

Vorbereitung: Wärmeleitung

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

21. Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

0	Allgemeines	3
0.1	Seebeck-Effekt	3
0.2	Peltier-Effekt	3
1	Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing	4
2	Messungen am Peltierblock	4
2.1	Temperaturdifferenz in Abhängigkeit vom Strom durch einen Peltier-Kühlblock im 'Leerlauf' .	4
2.2	Kälteleistung und elektrische Leistung in Abhängigkeit vom Peltierstrom	4
3	Thermostrom	5
3.1	Demonstration des sehr hohen erreichbaren Thermostroms	5
3.2	Vergleich der im Experiment bestimmten Tragkraft des Elektromagneten mit einem theoretisch berechneten Wert	5
4	Quellen	5

0 Allgemeines

In diesem Versuch wird die Wärmeleitung in Metallen im Zusammenhang mit unterschiedlichen thermoelektrischen Effekten untersucht.

0.1 Seebeck-Effekt

Der Seebeck-Effekt tritt in Stromkreisen auf, die aus unterschiedlichen Leitern aufgebaut sind. Zwischen den Kontaktstellen dieser Leiter lässt sich dann eine kleine Spannung messen, wenn eine Temperaturdifferenz vorhanden ist.

Eine einfache Schaltung, in der man diese Spannung messen kann, könnte beispielsweise so aussehen:

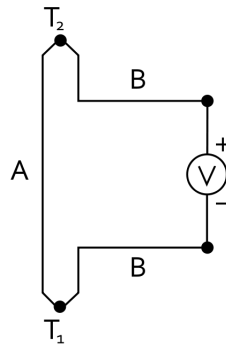


Abbildung 1: Einfache Schaltung zur Demonstration des Seebeck-Effekts. A und B sind unterschiedliche Materialien, T_1 und T_2 sind die Temperaturen der Kontaktstellen

Die in diesem Fall messbare Spannung hat den Betrag

$$U = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT \quad (1)$$

Für kleine Temperaturdifferenzen ergibt sich außerdem

$$U = (T_2 - T_1) \cdot (S_B - S_A) = \alpha \cdot (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Wobei S_B , S_A und α sogenannte materialspezifische Seebeck-Koeffizienten sind.

Zur Erklärung des Effekts betrachtet man einen Metallstab, dessen Enden unterschiedliche Temperaturen haben. In Metallen sind Bindungselektronen frei beweglich ('Elektronengas'). Auf der heißen Seite des Stabes befinden sich mehr Elektronen, die sich in Zuständen höherer Energie befinden, als auf der kalten Seite. Da das System versucht, seinen energetisch günstigsten Zustand einzunehmen, wandern solche höherenergetische Elektronen auf die kalte Seite, sodass ein Konzentrationsausgleich stattfindet. Dieser entstehende Strom wirkt entgegen der Temperaturdifferenz. An den Enden des Stabes ist nun eine kleine Spannung messbar.

Der Seebeck-Effekt lässt ausnutzen, um eine Temperatur über eine Spannungsmessung zu bestimmen (Thermoelement).

0.2 Peltier-Effekt

Der Peltier-Effekt ist gewissermaßen eine Umkehrung des Seebeck-Effekts: Hier wird durch einen äußeren angelegten Strom an einer Kontaktstelle zweier Materialien Wärme erzeugt oder absorbiert.

Der Effekt lässt sich dadurch erklären, dass Elektronen in unterschiedlichen Materialien unterschiedlich viel Energie transportieren. An den Kontaktstellen muss diese Energie beim Übergang vom einen ins andere Material aufgenommen oder abgegeben werden.

Für die zeitliche Änderung der Wärmemenge gilt:

$$\dot{Q} = (\Pi_B - \Pi_A) \cdot I \quad (3)$$

Wobei Π wieder materialspezifische, temperaturabhängige Konstanten sind.

1 Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing

In dieser Aufgabe soll die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing ermittelt werden. Dazu werden Stäbe aus diesen Materialien an einer Seite geheizt und an der anderen Seite mithilfe von Eiswasser gekühlt.

Die Heizleistung und die Temperaturverteilung entlang des Stabes werden gemessen: Zur Messung der Temperatur sind im Stab kleine Bohrungen vorhanden, in die sogenannte Thermoelemente gesteckt werden können. Die andere Seite der Thermoelemente wird ebenso mit Eiswasser gekühlt. Thermoelemente beruhen auf dem Seebeck-Effekt und erzeugen eine temperaturabhängige Spannung, über die auf die Temperatur geschlossen werden kann.

Für die Wärmeleitfähigkeit k gilt die Gleichung

$$\vec{w} = -k \cdot \text{grad}(T) \quad (4)$$

mit der Wärmestromdichte $w = \frac{P}{A}$. Im eindimensionalen Fall, umgeformt:

$$k = -w \cdot \frac{dx}{dT} \approx -w \cdot \frac{\Delta x}{\Delta T} \quad (5)$$

Da P genau der Heizleistung entspricht, gilt $P = U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}}$. A entspricht genau der Durchschnittsfläche des Stabes $A = \pi r^2$. Also:

$$w = \frac{U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}}}{\pi r^2} \quad (6)$$

Für die Temperaturdifferenz zwischen Messpunkt und kalter Stelle gilt

$$\Delta T = T_W - T_K = \frac{U}{\alpha} \quad (7)$$

da laut Seebeck-Effekt $U = \alpha \cdot \Delta T$ gilt. U wird direkt am Thermoelement gemessen.

Setzt man ein, erhält man:

$$k = -\frac{U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}}}{\pi r^2} \cdot \frac{\Delta x \cdot \alpha}{U} \quad (8)$$

Damit lässt sich die Wärmeleitfähigkeit über Messung von U_{Heiz} , I_{Heiz} und U bestimmen. Da es recht lange dauert, bis sich ein Temperaturgleichgewicht einstellt, soll gleich mit dem nächsten Versuch begonnen werden.

2 Messungen am Peltierblock

2.1 Temperaturdifferenz in Abhängigkeit vom Strom durch einen Peltier-Kühlblock im 'Leerlauf'

Zunächst wird eine Temperaturdifferenz hergestellt, indem der Peltier-Kühlblock auf der einen Seite die Temperatur von Kühlwasser hält. Die andere Seite ist gegen die Außentemperatur isoliert.

Mit einem Thermoelement kann man nun die Temperaturdifferenz bestimmen.

2.2 Kälteleistung und elektrische Leistung in Abhängigkeit vom Peltierstrom

Gemessen werden die Kälteleistung Q und die elektrische Leistung P in Abhängigkeit vom Peltierstrom I . Es soll auf jeden Fall eine Messung bei $\Delta T=3$ K durchgeführt werden, falls die Zeit reicht evtl. noch bei $\Delta T=6$ K

Für die Messung der Kälteleistung wird durch 'Gegenheizen' auf der kalten Seite eine konstante Temperaturdifferenz erreicht. Aus der Heizspannung und dem Heizstrom lässt sich Q berechnen:

$$Q = I_{\text{Heiz}} \cdot U_{\text{Heiz}} \quad (9)$$

Aus dem Strom und der Spannung am Peltier-Block kommt man auf die elektrische Leistung:

$$P = U_B \cdot I_B \quad (10)$$

Daraus lässt sich die Leistungsziffer berechnen:

$$\varepsilon = \frac{Q}{P} = \frac{I_{\text{Heiz}} \cdot U_{\text{Heiz}}}{U_B \cdot I_B} \quad (11)$$

3 Thermostrom

3.1 Demonstration des sehr hohen erreichbaren Thermostroms

In diesem Versuch werden die sehr hohen erreichbaren Thermostromstärken demonstriert, indem mit dem resultierenden Magnetfeld einer einzigen Leiterschleife ein 5kg-Gewichtsstück getragen wird. Dazu wird eine Kontaktstelle des Thermoelements mit einem Bunsenbrenner geheizt, die andere mit Eiswasser gekühlt.

3.2 Vergleich der im Experiment bestimmten Tragkraft des Elektromagneten mit einem theoretisch berechneten Wert

Der Versuch wird wie in der Versuchsanleitung beschrieben durchgeführt.

Für den Widerstand der Kupfer-Leiterschleife gilt

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A_{Cu}} \quad (12)$$

wobei $\rho = 1.68 \cdot 10^{-2} \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ der spezifische Widerstand von Kupfer ist. Für den durch die Leiterschleife fließenden Strom gilt dann

$$I = \frac{U \cdot A_{Cu}}{\rho \cdot L} \quad (13)$$

wobei U die Thermospannung bezeichnet. Für das Magnetfeld einer Leiterschleife mit einer Windung gilt die Formel

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2r} \cdot I \quad (14)$$

Nun setzt man die Tragkraft des Elektromagneten $F = \frac{AB^2}{2\mu_0}$ (A bezeichnet die Auflagefläche des Magneten) mit der Gewichtskraft mg gleich und erhält nach Umformung:

$$F_{Trag} = \frac{A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r^2 \cdot U^2 \cdot A_{Cu}^2}{8r^2 \rho_{Cu}^2 l^2} \quad (15)$$

4 Quellen

- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e5/Seebeck_effect_circuit_2.svg/500px-Seebeck_effect_circuit_2.svg.png