

Versuchsauswertung P2-32: Wärmeleitung und thermoelektrische Effekte

Kathrin Ender, Michael Walz
Gruppe 10

5. Juli 2008

Inhaltsverzeichnis

0	Zur Auswertung	2
1	Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing	2
2	Peltier-Kühlblock	3
2.1	Peltier-Kühlblock im Leerlauf	3
2.2	Kälteleistung Q und elektrische Leistung P	4
3	Magnetische Wirkung des Thermostroms	4

0 Zur Auswertung

Alle Messwerte befinden sich im handgeschrieben angehängten Versuchsprotokoll. Diese Werte wurden am Computer abgetippt und dem Programm GNUPLOT¹ zur linearen Regression übergeben und die Werte für Steigung, Y-Achsenabschnitt und den statistischen Fehler der beiden von dort übernommen. GNUPLOT nutzt zur linearen Regression die Formeln 16–18 aus dem Fehlerrechnungsskript zum Praktikum.

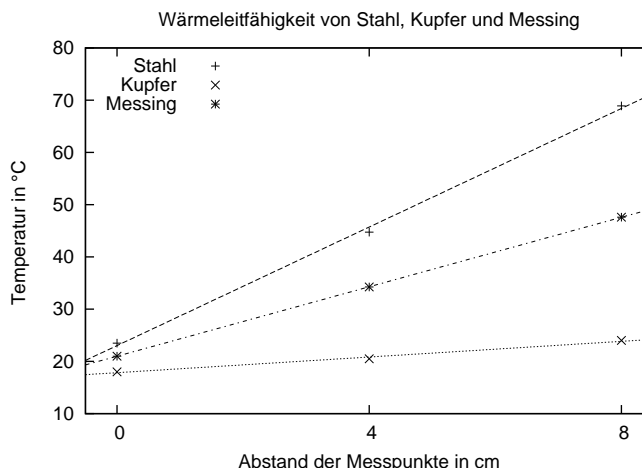
Die meisten Messwerte mussten aufgrund der Ablesekalen (oder aus sonstigen Gründen) noch umgerechnet werden. Aufgrund des massiven Rechenaufwandes erledigten wir dies direkt am Computer entweder mit GNUPLOT oder mit einer Tabellenkalkulation. Unter GNUPLOT geschah dies mittels der Option „using“² und zwar sowohl bei der Regression (über „fit“) wie auch beim Erstellen der Graphen (über „plot“).

1 Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing

In diesem Versuchsteil sollte die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing bestimmt werden. Dazu wurde der Probestab an einer Seite elektrisch beheizt, während die andere Seite über fließendes Kühlwasser gekühlt wurde. An drei Stellen (jeweils im Abstand von 4cm) wurde die Temperatur über Thermoelemente (NiCr-Ni) gemessen. Die dabei gemessene Spannungen wurde gemäß DIN 43710 in die Temperatur umgerechnet.

Bei allen drei Stäben wurde ungefähr mit 8W geheizt.³ Für die linearen Regressionen $T(x) = A \cdot x + B$ ergaben sich:

$$\begin{aligned} A_{\text{Stahl}} &= (5,68 \pm 0,21) \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} \\ B_{\text{Stahl}} &= (23,0 \pm 1,1) ^\circ\text{C} \\ A_{\text{Kupfer}} &= (0,75 \pm 0,07) \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} \\ B_{\text{Kupfer}} &= (17,83 \pm 0,37) ^\circ\text{C} \\ A_{\text{Messing}} &= (3,325 \pm 0,007) \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} \\ B_{\text{Messing}} &= (20,983 \pm 0,037) ^\circ\text{C} \end{aligned}$$



Wie man sieht, ist der statistische Fehler der Regression relativ klein. Da die Heizleistung bei allen drei Messungen nahezu identisch war, lässt sich aus dem Schaubild sofort ablesen, dass Kupfer die Wärme am besten leitet, da hier die Wärme am schnellsten abgeführt wird. Messing leitet mittelmäßig, während Stahl die schlechtesten Wärmeleiteigenschaften besitzt.

Die bestätigt auch die Berechnung des Wärmeleitkoeffizienten λ unter Berücksichtigung der genauen Leistungswerten über die Formel:

$$\lambda = \frac{P}{A \cdot \vec{\nabla}T} = \frac{I_h \cdot U_h}{\pi r^2 \cdot \vec{\nabla}T} \quad r = 8 \text{ mm} \quad \vec{\nabla}T = A_{\text{Regression}}$$

¹<http://www.gnuplot.info/>

²<http://www.gnuplot.info/docs/node133.html>

³Die genauen Werte werden erst bei der Berechnung benötigt.

	I_h in A	U in V	$\nabla T = A$ in $\frac{K}{m}$	λ in $\frac{W}{m \cdot K}$	Literaturwert ⁴ in $\frac{W}{m \cdot K}$
Kupfer	0,85	9,4	75	530	393
Stahl	0,86	9,7	568	73	48-58 ⁵
Messing	0,85	9,5	333	121	120

Die Temperaturdifferenz wurde hier wie üblich in Kelvin (anstatt in Grad Celsius) angegeben. Der gemessene Wert für Messing trifft den Literaturwert sehr gut. Bei Stahl lässt sich, wie gesagt, keine genaue Aussage treffen. Der Wert für Kupfer erscheint mit 35% Abweichung aber doch etwas zu hoch. Uns ist nicht klar, wie dieser große Fehler zu erklären sein könnte. Effekte, wie Abwärme oder auch ein noch nicht eingestelltes Gleichgewicht, würden solch große Fehler nicht erklären. Vorallem auch, weil wir genau darauf achteten, die Messung erst dann durchzuführen, wenn die Temperaturen sich auf konstante Werte eingestellt hatten.

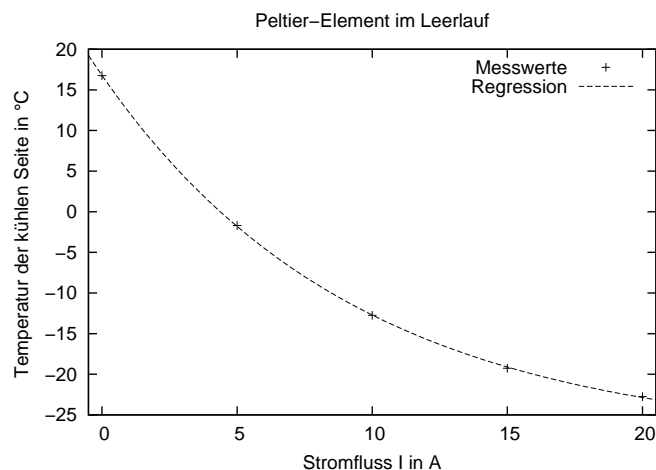
2 Peltier-Kühlblock

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

Es wurde der Peltier-Kühlblock im „Leerlauf“ gemessen. Im Leerlauf hieß, dass das gesamte Peltierelement möglichst gut gegen die Umgebung isoliert wurde. Die eine Seite wurde auf der Temperatur von Kühlwasser gehalten während die andere Seite über das Peltierelement gekühlt wurde. Den Temperaturunterschied wurde wieder mit einem Thermoelement gemessen.

Es wurde die Temperatur der gekühlten Seite bei 0, 5, 10, 15 und 20A gemessen. Für 0A ergibt sich natürlich ein Wert, der knapp über der Wasserkühlung liegt, und *nicht* die Raumtemperatur.



Die Messwerte passen sehr gut zu einer exponentiellen Regression⁶:

$$T(I) = A \cdot e^{-B \cdot I} + C$$

$$A = (44,97 \pm 0,34)^\circ\text{C} \quad B = (0,1067 \pm 0,0019) \frac{1}{\text{A}} \quad C = (-28,18 \pm 0,34)^\circ\text{C}$$

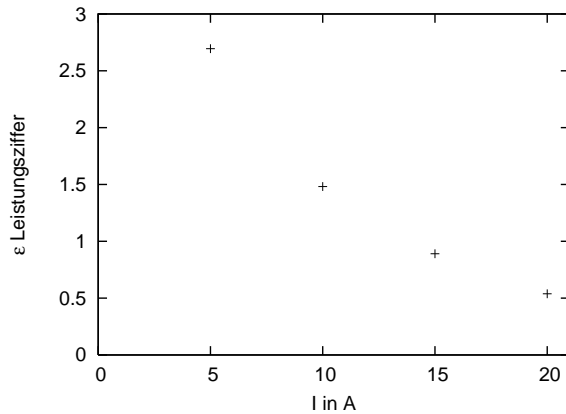
⁴entnommen aus „Demtröder, Experimentalphysik 1, Springer-Verlag, 4. Auflage, S. 294“ und „<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit&oldid=47412764>“

⁵Bei Stahl kommt sehr stark auf die konkrete Stahlart an. Deshalb kann der von uns gemessenen Wert durchaus korrekt sein.

⁶Achtung: Hier ist etwas Vorsicht geboten, da die statistische Festigkeit der Regression bei 5 Messwerten und 3 freien Parameter nur schwer untersucht werden kann.

Man erkennt, dass die Kühlung durch das Peltier-Element begrenzt ist; in oberen Exponentialmodell auf -28°C . Dies liegt daran, dass bei größeren Strömen mehr Ohmsche Abwärme ins Spiel kommt und außerdem die Temperaturdifferenz zur Umgebung immer größer wird und damit die Störwärme natürlich auch entsprechend zunimmt.

2.2 Kälteleistung Q und elektrische Leistung P



In diesem Versuchsteil sollte die Leistungsziffer in Abhängigkeit vom Peltierstrom bestimmt werden. Wie in der Vorbereitung erläutert, misst man die Kühlleistung, indem man mit Hilfe von einer Gegenheizung die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Kontaktstellen des Peltierelements konstant hält. Wir stellten immer eine Differenz von ungefähr 3K ein.

Aus den Messwerten lässt sich über $\epsilon = \frac{Q}{P} = \frac{U_{Heiz} \cdot I_{Heiz}}{U \cdot I}$ die Leistungsziffer berechnen.

Wie in der Auftragsung gut zu erkennen ist, sinkt die Leistungsziffer mit zunehmendem Peltierstrom. Dieses Verhalten lässt sich durch die Joulesche Wärme erklären. Je mehr Strom fließt desto mehr Joulesche Wärme entsteht, die den Kühleffekt überlagert. Um eine höhere Kühlleistung zu erhalten, kann man zwar den Peltierstrom erhöhen, dadurch wird aber die Leistungsziffer schlechter. Eine Möglichkeit eine höhere Kühlleistung bei gleicher Leistungsziffer zu erreichen, wäre zum Beispiel die Verwendung von mehreren Peltierelementen.

3 Magnetische Wirkung des Thermostroms

In diesem Versuch testen wir die magnetische Wirkung des Thermostroms. Die Cu-Leiterschleife des Thermoelements läuft durch ein Eisenjoch, an dem ein 5-kg-Gewicht hängt. Den Thermostrom erzeugten wir, indem wir die eine Kontaktstelle des Thermoelements mit Hilfe eines Bunsenbrenner heizten und die andere Kontaktstelle mit Hilfe von Eiswasser kühlten. Das Gewicht sollte runterfallen, wenn die Tragkraft des Magneten unter $F = 49,1\text{N}$ sinkt. Für die Tragkraft gilt (s. Vorbereitung):

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

Wir lasen jeweils die Thermospannung in dem Moment ab, in dem das Gewicht fiel. Und erhielten folgende Werte: U_T in mV | 1,10 | 2,25 | 2,60 | 1,15 | 1,20 | 1,25

Als mittlere Thermospannung erhalten wir $U_T = (1,59 \pm 0,60)\text{mV}$. Die Messwerte schwankten sehr stark. Der relative statistische Fehler beträgt 37,7%!

Die zur Berechnung der Tragkraft benötigten geometrischen Abmessungen des Joches und der Leiterschleife konnten ebenfalls nicht besonders genau bestimmt werden. Es wurde mit den folgenden Werten gerechnet:

- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$ und $\mu_r = 500$

- $A_J = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$ (Durchmesser des kreisförmigen Joches 7cm, Breite der Leiterschleife 2,7cm)
- $A_{Cu} = 10^{-4} \text{m}^2$
- $l = 0,3 \text{m}$ (Länge der Leiterschleife war nur ungefähr zu bestimmen)
- $\rho_{Cu} = 1,78 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$
- $r = 0,031 \text{m}$ (Hierbei handelt es sich um einen mittleren Radius, der sich aus dem aus dem Leiterschleifen Umfang und der Breite der Leiterschleife ergibt. Die oben angegebene Formel gilt eigentlich nur für kreisförmige Leiterschleifen. Die Leiterschleife im Versuch war im Eisenjoch allerdings rechteckig.)
- $U_T = 1,59 \text{mV}$

Mit diesen Werten erhält man für die Tragkraft:

$$F = 70,27 \text{N}$$

Erwartet hätten wir einen Wert von etwa $F = 49,1 \text{N}$. Der errechnete Wert weicht um 43% von diesem ab. Um diese starke Abweichung zu erklären, betrachten wir zunächst nur den Fehler in der Tragkraft, der sich allein durch den statistischen Fehler in der Thermospannung ergibt. Es gilt:

$$\frac{\Delta F}{F} = 2 \cdot \frac{\Delta U_T}{U_T} = 75,5\% \quad \Rightarrow \quad F = (70 \pm 53) \text{N}$$

Allein dieser Fehler ist schon so groß, dass der errechnete Wert in dessen Rahmen akzeptabel ist, wenn auch nicht aussagekräftig. Systematische Fehler, die durch die Verwendung der stark genäherten Formel für einen Spezialfall, der so genau nicht vorliegt, wurden dabei noch nicht berücksichtigt. Die Methode scheint also ungeeignet zu sein, um die Tragkraft zu bestimmen.