

Physikalisches Praktikum für Anfänger - Teil 1
Gruppe 2 - Wärmelehre

2.5 Das Wiedemann-Franzsche Gesetz

Schlichwörter: Wiedemann-Franzsche Gesetz, Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung, elektrische Leitfähigkeit, Vier-Punkt-Messung, Stromwärmegesetz, Wärmesenke.

Hinweis: zu diesem Versuch wird kein Laborbericht verlangt. Daher wird eine sehr gute Vorbereitung erwartet. Lesen Sie mindestens die am Ende angegebene Literatur gut durch, und recherchieren Sie in anderen Quellen (z.B. andere Aufbauten, Erwartungswerte, usw.) vor dem Versuchstag.

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*

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

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.

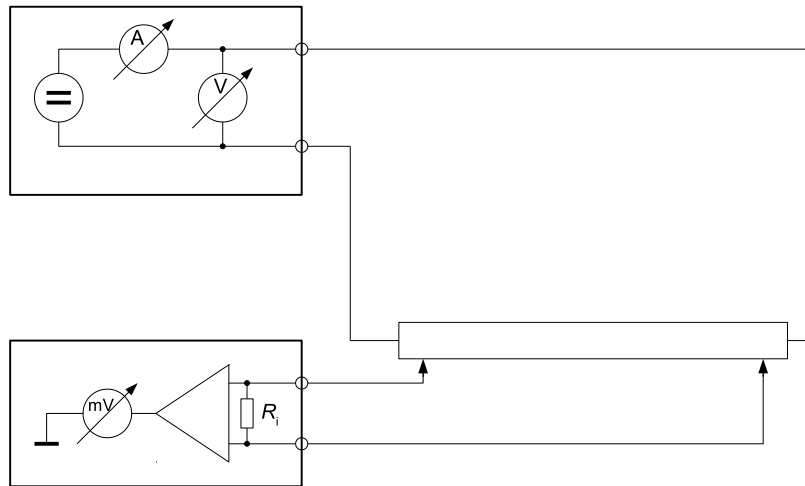


Abbildung 1: Versuchsaufbau, Leitfähigkeitsmessung

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. 22 cm Länge und 4 mm Dicke zur Verfügung. Der sich bei einem Strom I über eine Strecke von 20 cm einstellende Spannungsabfall wird über zwei Kontaktschneiden abgegriffen und mit einem mV-Meter gemessen. Der Strom wird von einer einstellbaren Strom- und Spannungsquelle geliefert (siehe Abb. 1).

Aufgaben:

1. Messen Sie für sechs 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. Bestimmen Sie den Mittelwert und die Standardabweichung der Leitfähigkeit für jedes Metall.

2.2 Messung des Wärmeleitvermögens λ

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 zwei in Reihe geschalteten Kupfer-Konstantan-Thermoelementen, deren Lötstellen 6 cm voneinander entfernt liegen, gemessen. Sie liefern im zu messenden Temperaturbereich eine Thermospannung von $40 \mu\text{V/K}$.

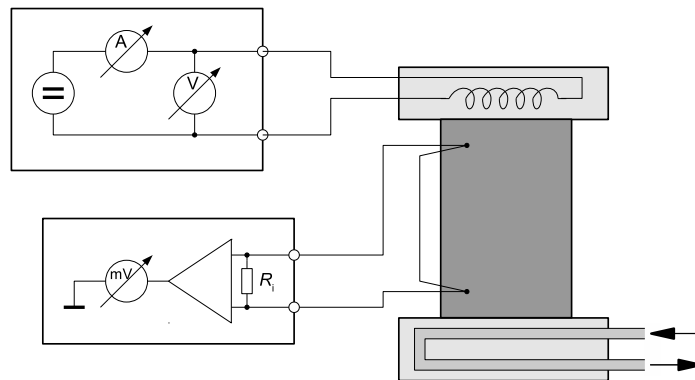


Abbildung 2: Versuchsaufbau, Messung des Wärmeleitvermögens

Aufgaben:

1. Messen Sie bei 1,0 A Heizstrom 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.
3. Bestimmen Sie den Fehler von λ und λ/σ

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.

Literatur: Meschede, *Gerthsen Physik*, Kap. 6.5, 7.4.3 und 18.3., 25. Auflage (2015)