

Kap 2: Der elektrische Strom



- 2.1. Ladungstransport
- 2.2. Das Ohmsche Gesetz
- 2.3. Stromleitung und Joulsche Wärme
- 2.4. Messverfahren für elektrische Ströme
- 2.5. Netzwerke und die Kirchhoffschen Regeln
- 2.6. Messung elektrischer Ströme
- 2.7. Leitungsmechanismen
- 2.8. Stromquellen
- 2.9. Thermoelektrizität

2.1. Die Elektrische Stromstärke



Elektrischer Strom = Ladungstransport

Stromstärke (bzgl. dA): $dI = \frac{dQ}{dt}$

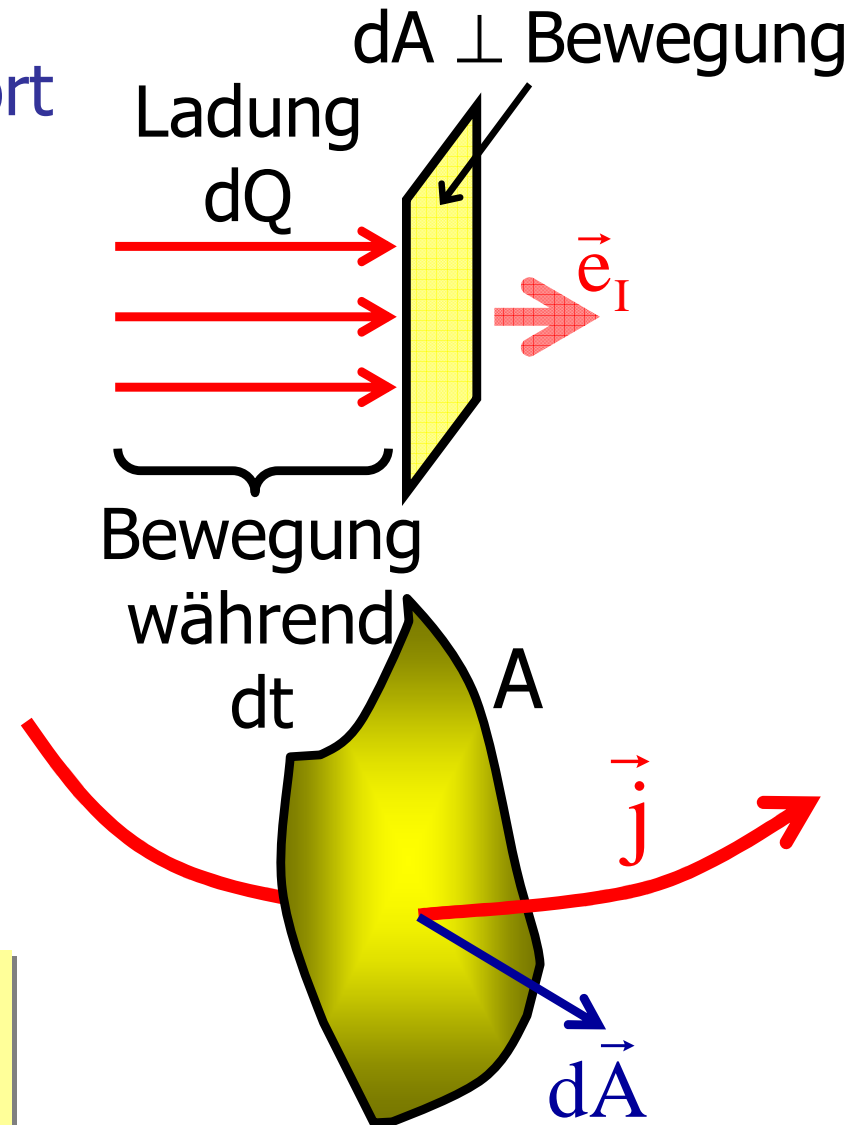
Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dI}{dA} \cdot \vec{e}_I$

Stromstärke bzgl. A: $I = \int_A \vec{j} d\vec{A}$

$$[I] = A = Cs^{-1}$$

$$[j] = Am^{-2}$$

Kontinuitätsgleichung $\operatorname{div} \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$



Leitungsmechanismen

- Elektronische Leiter: **Metalle, Halbleiter**
Ladungsträger hauptsächlich Elektronen
- Ionen-Leiter: **Elektrolyte, Isolatoren mit Fehlstellen**
Ladungsträger hauptsächlich positive und negative Ionen
- Gemischte Leiter: **Plasmen**
Ladungsträger: Elektronen und Ionenrümpfe; z.B. in Gasentladungen

Mikroskopische Theorie:

n^\pm : Anzahldichte positiver (negativer) Elementarladungen

\vec{v}^\pm : zugehörige Transportgeschwindigkeiten

$$\Rightarrow \vec{j} = en^+ \vec{v}^+ - en^- \vec{v}^-$$

1.2. Das Ohmsche Gesetz



(a)

Betrachte elektronische Leiter (Metalle)

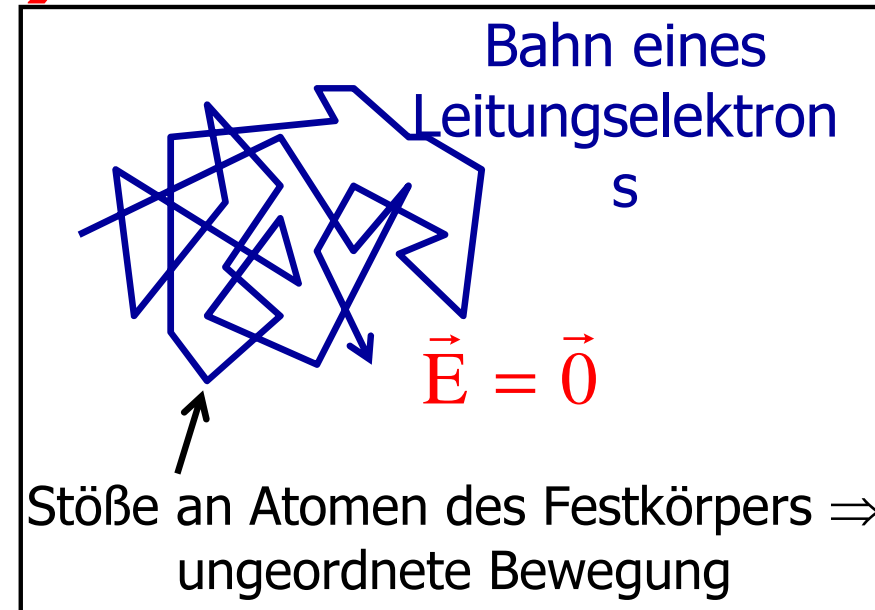
a) $\vec{E} = \vec{0}$

typische instantane Geschwindigkeit

(T-abhängig):

$$\langle |\vec{v}| \rangle \approx 10^6 \dots 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

aber $\langle \vec{v} \rangle = \vec{0}, \langle \vec{j} \rangle = \vec{0}$



mittlere freie Weglänge (zwischen zwei Stößen): Λ

mittlere Zeit zwischen zwei Stößen:

$$\tau_s = \frac{\Lambda}{\langle |\vec{v}| \rangle}$$

Beispiel: Kupferdraht bei Zimmertemperatur

$$\langle |\vec{v}| \rangle = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Lambda = 4 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

$$\tau_s = 2,7 \cdot 10^{-14} \text{ s}$$

Ohmsches Gesetz (b)

b) $\vec{E} \neq \vec{0}$

$$\vec{F} = q\vec{E} \Rightarrow \langle \Delta \vec{v} \rangle = \frac{\vec{F}}{m} \cdot \tau_s$$

Bsp.: Cu-Draht, $E = 100 \text{ V/m}$

$$\langle |\vec{v}| \rangle = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \langle |\Delta \vec{v}| \rangle \approx 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

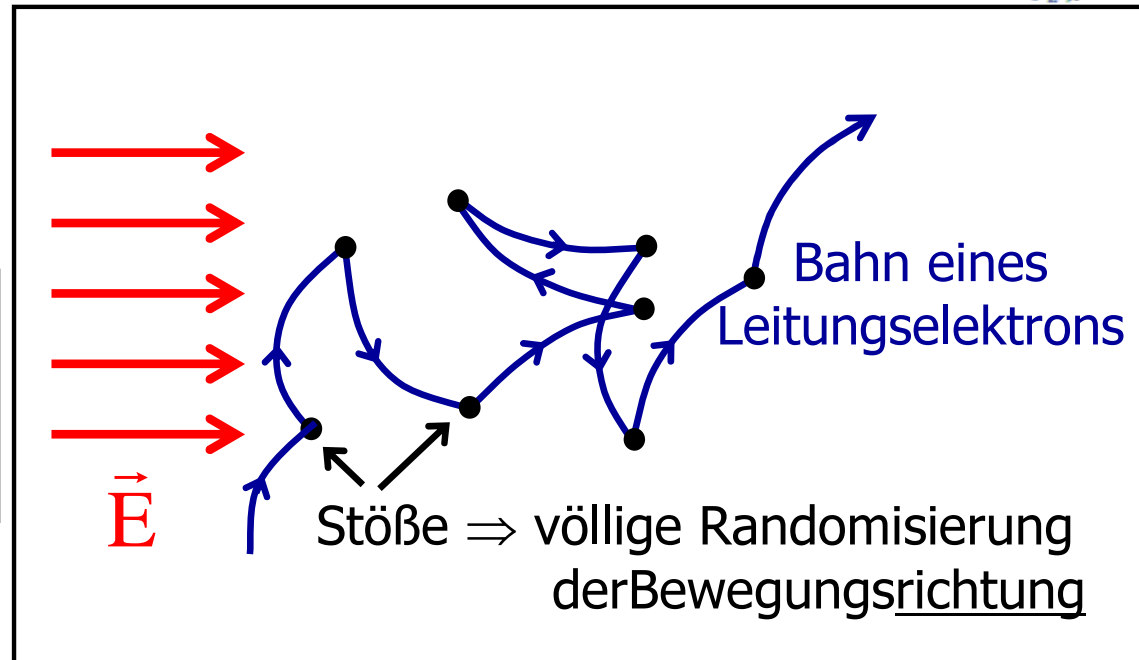
Def.: Driftgeschwindigkeit $\vec{v}_D = \langle \Delta \vec{v} \rangle$

\Rightarrow Ladungstransport

$$\vec{j} = nq\vec{v}_D = nq \frac{\vec{F}}{m} \tau_s = \frac{nq^2 \tau_s}{m} \cdot \vec{E} \Rightarrow$$

$$\vec{v}_D = \mu \cdot \vec{E}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{el}}{nq} \quad \text{Beweglichkeit}$$



$$\vec{j} = \sigma_{el} \cdot \vec{E} \quad \text{Ohmsches Gesetz}$$

$$\sigma_{el} = \frac{nq^2 \tau_s}{m} \quad \text{elektrische Leitfähigkeit}$$

σ_{el}, μ stark T-abhängig,
oft unabhängig von E

Homogener Leiter (konst. Querschnitt)



$\vec{j} = \text{const.}$ über Querschnitt

$$\vec{E} = \frac{\vec{j}}{\sigma_{\text{el}}} \quad \text{homogen}$$

$$U = E \cdot L$$

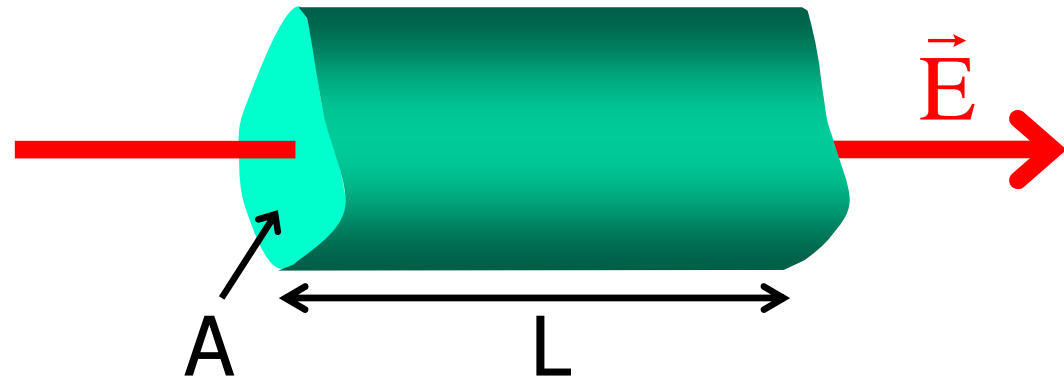
$$I = j \cdot A$$

$$\vec{j} = \sigma_{\text{el}} \cdot \vec{E}$$

$$[R] = \text{VA}^{-1} = \Omega = \text{Ohm}$$

$$[\rho_s] = \Omega \text{m}$$

Allgemeine Def.: $R = \frac{U}{I}$



$$U = R \cdot I$$

Ohmsches Gesetz

$$R = \frac{L}{\sigma_{\text{el}} \cdot A}$$

elektrischer Widerstand

$$\rho_s = \frac{1}{\sigma_{\text{el}}} = R \cdot \frac{A}{L}$$

spezifischer Widerstand
(Materialparameter)

Schaltzeichen

