

Auswertung: Wärmeleitung und thermoelektrische Effekte

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

28. Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing	3
2	Messungen am Peltierblock	4
2.1	Temperaturdifferenz in Abhängigkeit vom Strom durch einen Peltier-Kühlblock	4
2.2	Kälteleistung und elektrische Leistung	4
3	Thermostrom	6
3.1	Demonstration des sehr hohen erreichbaren Thermostroms	6
3.2	Vergleich der im Experiment bestimmten Tragkraft des Elektromagneten mit einem theoretisch berechneten Wert	6
4	Quellenangabe	7

1 Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing

In dieser Teilaufgabe wurde von allen drei Materialien die Wärmeleitung an einem Stab untersucht. Hierzu gab es pro Stab drei Messpositionen: an den beiden Enden und in der Mitte.

Wie in der Vorbereitung beschrieben, berechnen wir die Wärmeleitfähigkeit aus den Messwerten folgendermaßen:

$$k = \frac{U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}} \cdot \Delta x}{\pi r^2 \cdot \Delta T} \quad (1)$$

Als Geradengleichung interpretiert kommt man mit der Steigung m auf:

$$m = \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{U_{\text{Heiz}} I_{\text{Heiz}}}{\pi r^2 k} \implies k = \frac{U_{\text{Heiz}} I_{\text{Heiz}}}{\pi r^2} \frac{1}{m} \quad (2)$$

- Der Radius ist für alle Metallstäbe $r = 8 \text{ mm}$
- Für $\Delta x = 4 \text{ cm}$ wurde die erste Messtelle als 'kalte Stelle' ($x=0$) definiert.
- $I_{\text{Heiz}} = 0.95 \text{ A}$
- $U_{\text{Heiz}} = 13 \text{ V}$

Tabelle 1: Messwerte zu Aufg.1

	$U_{\text{th},1} \text{ [mV]}$	$U_{\text{th},2} \text{ [mV]}$	$U_{\text{th},3} \text{ [mV]}$	$T_1 \text{ [K]}$	$T_2 \text{ [K]}$	$T_3 \text{ [K]}$
Messing	2,5	1,55	0,95	334	310	296
Kupfer	1,14	1	0,88	300	297	294
Stahl	3,4	1,85	1,02	356	318	297

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit gemessen und Literaturwerte

	Steigung $m \left[\frac{\text{K}}{\text{m}} \right]$	$k_{\text{mess}} \left[\frac{\text{W}}{\text{Km}} \right]$	$k_{\text{theo}} \left[\frac{\text{W}}{\text{Km}} \right]$	Abweichung in %
Messing	475	129	120	6,98
Kupfer	75	819	401	51,04
Stahl	737,5	83	58	30,12

Wie man am den Plots der Messungen sehen kann, liegen die Messwerte für Kupfer zwar deutlich in einer Reihe; allerdings ist eine Abweichung von 51% sehr hoch. Bei den anderen beiden Materialien kann man bei drei Werten nicht zuverlässig von 'linear' sprechen. Welcher der jeweils 3 Messpunkte aus der Reihe fällt kann man nicht mit Sicherheit sagen. Es ist auffällig, dass der mittlere Wert bei Stahl und Messing unter der jeweils geplotteten Kurve liegt und der letzte Wert darüber. Wir vermuten einen unentdeckten systematischen Fehler bei der Durchführung.

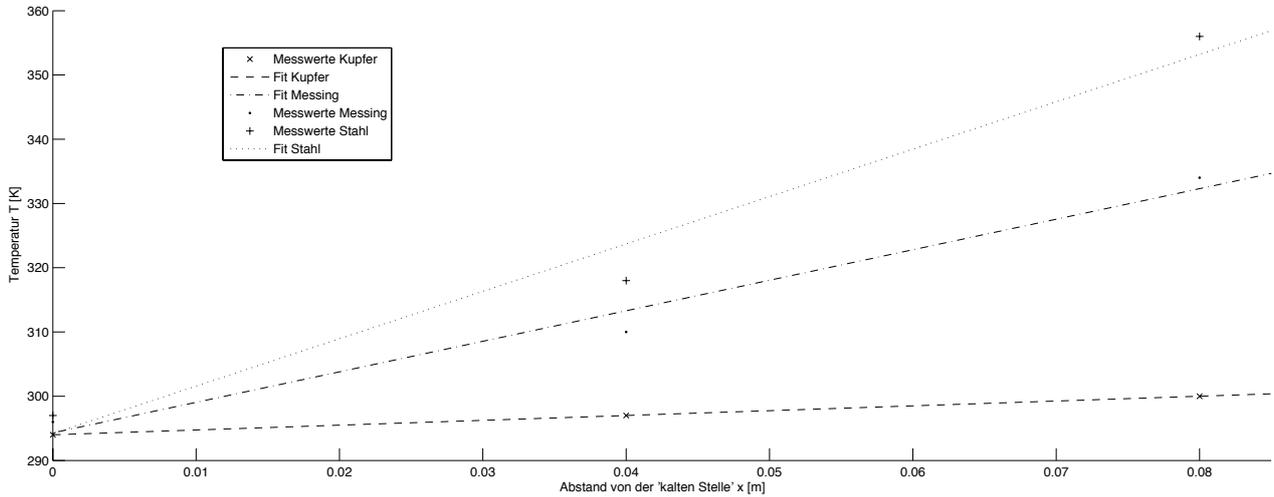


Abbildung 1: Messwerte Aufg.1 mit Regression

2 Messungen am Peltierblock

2.1 Temperaturdifferenz in Abhängigkeit vom Strom durch einen Peltier-Kühlblock

In diesem Versuch wurde ein Peltierblock im 'Leerlauf' betrieben. Dazu wurde eine Seite des Blocks mit Kühlwasser gekühlt, die andere war thermisch isoliert. Es sollte die sich einstellende Temperaturdifferenz in Abhängigkeit vom Strom untersucht werden. Dazu waren an den Peltierblock zwei Thermoelemente angebracht, von denen die Spannung gemessen wurde, nachdem sich ein Gleichgewicht eingestellt hatte. Die zu den Spannungen gehörigen Temperaturen wurden aus einer Tabelle abgelesen.

Es ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 3: Messwerte, abgelesene Temperaturen, berechnete Temperaturdifferenzen

I [A]	U_{oben} [mV]	T_{oben} [C]	U_{unten} [mV]	T_{unten} [C]	ΔT [C]
5	0,004	0	0,63	16,5	16,5
10	-0,4	-10	0,65	16,5	26,5
15	-0,675	-17	0,66	17	34
20	-0,78	-20	0,68	17	37

Nun trugen wir die Temperaturdifferenz über der Stromstärke auf und führten einen Fit der Form $y = Y \cdot e^{-\frac{I}{B}} + C$ durch.

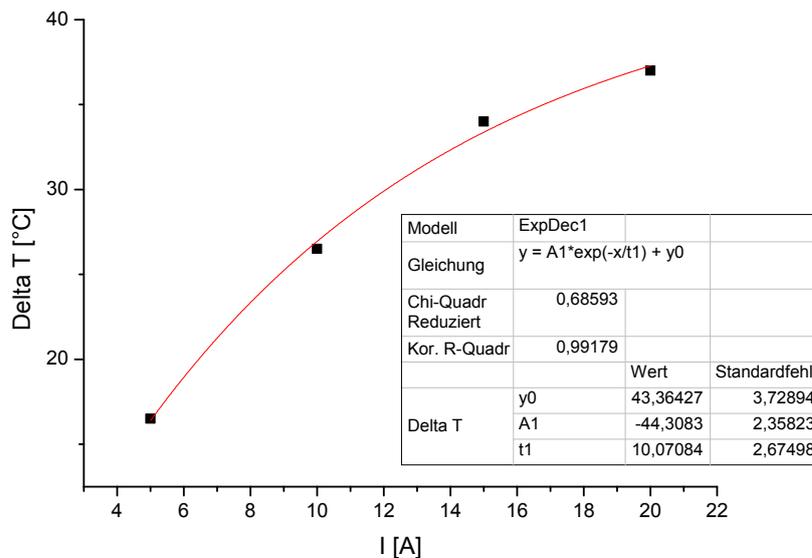


Abbildung 2: ΔT in Abhängigkeit vom Strom durch den Peltierblock

Man sieht also, dass die Temperaturdifferenz mit zunehmendem Strom durch den Peltierblock immer geringer wird und wahrscheinlich gegen einen Grenzwert strebt. Dieser läge laut unserer exponentiellen Regression ungefähr bei 43°C . Es ist jedoch zu beachten, dass zur Regression lediglich 4 Messpunkte verwendet wurden.

2.2 Kälteleistung und elektrische Leistung

In diesem Versuchsteil wurde erneut der Peltier-Kühlblock verwendet, allerdings wurde hier 'gegegengeheizt'. Anders als in der Aufgabenstellung geschildert haben wir hier mit der Heizspannung U_{Heiz} variiert und somit mit dem Temperaturunterschied zwischen oben und unten ΔT .

Die Leistungsziffer ε berechnet sich aus Heiz- bzw. Peltier-Spannung und den dazugehörigen Strömen:

$$\varepsilon = \frac{Q}{P} = \frac{I_{\text{Heiz}} \cdot U_{\text{Heiz}}}{I_{\text{B}} \cdot U_{\text{B}}} \quad (3)$$

Tabelle 4: Werte zu 2.2

I_{Heiz} [A]	U_{Heiz} [V]	I_{B} [A]	U_{B} [V]	$\Delta U_{\text{oben,unten}}$ [mV]	ΔT [K]	Leistungsziffer ε
1,35	6,5	10	2	0,51	13	0,44
1,47	7	10	2	0,33	8	0,51
1,55	7,5	10	1,9	0,23	6	0,61
1,65	8	10	1,9	0,15	4	0,69

Man sieht, dass die Leistungsziffer größer ist, also die Heizleistung im Verhältnis zur elektrischen Leistung zunimmt, für geringere Temperaturunterschiede ΔT zwischen Ober- und Unterseite des Peltier-Kühlblocks.

Im Schaubild sieht man, dass die ersten drei Messwerte sehr gut in einer Reihe liegen, nur der letzte Messpunkt weicht davon ab. Da das vermutlich daran liegen, dass die Wartezeit vor dem letzten Messwert geringer war als bei den Werten davor. Der letzte Messpunkt wurde nicht in der Regression berücksichtigt. Aus der Geradengleichung die wir durch Regression Matlab erhielten bestimmten wir den Wert für die Leistungsziffer bei $\Delta T = 3\text{K}$ zu $\varepsilon_{3\text{K}} = 0.74$.

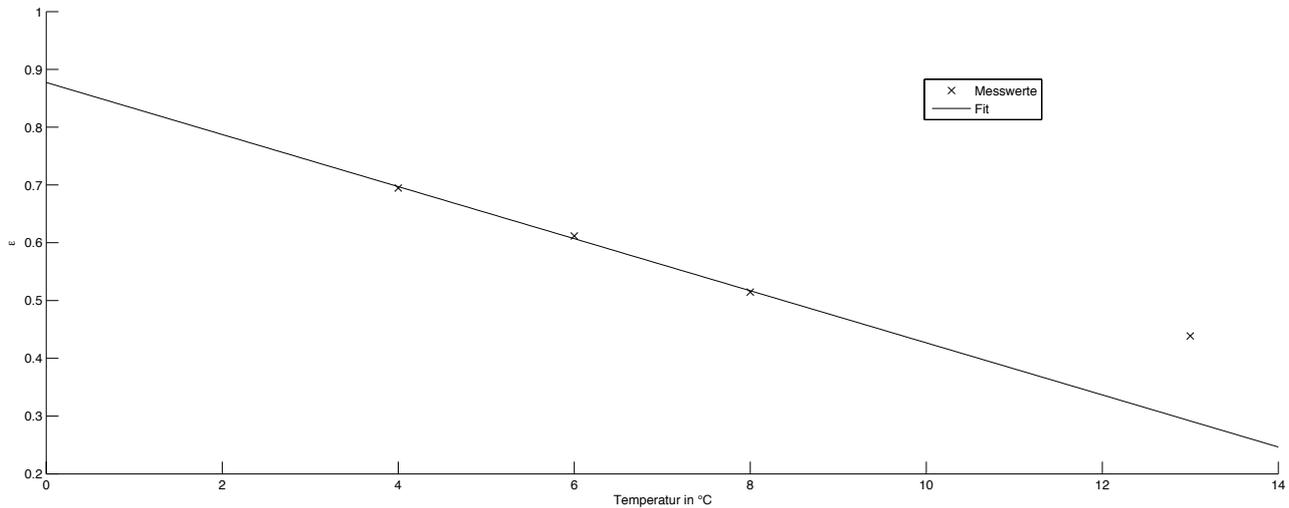


Abbildung 3: ε in Abhängigkeit von der Temperatur

3 Thermostrom

3.1 Demonstration des sehr hohen erreichbaren Thermostroms

Der Versuch wurde gemäß Versuchsbeschreibung aufgebaut. Wir heizten die Leiterschleife auf, bis wir eine Thermospannung von ungefähr 3 mV ablesen; dann senkten wir die Hebebühne ab, die das 5kg-Gewicht unterstützte. Wir konnten deutlich sehen, dass das 5kg-Gewichtsstück von der Leiterschleife gehalten wurde.

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

Dieser Versuch wurde direkt im Anschluss durchgeführt. Wir warteten, bis sich die Temperaturdifferenz so verringert hatte, dass das Gewichtsstück herunterfiel, weil die Thermostromstärke und damit das B-Feld immer geringer wurde. In diesem Moment lasen wir die Thermospannung ab.

Verwendete Werte (angegeben oder gemessen):

- Thermospannung: $U_{\text{th}} = 2.2 \text{ mV}$
- $\rho_{\text{Cu}} = 1.68 \cdot 10^{-8} \frac{\Omega}{\text{m}}$
- $L = 18.5 \text{ cm}$
- $r \approx 6.5 \text{ cm}$ (Annahme Leiterschleife ist rund)
- $A_{\text{Cu}} = 1 \text{ cm}^2$
- Auflagefläche $A = \pi \left(\frac{6.9 \text{ cm}}{2} \right)^2 = 0.00374 \text{ m}^2$

Den Strom durch die Leiterschleife bekommen wir aus:

$$I = \frac{U_{\text{th}} \cdot A_{\text{Cu}}}{\rho \cdot L} = 70.8 \text{ A} \quad (4)$$

Das Magnetfeld berechnet sich folgendermaßen:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I}{2r} = 0.343 \frac{\text{N}}{\text{Am}} \quad (5)$$

Damit lässt sich die Tragkraft des Elektromagneten berechnen mit:

$$F_{\text{Trag}} = \frac{A \cdot \mu_0 \cdot \mu_r^2 \cdot U_{\text{th}}^2 \cdot A_{\text{Cu}}^2}{8r^2 \rho_{\text{Cu}}^2 l^2} = 174.6 \text{ N} \quad (6)$$

Für die Gewichtskraft erhalten wir:

$$F_G = m \cdot g = 49.05\text{N} \quad (7)$$

Die theoretisch errechnete Tragkraft des Elektromagneten ist also ungefähr 3.5 mal so groß wie die tatsächlich gemessene. Diese starke Abweichung kommt sicherlich dadurch zustande, dass bei der Berechnung des Magnetfeldes angenommen wurde, dass die Leiterschleife rund ist. Tatsächlich war sie aber stark in die Länge gezogen und nicht annähernd rund. Zudem konnte die Länge der Leiterschleife nicht genau gemessen werden, was zur Berechnung des elektrischen Widerstandes der Leiterschleife benötigt wurde.

Berechneter und gemessener Wert haben aber zumindest die selbe Größenordnung.

4 Quellenangabe

<http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit>