

Die Beweglichkeit der Leitungselektronen

Aus der o.g. Gleichung erkennt man, dass die Stromstärke im Metall durch die Anzahldichte n und die Geschwindigkeit v der gerichteten Bewegung der Elektronen unter dem Einfluss des elektrischen Feldes bestimmt wird.

Man kann diese Geschwindigkeit berechnen, wenn man die Stromstärke im Leiter und die Konzentration der Leitungselektronen im gegebenen Metall kennt.

Für Kupfer ergibt sich z.B. mit $n = 9 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$, einer Querschnittsfläche $A = 1 \text{ mm}^2$ und einer Stromstärke von 10 A eine mittlere Geschwindigkeit $v = 0,7 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Diese Geschwindigkeit ist sehr gering, viel geringer als die mittlere Geschwindigkeit der Molekularbewegung der

Elektronen, die für Kupfer die Größenordnung von $1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ besitzt.

Um die Eigenschaften der Leitungselektronen durch makrophysikalische Größen zu beschreiben, ziehen wir einen Vergleich zu mechanischen Bewegungen, die durch eine geschwindigkeitsabhängige Reibungskraft $F = k \cdot v$ gehemmt werden. Dies führt uns mit $F = e \cdot E$ und $F = k \cdot v$ zu

$$e \cdot E = k \cdot v \text{ bzw. } \frac{e}{k} = \frac{v}{E} .$$

Den Ausdruck

$$\frac{v}{E} = u$$

bezeichnet man als **Beweglichkeit** der Ladungsträger.

Damit können wir nun die *Driftgeschwindigkeit* v in der Gleichung für die Stromstärke ersetzen durch einen Ausdruck, der diese Beweglichkeit der Ladungsträger enthält. Wir bekommen:

$$I = e \cdot n \cdot A \cdot u \cdot E ,$$

und mit $E = \frac{U}{l}$ erhalten wir $\frac{U}{I} = \frac{1}{n \cdot e \cdot u} \cdot \frac{1}{A}$.

$$\frac{U}{I} = R$$

ist der **ohmsche Widerstand** des Leiters. Bezeichnen wir $\sigma = n \cdot e \cdot u$ als **spezifische**

Leitfähigkeit und $\rho = \frac{1}{\sigma}$ als spezifischen Widerstand, erhalten wir das Widerstandsgesetz

$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$. Die Gleichung $\rho = \frac{1}{n \cdot e \cdot u}$ verknüpft die direkt messbare Stoffkonstante σ mit

Größen, die in unserem Modell vom elektrischen Leitungsvorgang die Eigenschaften der Leitungselektronen beschreiben.

Wir können hieraus ersehen, dass der ohmsche Widerstand nur dann konstant ist, wenn die *spezifische Leitfähigkeit* unverändert bleibt.

Dies ist der Fall, wenn n , die *Ladungsdichte* der Ladungsträger, und deren *Beweglichkeit* u beim Leitungsvorgang konstant bleiben.

In Metallen ist die Ladungsdichte stets konstant und durch den Stoff gegeben.

Untersuchungen haben ergeben, dass sich diese Werte auch bei starker Erhöhung der Temperatur nicht ändern.

Also ist die Anzahldichte der Leitungselektronen und damit die Ladungsdichte in Metallen von der Temperatur unabhängig.

Anders sieht es mit der Beweglichkeit u der Leitungselektronen aus. Da diese wesentlich durch die Anzahl der Stöße mit den Gitterbausteinen bestimmt wird, nimmt sie mit steigender Temperatur ab.

Der Widerstand eines metallischen Leiters hängt damit von der Temperatur ab.

Er nimmt zu, wenn sich die Temperatur erhöht. Für die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Temperatur gilt näherungsweise:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T).$$

Dabei ist R_0 der Anfangswiderstand des Metalls, ΔT die Änderung der Temperatur und α der Temperaturkoeffizient. Dieser beträgt für die meisten unlegierten Metalle etwa $0,004K^{-1}$.