Versuchsvorbereitung P2-32: Wärmeleitung und thermoelektrische Effekte

Kathrin Ender, Michael Walz
Gruppe 10

29. Juni 2008

Inhaltsverzeichnis

1 Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing

In diesem Versuchsteil soll die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer und Stahl bestimmt werden. Die Messung von Messing ist optional und sollte je nach vorhandener Zeit ausgeführt werden. Dazu wird folgender Versuch aufgebaut:

- Der Probestab wird an einer Seite mit einer Heizwicklung elektrisch beheizt, während die andere Seite über fließendes Kühlwasser gekühlt wird. Die maximale Heizspannung beträgt $13\,\mathrm{V_{eff}}$. Damit sollen Temperaturdifferenzen von ca. 8-10K bei Kupfer und 30K bei Stahl erreicht werden.
- Um den Temperaturverlauf zu messen, soll mittels Thermoelementen an drei Stellen gemessen werden. Die recht empfindlichen Thermoelementen werden laufend auf einer Seite in Eiswasser gekühlt. Über den linearen Zusammenhang von Thermospannung und Temperatur kann auf den Temperaturverlauf der Probe geschlossen werden.
- Die Messung dauert recht lange, weswegen schon mit Aufgabe 2 begonnen werden sollte, bevor die Messung komplett abgeschlossen ist.

1.1 Mathematische Behandlung

Die der Probe zugeführte Energie (pro Zeit) ist:

$$P = I_h \cdot U_h$$

Dabei bezeichnet I_h und U_h den Heizstrom- bzw. Spannung der Heizwicklung. Diese Leistung lässt sich aber auch über die Wärmestromdichte Φ und den Querschnitt der Probe berechnen.

$$P = \Phi \cdot A$$

Die Wärmestromdichte ist proportional zum Gradienten der Temperatur. Der Proportionalitätsfaktor ist der zu bestimmende Wärmeleitfähigkeitskoeffizient λ.

$$\Phi = \lambda \cdot \vec{\nabla} T$$

Damit ergibt sich für den Koeffizienten λ:

$$\lambda = \frac{P}{A \cdot \vec{\nabla} T} = \frac{I_h \cdot U_h}{\pi r^2 \cdot \vec{\nabla} T}$$

Bei den zu untersuchenden Proben gilt $r = 8\,\mathrm{mm}$. Der Gradient $\vec{\nabla} T$ lässt sich über die Steigung A der linearen Regression $T(x) = A \cdot x + B$ über die drei Messpunkte nähern.

1.2 Temperaturmessung

Wie Temperaturmessung genau aussehen wird, ist dem Aufgabenblatt nicht zu entnehmen. Auf jeden Fall wird die Temperatur über Thermoelemente gemessen, sodass man sich den linearen Effekt der Thermospannung zu Nutze machen könnte.

$$U_{\text{Thermo}} = \alpha \cdot \Delta T$$

Dabei bezeichnet $\Delta T = T_h - T_k$ den Temperaturunterschied zwischen dem heißen und kalten Ende des Thermoelements. Ob wir den Faktor α gegeben haben, oder ob die Messaparatur bereits die Thermospannung in eine Temperatur umrechnet, ist unklar. Sollten wir nur die Spannungen messen können, so ließe sich λ bei Kenntnis von α berechnen zu:

$$\lambda = \frac{I_h \cdot U_h \cdot \alpha}{\pi r^2 \cdot \frac{\Delta U_{\text{Thermo}}}{\Delta x}}$$

2 Peltier-Kühlblock

Beim Peltier-Kühlblock wird der Effekt der Thermospannung umgekehrt ausgenutzt. Anstatt durch einen Temperaturunterschied eine Thermospannung/Thermostrom zu erzeugen, wird beim Peltier-Kühlblock über einen Stromfluss ein Temperaturunterschied erzeugt. Damit kann lokal trotz der Ohmschen Abwärme sogar ein Kühleffekt erreicht werden.

2.1 Peltier-Kühlblock im Leerlauf

Nun soll ein Peltier-Kühlblock im „Leerlauf" gemessen werden. Im Leerlauf heißt, dass die eine Seite lediglich isoliert wird. Die andere Seite wird auf der Temperatur von Kühlwasser gehalten. Den Temperaturunterschied lässt sich wieder mit einem Thermoelement messen[1]. Dabei kann durch das Peltier-Element ein Stromfluss bis 20A eingestellt werden.

- Gemessen werden soll die entstehenden Temperaturdifferenz ΔT in Abhängigkeit vom Stromfluss I.

2.2 Kälteleistung Q und elektrische Leistung P

Nun sollen die Kälteleistung Q und elektrische Leistung P in Abhängigkeit vom Stromfluss I bestimmt werden und damit ein Schaubild der Leistungsziffer $\varepsilon(I) = \frac{Q}{P}$ erstellt werden. Da sich durch das Peltier-Kühlblock die gekühlte Seite immer weiter abkühlen würde, wird durch „Gegenheizen" die Temperaturdifferenz konstant gehalten. Es soll bei $\Delta T = 3\,\mathrm{K}$ und wenn möglich auch bei $\Delta T = 6\,\mathrm{K}$ gemessen werden.

2.3 Mathematische Behandlung

Die Kälteleistung Q wird genau durch den Prozess des Gegenheizens aufgehoben. Mit der Annahme, dass dieses Heizen auch elektrisch geschieht ergibt sich:

$$Q = U_{\mathrm{Heiz}} \cdot I_{\mathrm{Heiz}}$$

Die elektrische Leistung P ist einfach durch den Strom I und die Spannung U, mit der Peltier-Kühlblock betrieben wird:

$$P = I \cdot U$$

Damit ergibt sich für die Leistungsziffer zunächst eine antiproportionale Abhängigkeit vom Stromfluss I:

$$\varepsilon(I) = \frac{U_{\mathrm{Heiz}} \cdot I_{\mathrm{Heiz}}}{U \cdot I}$$

Da aber die anderen Größen auch vom Stromfluss abhängen, kann hier noch keine qualitative Aussage über das Verhalten von $\varepsilon(I)$ gemacht werden.

[1] gleiche Problematik wie oben

3 Magnetische Wirkung des Thermostroms

In diesem Versuchsteil soll die Stärke des Thermostroms anhand seiner magnetischen Wirkung verdeutlicht werden. Die experimentell bestimmte Tragkraft des mit Hilfe des Thermostroms realisierten Elektromagneten soll mit der theoretischen Tragkraft verglichen werden.

3.1 Elektromagnet mit Thermostrom

Um einen Elektromagneten mit Hilfe von Thermostrom zu realisieren, verwendet man ein Thermoelement, das aus einer Cu-Leiterschleife mit eingelöteter Konstantan-Brücke besteht. Durch eine Temperaturdifferenz zwischen den zwei Kontaktstellen des Thermoelements entsteht ein Stromfluss (Seebeckeffekt). Die Leiterschleife des Thermoelements geht durch ein geteiltes Eisenjoch. Durch den Thermostrom wird so ein Elektromagnet erzeugt. Die Temperaturdifferenz an den Kontaktstellen erreicht man, indem die eine Kontaktstelle mit einem Bunsenbrenner geheizt wird und die andere mit Eiswasser gekühlt wird. Da der Widerstand des Thermoelements niederohmig ist, kann trotz einer kleinen Thermospannung ein recht großer Thermostrom erzeugt werden.

Um die Stärke des resultierenden Magnetfeldes zu demonstrieren, wird ein 5kg-Gewicht an den Elektromagneten gehängt. Dessen Tragkraft sollte groß genug sein, um das Gewicht zu halten.

3.2 Bestimmung der Tragkraft

Die Tragkraft des Elektromagneten hängt von der Stärke der Thermospannung und damit von der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Kontaktstellen ab. Je höher die Temperaturdifferenz desto höher ist auch die Tragkraft. Sinkt nun die Temperaturdifferenz, so sinkt auch die Tragkraft. Kurz bevor die Tragkraft zu klein wird, um das Gewicht zu tragen, muss sie der Gewichtskraft des Gewichtes entsprechen.

$$F_G = g \cdot m = 9{,}81 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot 5\mathrm{kg} = 49{,}1\mathrm{N}$$

Durch Messung der Thermospannung zu diesem Zeitpunkt kann die Tragkraft experimentell bestimmt werden. Um den Zusammenhang zwischen Tragkraft und Thermospannung herzuleiten, muss zunächst der Thermostrom berechnet werden. Es gilt:

$$I_T = \frac{U_T}{R_{Cu}} \qquad \text{mit} \quad R_{Cu} = \varrho_{Cu} \cdot \frac{l}{A_{Cu}}$$

ϱ_{Cu} ist der spezifische Widerstand von Kupfer, l ist die Länge des Thermoelemente und A_{Cu} ist der Durchmesser des Kupferdrahtes. Um die Stärke des Magnetfeldes zu berechnen verwenden wir die Formel für das B-Feld im Inneren einer Leiterschleife, wobei die relative Permeabilität $\mu_r \approx 500$ des Eisens beachtet werden muss.

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r}{2} \cdot \frac{I_T}{r}$$

Für die Tragkraft eines Magneten gilt:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_J \cdot B^2}{\mu_0}$$

A_J ist dabei die Auflagefläche des Joches. Setzt man alles ineinander ein so erhält man:

$$F = \frac{\mu_0 \mu_r^2}{8} \cdot \frac{A_J \cdot A_{Cu}^2}{l^2 \cdot \varrho_{Cu}^2 \cdot r^2} \cdot U_T^2$$

Diese Tragkraft soll mit der oben berechneten verglichen werden.