

Versuch P2-32

Wärmeleitung und thermoelektrische Effekte

Versuchsauswertung

Marco A. Harrendorf und Thomas Keck, Gruppe: Mo-3
Karlsruhe Institut für Technologie, Bachelor Physik

Versuchstag: 30.05.2011

Inhaltsverzeichnis

1	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing	3
2	Versuch 2: Peltier-Effekt	5
2.1	Versuch 2.1: Messen der sich einstellenden Temperaturdifferenz an einem Peltier-Kühlblock für verschiedene Peltierströme	5
2.2	Versuch 2.2: Messen der Kälteleistung und der elektrischen Leistung eines Peltier-Kühlblocks für verschiedene Peltierströme	6
3	Versuch3: Thermostrom durch ein niederohmiges Thermoelement	8
3.1	Demonstration des an einem niederohmigen Thermoelements erreichbaren, sehr hohen Thermostroms durch dessen magnetische Wirkung	8
3.2	Vergleich der im Experiment beobachteten Tragkraft des Elektromagneten mit einem berechneten Wert	8
	Literatur	10

1 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, Stahl und Messing

Wie in der Vorbereitung und der Aufgabenstellung beschrieben wurde der Versuch aufgebaut und durchgeführt. Zur Auswertung benutzen wir die beiden äußeren Messpunkte bzw. deren Differenz. Der mittlere Messpunkt dient zur Verifikation der Linearität des Temperaturgefälles.

Die Messpunkte 1 (U_1) und 3 (U_3) besitzen einen Abstand von Δx . Der Messpunkt 2 (U_2) befindet sich exakt in der Mitte.

$$\Delta x = 8.1\text{cm} \quad (1)$$

Für die 3 verschiedenen Metalle erhielten wir, nach einer Wartezeit von jeweils 30 Minuten, folgende Messwerte:

Metall	U_H	I_H	U_1	U_2	U_3
Kupfer	10V	0.9A	0.74mV	0.89mV	0.98mV
Stahl	10V	0.88A	0.82mV	1.46mV	2.24mV
Messing	10V	0.89A	0.8mV	1.33mV	1.87mV

Tabelle 1: Messdaten

Die Heizspannung U_H wurde während der Versuchsreihe konstant auf $U_H = 10\text{V}$ gehalten und der Heizstrom I_H betrug ungefähr $I_H \approx 0.9\text{A}$.

Metall	T_1	T_2	T_3	ΔT
Kupfer	18.6C°	22.3C°	24.5C°	5.9K
Stahl	20.8C°	36.5C°	55.0C°	34.2K
Messing	20.0C°	33.0C°	46.5C°	26.5K

Tabelle 2: Temperaturen

ΔT ist hierbei der Temperaturunterschied zwischen den Messpunkten 1 und 3. Mit der in der Vorbereitung hergeleiteten Formel und mit dem Radius r des zylinderförmigen Metallstabes erhält man einen Wert für die Wärmeleitfähigkeit λ der einzelnen Metalle.

$$\lambda = -\frac{U_H \cdot I_H}{\pi \cdot r^2} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta T} \quad (2)$$

$$r = 8 \cdot 10^{-3}\text{m} \quad (3)$$

Hieraus bestimmten wir die die Wärmeleitfähigkeiten λ :

Metall	λ	Literaturwert
Kupfer	$614.5 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$	$393 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$
Stahl	$103.6 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$	$58 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$
Messing	$135 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$	$120 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$

Tabelle 3: Wärmeleitfähigkeiten

Die Messung ist sehr ungenau, da die Temperatur stark fehlerbehaftet ist: Die geringen Spannungen besitzen einen großen Ablesefehler, die Thermoelemente selbst sind kaum isoliert und die Umrechnung der mittels der Thermoelemente gemessenen Spannungen in Temperaturwerte mittels der Tabelle ist ebenfalls eine Fehlerquelle, da zwischen den einzelnen in der Tabelle aufgeführten Spannungswerten interpoliert werden muss.

Folgende Aussagen lassen sich allerdings an Hand der Abbildung 1, in der der Temperaturverlauf für den jeweiligen Probestab dargestellt ist, treffen: Die gemessenen Werte weichen vom Literaturwert zwar stark ab, sind jedoch in sich konsistent. Die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer ist viel größer als die von Stahl und Messing. Stahl besitzt die geringste Wärmeleitfähigkeit im Versuch und die Wärmeleitfähigkeit von Messing, als Legierung aus Kupfer und Zink, liegt zwischen den beiden anderen Wärmeleitfähigkeiten.

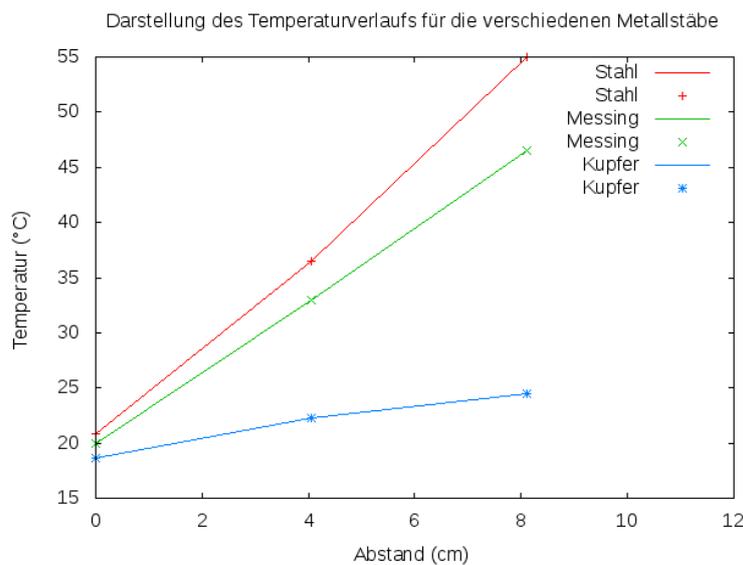


Abbildung 1: Darstellung des Temperaturverlaufs für die verschiedenen Probestäbe

2 Versuch 2: Peltier-Effekt

2.1 Versuch 2.1: Messen der sich einstellenden Temperaturdifferenz an einem Peltier-Kühlblock für verschiedene Peltierströme

Der Versuch wurde wie in der Versuchsvorbereitung beschrieben aufgebaut und durchgeführt. In Abhängigkeit von der am Peltier-Kühlblock eingestellten Spannung U_P und dem Peltier-Strom I_P wurden unter Verwendung zweier NiCr-Thermoelemente die Thermospannungen U_U und U_O gemessen. Die Spannung U_U entsprach hierbei der Spannung am unten liegenden Thermoelement, wobei diese Seite mit Hilfe von Kühlwasser auf nahezu konstanter Temperatur gehalten wurde. Die Spannung U_O entsprach der Spannung am oben liegenden Thermoelement, diese Seite war nur gegen Wärmezufuhr von außen isoliert.

Unter Benutzung der Umrechnungstabelle konnte aus den Thermospannungen U_U und U_O die Temperaturdifferenz ΔT durch interpolierendes Abschätzen bestimmt werden. Zu bemerken ist, dass sich auf Grund der Kühlung der unteren Seite bereits bei ausgeschaltetem Peltier-Kühlblock ($I_P = 0 \text{ A}$) eine Temperaturdifferenz ergibt, da die obere Seite ungefähr Raumtemperatur hat.

Die Messwerte sowie die bestimmte Temperaturdifferenz ΔT sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

I_P [A]	U_P [V]	U_U [mV]	U_O [mV]	ΔT [K]
0	0.0	0.60	0.70	+2.8
5	1.1	0.61	0.08	-15.2
10	1.7	0.56	-0.50	-27.3
15	2.1	0.62	-0.76	-35.6
20	2.7	0.56	-0.89	-36.9

Tabelle 4: Messwerte für die Bestimmung der Temperaturdifferenz ΔT an einem Peltier-Kühlblock im Leerlauf

Zusätzlich wurde noch in der Abbildung 2 die Temperaturdifferenz ΔT über dem Strom durch den Peltier-Kühlblock I_P aufgetragen und eine exponentielle Regression durchgeführt.

$$\Delta T = A \cdot e^{-B \cdot I_P} + C$$

$$\Rightarrow A = (46.847 \pm 3.392) \text{ K}$$

$$\Rightarrow B = (0.104 \pm 0.018) \frac{1}{\text{A}}$$

$$\Rightarrow C = -(43.779 \mp 3.474) \text{ K}$$

Aus der exponentiellen Regression und aus der Abbildung 2 ist ersichtlich, dass mit dem verwendeten Peltier-Kühlblock eine Temperaturdifferenz ΔT von maximal $\Delta T \approx -44 \text{ K}$ erreicht werden kann. Dass die erreichbare Temperaturdifferenz ΔT beschränkt ist, ist eine Folge der Zunahme an Joulescher Wärme bei steigender Stromstärke I_P durch den Peltier-Kühlblock und der

größer werdenden Temperaturdifferenz zwischen der oberen Seite des Peltier-Kühlblocks und der Temperatur des Versuchsraumes.

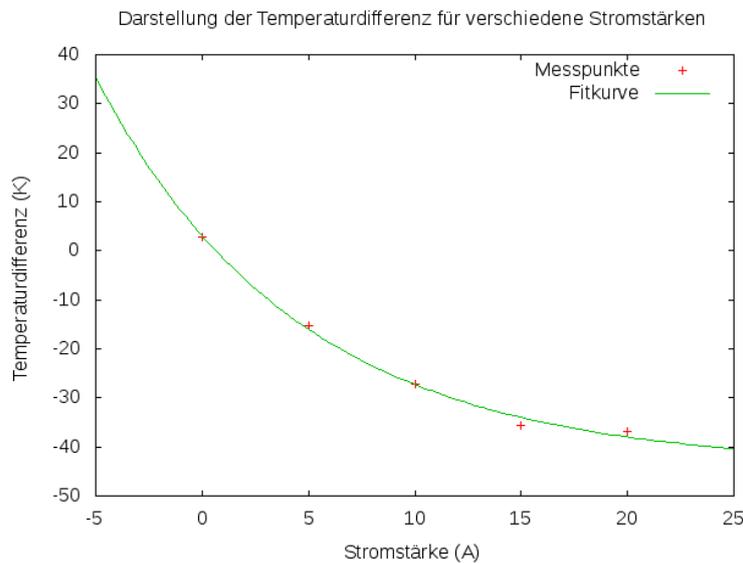


Abbildung 2: Darstellung der Temperaturdifferenz am Peltier-Kühlblock für verschiedene Stromstärken

2.2 Versuch 2.2: Messen der Kälteleistung und der elektrischen Leistung eines Peltier-Kühlblocks für verschiedene Peltierströme

Der Versuch wurde wie in der Versuchsvorbereitung beschrieben aufgebaut und durchgeführt. Für verschiedene am Peltier-Kühlblock eingestellte Spannungen U_P und Ströme I_P wurde an einer Heizplatte die Spannung U_H und der Strom I_H so gewählt, dass die Temperaturdifferenz ΔT zwischen der unteren und der oberen Seite des Peltier-Kühlblocks jeweils $\Delta T = 3.5 \text{ K}$ betrug.

Aus der in der Versuchsvorbereitung hergeleiteten Formel ließ sich dann die jeweilige Leistungsziffer ϵ berechnen.

Die Messwerte sowie die berechnete Leistungsziffer ϵ sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

Weiterhin ist in Abbildung 3 die Leistungsziffer ϵ über dem Strom durch den Peltier-Kühlblock

I_P [A]	U_P [V]	I_H [A]	U_H [V]	ϵ
5	1.1	1.38	6.5	1.63
10	1.5	1.74	8.3	0.96
15	2.0	2.07	9.8	0.68
20	2.7	2.11	10.0	0.39

Tabelle 5: Messwerte für die Bestimmung der Leistungsziffer ϵ an einem Peltier-Kühlblock

I_P aufgetragen sowie eine exponentielle Fitkurve eingezeichnet.

Es wird in Abbildung 3 deutlich, dass die Leistungsziffer ϵ bei zunehmenden Strom durch den Peltier-Kühlblock I_P abnimmt. Auch sorgt der Anstieg der Jouleschen Wärme bei zunehmender Stromstärke I_P dafür, dass die unter Verwendung des Peltier-Kühlblocks erzielte Leistung geringer wird. Eine Erhöhung der Kühlleistung wird also immer mit einer Abnahme der Rentabilität des Systems erkauft. Abhilfe könnte hierbei nur geschaffen werden, indem mehrere Peltier-Blöcke in einer Kühlkaskade hintereinander geschaltet werden und somit die Temperaturdifferenz ΔT jeweils größer wäre.

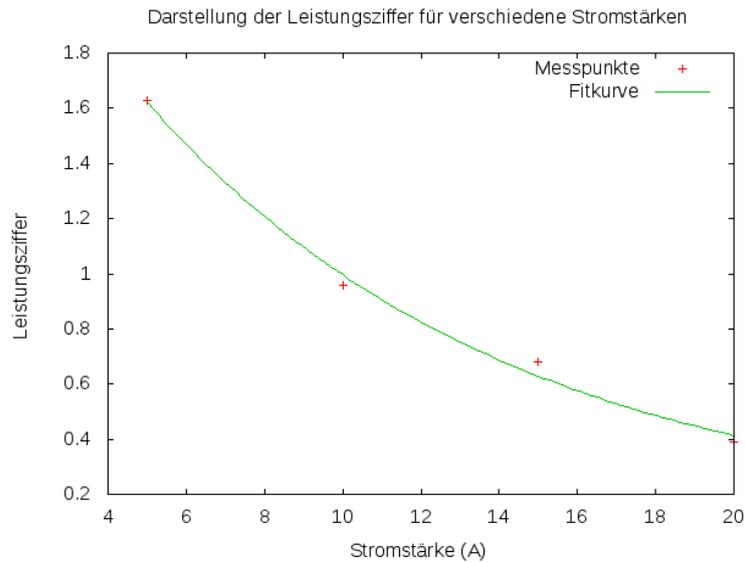


Abbildung 3: Darstellung der Leistungsziffer des Peltier-Kühlblocks für verschiedene Stromstärken

3 Versuch3: Thermostrom durch ein niederohmiges Thermoelement

3.1 Demonstration des an einem niederohmigen Thermoelements erreichbaren, sehr hohen Thermostroms durch dessen magnetische Wirkung

Der Versuch wurde wie in der Vorbereitung und der Aufgabenstellung beschrieben aufgebaut und durchgeführt. Die Geometriedaten des Aufbaus wurden vermessen:

- Querschnitt der Leiterschleife: $A_T = 1 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$
- Länge der Leiterschleife: $L = 0.3 \text{m}$
- Auflagefläche des Jochs: $A_J = 3.848 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$
- Radius des Jochs: $r = 35 \cdot 10^{-3} \text{m}$

Das Gewicht wurde bei einer Spannungsanzeige von 26mV an das Joch angehängt und das Gewicht gehalten. Die Demonstration war erfolgreich.

Anschließend wurde die Leiterschleife langsam abgekühlt, indem diese mithilfe des Bunsenbrenners leicht weitergeheizt wurde. Hierdurch wurde sichergestellt, dass auch während des Abkühlprozesses eine homogene Temperaturverteilung in der Leiterschleife herrschte und somit der genaue Temperaturwert unter Zuhilfenahme eines Thermoelements ermittelt werden konnte. Das Gewicht fiel aus der Aufhängung bei einer Spannung U_{Fall} am Thermoelement:

$$U_{Fall} = 4 \text{mV} \quad (4)$$

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

In der Vorbereitung wurde die Tragkraft des Elektromagneten theoretisch berechnet:

$$F_T = 49.1 \text{N} \quad (5)$$

Zur experimentellen Bestimmung der Tragkraft benötigt man den Widerstand R des Thermoelements, mit der in der Vorbereitung beschriebenen Formel und den gemessenen Werten ergibt sich:

$$\rho_{Cu} = 1.678 \cdot 10^{-2} \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \quad (6)$$

$$R_T = \frac{\rho_{Cu} \cdot l}{A_T} = 5.034 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (7)$$

Hieraus ergibt sich der Thermostrom I_T :

$$I_T = \frac{U_{Fall}}{R_T} = 79.45 \text{A} \quad (8)$$

Für die magnetische Flussdichte B des Elektromagneten folgt nun:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2 \cdot r} \cdot I_T = 0.7\text{T} \quad (9)$$

$$\mu_r = 500 \quad (10)$$

Schlussendlich lässt sich aus den Messungen die Tragkraft F_T bestimmen:

$$F_T = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_j}{\mu_0} \cdot B^2 = 779\text{N} \quad (11)$$

Der messtechnisch bestimmte Wert für die Tragkraft F_T deckt sich nicht mit der theoretischen Erwartung.

Fehlerquellen waren bei diesem Demonstrationsversuch vor allem die inhomogene Temperatur der Leiterschleife im Innern im Gegensatz zur Oberfläche, an der die Spannung gemessen wurde.

Da es sich lediglich um eine Demonstration und keine exakte Messung handelte verzichten wir an dieser Stelle auf eine genauere Analyse.

Literatur

[Aufgabenstellung] Aufgabenstellung zu dem Versuch P2-32

[Vorbereitungshilfe] Vorbereitungshilfe zu dem Versuch P2-32