

Physikalisches Praktikum für Anfänger - Teil 1
Gruppe 2 - Wärmelehre

2.5 Das Wiedemann-Franzsche Gesetz

1 Grundlagen

Bringt man einen an seinen Seiten thermisch isolierten Stab der Länge l mit seinen Stirnflächen in thermischen Kontakt mit zwei Wärmebädern $T_1 > T_2$, so ist nach Erreichen eines stationären Zustandes die pro Sekunde durch die Querschnittsfläche A transportierte Wärmemenge Q proportional zur Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$, zu A und umgekehrt proportional zu l . Es gilt also

$$\frac{Q}{t} = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{l}. \quad (1)$$

Die Proportionalitätskonstante λ ist das *Wärmeleitvermögen* des Materials des Stabes. Das Wärmeleitvermögen von Metallen übertrifft das von Isolatoren um mehrere Größenordnungen. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass die frei beweglichen Elektronen eines Leiters nicht nur den elektrischen Strom sondern auch Wärme transportieren. Eine einfache Transporttheorie liefert für λ und die elektrische Leitfähigkeit σ folgende Ausdrücke:

$$\lambda = k \cdot n \cdot \Lambda \cdot v/2, \quad \sigma = \frac{e^2 \cdot n \cdot \Lambda}{2 \cdot m \cdot v} \quad (2)$$

- n – Elektronendichte
- Λ – mittlere freie Weglänge der Elektronen
- k – Boltzmannkonstante
- m – Elektronenmasse
- v – thermische Geschwindigkeit der Elektronen .

v ist gegeben durch $mv^2/2 = 3kT/2$. Dividiert man beide Gleichungen durcheinander, so erhält man das *Wiedemann-Franzsche Gesetz*

$$\lambda/\sigma = 3 \cdot k^2 \cdot T/e^2. \quad (3)$$

σ und λ können mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes

$$j = \frac{I}{A} = \sigma \cdot E = -\sigma \cdot \frac{\Delta U}{\Delta s} \quad (4)$$

und des Fourierschen Gesetzes

$$S = \frac{W}{A} = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta s} \quad (5)$$

bestimmt werden. Hierin sind j und I Stromdichte und Strom, E die elektrische Feldstärke, ΔU der Spannungsabfall über der Länge Δs , A der Leiterquerschnitt, S und W Wärmestromdichte und Wärmestrom und ΔT der Temperaturabfall über Δs .

In diesem Versuch soll das Wiedemann-Franzsche Gesetz für verschiedene Metalle (Cu, Al, Fe und Messing) bei Zimmertemperatur überprüft werden.

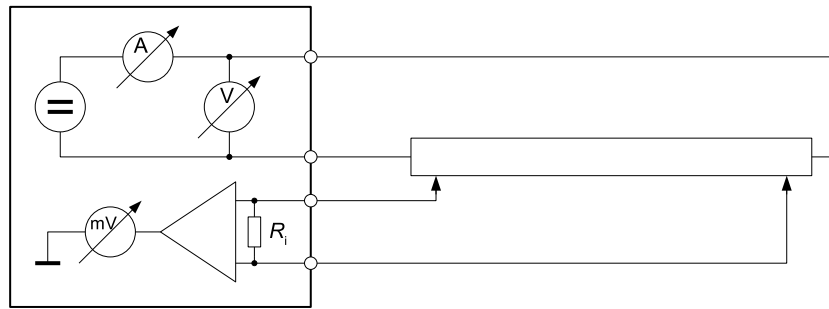


Abbildung 1: Versuchsaufbau, Leitfähigkeitsmessung

2 Aufbau und Durchführung

2.1 Messung der elektrischen Leitfähigkeit σ

Zur Messung der elektrischen Leitfähigkeiten steht für jedes zu untersuchende Material ein Metallstab von ca. 22cm Länge und 4mm Dicke zur Verfügung. Der sich bei einem Strom I über eine Strecke von 20cm einstellende Spannungsabfall wird über zwei Kontaktschneiden abgegriffen und mit einem mV-Meter gemessen. Der Strom wird von einer einstellbaren Spannungsquelle geliefert (siehe Abb. 1).

Aufgabe:

1. Messen Sie für mehrere Stromstärken I den sich einstellenden Spannungsabfall und bestimmen Sie mittels Gleichung (4) die Leitfähigkeit σ . Achten Sie hierbei auf guten Sitz der Kontaktschneiden, da sonst erhebliche Messfehler entstehen.

2.2 Messung des Wärmeleitvermögens λ

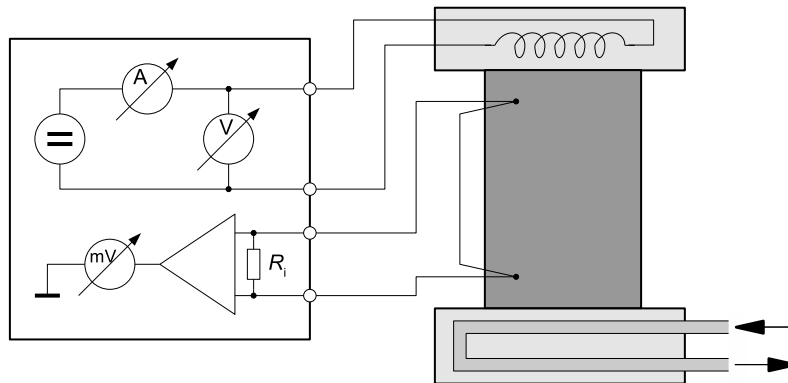


Abbildung 2: Versuchsaufbau, Messung des Wärmeleitvermögens

Zur Messung der Wärmeleitvermögen werden 39,5 mm dicke Metallzylinder verwendet. Ihnen wird an einem Ende durch eine elektrische Heizung Wärme zugeführt. Am anderen Ende wird dem Probekörper durch eine Wasserkühlung Wärme entzogen, so dass aufgrund der Temperaturdifferenz ein Wärmetransport einsetzt. Im stationären Fall wird alle am heißen Ende zugeführte Energie durch die Wasserkühlung wieder abgeführt. Wärmestromdichte $S = I_{\text{heiz}} \cdot U_{\text{heiz}}/A$ und Temperaturgradient $\Delta T/\Delta s$ vor (Abb. 2) sind konstant. Der Temperaturgradient wird mit Hilfe von fünf in Reihe geschalteten Kupfer-Konstantan-Thermoelementen, deren

<i>Probekörper</i>	R_{th}/Ω
Eisen	35,2
Messing	50,0
Aluminium	51,6
Kupfer	56,4

Tabelle 1: Widerstände der Thermoelemente

Lötstellen 6cm voneinander entfernt liegen, gemessen. Sie liefern im zu messenden Temperaturbereich eine Thermospannung von $5 \cdot 40 \mu V/K = 0,2 mV/K$. Bei der Messung von ΔT ist der Gesamtinnenwiderstand R_{th} der Thermoelemente gegenüber dem Eingangswiderstand des mV-Meters ($R_i = 500 \Omega$) zu berücksichtigen! Die Widerstände entnehmen Sie der Tabelle 1.

Aufgaben:

1. Messen Sie bei maximaler Heizspannung den sich einstellenden Temperaturgradienten, und bestimmen Sie hieraus gemäß Gleichung (5) das Wärmeleitvermögen λ . Achten Sie darauf, dass die Probekörper mit ihrer gesamten Stirnfläche Heiz- und Kühlelemente berühren, da nur so ein guter thermischen Kontakt gewährleistet ist.
2. Vergleichen Sie die von Ihnen gemessenen Werte für λ/σ mit dem bei Zimmertemperatur zu erwartenden Wert.

Die Messung von ΔT muss bei stationären Verhältnissen vorgenommen werden, was bei konstanter Heizung nach 15 bis 30 Minuten der Fall ist. Die Metallzylinder sind sorgsam zu behandeln, damit die Thermoelemente nicht beschädigt werden. Die Heizung darf nur bei korrekt eingesetztem Probekörper eingeschaltet werden, da die Heizwicklung sonst überhitzt wird.

Achtung: Der Probekörper aus Eisen ist so in die Apparatur einzusetzen, dass die Beschriftung auf dem Kopf steht, da anderenfalls das Voltmeter in negative Richtung ausschlägt.

Literatur: Gehrtsen Physik: Kap. 5.4.2, 6.4.3 und 17.3.4