

Prak.: P2 Semester: SS16 Wochentag: Do Gruppennr.: 02
P1/P2 z.B. „WS14/15“ oder „SS15“ Mo/Di/Mi/Do ##

Name: Poschen Vorname: Felix

Name: Steiner Vorname: Sebastian

Emailadresse(n): felix.poschen@mail.de, sebastian.steiner.ra@web.de
Optional

Versuch: Wärmeleitung (P2-32) Fehlerrech.: Ja
z.B. „Galvanometer (P1-13)“ oder „Mikrowellenoptik (P2-15)“ Ja/Nein

Betreuer: Jonas Grammel Durchgeführt am: 28.04.16
TT.MM.JJ

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: 12.5.16

Rückgabe am: 12.5.16 Begründung:

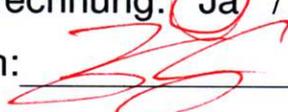
* Kleinigkeiten zu Berichtigen

2. Abgabe am: 13.5.16

Ergebnis: (+) / 0 / -

Fehlerrechnung: (Ja) / Nein

Datum: 13.5.16

Handzeichen: 

Bemerkungen:

* alles Berichtigt



Gute Wärmeleitung (Heizen, Kühlen) ist ebenso wie schlechte Wärmeleitung (Isolieren) von großem technischem Interesse. Dem Naturwissenschaftler liefert die Temperaturabhängigkeit physikalischer Phänomene häufig einen wesentlichen Beitrag zu deren Verständnis. In einer Meßanordnung definierte thermische Bedingungen herzustellen und die Temperatur zu überwachen, gehört zu den Grundelementen physikalischer Meßtechnik.

Bei diesem Versuch geht es zunächst um die Messung der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Metalle. Dabei wird bereits einer der thermoelektrischen Effekte ausgenutzt, beim Thermoelement als Temperatursensor nämlich. Dann wird ein zweiter thermoelektrischer Effekt, der Peltiereffekt, untersucht. Dieser wird oft als frappierend empfunden, denn man kühlt direkt mit Hilfe des elektrischen Stromes (wenn es dafür an anderer Stelle auch um so wärmer wird!).

Am Ende geht es wieder um das Thermoelement, dann aber um eines mit sehr kleinem Widerstand, so daß ein großer Thermostrom fließen kann. Der große Strom wird durch die Tragkraft eines Elektromagneten demonstriert.

Aufgaben:

1. Bestimmen Sie die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, von Stahl und eventuell auch von Messing.

Dafür werden Probestäbe einseitig mit Hilfe einer Heizwicklung elektrisch geheizt und am anderen Ende mit Hilfe von fließendem Kühlwasser gekühlt. Gemessen werden die Heizleistung und die Temperaturverteilung längs des Stabes. In drei vorgesehene kleine Bohrungen, nicht zu nahe an der Heizung und nicht zu nahe an der Kühlung, werden die Fühlspitzen dreier Thermoelemente gesteckt, die umgeschaltet und nacheinander abgelesen werden können. Die Thermoelemente sind geringer Wärmeableitung wegen aus dünnen Drähten gefertigt und entsprechend empfindlich. Die zweite Kontaktstelle der Thermoelemente wird auf konstanter (Eiswasser-) Temperatur gehalten. Die maximale Heizspannung beträgt 13V. Man mißt bei Temperaturdifferenzen von 8 - 10K bei Kupfer und etwa 30K bei Stahl. Temperaturgleichgewicht stellt sich erst nach recht langer Zeit ein. Es ist daher zweckmäßig, schon mit den Messungen am Peltierblock zu beginnen, bevor die Wärmeleitungsmessungen beendet sind.

2.1 Messen Sie an einem Peltier-Kühlblock im 'Leerlauf' die sich einstellende Temperaturdifferenz in Abhängigkeit vom Strom durch den Block.

Dabei wird die eine Seite auf der Temperatur von Kühlwasser gehalten. Die andere ist lediglich gut gegen Wärmezufuhr von außen isoliert. Die Temperaturdifferenz wird mit einem Thermoelement gemessen. Der maximale Strom durch den Peltierblock beträgt etwa 20A.

2.2 Messen Sie die Kälteleistung Q und die elektrische Leistung P in Abhängigkeit vom Peltierstrom I.

Tragen Sie die daraus berechneten Leistungsziffern $\varepsilon = Q/P$ (nicht 'Wirkungsgrad!') über dem Strom I auf und diskutieren und interpretieren Sie Ihre Ergebnisse. Bei den Messungen wird durch 'Gegenheizen' auf der kalten Seite eine konstante Temperaturdifferenz aufrecht erhalten. Diese ist noch ein freier Parameter beim Versuch. Führen Sie auf jeden Fall eine Messung bei $\Delta T=3K$ aus. Wenn die Zeit reicht, ist eine Vergleichsmessung bei $\Delta T=6K$ interessant. Auch bei den Aufgaben 2.1 und 2.2 sind die Wartezeiten unvermeidlich lang.

3.1 Demonstrieren Sie an einem niederohmigen Thermoelement den erreichbaren sehr hohen Thermostrom durch seine magnetische Wirkung.

Bei nur einer Leiterschleife durch ein Eisenjoch wird ein 5kg-Gewichtsstück getragen, wenn eine Kontaktstelle des Thermoelements mit dem Bunsenbrenner geheizt, die andere mit Eiswasser gekühlt wird.

3.2 Vergleichen Sie die im Experiment beobachtete Tragkraft des Elektromagneten mit einem näherungsweise errechneten Wert.

Messen Sie mit dem Millivoltmeter die Thermospannung, bei der Joch und Gewicht gerade noch gehalten werden. Berechnen Sie dann aus ihren geometrischen Daten und dem spezifischen Widerstand von Kupfer den Widerstand der Cu-Leiterschleife. Damit ergibt sich der Thermostrom und weiter die H-Feldstärke im Eisen (mittlere Feldlinienlänge im Eisen abschätzen!). Mit dem Erfahrungswert $\mu_r \approx 500$ für die relative Permeabilität von Eisen für Magnete folgt dann die B-Feldstärke. Eine begründete Formel für die Tragkraft findet sich in 'Gerthsen, Kneser, Vogel: Probleme aus der Physik, Aufgabe 7.2.7'. Dafür wird dann noch die Größe der Jochfläche (Auflagefläche) benötigt.

Zubehör:

Meßvorrichtung mit Probestäben (Kupfer, Stahl, Messing, alle etwa 16mm Durchmesser), dazu aufsteckbarer elektrischer Heizer und aufsteckbarer Kühler (Wasserkühlung);

5 NiCr-Ni-Thermoelemente und Umschaltkasten dazu, Wärmeleitpaste oder anderes thermisches Kontaktmittel für die Thermoelemente;

Millivoltmeter für die Messung der Thermospannungen;

Peltier-Kühlblock (Peltierbatterie, Serienschaltung etlicher p- und n-leitender Wismuttellurit-Bereiche, eine Seite mit Wasserkühlung, die andere Seite mit Elektroheizung);

2 Netzgeräte (0-16V 0-5A);

Netzgerät für den Peltier-Strom (max. 20A);

Isoliermaterial für die Probestäbe und für den Peltier-Kühlblock;

Demonstrations-Thermoelement (Cu-Leiterschleife großen Querschnitts mit eingelöteter Konstantan-Brücke) mit Eisenjoch und 5kg-Gewichtsstück;

Eiswassergefäß;

Gasbrenner;

Schieblehre, Maßstab.

Literatur:

Ebert: *Physikalisches Taschenbuch*

Gerthsen, Kneser, Vogel: *Physik und Probleme aus der Physik*

Halbleiterprobleme IV (unter T151 in der Fak.-Bibliothek)

Teichmann: *Halbleiter*

Joffé: *Physik der Halbleiter*

Birkholz: *Anwendungen des Thermoelements*, Kältetechnik 13(1961),10

rororo-Techniklexikon

Justi: Leitfähigkeit und Leitungsmechanismen fester Stoffe

Versuch 1: Wärmeleitfähigkeit von Messing, Kupfer und Stahl

Probe 1: Messing

Abstände der Messfühler: 2cm

$$T_{\text{Kühlwasser}} = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

0,784 20

2,120 52
mV

1 0,771

19

2 1,173

29

3 1,460

36

4 1,757

~~40~~ 43,5

5 2,104

52

$$U = 110 \text{ V}; I = 0,81 \text{ A}$$

Probe 2:

0,719 mV

18

1,170 mV

29

$$T_{\text{Kühlwasser}} = 16,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1 0,767

20

2 0,867

22

3 0,980

24/25

4 1,039

26

5 1,148

29

$$U = 12,0 \text{ V} \quad I = 0,88 \text{ A}$$

Versuch 3: Demonstrationsversuch

$$U = 1,05 \text{ mV}$$

$$d = 0,5 \text{ cm}$$

$$l = 13,9 \text{ cm}$$

$$r = 3,5 \text{ cm}$$

28.04.16



Versuch 2.1

I = 0 - 20 A in 5-Schritten

Kühl- netzteil	I (A)	0	5	10	15	20
	U (V)	0	0,5	1,2	1,7	2,2
(mV)	Thermo I	-	0,613	0,604	0,612	0,628
	Thermo II	-	-0,056	-0,494	-0,767	-0,891
(°C)	Thermo I	-	15	15	15	16
	Thermo II	-	-1	-13	-20	-23
	Differenz	0	16	28	35	39

~ 0,437 ~ 0,557
 ~ 0,517
 ~ 0,477

0,677
 0,637
 0,597
 etc

Versuch 2.2

Kühl- netzteil	I (A)	2,09	1,97	1,74 1,74	1,22
	U (V)	10,0	9,4	8,3	5,8
Kühlnetz- teil	I _u (A)	20 22V	15 1,6V	10	5
	(mV)	Thermo I	0,671	0,621	0,581
(°C)	Thermo II	0,557	0,507	0,477	0,403
	+I-	17	16	15	13
	+II-	14	13	12	10
	Differenz (K)	3	3	3	

28.04.16

Inhaltsverzeichnis

1. Wärmeleitfähigkeit von Kupfer und Messing.....	2
2. Peltierelement.....	6
2.1. Peltierelement im Leerlauf.....	6
2.2. Kälteleistung Q gegen elektrische Leistung P	8
3. Anschauungsversuch.....	10
4. Anhang.....	12
4.1. Bemerkungen.....	12
4.2. Quellen.....	12

1. Wärmeleitfähigkeit von Kupfer und Messing

Durchführung

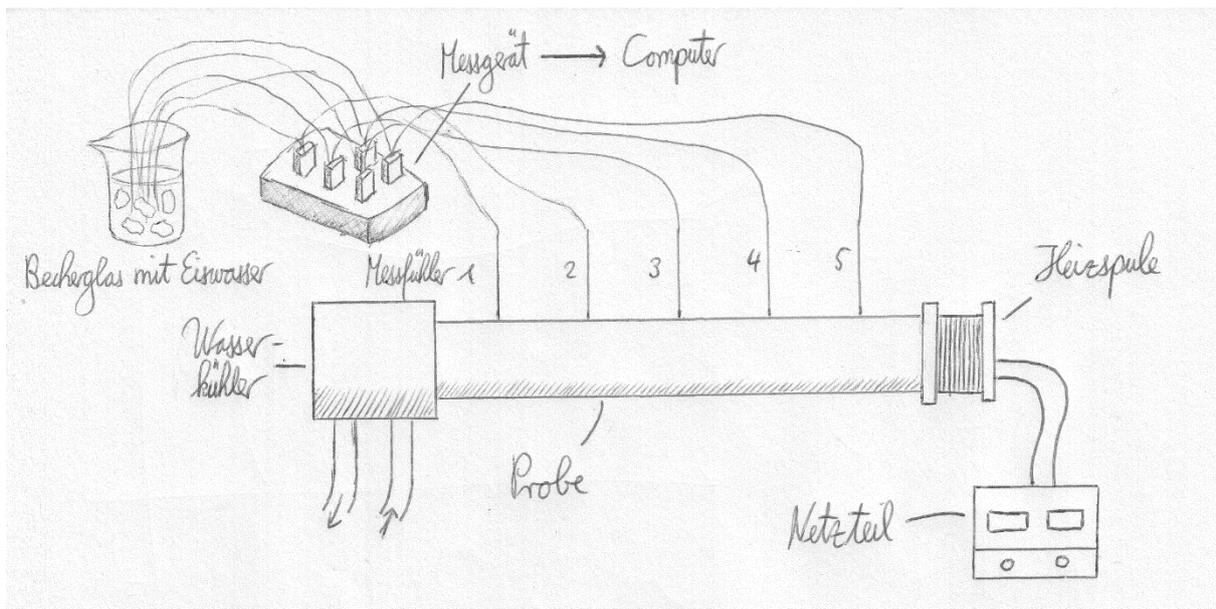


Abbildung 1: Apparatur zur Wärmeleitungsmessung

Im ersten Aufgabenteil wurde die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer und Messing mit Hilfe der Apparatur aus Abbildung 1 ermittelt. Dabei sind die gemessenen Größen die Spannung und Stromstärke des Heizungsnetzteils und die Spannungen der Thermoelemente. Letztere maßen somit indirekt die Temperatur der Probe in Abständen von $dx = 2 \text{ cm}$. Die Referenzdrähte der Thermoelemente befanden sich dabei in Eiswasser, da es eine annähernd konstante Temperatur von 0 °C aufweist. Auf der einen Seite des Metallstabes befand sich eine Heizspule, auf der Anderen eine Wasserkühlung. Das Kühlwasser hatte während des Versuchs eine Temperatur von $T_{\text{Messing}} = 16,0 \text{ °C}$ und $T_{\text{Kupfer}} = 16,2 \text{ °C}$.

Nach Aktivierung der Heizspule ($U_M = 11,0 \text{ V}$, $I_M = 0,81 \text{ A}$, $U_K = 12,0 \text{ V}$, $I_K = 0,88 \text{ A}$) und der Wasserkühlung wurde einige Minuten gewartet bis sich ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hatte. Dabei wurde die Gleichgewichtseinstellung mittels der Thermoelemente beobachtet, bis diese keine Änderungen der Spannung mehr verzeichnen ließen. Die erhaltenen Spannungen wurden über eine am Arbeitsplatz ausliegende Tabelle in Temperaturen übersetzt. Dadurch wurden die Werte in Tabelle 1 und 2 erhalten:

Tabelle 1: Werte der Messung mit Messing

Messing		
dx (cm)	U (mV)	T (°C)
0	0,771	19
2	1,173	29
4	1,460	36
6	1,757	44
8	2,104	52

Tabelle 2: Werte der Messung mit Kupfer

Kupfer		
dx (cm)	U (mV)	T (°C)
0	0,767	20
2	0,867	22
4	0,980	24
6	1,039	26
8	1,148	29

Auswertung

Durch Auftragen der Temperatur gegen den Abstand der Thermoelementmesspunkte, erhält man nach linearer Regression eine Gerade mit der Steigung m . Daraus lässt sich gemäß der Formel

$$\kappa = \frac{U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}}}{\pi r^2} \cdot \frac{dx}{T_W - T_K} = \frac{U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}}}{\pi r^2} \cdot \frac{1}{m}$$

die Wärmeleitfähigkeit bestimmen. Dabei beträgt der Radius der Stäbe $r = 8 \text{ mm}$.

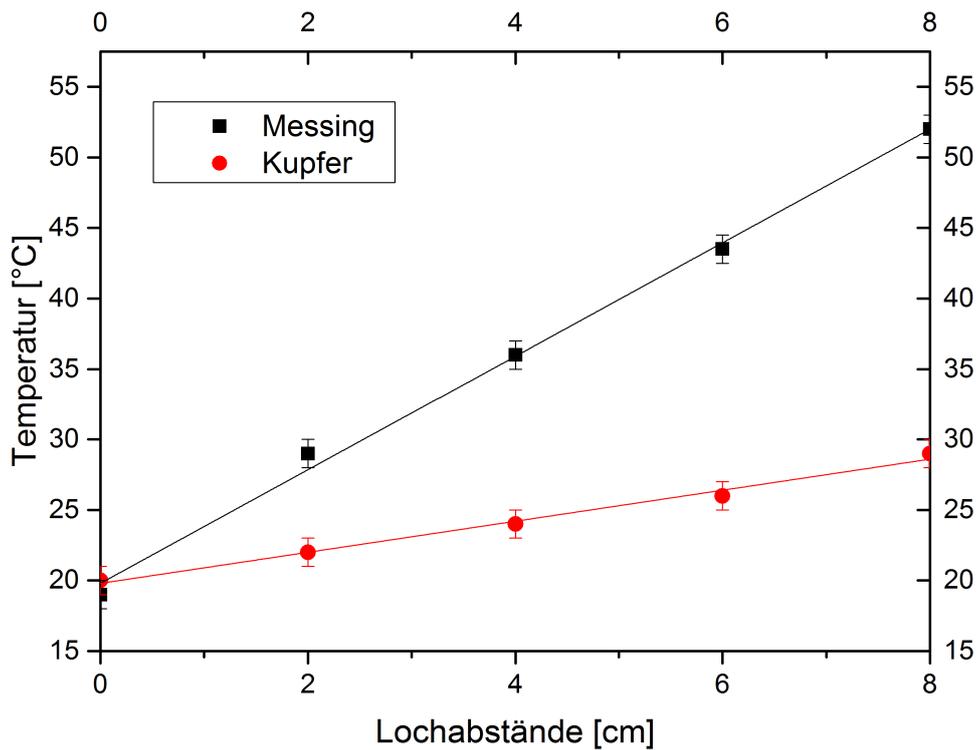


Abbildung 2: Lineare Regression der Temperatur in Abhängigkeit vom Lochabstand

Der systematische Fehler auf die Wärmeleitfähigkeit ergibt sich aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung. Dabei wurde der Fehler auf den Stabradius r vernachlässigt. Für die Temperatur wurde ein Fehler von $\sigma_T = 1 K$, für die Lochabstände von $\sigma_{dx} = 1 mm$, für die Spannung von $\sigma_U = 0,1 V$ und für die Stromstärke von $\sigma_I = 0,01 A$ angenommen. Dabei ist zu beachten, dass der systematische Fehler nur bezüglich der Messpunkte 1 und 5 berechnet wurde:

$$\sigma_\kappa = \sqrt{\left(\frac{\partial \kappa}{\partial U_{Heiz}}\right)^2 \sigma_{U_{Heiz}}^2 + \left(\frac{\partial \kappa}{\partial I_{Heiz}}\right)^2 \sigma_{I_{Heiz}}^2 + \left(\frac{\partial \kappa}{\partial T_W}\right)^2 \sigma_{T_W}^2 + \left(\frac{\partial \kappa}{\partial T_K}\right)^2 \sigma_{T_K}^2 + \left(\frac{\partial \kappa}{\partial (dx)}\right)^2 \sigma_{dx}^2}$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial U_{Heiz}} = \frac{I_{Heiz} dx}{\pi r^2 (T_W - T_K)}$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial I_{Heiz}} = \frac{U_{Heiz} dx}{\pi r^2 (T_W - T_K)}$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial dx} = \frac{I_{Heiz} U_{Heiz}}{\pi r^2 (T_W - T_K)}$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial T_W} = -\frac{U_{Heiz} I_{Heiz} dx}{\pi r^2 (T_W - T_K)^2}$$

$$\frac{\partial \kappa}{\partial T_K} = \frac{U_{Heiz} I_{Heiz} dx}{\pi r^2 (T_W - T_K)^2}$$

$$\sigma_{\kappa,sys,Kupfer} = 73,88 \frac{W}{mK}$$

$$\sigma_{\kappa,sys,Messing} = 5,07 \frac{W}{mK}$$

Der statistische Fehler ergibt sich aus der Größtfehlerabschätzung, wobei sich die Standardabweichungen aus den Fitgeraden ergeben:

$$\sigma_{\kappa,stat} = \left| \frac{\partial \kappa}{\partial m} \right| \sigma_{m,stat}$$

$$\sigma_{m,stat,Kupfer} = 0,05774 \frac{K}{m}$$

$$\sigma_{m,stat,Messing} = 0,13463 \frac{K}{m}$$

$$\sigma_{\kappa,stat} = \left| -\frac{U_{Heiz} I_{Heiz}}{\pi r^2} \cdot \frac{1}{m^2} \right| \sigma_{m,stat}$$

$$\sigma_{\kappa,stat,Kupfer} = 0,251 \frac{W}{mK}$$

$$\sigma_{\kappa,stat,Messing} = 0,0368 \frac{W}{mK}$$

Es ergeben sich damit für Kupfer und Messing die Werte:

Tabelle 3: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessung

	Steigung (K/m)	Wärmeleitfähigkeit κ (W/mK)	Literaturwert (W/mK)	Abweichung (%)
Messing	403	$110 \pm 5,07 \pm 0,0368$	$97^{[1]}$	13,5
Kupfer	110	$478 \pm 73,88 \pm 0,251$	$390^{[2]}$	22,4

Der ermittelte Wert für die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer liegt mit einer Abweichung von 22,4 % stark über dem Literaturwert. Die Abweichung für Messing ist mit 13,5 % deutlich geringer. Letztere Abweichung kann darauf zurückzuführen sein, dass sich der Literaturwert für Messing auf eine Legierung anderer Cu/Zn-Zusammensetzung beziehen könnte.

Grund für die Abweichungen kann eine mangelhafte Isolation der Heizspule gegen die Umgebungsluft sein, wodurch die errechnete Heizleistung nicht der effektiven Heizleistung entspricht. Für den großen systematischen Fehler der Wärmeleitfähigkeit von Kupfer ist vor allem der angenommene Fehler der Temperatur verantwortlich. Die Literaturwerte liegen nicht in den Fehlergrenzen der ermittelten Werte. Dies lässt annehmen, dass die Fehler auf die Messgrößen nicht ausreichend gewählt wurden. Ungeachtet der Abweichung von den Literaturwerten lässt sich jedoch erkennen, dass Kupfer bei gleicher Heizleistung eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit als Messing besitzt.

2. Peltierelement

2.1. Peltierelement im Leerlauf

Durchführung

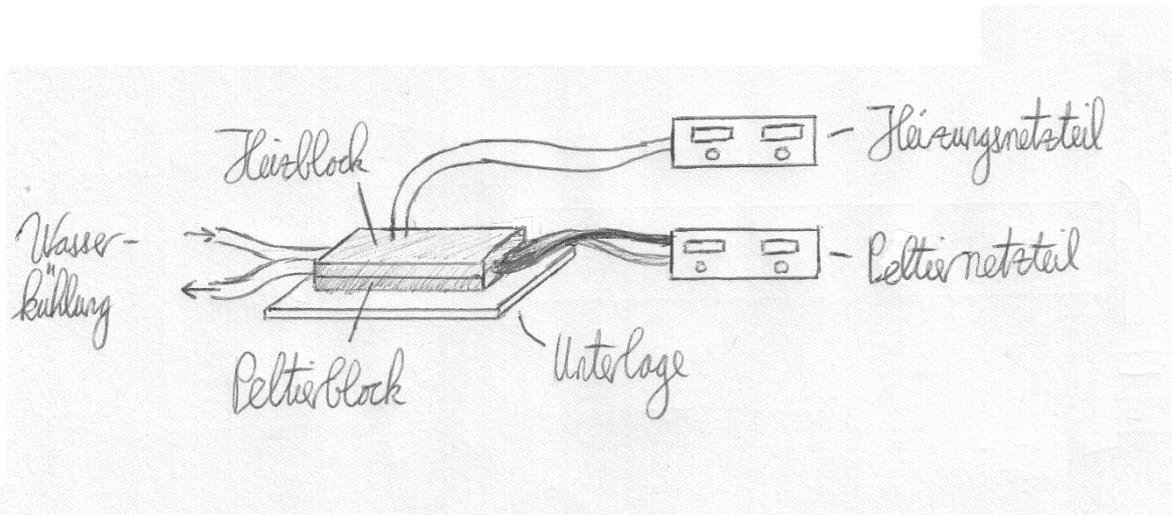


Abbildung 3: Aufbau einer Peltierkühlung

Im zweiten Versuchsteil wurde ein gegen die Umgebungsluft isolierter Peltier-Kühlblock mit unterschiedlicher Stromstärke I gegen das Kühlwasser betrieben. Letzteres lief dabei mit annähernd konstanter Temperatur durch das Heizelement und wirkte der Kühlleistung dadurch entgegen. Dabei wurden die Temperaturen beider Metallplatten des Peltierblocks durch Thermoelemente über die Spannung U_1 bzw. U_2 gemessen. Durch Übersetzung der Spannungsdifferenzen mit Hilfe entsprechender Tabellen, wurde die Temperaturdifferenz ΔT zwischen den Metalplatten ermittelt.

Tabelle 4: Messung der Kühlung

I (A)	U (V)	U_1 (mV)	U_2 (mV)	ΔT (K)
0	0	0	0	0
5	0,6	0,613	-0,056	16
10	1,2	0,604	-0,494	28
15	1,7	0,612	-0,767	35
20	2,2	0,628	-0,891	39

Auswertung

Wird die Temperaturdifferenz gegen die Stromstärke aufgetragen, ergibt eine exponentielle Regression folgenden Graphen:

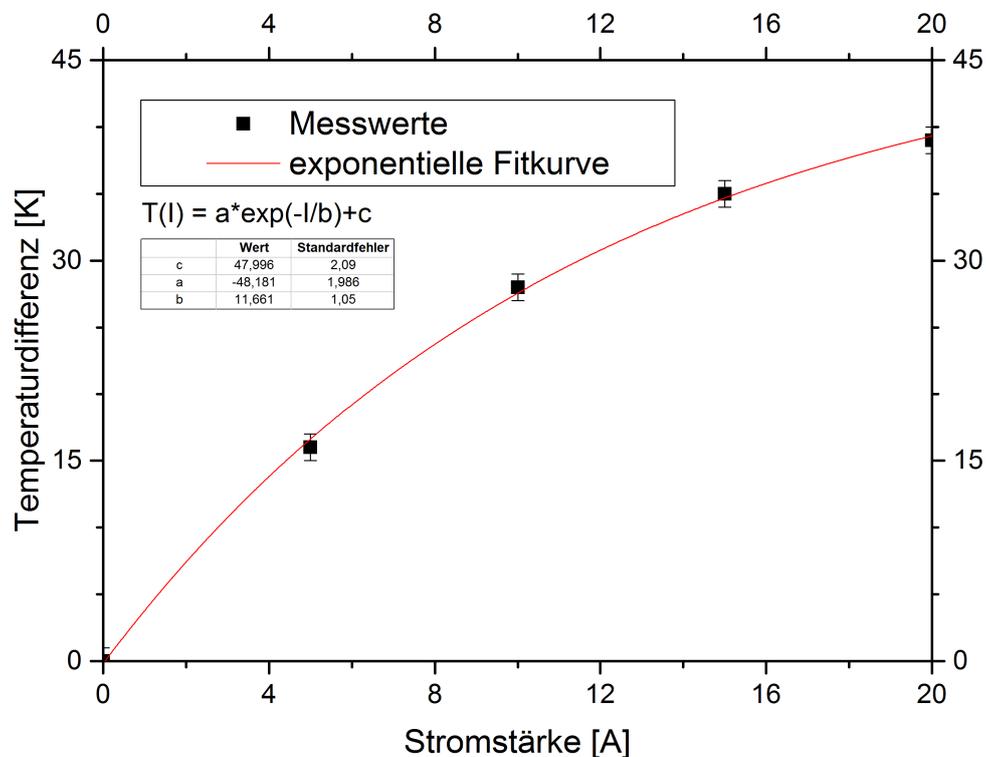


Abbildung 4: Auftragung und exponentielle Regression der Temperaturdifferenz über die Stromstärke

Die Regression ergibt bei einer Funktion $T(I) = a \cdot e^{-\frac{I}{b}} + c$ die Variablen $a = -48,181 \text{ }^\circ\text{C}$, $b = 11,661 \text{ A}$, $c = 47,996 \text{ }^\circ\text{C}$. Aus der exponentiellen Darstellung ist ersichtlich, dass der Peltier-Kühlblock maximal bis zu einer Temperaturdifferenz von ca. $\Delta T = 48 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ kühlen kann. Damit erreicht das Kühlelement höchstens eine Temperatur von ca. $-32 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Grund dafür könnten die, durch den elektrischen Widerstand erzeugte, Wärme und die Wärmezufuhr durch Wasser und Umgebungsluft sein. Durch eine bessere Isolierung des Kühlblocks, ließe sich die Wärmezufuhr reduzieren und somit die tiefstmögliche Temperatur weiter senken. Der Einsatz von mehreren Kühlblöcken würde ein effizienteres Verhältnis von elektrischer Leistung zu erzielter Kühlleistung liefern. Durch die geringere Wärmeerzeugung ergäbe sich auch so eine tiefere Temperatur.

2.2. Kälteleistung Q gegen elektrische Leistung P

Durchführung

In diesem Versuchsteil wurde mit der gleichen Apparatur wie in Abschnitt 2.1 gearbeitet, wobei nun durch ein aktives Heizelement der Kühlung des Kühlblocks entgegengewirkt wurde. Dadurch sollte erreicht werden, eine konstante Temperaturdifferenz $\Delta T = 3 \text{ K}$ zu halten.

Auswertung

Aus der Aufnahme der Stromstärken und angelegten Spannungen der Netzteile der Heiz- bzw. Kühleinheit lässt sich die die Leistungsziffer gemäß der Formel

$$\varepsilon = \frac{Q}{P} = \frac{U_{\text{Heiz}} \cdot I_{\text{Heiz}}}{U_{\text{Kühl}} \cdot I_{\text{Kühl}}}$$

berechnen. Der systematische Fehler ergibt sich aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung, da die Größen nicht korrelieren:

$$\sigma_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial U_{\text{Heiz}}}\right)^2 \sigma_{U_{\text{Heiz}}}^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial I_{\text{Heiz}}}\right)^2 \sigma_{I_{\text{Heiz}}}^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial U_{\text{Kühl}}}\right)^2 \sigma_{U_{\text{Kühl}}}^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial I_{\text{Kühl}}}\right)^2 \sigma_{I_{\text{Kühl}}}^2}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial U_{\text{Heiz}}} = \frac{I_{\text{Heiz}}}{U_{\text{Kühl}} I_{\text{Kühl}}} \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial I_{\text{Heiz}}} = \frac{U_{\text{Heiz}}}{U_{\text{Kühl}} I_{\text{Kühl}}}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial U_{\text{Kühl}}} = -\frac{I_{\text{Heiz}} U_{\text{Heiz}}}{U_{\text{Kühl}}^2 I_{\text{Kühl}}}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial I_{\text{Kühl}}} = -\frac{I_{\text{Heiz}} U_{\text{Heiz}}}{I_{\text{Kühl}}^2 U_{\text{Kühl}}}$$

$$\sigma_I = 0,01 \text{ A} \quad \sigma_U = 0,1 \text{ V}$$

Die Werte der Aufgabe 2.2 sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ergebnisse des Heiz/Kühl-Versuches

I_{Heiz} (A)	U_{Heiz} (V)	$I_{\text{Kühl}}$ (A)	$U_{\text{Kühl}}$ (V)	ε (1)
2,1	10,0	20,0	2,2	$0,48 \pm 0,02$
2,0	9,4	15,0	1,6	$0,77 \pm 0,05$
1,7	8,3	10,0	1,2	$1,20 \pm 0,10$
1,2	5,8	5,0	0,6	$2,36 \pm 0,40$

Trägt man die Leistungsziffer gegen die Stromstärke auf, erhält man einen exponentiellen Abfall.

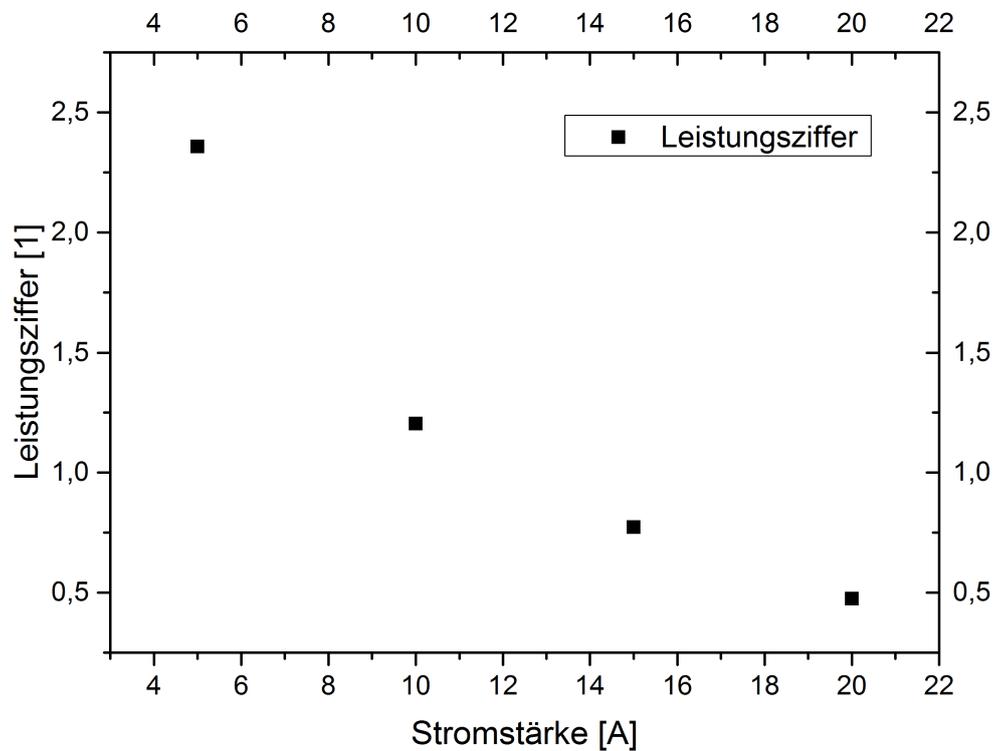


Abbildung 5: Auftragung der Leistungsziffer gegen den Peltierstrom

Aus der Graphik ist ersichtlich, dass die Leistungsziffer mit steigendem Peltierstrom abnimmt. Grund dafür ist Joulesche Wärme, die der Kühlung entgegenwirkt und bei höherem Stromfluss die Kühlleistung merklich beeinträchtigt. Die Kühlung ist somit bei geringerem Stromfluss effizienter.

3. Anschauungsversuch

Durchführung

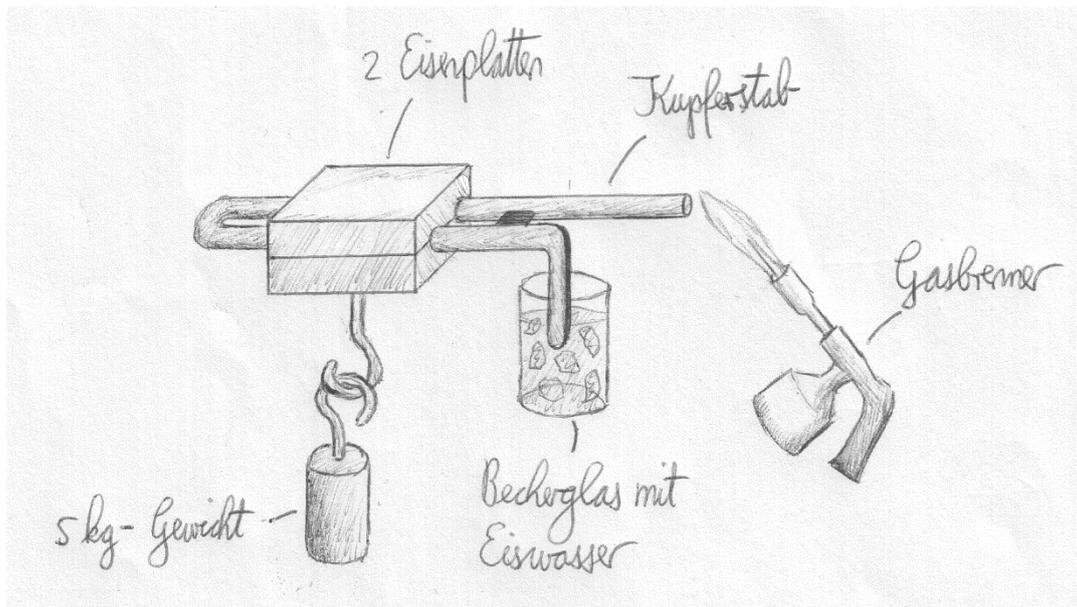


Abbildung 6: Aufbau für ein thermoelektrisch induziertes Magnetfeld

Im letzten Aufgabenteil sollte in einer Leiterschleife ein Magnetfeld durch einen Thermostrom induziert werden und ein Gewicht von 5 kg halten. Dabei wurde eine Seite des Kupferleiters erwärmt, während das andere Ende mit Eiswasser gekühlt wurde. Nachdem die Gasflamme entfernt wurde viel der induzierte Stromfluss ab, wodurch das magnetische Feld kontinuierlich abgeschwächt wurde. Die Spannung wurde mit Hilfe eines Voltmeters während des Abfalls gemessen. Am Zeitpunkt an dem sich Gewichtskraft und magnetische Kraft gerade aufhoben konnte das Gewicht nicht mehr getragen werden.

Auswertung

Die Thermospannung am Punkt der Kraftaufhebung wurde notiert und für die Berechnung verwendet:

$$F_T = \frac{A_{EJ} \mu_0 \mu_r^2 U^2 A_{LS}^2}{8r^2 \rho_{Cu}^2 l^2}$$

Dabei wurden die Werte aus Tabelle 6 genutzt:

Tabelle 6: Werte zum Aufgabenteil 3

A_{EJ} (m ²)	μ_0 (Vs/Am)	μ_r (1)	$\rho_{Cu}^{[2]}$ (Ω m)	A_{LS} (m ²)	l (m)	U (V)	r (m)
$4,87 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$	500	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,313	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$

Die Fläche des Eisenjochs A_{EJ} wurde als rechteckig angenommen, wobei die Länge des Jochs $L = 13,9$ cm und die Breite $b = 3,5$ cm beträgt. Die Querschnittsfläche des Kupferleiters A_{LS} wurde als quadratisch betrachtet und ergibt sich somit aus der Breite des Leiters $d = 0,5$ cm. Aus den Abmessungen ergibt sich auch die Länge der Leiterschleife l gemäß des Ausdruckes $l = 2 \cdot L + b$. Der Radius der Leiterschleife r wurde berechnet mit:

$$r = \frac{b}{2}$$

Einsetzen der Werte in die Formel lieferte den Wert:

$$F_T = 15,182 \text{ N}$$

Mit einer Abweichung von 223 % liegt der ermittelte Wert deutlich unter dem erwarteten Wert von $F_T = 49,05$ N. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Größen A_{EJ} und A_{LS} unterschätzt bzw. r und l überschätzt wurden. Des Weiteren hätten mehrere Messungen den Wert von U verbessern können.

4. Anhang

4.1. Bemerkungen

Das Programm Origin Pro wurde für alle graphischen Auswertungen und Darstellungen verwendet.

Zur Berechnung der gesuchten Werte sowie deren Fehler wurde Microsoft Excel genutzt.

4.2. Quellen

1. <http://www.imn.htwk-leipzig.de/~ebersb/bauphysik/lehrblatt/lehrblatt1.pdf>, 9.5.16
2. Meschede, D. *Gerthsen Physik*. **2004**, (Springer Berlin Heidelberg, 2004).
doi:10.1007/978-3-662-07458-9
3. Pelster, R., Pieper, R. & Hüttl, I. *PhyDid A - Phys. und Didakt. Schule und Hochschule* **2005**, 4, 10–22.
4. Hering, E. & Schönfelder, G. *Funktionsw. und Einsatzgebiete* **2012**, 706.
doi:10.1007/978-3-8348-8635-4
5. Stohrer & Hering. *Physik für Ingenieure*. **2010**, (2010).
doi:10.1007/978-3-662-22291-1
6. Demtröder, W. *Experimentalphysik 2. Springer-Verlag Berlin Heidelb.* **2013**, (2013).
doi:10.1007/978-3-642-29944-5