

Projektpraktikum Physik

Ettinghausen-Effekt an Bismuth

Gruppe 1

Daniel Träutlein, Moritz Bubek, Markus Müller,
Tim Thomay, Pascal Frank, Markus Beyer

Sommersemester 2002

Beim Ettinghausen-Effekt handelt es sich um einen von insgesamt sechs thermomagnetischen Effekten. So bezeichnet man eine Reihe von Erscheinungen, bei denen durch ein Magnetfeld Änderungen der thermischen Durchströmung eines metallischen Leiters auftreten. Die Bestimmung des Ettinghausen Koeffizienten für Bismuth war Ziel dieses Versuchs.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Theorie	4
2.1. Der Halleffekt und seine Nebeneffekte	4
2.1.1. Der Halleffekt	4
2.1.2. Der Ettinghauseneffekt (auch longitudinaler Ettinghausen-Nernst-Effekt)	5
2.1.3. Der Nernst-Effekt (auch transversaler Ettinghausen-Nernst-Effekt)	5
2.2. Grundlagen des Thermoelements	5
3. Versuchsaufbau	9
3.1. Eigenschaften von Bismuth	9
3.2. Bismuth-Plättchen	9
3.3. Magnete	10
3.4. Halterungen	10
3.5. Temperatur-Meßfühler	10
4. Versuchsdurchführung	12
4.1. Messung des Ettinghauseneffekts	12
4.2. Messung der Magnetfelder	12
4.2.1. Qualitative Messung des Nernst-Effekt	12
5. Auswertung	14
5.1. 2 mm Plattendicke	14
5.2. 1 mm Plattendicke	14
5.3. Plättchen mit Verengung	14
5.4. Abschließende Bemerkung zur Auswertung	15
6. Schlußfolgerung	15
A. Anhang Diagramme	17

1. Einleitung

1. Einleitung

Der Ettinghauseneffekt wurde 1886 von A. Ettinghausen¹ an einer Wismuthplatte entdeckt. Er tritt wie auch der Nernst-Effekt neben dem Halleffekt auf. Eine Platte, wird in x-Richtung vom Strom durchflossen. In der dazu senkrecht stehenden z-Richtung wirkt ein Magnetfeld. Dann lässt sich in der y-Richtung eine Spannung, die sogenannte Hallspannung messen. Die Ursache dieser Spannung liegt in der Ablenkung der Elektronen durch das Magnetfeld. In der y-Richtung lässt sich ein Temperaturgefälle beobachten, dies ist der Ettinghausen-Effekt.

In diesem Versuch sollen nun die linearen Zusammenhänge zwischen der Temperaturdifferenz und dem Strom bzw. dem Magnetfeld sowie der reziproke Zusammenhang zwischen Temperaturdifferenz und der Stärke der Leiterplatte nachgemessen werden. Da der Ettinghauseneffekt bei den meisten Materialien sehr klein ist (z.B. Eisen $\delta T = ca. 10^{-4} K$) wird der Versuch an Bismuth durchgeführt. Nach Möglichkeit soll auch der Ettinghausen-Koeffizient² vom Bismuth aus den Meßwerten berechnet werden.



Abbildung 1: Ein Bismuthplättchen im Größenvergleich

¹siehe [1]

²Proportionalitätskonstante, vgl. [4]

2. Theorie

2.1. Der Halleffekt und seine Nebeneffekte

2.1.1. Der Halleffekt

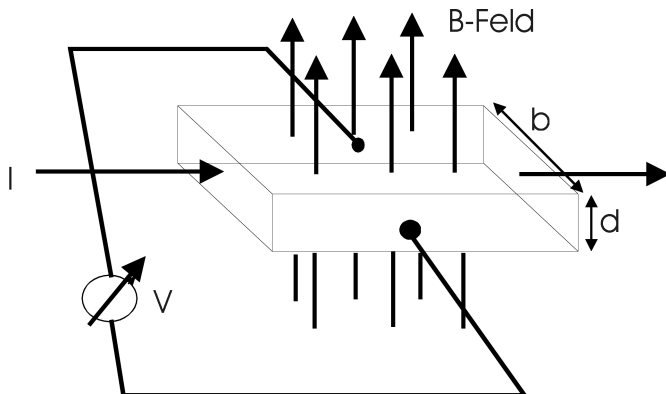


Abbildung 2: Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld

In unserem Plättchen fließt ein Strom, d.h. es bewegen sich Ladungsträger. Bewegen sich Ladungen in einem Magnetfeld, so werden sie senkrecht zu ihrer Bahn und senkrecht zum Magnetfeld abgelenkt (Lorentzkraft). Dies führt zu einem Ladungsträgerüberschuss an den beiden Seiten des Leiters, bis das von den Ladungen erzeugte Querfeld E_H , die Lorentzkraft genau kompensiert.

$$eE_H = -ev \times \underline{B}$$

Dann laufen die Ladungsträger wieder parallel zu den Seitenflächen durch den Leiter. Das Querfeld E_H , bedingt eine Spannung $U_H = -bvB$. Für den Strom gilt die Gleichung $I = dbnev$, wobei d und b die Ausmaße des Plättchens bestimmen, und n die Anzahl der Ladungsträger ist.

Daraus folgt für die Hallspannung $U_H = -\frac{1}{en} \frac{IB}{d} = -A_H \frac{IB}{d}$. mit A_H als Hall-Koeffizient. Der Hall-Koeffizient ist materialabhängig, sein Vorzeichen spiegelt das Vorzeichen der Ladungsträger wieder. Bei gut leitenden Metallen ist der Halleffekt sehr klein.

2. Theorie

2.1.2. Der Ettinghauseneffekt (auch longitudinaler Ettinghausen-Nernst-Effekt)

In der selben Richtung wie der Halleffekt tritt der Ettinghauseneffekt auf, hierbei handelt es sich um einen Temperaturgradienten, der zwischen den beiden Seitenflächen entsteht.

Wie kommt es nun zum Ettinghauseneffekt? Durch den Halleffekt fließen auf der einen Seite des Leiters mehr Elektronen als auf der anderen. Auf der Seite, auf der mehr Elektronen fließen, wird durch den Widerstand auch mehr Wärme produziert. Da Bismut ein schlechter Wärmeleiter ist, wird dieser Temperaturunterschied nicht ausgeglichen. Bei anderen Metallen, die bessere Wärmeleiter sind ist dieser Effekt auch nur sehr schwach.

$$\Delta T = \frac{P \cdot |B| \cdot I}{d}$$

P = Ettinghausen-koeffizient Bei Silber, Kupfer und Gold liegt der Ettinghausen-koeffizient in der Größenordnung von $10^{-16} \frac{K \cdot m}{A \cdot T}$, während der Ettinghausen-koeffizient bei Bismut besonders groß ist $P = 7.34 \cdot 10^{-4} \frac{K \cdot m}{A \cdot T}$.

2.1.3. Der Nernst-Effekt (auch transversaler Ettinghausen-Nernst-Effekt)

Man durchsetzt eine Platte mit einem Magnetfeld. Senkrecht zu diesem sorgt man für einen Temperaturgradienten, dann entsteht senkrecht zum Magnetfeld und zum Temperaturgradienten eine Elektrische Feldstärke E ³.

$$\mathbf{E} = Q[\mathbf{B} \times \nabla T]$$

Wenn die magnetische Induktion $\mathbf{B}(0, 0, B)$ und der Temperaturgradient $\nabla T(\frac{dT}{dx}, 0, 0)$ senkrecht aufeinanderstehen, ergibt sich:

$$E_y = \frac{U}{a} = Q \cdot B \cdot \frac{dT}{dx}$$

Es gibt im ganzen zwölf galvanomagnetische und thermomagnetische Effekte, dies sind Effekte bei denen durch ein Magnetfeld Änderungen der elektrischen und thermischen Durchströmung eines metallischen Leiters auftreten.

2.2. Grundlagen des Thermoelements

Grundlage für die Verwendung von Thermoelementen zur Temperaturmessung ist der 1822 entdeckte sog. *Seebeck-Effekt*. Seebeck beobachtete, daß wenn zwei verschiedene Metalle einander berühren, einige Elektronen vom einen zum anderen gehen. Hierfür verantwortlich ist die Tiefe der höchsten besetzten Elektronenzustände (*Fermi-Grenze*), also die Austrittsarbeit der Elektronen aus dem Metall.

³siehe [2]

2. Theorie

Das Metall mit der geringeren Austrittsarbeit gibt Elektronen an das andere ab, und zwar solange, bis sich eine Kontaktspannung eingestellt hat, die entgegengesetzt gleich der Differenz der Fermi-Niveaus ist. Für die sich einstellende Spannung U_{th} in Abhängigkeit von dem Teilchenzahlverhältnis n_2/n_1 gilt nach der Boltzmann-Statistik näherungsweise folgende Gleichung:

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-e\Delta U/(k_B T)} \Rightarrow U_{\text{th}} = \frac{k_B T}{e} \ln \frac{n_2}{n_1}$$

Bildet man aus zwei solchen Metallstücken (z.B. Drahtstücke) einen geschlossenen Stromkreis, so fließt zunächst kein Strom, da sich die Spannungen an den zwei Kontaktstellen genau gegenseitig aufheben. Erwärmt man aber eine der beiden Kontaktstellen, dann werden die beiden Kontaktspannungen trotz des gleichen Verhältnisses n_2/n_1 verschieden, und es fließt ein Thermostrom. Die dafür nötige Energie wird der Wärmequelle, also z.B. der wärmeren Umgebung, entzogen.

Gezielt genutzt wird dieser Effekt in Thermoelementen: Ein Thermoelement besteht aus zwei Drähten verschiedener Metalle, die an ihren beiden Enden zusammengelötet oder -geschweisst werden. In das eine Drahtstück schaltet man ein Voltmeter, das dann eine Thermospannung anzeigt, die außer von den speziellen Eigenschaften der beiden Metalle nur noch von der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Lötstellen abhängt. Solche Thermoelemente kann man entweder zur Temperaturmessung verwenden, indem man die eine der beiden Lötstellen auf konstante Temperatur bringt (z.B. durch Eintauchen in ein Eis-Wasser-Gemisch), oder zur Messung von Temperaturunterschieden, wenn man die beiden Kontaktstellen an verschiedenen Orten anbringt. Wir haben auf erstere Weise eine Eichkurve des von uns verwendeten Thermolements aufgezeichnet, um ein Maß dafür zu bekommen, welche Thermospannungen wie großen Temperaturunterschieden entsprechen. Im weiteren Versuch haben wir die beiden Kontaktstellen direkt an zwei einander gegenüberliegenden Stellen des Bismuth-Plättchens angebracht, um direkt den Temperaturunterschied zu messen.

Vorteile gegenüber anderen Arten der Temperaturmessung besitzt das Thermoelement vor allem aufgrund der hohen Genauigkeit, mit der Temperaturunterschiede gemessen werden können und wegen seiner geringen Wärmekapazität an den Kontaktstellen, was bewirkt, dass es eine geringe Trägheit hat, sich also sehr schnell an die aktuellen Temperaturen anpasst. Für unseren Versuch ist es außerdem entscheidend, dass es praktisch keinen nennenswerten Platz im Gesamtapparat von Plättchen, Magneten und Halterung benötigt.

Noch einmal zurück zur allgemeineren Theorie: Die Thermospannung sollte also der Differenz der Kontaktspannungen an den beiden verschieden warmen Kontaktstellen entsprechen:

$$U_{\text{th}} = \frac{k_B}{e} \ln \frac{n_2}{n_1} \Delta T$$

Für manche Metallkombinationen, z.B. Kupfer-Konstantan oder Eisenkonstan-

2. Theorie

tan, gilt dieser lineare Zusammenhang in einem weiten Bereich. Allgemein liefert die Fermi-Verteilung, mit der man die für die Kontaktspannungen verantwortlichen Elektronengase mathematisch behandeln muss, auch Terme höherer Ordnung in ΔT , die bei größeren Temperaturdifferenzen nicht mehr vernachlässigt werden dürfen:

$$U_{\text{th}} = a\Delta T + b\Delta T^2.$$

Die Änderung der Thermospannung mit der Temperatur bestimmt die Empfindlichkeit des Thermoelements oder die *Thermokraft*

$$\frac{dU_{\text{th}}}{dT} = a + 2b\Delta T.$$

Da der Faktor $k_B/e = 1/11600 \text{JC}^{-1}\text{K}^{-1} = 86 \mu\text{VK}^{-1}$ ist, erwartet man Thermokräfte von der Größenordnung einiger $\mu\text{V/K}$.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige Elemente in der thermoelektrischen Spannungsreihe. Ein Element steht weit oben, wenn es eine hochliegende Fermi-Grenze hat. Die Extreme bilden Sb und Bi, die schon an der Grenze zu den Nichtmetallen liegen. Für Pb ist die Thermokraft als Referenz willkürlich gleich Null gesetzt.

Element	Thermokraft μVK^{-1}
Sb	+35
Fe	+16
Zn	+3
Cu	+2.8
Ag	+2.7
Pb	0
Al	- 0.5
Pt	- 3.1
Ni	- 19
Bi	- 70

2. Theorie

Die von uns aufgenommene Temperaturkurve (Abbildung 3) ergab eine Thermokraft von $42 \mu\text{V}/\text{K}$, stimmt also gut mit obigen theoretischen Überlegungen überein. In dem für uns interessanten Messbereich von ungefähr $20 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ist der Zusammenhang zwischen Temperaturunterschied und Thermospannung absolut linear.

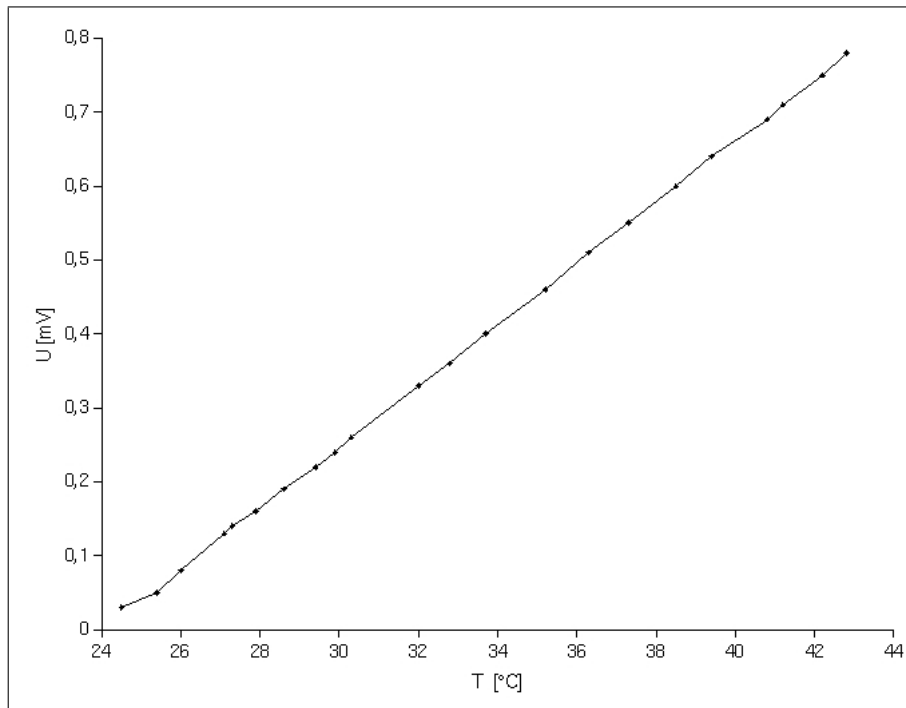


Abbildung 3: Kennlinie des Thermoelements

3. Versuchsaufbau

3.1. Eigenschaften von Bismuth

Als wir uns entschieden hatten, den Ettinghausen-Effekt im Projekt-Praktikum zu untersuchen, ging es zunächst darum, sich um die Beschaffung und Bearbeitung des benötigten Bismuths zu kümmern. Der Werkstoff Bismuth kam für uns deshalb in Frage, weil Bismuth aufgrund seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu anderen Metallen einen besonders hohen Ettinghausen-Koeffizienten besitzt.

Bismuth (alter Name: Wismuth \rightarrow weisses Metall) gehört mit der Ordnungszahl 83 und einer rel. Atommasse von 209 zu den Schwermetallen. Es ist ein relativ weiches Metall (Mohs-Härte 2,5) mit einer niedrigen Schmelztemperatur ($T_{\text{Schmelz}} = 271,3 \text{ }^\circ\text{C}$). Absolut reines Bismuth ist nur wenig spröde und matt silbern glänzend. Die Sprödigkeit nimmt jedoch schon bei geringsten Verunreinigungen drastisch zu. Genau diese Sprödigkeit des Bismuths ist der Grund dafür, warum man den Rohstoff nicht einfach in die gewünschte Plättchenform pressen oder walzen kann.

3.2. Bismuth-Plättchen

Unser erstes Problem war die Beschaffung von Bismuth, da unser Budget doch beschränkt ist. Die gängigen Labor-Artikel-Firmen (die unter anderem auch Chemikalien führen) haben auch Bismuth-Folien in so ziemlich allen Stärken. Aber die sind hochrein, d.h es gibt sie nur mit Reinheiten von weit über 99 % und sind daher sehr teuer (eine 1 mm Platte, 2,5x 2,5 cm kostet ca. 180 Euro).

Deswegen entschieden wir uns die Plättchen in der Werkstatt aus Bismuth-Pulver machen zu lassen. Wir bestellten 100 g Bismuth-Pulver, mit nur knapp 99 % Reinheit (was für unseren Versuch völlig ausreicht). Da das Material nicht ausreichte, gaben wir auch noch eine Bismuth-Platte, die uns zur Verfügung gestellt wurde, in die Werkstatt.

An die Werkstatt gaben wir den Auftrag aus diesem Pulver mit Hilfe von Formen mehrere Plättchen mit verschiedenen Stärken (1mm, 2mm) zumachen. Die Plättchen haben eine Größe von 35x15 mm und an beiden Enden je eine Bohrung zur Befestigung der Lötösen.

Zum Einschmelzen des Bismuth brauchte die Werkstatt deutlich mehr als $270 \text{ }^\circ\text{C}$, da es sonst in den Formen keine homogene Platte ergab. Sie schmolzen das Bismuth bei knapp $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ein und frästen es anschließend auf die entsprechende Stärke ab.

3. Versuchsaufbau

3.3. Magnete

Für das Magnetfeld benutzten wir Permanentmagnete, die aus Autogetrieben stammen. Von diesen setzten wir auf beide Seiten der Platten je gleich viele als Stapel (z.B. 2x10). Durch unterschiedliche Anzahl konnten wir das Magnetfeld in bestimmten Grenzen variieren. Sie ergeben ein Magnetfeld in der Größenordnung von 0.5 Tesla.

Außerdem hatten wir noch zwei etwas stärkere Permanentmagnete mit denen wir ebenfalls gemessen haben.

Im nachhinein muß man sagen, daß es sinnvoller, aber auch schwieriger zu realisieren gewesen wäre einen starken Elektromagneten zu benutzen, da es doch immer schwierig war, ein Plättchen vernünftig in das Magnetfeld zu bekommen.

3.4. Halterungen

Zuerst wollten wir die Magnete direkt auf die elektrisch isolierten (Klebeband) Bismuth-Plättchen setzten, was aber durch die starke Sprödigkeit des Bismuth nicht realisierbar ist. Beim Aufsetzen sind die Magnete durch ihre 0.5 Tesla kaum zu kontrollieren und sie schlagen auf die Plättchen, wobei uns sofort eines zerbrach.

Deswegen konstruierten wir eine Halterung (siehe Abbildung 4 und 5), in die die Plättchen eingelegt und die Magnete auf Abstand gehalten werden. Diese besteht aus zwei Metallplatten (aus einem nicht magnetischen Metall) die mittels vier Schrauben auf Abstand gehalten werden. Die Metallplatten sind mit Tesa-Film elektrisch gegen die Bismuth-Platte isoliert.

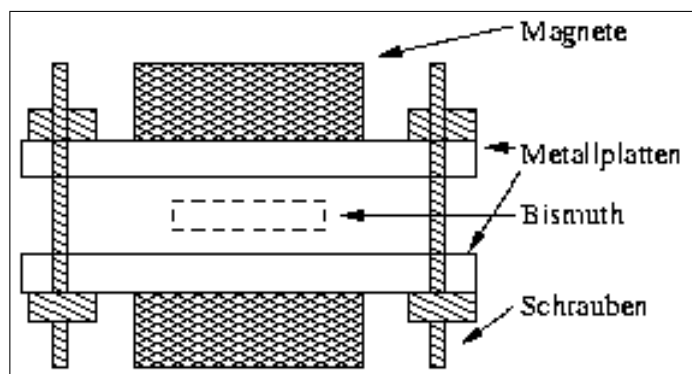


Abbildung 4: Seitenansicht der Halterung für die Magnete und die Plättchen

3.5. Temperatur-Meßfühler

Die Temperatur wird mit Hilfe eines Thermoelements aus Nickel-ChromNickel gemessen. Normalerweise besteht so ein Thermoelement aus einem halbgeschlos-

3. Versuchsaufbau

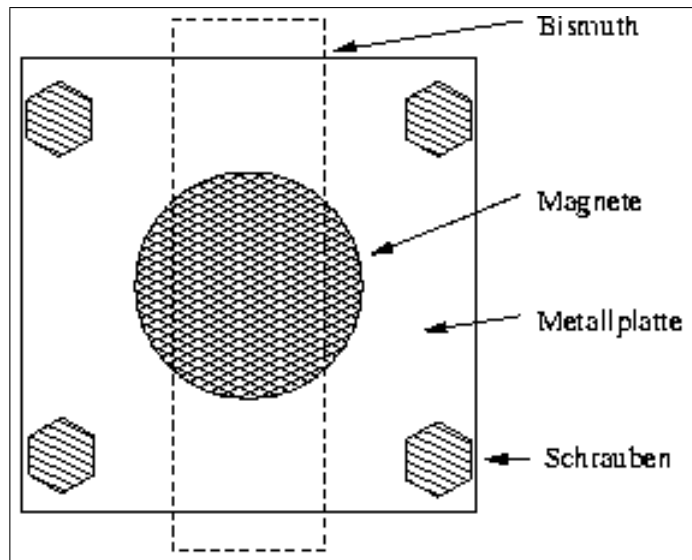


Abbildung 5: Ansicht von oben: Halterung für die Magnete und die Plättchen

senem Kreis (Nickel–ChromNickel–Nickel), die an den Verbindungsstellen zusammen geschweißt sind. Dies wird z.B. mit Hilfe einer Punktschweißanlage gemacht. Am offenen Ende wird dann die Spannung gemessen, die proportional zur Temperaturdifferenz an den beiden Kontaktpunkten ist (siehe auch Abbildung 3). Da die beiden Kontaktpunkte eine Differenz darstellen sollen, werden bei uns je einer auf den beiden Seiten der Bismuth–Platte befestigt.

Um überhaupt zu zeigen, daß die Spannung proportional zur Temperatur ist, wurde von uns erst einmal eine Eichung durchgeführt. Dazu legten wir einen Kontakt auf eine Referenztemperatur (24 °C), den anderen in ein Wasserbad das wir langsam mit warmen Wasser auffüllten und damit die Temperatur in kleinen Schritten um ca. 20 °C erhöhten.

Dadurch ergibt sich das Problem, daß die Hallspannung ebenfalls mitgemessen wird, da der Kontakt zum Plättchen nicht elektrisch isoliert ist. Es gibt keine Materialien, die Wärme gut leiten und trotzdem elektrisch isolieren. Um dieses Problem zu umgehen, trennten wir den Kreis auf und arbeiteten mit zwei einzelnen Kontakten an den wir jeweils die Spannung maßen. Die zwei dadurch erhaltenen Spannungen sind proportional zu den Temperaturen an den beiden Plattenseiten. Durch diese Einzelmessung fällt die Hallspannung raus.

Zuerst versuchten wir die Kontakte nur mittels Tesa–Film an den Platten zu befestigen, was aber zu sehr schlechter Wärmeleitung führt. Außerdem ist die mechanische Belastbarkeit nicht sehr groß, die Drähte gehen häufig ab. Deswegen löteten wir die Kontakte an die Platte (was bei Bismuth mit einem Schmelzpunkt von ca. 270 °C recht gut geht).

Die beiden Spannungen werden mit zwei identischen Meßgeräten gemessen, die eine maximale Auflösung von 10 μV haben.

4. Versuchsdurchführung

4.1. Messung des Ettinghauseneffekts

Bei den Messungen an einem Plättchen drehten wir den Strom in 1 Ampere Schritten hoch. Dabei waren durch das Netzteil bedingt erst Ströme ab ca. 2 Ampere einstellbar (durch fehlenden Widerstand des Drahtes zu geringe Spannungen, in denen das Netzteil nicht gut einstellbar ist). Das Magnetfeld und die Plättchenstärke ist dabei fest. Dann werden die beiden Spannungswerte abgelesen und eingetragen. Dies geschah auf zwei verschiedene Arten:

- sehr schnelles Ablesen nach Einstellen des Stroms
- Ablesen, nachdem sich die Spannungen auf einen Wert eingestellt hatten

Da wir zuerst dachten, die Plättchen würden sich nach längerer Zeit stark erwärmen, versuchten wir zuerst schnell abzulesen. Bei dem Versuch die Spannung erst einpendeln zu lassen, stellten wir fest das die Erwärmung doch nicht so stark ist wie angenommen und wir konnten einige Messungen aufnehmen.

4.2. Messung der Magnetfelder

Die Magnetfelder wurden mit dem Teslameter aus dem Physik AP vom Zeeman-Versuch gemessen. Dabei zeigte sich, dass das Magnetfeld nur auf einem sehr geringen Bereich die volle Stärke hat und dort homogen ist. Deswegen haben wir im nachhinein noch eine Messung mit dünneren Streifen aus Bismuth gemacht, um das Material vollständig in das starke Magnetfeld in der Mitte zu bekommen. Die Messung erfolgte ebenfalls mit den Halterungen, um identische Bedingungen wie bei den anderen Meßreihen zu bekommen. Außerdem mußte dabei auch der Abstand der Halterungen gleich der im Versuch sein.

Alle Anordnungen von Magneten, die in der Ettinghausenummessung auftreten, müssen ausgemessen werden, da sich mehrere Magnete hintereinander nicht linear verstärken.

4.2.1. Qualitative Messung des Nernst-Effekt

Im Gegensatz zum Ettinghausen-Effekt, bei dem ein Temperaturgradient entsteht, wenn man einen Strom und ein Magnetfeld anlegt, entsteht beim Nernst-Effekt eine Spannung (und auch ein entsprechender Strom), wenn man ein Magnetfeld und einen Temperaturgradienten anlegt. Dazu wird einfach das Plättchen auf der einen Seite erhitzt bzw. abgekühlt. Wir haben den Nernst-Effekt qualitativ ausgewertet.

An die 4 mm dicke Bismuth Platte haben wir ein Magnetfeld von ca. 0,7 Tesla (2*10 Magnete) angelegt. Senkrecht dazu wird eine Spannung gemessen. Mit dem Lötkolben wird nun die eine Seite erhitzt oder mit Trockeneis die andere

4. Versuchsdurchführung

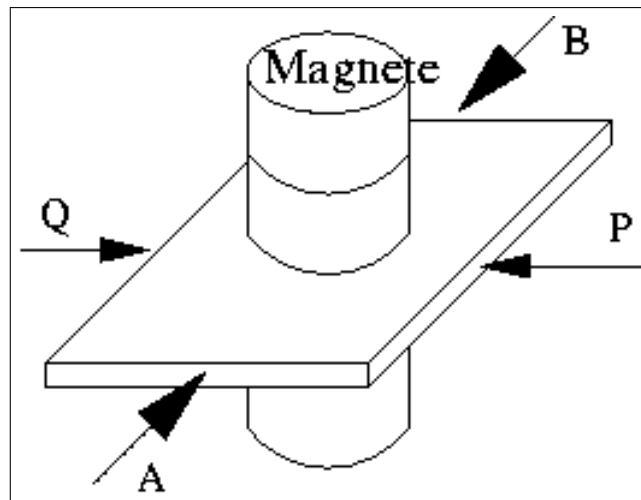


Abbildung 6: Aufbau der Nernst-Effekt-Messung

abgekühlt. Ohne Wärmegradient wird als Nulleffekt eine Spannung von 0,06 mV gemessen. Beim Abkühlen ergibt sich eine Spannung von 0,90 mV, beim Erwärmen mit dem LötKolben ein Spannung von 0,26 mV (der Wärmeleitkontakt zum LötKolben war nicht gut, was zu wesentlich weniger Erwärmung als Abkühlung)

Um zu zeigen, daß es sich um einen Effekt handelt der von der Temperatur abhängt, wird nun die jeweils andere Seite erhitzt bzw. abgekühlt. Die Spannungen sollten genau negativ werden. Dabei entsteht durch Abgekühlen eine Spannung von -1,44 mV, durch Erwärmen von -0,33 mV. Das dabei nicht exakt der selbe Betrag gemessen wird, liegt wohl an dem unsymmetrischen Aufbau, bzw. der sehr ungenauen Wärmeübertragung.

5. Auswertung

5.1. 2 mm Plattendicke

- mit 2 x 2 Magneten

Hier fällt zum einen eine konstante Abweichung von 0,2 K zur Theorie auf, zum anderen verläuft die Kurve nicht so linear. Beide Abweichungen sind vermutlich auf das schwächere Magnetfeld, und somit auf einen absolut kleineren Effekt, zurückzuführen. Bei der Fehlerfortpflanzung haben wir eine Ablesegenauigkeit von $\pm 0,5$ A für den Strom und beim B-Feld von 0,05 T zugrunde gelegt. Die Plattendicke wurde mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm angenommen.

- mit 2 x 5 Magneten

In dieser Messreihe haben wir eine mittlere Abweichung der gemessenen Werte von 4,7 % zur Theorie, d.h. eine gute Übereinstimmung. Weiterhin sieht man, dass sich die jeweiligen Messwerte innerhalb der Standardabweichung bzw. der Fehlerfortpflanzung der anderen Kurve bewegen.

- mit 2 x 10 Magneten

Unsere Messreihen befinden sich hier ebenfalls in guter Übereinstimmung mit den Theoriewerten (mittlere Abweichung von 3,6 %).

5.2. 1 mm Plattendicke

- mit 2 x 10 Magneten

Die 1mm Plättchen waren insgesamt schwer zu handhaben, da Bismuth sehr spröde und somit leicht zerbrechlich ist. Insofern waren diese Plättchen nie lange zu Messzwecken brauchbar und so gingen wir dazu über die Plättchen selber zusammenzulöten. Zum anderen waren die Lötstellen für die Thermoelemente schwer anzubringen, da die Platte schnell durchgelötet war. Außerdem wurde das dünne Plättchen mit steigender Amperezahl heißer als die dickeren Plättchen. Folglich müsste man für eine umfassende Beschreibung einen veränderten Ettinghausen - Koeffizient für Bismuth zugrunde legen (da dieser neben Material- und Magnetfeldabhängigkeit auch von der Temperatur abhängt!). Die Abweichung zur Theorie kann unter Berücksichtigung des Nulleffektes erklärt werden.

5.3. Plättchen mit Verengung

2 x 10 Magneten bei einer Plattendicke von 1 bzw. 2 mm mit Verengung (Brücke) im Magnetfeld

Da jeweils nur eine Messung durchgeführt werden konnte, bevor die sehr instabilen Plättchen zerstört wurden, sind die Messreihen nicht repräsentativ. Bei

6. Schlußfolgerung

der 2 mm Brücke ist die Tendenz erkennbar, bei der 1 mm Brücke muss uns inmitten der Messreihe ein grober Fehler unterlaufen sein, sei es Ablösung eines Thermoelements oder Bruch des Plättchens. Der Wunsch durch eine bessere Magnetfelddurchsetzung der Proben einen deutlicheren Effekt zu erzielen konnte nicht erfüllt werden.

5.4. Abschließende Bemerkung zur Auswertung

Mit den 2mm Plättchen haben wir grundsätzlich bessere Messreihen aufgenommen. Zum anderen wurde der Effekt mit stärkerem B-Feld deutlicher. Die Messreihen mit der 2mm-Platte und 2x5 bzw. 2x10 Magneten sind aber nach den anfänglichen Schwierigkeiten und unseren bescheidenen Mitteln überraschend zufrieden stellend.

Die aus unseren Messungen folgenden Koeffizienten:

Messung	Ettinghausen-Koeffizient ($10^{-4} \frac{\text{Km}}{\text{AT}}$)
2mm 2x10 Magnete	7.76
2mm 2x5 Magnete	7.61
2mm 2x2 Magnete	7.16
Mittelwert	7.51 \pm0.31

Der Literaturwert $P = 7.34 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Km}}{\text{AT}}$ liegt -wie ersichtlich- innerhalb der Standardabweichung.

6. Schlußfolgerung

Die Ergebnisse des Ettinghausen-Versuchs stimmen ganz ordentlich mit der Theorie über ein. Leider gelang es uns - hauptsächlich wegen der anderen Versuche - nicht weitere Messreihen aufzunehmen. Hier hätte man sicher noch wesentlich zuverlässigere Ergebnisse erzielen können, wenn die Datengrundlage eine größere gewesen wäre.

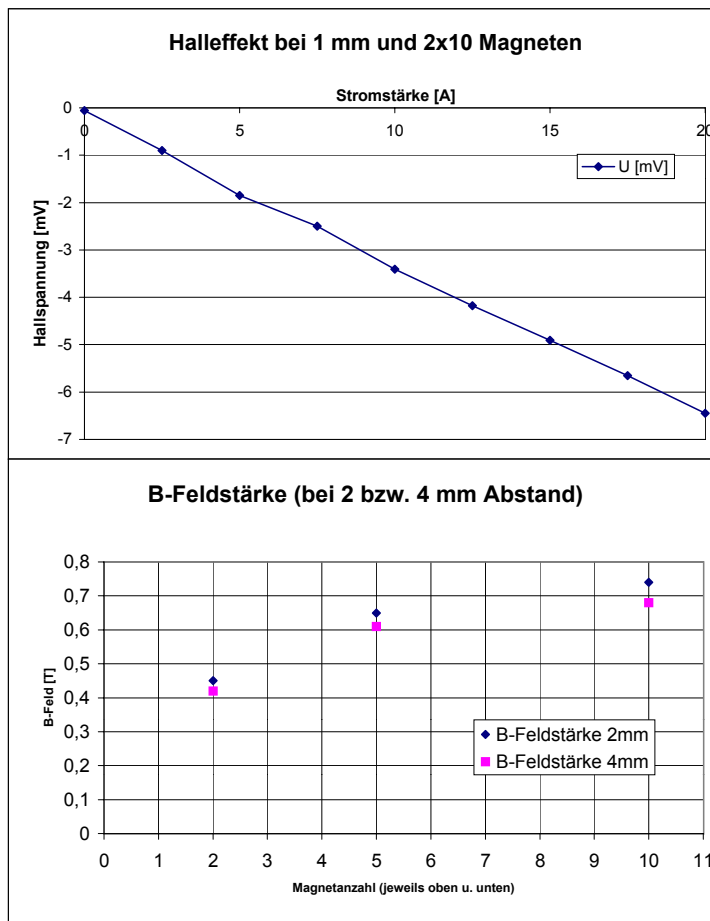
Die Tatsache, dass der Ettinghausen Koeffizient im Bergmann Schäfer falsch wiedergegeben wurde, verleiht unseren Messungen einen gewissen Glanz. Dieser wird lediglich dadurch geschmälert, dass der Ettinghausen-Effekt in einer neueren Ausgabe des Lehrbuchs gar nicht mehr auftaucht. Auf dies wiesen uns auch die Autoren des Lehrbuchs hin, als wir sie auf die Fehlerhafte Konstante aufmerksam machten. Dabei ist der Fehler im Bergmann-Schäfer nicht ganz unbedeutend, denn der Bergmann-Schäfer ist eines der wenigen Lehrbücher, die den Ettinghauseneffekt überhaupt erwähnen. Insgesamt lässt sich sagen, gab es zu diesem

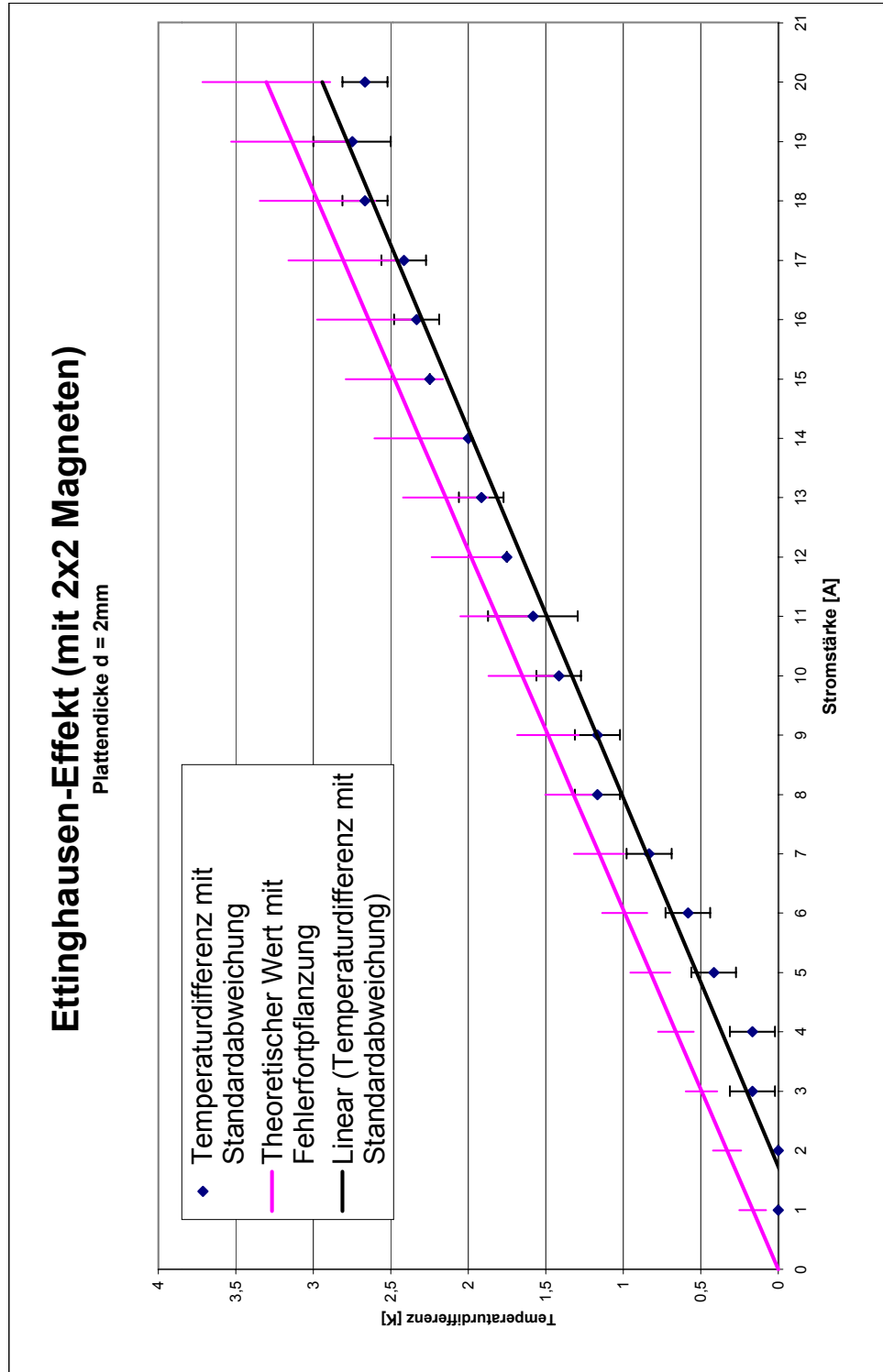
6. *Schlußfolgerung*

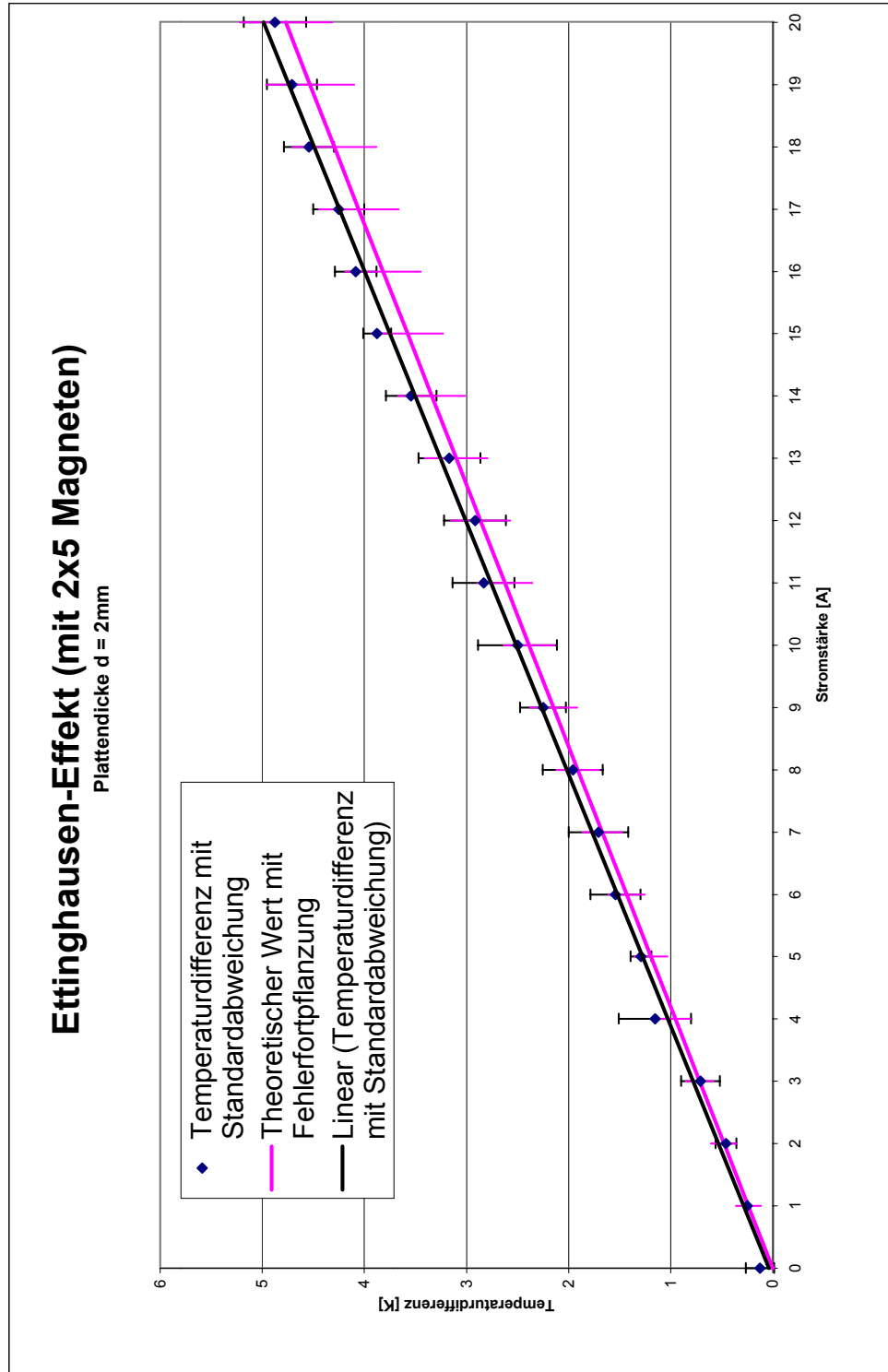
Versuch sehr wenig Literatur. Dies führte uns, was für die Zukunft sicher nicht von Nachteil sein wird in die Kellerräume der Bibliothek. Dies war vielleicht die wertvollste Erfahrung dieses Versuchs.

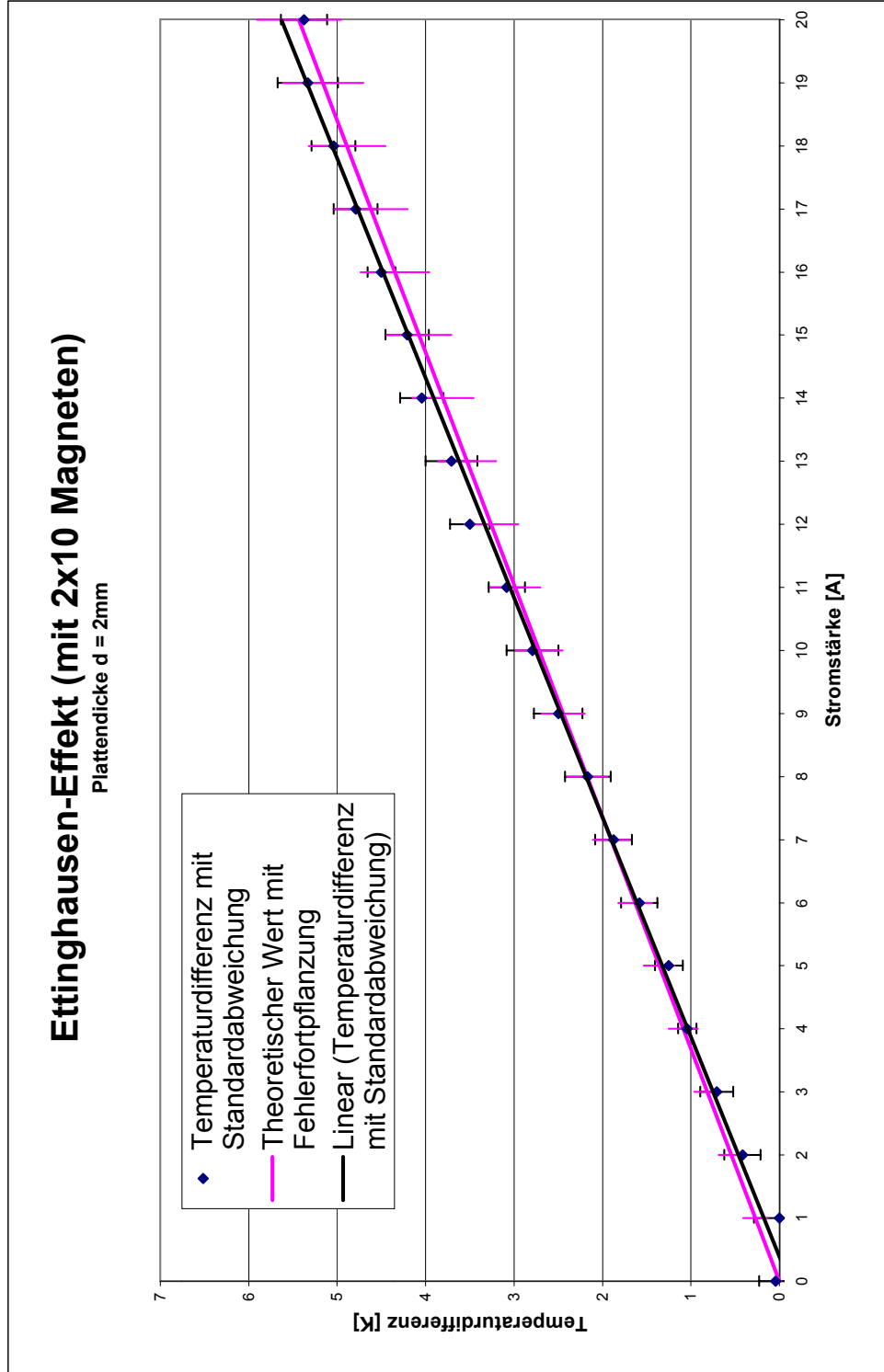
A. Anhang Diagramme

Diagramme auf die im Kapitel Auswertung Bezug genommen wird. Fehlerangaben finden sich ebenfalls im Kapitel Auswertung wieder.

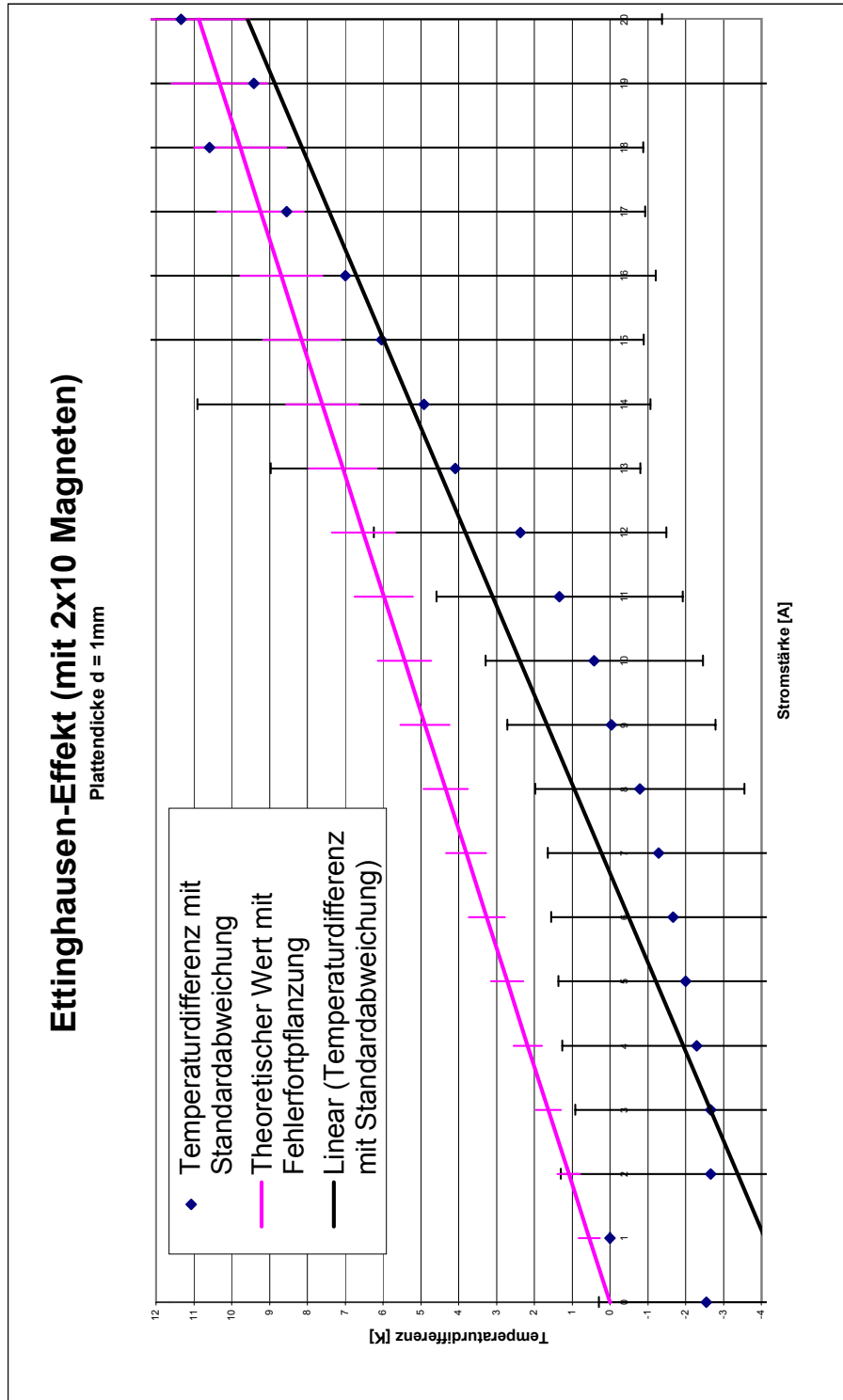


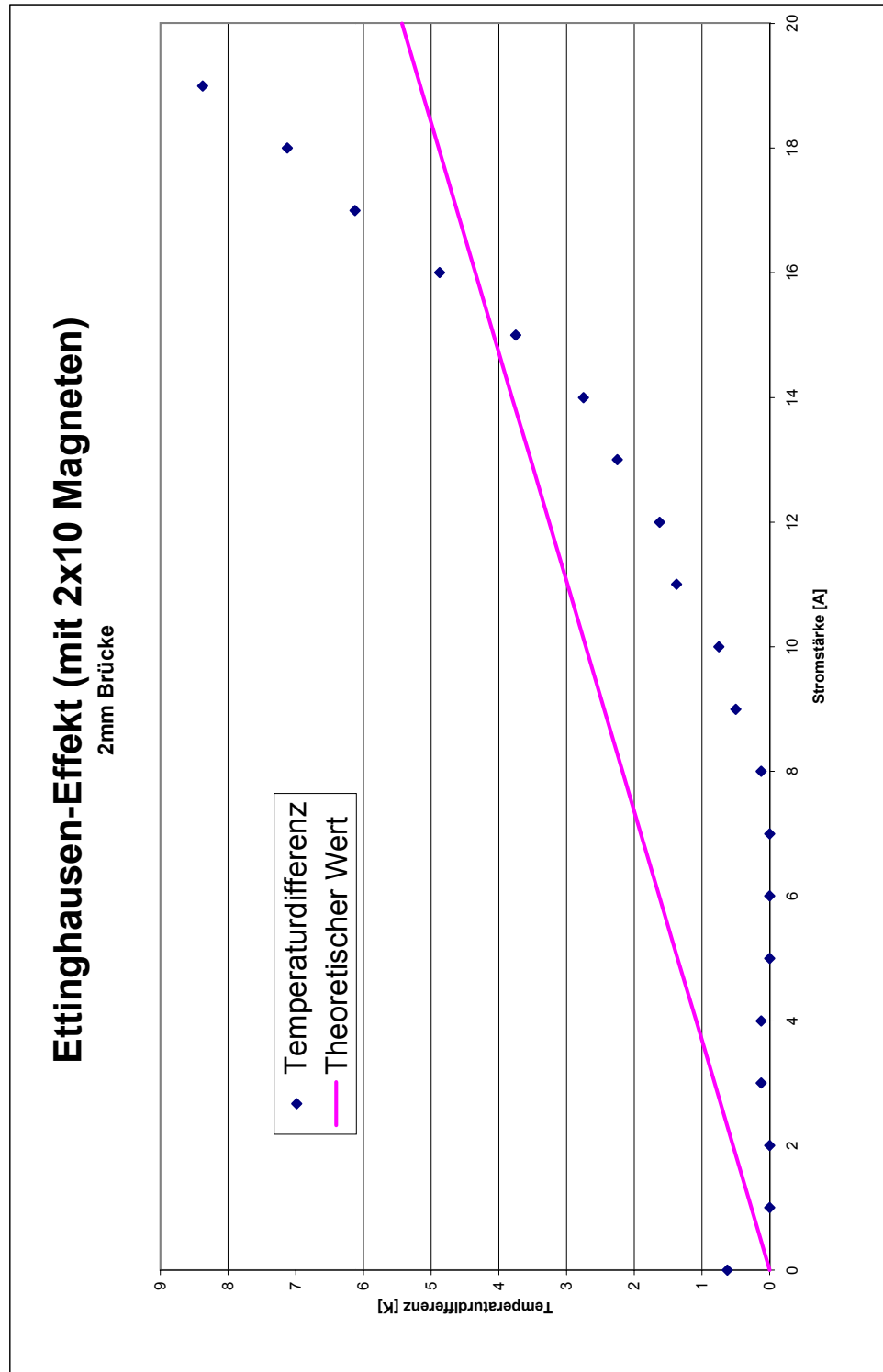




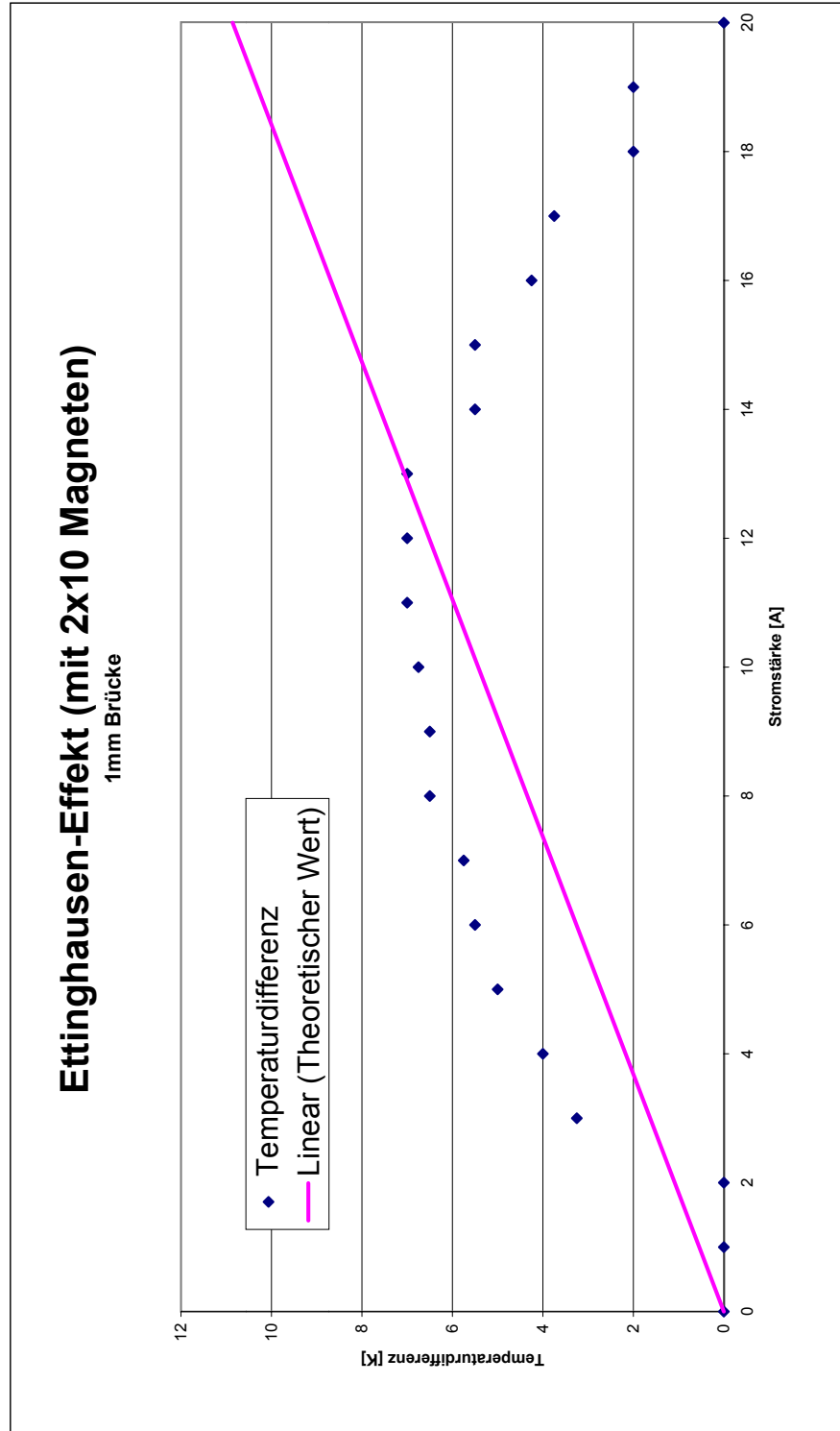


A. Anhang Diagramme





A. Anhang Diagramme



Literatur

- [1] Ettinghausen, Wied. an, 1886
- [2] Manfred von Ardenne, Effekte der Physik und ihre Anwendung, Berlin Dt. Verlag der Wissenschaften, 1988
- [3] Bergmann Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, 7. Auflage, Verlag de Gruyter, 1987
- [4] International Critical Tables of Numerical Data Physics, Chemistry and Technology, Band VI, Seite 419

Autoren

- Markus Beyer, maku@gmx.net
- Moritz Bubek, bubek@gmx.de
- Pascal Frank, pascal.frank@uni-konstanz.de
- Markus Müller, muelli@epost.de
- Tim Thomay, tim@thomay.de
- Daniel Träutlein, daniel.traeutlein@uni-konstanz.de

Wir danken der Firma HEK GmbH in Lübeck, die uns auf Anfrage ein kleines Stück Bismuthblech schickten, aus dem wir mehrere kleine in allen Dicken fräsen lassen konnten.