

**Grundlagen der Elektrotechnik
für Maschinenbauer und Logistiker****Sommersemester 2010****Prof. Dr.-Ing. Andreas Neyer****Maschinenbau / Logistik und Elektrotechnik****elektrischer Antrieb**elektrische Steuerung
bzw. Regelung
mit Computern**Maschine,
Transportmedium**

elektrische Sensorik

Auswertung und Überwachung mit Computern

Beispiele für elektrisch angetriebene Maschinen

Elektromobil



Selbstfahrender Gabelstapler



Übersicht Vorlesungsinhalte

- 01 **Grundlagen I : Ladung, Elektrisches Feld, Strom**
- 02 **Grundlagen II: Arbeit, Spannung, Energie, Leistung**
- 03 **Der elektrische Widerstand**
- 04 **Gleichstrom: Grundschatungen**
- 05 **Kapazität und Kondensator**
- 06 **Magnetismus:**
1. Das stationäre magnetische Feld
- 07 **Magnetismus:**
2. Das veränderliche magnetische Feld

Übersicht Vorlesungsinhalte (Forts.)

- 08 Wechselstrom: Grundlagen
- 09 Wechselstrom:
Darstellung mit komplexen Zahlen
- 10 Halbleiter: Grundlagen / Diode
- 11 Halbleiter: Transistoren / Thyristoren
- 12 Operationsverstärker / Regler
- 13 Grundlagen der optischen Sensorik

Literatur

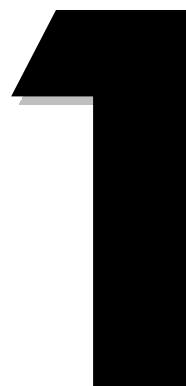
- ◆ R. Busch, Elektrotechnik und Elektronik,
Teubner 94 (Lehrbuchsammlung)
- ◆ H. Linse, Elektrotechnik für Maschinenbauer,
Teubner 92
- ◆ Skript GET zum Herunterladen unter:
www-mst.e-technik.uni-dortmund.de
Lehre /
Grundlagen der Elektrotechnik
für Maschinenbauer und Logistiker

Benutzer: mstget Kennwort: Feldstaerke

- ◆ **Einführung**
- ◆ **Elektrische Ladung**
- ◆ **Elektrisches Feld**
- ◆ **Elektrischer Strom**

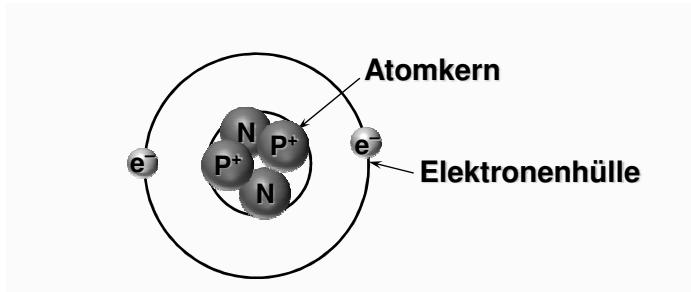
Inhalt der Vorlesung 1: Grundlagen I

- 1.1 Elektrische Ladung**
- 1.2 Elektrostatisches Feld**
- 1.3 Elektrostatische Kraft**
- 1.4 Elektrischer Strom**
- 1.5 Elektrische Stromdichte**



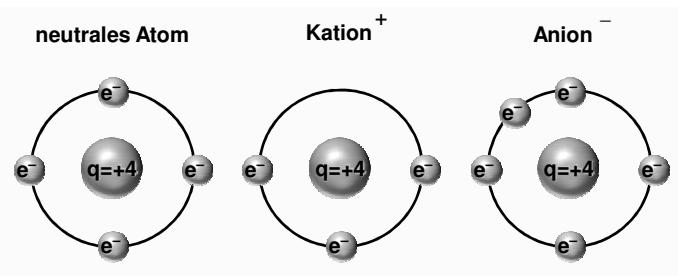
1.1 Elektrische Ladung

- ◆ Grundlage aller elektrischen Phänomene ist die **elektrische Ladung: q**
- ◆ Elektrische Ladungen sind an Materiateilchen gebunden:
 - Die negative Ladung ist eine Eigenschaft des Elektrons.
 - Die positive Ladung ist eine Eigenschaft des Protons.



Ionen

- ◆ Während elektrisch negative Ladungen in der Regel in Form von Elektronen auftreten, sind positive Ladungen im allgemeinen an Ionen gebunden.
- ◆ Positive Ionen sind Atome, denen Elektronen zu ihrer elektrischen Neutralität fehlen.



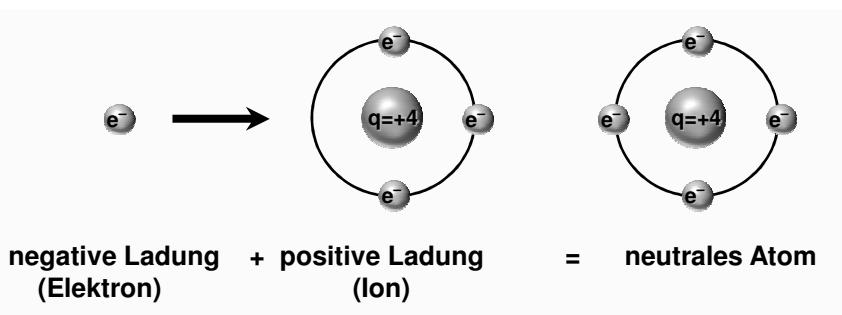
Ladungskonzentration / Ladungstrennung

- ◆ Die Konzentration von Ladungsträgern geschieht in der Regel durch
- Ladungstrennung**
- ◆ Dazu werden neutralen Atomen Elektronen entrissen.
 - ◆ Negative Ladungskonzentrationen (-) bestehen aus einem Überschuß an Elektronen.
 - ◆ Positive Ladungskonzentrationen (+) zeichnen sich durch einen Mangel an Elektronen aus.



Rekombination

- ◆ Der Umkehrprozeß der Ladungstrennung, also die Zusammenführung von Elektronen mit positiven Ionen heißt Rekombination.



Elektrische Ladung: Eigenschaften

- ◆ Die Einheit der elektrischen Ladung ist Coulomb: [C]
- ◆ Die Ladung ist gequantelt und hat den Betrag:
$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (1.1)$$
- ◆ → Die Ladungsmenge 1Coulomb beinhaltet die Ladungen von $6,2 \cdot 10^{18}$ Elektronen
$$1\text{C} = 6,2 \cdot 10^{18} q$$
- ◆ Die positive Ladung ist der negativen dem Betrage nach exakt gleich.
- ◆ Zwischen elektrischer Ladung und elektrischem Strom gilt die Beziehung:
$$1\text{C} = 1\text{As} \quad (1.2)$$

bzw. $1\text{A} = 1\text{C/s}$
d.h. Strom der Stärke 1A bedeutet einen Fluß von $6,2 \cdot 10^{18}$ Elektronen pro Sekunde durch eine Meßfläche.

Elektrische Ladung: Wirkungen

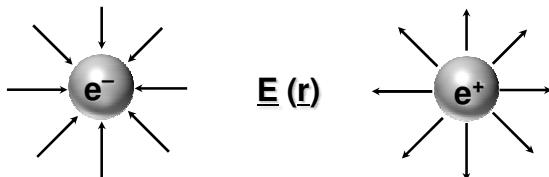
- ◆ Ladungen mit gleichem Vorzeichen stoßen sich ab.
- ◆ Ladungen mit entgegengesetztem Vorzeichen ziehen sich an.



- ◆ Ursache:
Ladungen werden von kraftausübenden Feldern umgeben, den elektrischen Feldern.

1.2 Elektrostatisches Feld

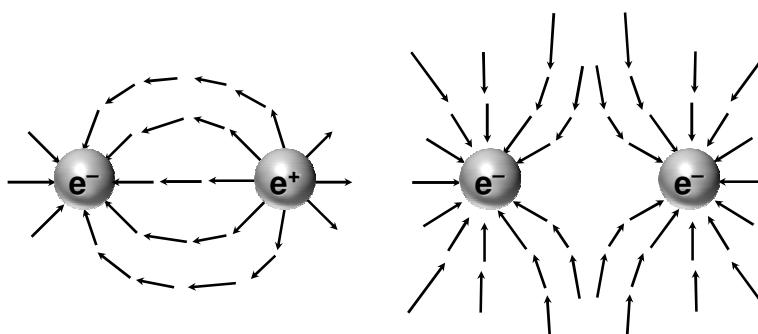
- ◆ Feldlinien verdeutlichen die Kraftwirkung des elektrischen bzw. elektrostatischen Feldes E .



- ◆ Die Richtung der Feldlinien des elektrischen Feldes ist so definiert, dass sie von positiven Ladungen ausgehen und in negativen Ladungen enden.
- ◆ Merke: Elektrische Feldlinien zeigen immer von + nach -

Überlagerung elektrischer Felder

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

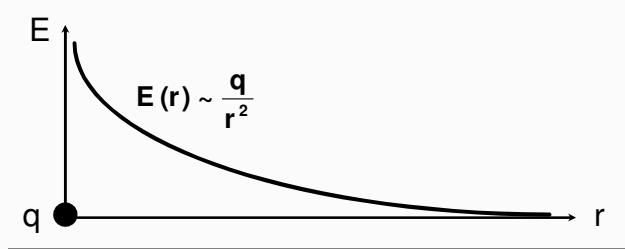


→ Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an.

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.

Feldstärke des elektrischen Feldes

- Die Stärke (Betrag) des elektrischen Feldes nimmt quadratisch mit dem Abstand von der erzeugenden Punktladung q ab:



$$E(r) = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2} \quad (1.3)$$

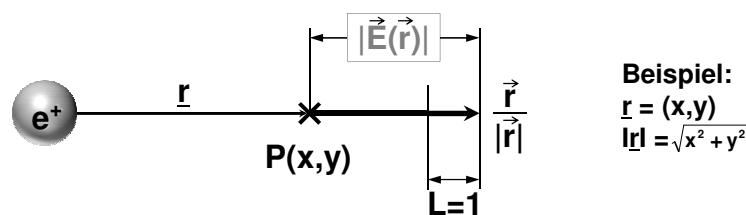
$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
(elektrische Feldkonstante)

- Die Einheit des E - Feldes ist [V/m].

Allgemeine Formulierung: Elektrostatisches Feld

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{q_1}{4\pi \epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (1.4)$$

Dabei stellt $\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ den Einheitsvektor dar, der in Richtung von \vec{r} zeigt und eine Länge vom Betrage 1 besitzt.



1.3 Elektrostatische Kraft

- ◆ Elektrische Felder üben Kräfte (nur) auf elektrische Ladungen aus.
- ◆ Die Stärke der Kraft, die ruhende elektrische Ladungen aufeinander ausüben, wird gegeben durch die elektrostatische Kraft $\underline{F}(r)$, die auch Coulomb-Kraft genannt wird:

$$F(r) = q_2 \cdot E(r) = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.5)$$

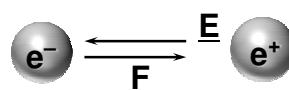
Allgemeine Formulierung:
Elektrostatische Kraft

$$\vec{F}(\vec{r}) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (1.6)$$

Dabei stellt $\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ den Einheitsvektor dar, der in Richtung von r zeigt und eine Länge vom Betrage 1 besitzt.

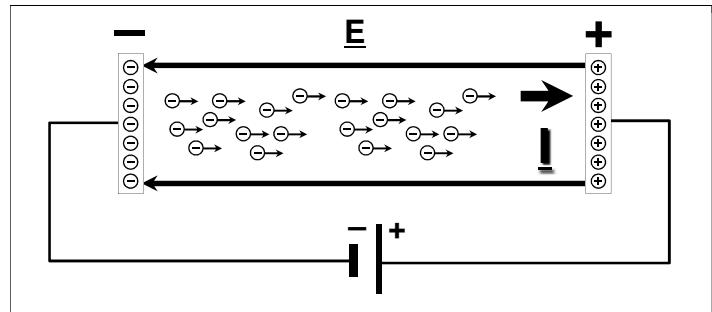
Beachte:

Ist die Testladung q_2 negativ, dann ist die auf sie wirkende Kraft \underline{F} der Richtung des E -Feldes entgegengesetzt.



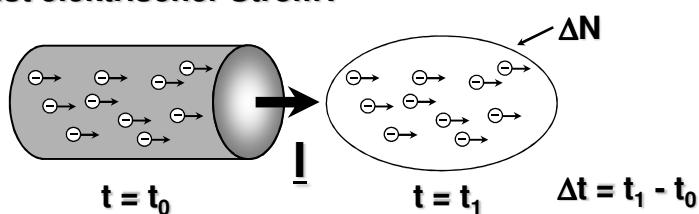
1.4 Elektrischer Strom

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



Elektrischer Strom

Was ist elektrischer Strom?



- ◆ Elektrischer Strom (I) = Fluß von Teilchen, die elektrische Ladungen (q) tragen, durch eine Meßfläche.

- ◆ Fluß = Anzahl von Teilchen (ΔN) pro Zeiteinheit (Δt) $\rightarrow \Delta N / \Delta t$

Elektrischer Strom

◆ → $I = (\Delta N / \Delta t) q$ (1.7)

◆ oder mit $\Delta N q = \Delta Q$ (1.8)

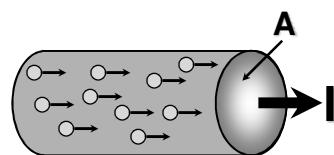
$I = \Delta Q / \Delta t$ (1.9)

d.h.:

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

◆ Die Einheit des Stromes ist Ampere [A].

1.5 Elektrische Stromdichte



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

$S = I / A$ (1.10)

◆ Die Einheit der Stromdichte ist demzufolge $[A/m^2]$

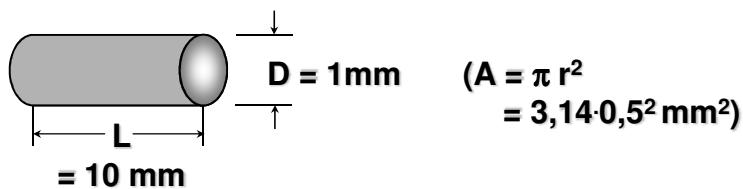
Allgemeine Formulierung:
Elektrischer Strom

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1.11)$$

bzw.: $Q = \int_0^t I dt \quad (1.12)$

Beispiel: Strom im Silberdraht

Frage: Wenn alle freien Elektronen eines Silberdrahtes der Länge 1 cm und vom Durchmesser 1 mm in 1 sec abfließen, wie stark ist dann der Strom?



Silber hat eine Elektronendichte (Anzahl / Volumen):
 $n_e = N_e / V = 5,9 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (1.14)

Berechnung der Anzahl der Elektronen: $N_e = n_e \cdot V$
Berechnung des Volumens: $V = L \cdot A$

Strom im Silberdraht

Damit beträgt die Anzahl der Elektronen in dem Stück Silberdraht:

$$\begin{aligned}N_e &= n_e \cdot A \cdot L \\&= 5,9 \cdot 10^{19} \text{ mm}^{-3} \cdot 0,785 \text{ mm}^2 \cdot 10 \text{ mm} \\&= 4,63 \cdot 10^{20}\end{aligned}$$

Berechnung der Gesamtladung (1.8) : $Q = N_e q$

$$Q = 4,63 \cdot 10^{20} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 74,1 \text{ C}$$

Wenn diese Ladungsmenge in einer Sekunde abfließt, ergibt das laut Beziehung (1.9) einen Strom von 74,1 A.

Wichtige Formeln

Elektrostatisches Feld:

$$\vec{E}(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad [\text{V / m}]$$

Elektrostatische bzw. Coulomb-Kraft:

$$\vec{F}(r) = q \cdot \vec{E}(r) = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad [\text{Ns / m}]$$

Strom:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \text{bzw.} \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad [\text{A}]$$

Stromdichte:

$$S = I / A \quad [\text{A/m}^2]$$

Konstanten / Einheiten

Elektrische Feldkonstante: $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$

Elektrische Elementarladung: $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Elektronendichte von Silber: $n_e = 5,9 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$

Umwandlung von Einheiten

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



Verständnisfragen zu Vorlesung 1: Elementare Grundlagen I

- ◆ **Worin liegt der Ursprung elektrisch geladener Körper ?**
- ◆ **Welcher Zusammenhang besteht zwischen elektrischer Ladung und elektrischem Feld?**
- ◆ **Welche Kraft wirkt auf eine Ladung, die in ein elektrisches Feld gebracht wird?**
- ◆ **Wie entsteht aus einer Ladungsmenge Q ein Strom I?**

