilt:

$$U_{21} = E \, d_{21} \quad [V]$$

wobei E und d_{21} parallel verlaufen.

Wichtige Formeln

Elektrische Energie

$$W_{el} = U I t \quad [Ws]$$

Allgemein:

$$W_{el} = \int_0^{\infty} U(t) I(t) dt \quad [Ws]$$

Elektrische Leistung

$$P_{el} = U I \quad [W]$$

Einheiten und ihre Umwandlung

Ladung: $1\text{C} = 1\text{As}$

Elektrisches Feld: 1V/m

Kraft: $1\text{N} = 1\text{Ws} / \text{m} = 1\text{CV} / \text{m} = 1\text{m kg} / \text{s}^2$

Arbeit bzw. Energie: $1\text{J} = 1\text{Nm} = 1\text{Ws} = 1\text{VAs} = 1\text{VC} = 1\text{m}^2\text{kg} / \text{s}^2$

Leistung: $1\text{W} = 1\text{VA} = 1\text{Nm/s}$

Elektrische Spannung: 1V

Elektrischer Strom: $1\text{A} = 1\text{C/s}$

Verständnisfragen zu Vorlesung 2: Elementare Grundlagen

- ◆ **Welche Arbeit muß aufgebracht werden, um eine Ladung in einem elektrischen Feld um eine Strecke zu bewegen?**
- ◆ **Welche Spannung besteht zwischen zwei Punkten in einem elektrischen Feld?**
- ◆ **Wie ist die elektrische Leistung definiert?**
- ◆ **Welcher Zusammenhang besteht zwischen elektrischer Leistung und elektrischer Energie?**

Übungsaufgaben zur Vorlesung 02

Aufgabe 02-1: Elektrostatische Kraft (Millikanversuch)

Öltropfen werden in eine Kammer gesprüht. Durch die Reibung an der Einsprühdüse hat ein Öltropfen 1000 Elektronen aufgenommen und der Tropfen ist damit negativ aufgeladen. Die Gewichtskraft $F_g = mg$ zieht den Öltropfen nach unten und ein Plattenkondensator mit einem Elektrischen Feld E erzeugt eine elektrische Kraft $F(E)$, die so über eine Spannungsquelle eingestellt wird, daß der Tropfen ruhig in der Kammer schwebt. Beide Kräfte sind also im Gleichgewicht. Hier sei der Auftrieb und die Reibung des Tropfens vernachlässigt.

Der Abstand 'd' der Platten des Kondensators beträgt 0.01 m. Der Öltropfen hat einen Durchmesser von $25 \mu\text{m}$ ($25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$).

Welche Spannung U ist eingestellt ?

Hinweise: Es gilt: Gravitationskonstante $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$
Dichte des Öls sei zu $\rho_{\text{Öl}} = 0.001 \text{ kg cm}^{-3}$ angenommen.

Aufgabe 02-2 : Arbeit im elektrostatischen Feld

Einem Wasserstoffatom wird das Elektron aus seiner niedrigsten Umlaufbahn entrissen. Welche Arbeit muß ich leisten, um das (ruhend angenommene) Elektron dem Einflußbereich des Kerns völlig zu entziehen?

Hinweise:

- Der Radius der niedrigsten Umlaufbahn des Elektrons ist $r_e = 5.29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
- Theoretisch ist der Einflußbereich des Coulombfeldes unendlich, also muß auch die zweite Integrationsgrenze als unendlich angenommen werden.
- Die Stammfunktion von $1/r^2$ ist $-1/r$



Übungsaufgaben zur Vorlesung 02

Aufgabe 02-3 : Elektrische Energie

Ein Durchlauferhitzer verbraucht 21kW in der höchsten Schaltstufe. Da in dieser Schaltstufe das Wasser zu heiß aus dem Durchlauferhitzer kommt, wird gleichzeitig kaltes Wasser dazu gemischt. Um eine Badewanne auf diese Art mit Wasser zu füllen werden etwa 10 Minuten benötigt. In der kleinen Leistungsstufe verbraucht der Durchlauferhitzer die Hälfte. Da aber das Wasser richtig temperiert aus dem Hahn kommt, kann kein kaltes Wasser mehr dazugegeben werden und es dauert 5 Minuten länger die Wanne zu füllen. Bei welcher Badewannenfüllung ist die Stromrechnung geringer und um wieviel, wenn eine Kilowattstunde 0.22 DM kostet ?

Aufgabe 02-4 : Elektrische Leistung

Warnblinkanlagen von Autos werden mit vier 21Watt-Glühlampen betrieben. Hier sei angenommen die Lampen sind genauso lange an wie aus. Das Bordnetz eines Autos wird mit 12 Volt betrieben. Eine normale Autobatterie hat eine Gesamtladung von 36 Ampèrestunden.

Wie lange kann der Wagen am Straßenrand abgesichert stehen, bevor die Warn blinker nicht mehr funktionieren ?

