

## 2.1.5 Merkpunkte Kapitel 2.1

### Ohmsches Gesetz

$$I \propto U = \frac{1}{R} \cdot U$$

besser:

$$\underline{j} = \sigma \underline{E}$$

### Elektrischer Strom $\underline{j}_e$ = *mechanischer* Strom $\underline{j}_T$ *geladener* Teilchen

$$\underline{j}_e = q \cdot \underline{j}_T$$

$q$  = Ladung  
des Teilchens

$$\underline{j}_T = \frac{\text{Zahl Teilchen } N \text{ pro Fläche } F \text{ und Zeit } t}{F \cdot t} = \frac{N}{F \cdot t}$$

### Es zählt nur der **Nettostrom** = Differenz der Teilströme. Der Nettostrom ist bestimmt durch die Driftgeschwindigkeit $v_D$

$$\underline{j} = q \cdot n \cdot v_D$$

### Damit ergibt sich die "Mastergleichung" für die **Leitfähigkeit**; $\mu$ ist der Materialparameter "Beweglichkeit" = $v_D/E$

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu$$

### Die Existenz einer konstanten Driftgeschwindigkeit trotz einer konstante Kraft erfordert die Existenz von "Reibung" = **Stöße** im Mikroskopischen.

$$v_D = - \frac{E \cdot e \cdot \tau}{m}$$

$$I = 2T(v_0 + v_D)$$

$$\mu = \frac{v_D}{E} = \frac{e \cdot \tau}{m} = \frac{e \cdot D}{kT}$$

$$\sigma = \frac{n \cdot e^2 \cdot \tau}{m} = \frac{n \cdot e^2 \cdot l}{2 \cdot m \cdot (v_0 + v_D)}$$

● Stoßpartner für die Elektronen sind **Phononen**, Kristallgitterdefekte und andere Elektronen.

● Die entscheidenden Parameter sind die mittlere **Stoßzeit**  $\tau$  und die damit verknüpfte mittlere freie Weglänge  $l$

● Es ergeben sich die nebenstehenden Beziehungen. Dabei ist die Einstein-Smoluchowski Beziehung zwischen  $\mu$  und Diffusionskonstante  $D$  schon eingetragen,

### Die mittlere thermische Geschwindigkeit $v_0$ folgt aus der klassischen Thermodynamik:

$$E = E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \frac{3}{2} kT$$

$$v_0 = \left( \frac{3 kT}{m} \right)^{1/2}$$

Für Metalle mit bekannter Konzentration  $n$  der Elektronen und gemessenen Leitfähigkeiten lassen sich die interessanten Größen ausrechnen; man erhält

- Das kann nicht stimmen - insbesondere  $l$  ist viel zu klein!

*Offenbar ist Quantentheorie erforderlich!*

- Der **Hall Effekt** betrachtet Stromfluß im Magnetfeld  $B_z$ . Bei orthogonaler Geometrie wird senkrecht zu  $E_x$  und  $B_z$  eine Hallspannung  $E_y$  · **Breite** induziert.
- Damit sind Beweglichkeiten direkt meßbar; das Vorzeichen der Hallkonstante gibt direkt das Vorzeichen der fließenden Ladungen.
- Gelegentlich findet man *positive* Ladungen; klassisch nicht erklärbar. *Offenbar ist Quantentheorie erforderlich!*

$$v_0 \approx 5 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

$$\tau \approx 4 \cdot 10^{-14} \text{ s}$$

$$v_D \approx 6 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$$

$$l \approx 3 \text{ nm}$$

$$E_y = \text{sgn}(q) \cdot \mu \cdot E_x \cdot B_z = R_{\text{Hall}} \cdot B_z \cdot j_x$$

$$R_{\text{Hall}} = \pm \frac{\mu}{\sigma}$$