



Physikalisches A-Praktikum

## Versuch 15

# Dia- und Paramagnetismus

Praktikanten:	Julius Strake	Betreuer:	Johannes Schmidt
	Niklas Bölter	Durchgeführt:	07.09.2012
Gruppe:	B006	Unterschrift:	_____

E-Mail: [niklas.boelter@stud.uni-goettingen.de](mailto:niklas.boelter@stud.uni-goettingen.de)  
[julius.strake@stud.uni-goettingen.de](mailto:julius.strake@stud.uni-goettingen.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>4</b>
2.1	Para- und Diamagnetismus . . . . .	4
2.2	Magnetostatische Energie und Kraft . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>9</b>
<b>A</b>	<b>Tabellen und Grafiken</b>	<b>10</b>

## 1 Einleitung

In diesem Versuch werden Dia- und Paramagnetika sowie die Kraftwirkung auf sie in einem Magnetfeld veränderlicher Stärke untersucht.

## 2 Theorie

### 2.1 Para- und Diamagnetismus

Bringt man ein Medium in ein magnetisches Feld mit *magnetischer Feldstärke*  $\mathbf{H}$ , so ändert sich an dieser Stelle die *magnetische Flussdichte*  $\mathbf{B}$ . Für viele Stoffe findet man einen linearen Zusammenhang zwischen  $\mathbf{H}$  und  $\mathbf{B}$ : (Meschede, 2006, S. 391)

$$\mathbf{B} = \mu_0(1 + \chi)\mathbf{H}.$$

Dabei wird  $\chi$  die *magnetische Suszeptibilität* genannt.

Eine der Ursachen für dieses Verhalten ist der sogenannte *Diamagnetismus*. Dieser entsteht, vereinfacht gesprochen, durch eine durch das Magnetfeld induzierte Rotation der Atome mit ihrer Elektronenhülle. Die so entstehenden Kreisströme induzieren wiederum ein magnetisches Moment, welches dem äußeren Magnetfeld entgegenwirkt. (Meschede, 2006, S. 392) Diese Abschwächung lässt sich also durch eine negative magnetische Suszeptibilität beschreiben.

Anders als der Diamagnetismus, der eine Eigenschaft aller Stoffe ist, zeigt sich der *Paramagnetismus* nur bei einigen Stoffen. Bei diesen gibt es in den einzelnen Atomen magnetische Momente, die sich nicht gegenseitig kompensieren. Diese richten sich im äußeren Magnetfeld aus und verstärken so den magnetischen Fluss. (Meschede, 2006, S. 393)

In den meisten Stoffen mit dieser Eigenschaft überwiegt der Paramagnetismus den Diamagnetismus, so dass sich insgesamt eine Verstärkung des magnetischen Flusses und damit eine positive magnetische Suszeptibilität beobachten lässt.

Ein wichtiger Unterschied zwischen den beiden Eigenschaften ist die Temperaturabhängigkeit. Während der Diamagnetismus temperaturunabhängig ist, gilt für den Paramagnetismus das Gesetz von PIERRE CURIE:

$$\chi = \frac{C}{T}.$$

Dabei ist  $C$  die materialabhängige CURIE-Konstante.

### 2.2 Magnetostatische Energie und Kraft

Für die magnetostatische Energie  $W$  einer langen Spule mit Länge  $l$ , Querschnittsfläche  $A$  und Windungszahl  $N$  gilt:

$$W = -\frac{1}{2}LI^2$$

Dabei ist  $L$  die Selbstinduktivität der Spule und  $I$  der Strom: (Meschede, 2006, S. 387)

$$L = (1 + \chi)\mu_0 \frac{N^2}{l} A$$

$$I = \frac{l}{N} H$$

Mit  $V = Al$  ergibt sich durch Einsetzen:

$$W = -\frac{1}{2}(1 + \chi)\mu_0 H^2 V.$$

Wie immer ist die Kraft der negative Gradient der potentiellen Energie, für den eindimensionalen Fall, der in diesem Versuch betrachtet wird, findet man nun:

$$F_x = -\frac{\partial W}{\partial x} = \frac{V\chi}{\mu_0} B \frac{\partial B}{\partial x}. \quad (1)$$

Dabei wurde  $B = \mu_0 H$  angenommen, da der magnetische Fluss ohne Anwesenheit der Probekörper gemessen wird (siehe Durchführung). Außerdem fällt die Vakuumenergie weg, so dass  $1 + \chi$  zu  $\chi$  wird.

### 3 Durchführung

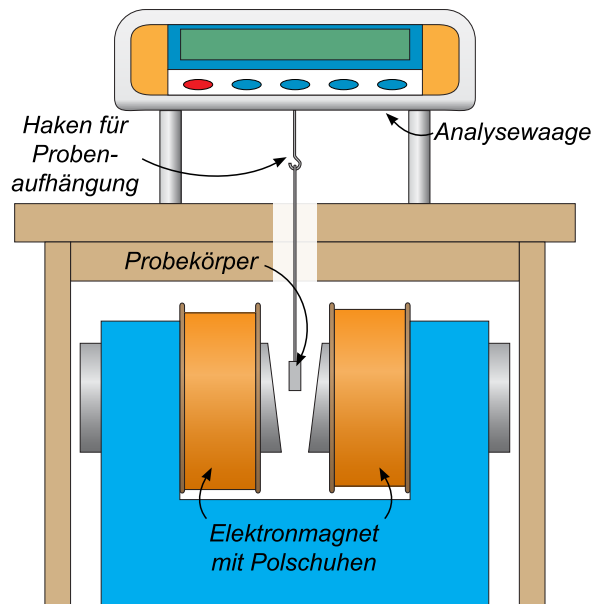


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus für die Messung der Kraft auf den Probekörper (Quelle: LP (Prior und Grosse-Knetter))

Mittels eines Elektromagneten und abgeschrägten Polschuhen wird ein inhomogenes Magnetfeld erzeugt. (Siehe Abb. 1) Bei einem Spulenstrom von 1.2 A wird das Magnetfeld zwischen den Polschuhen ausgemessen. Dafür wird die magnetische Flussdichte  $B$  in Abhängigkeit von der Höhe mit einer Hall-Sonde bestimmt.

Nun werden die drei Probekörper (Bismut, Mangan, Mangandioxid) zwischen die Polschuhe gehängt, und ihre Höhe gemessen. Die von der Analysewaage angezeigte Masse, sowohl ohne als auch mit Magnetfeld, wird notiert. Diese Messung wird dreimal durchgeführt.

Für die Stromstärken 0.8 A, 1.0 A, 1.2 A und 1.4 A wird mit Hilfe der Hall-Sonde die magnetische Flussdichte am vorherigen Ort des Mangan-Probekörpers sowie in dessen Umgebung ( $\pm 5$  mm und  $\pm 10$  mm) bestimmt. Außerdem wird bei diesen Stromstärken ebenfalls die angezeigte Masse des Mangan-Probekörpers bestimmt, genau wie in der obigen Messung.

## 4 Auswertung

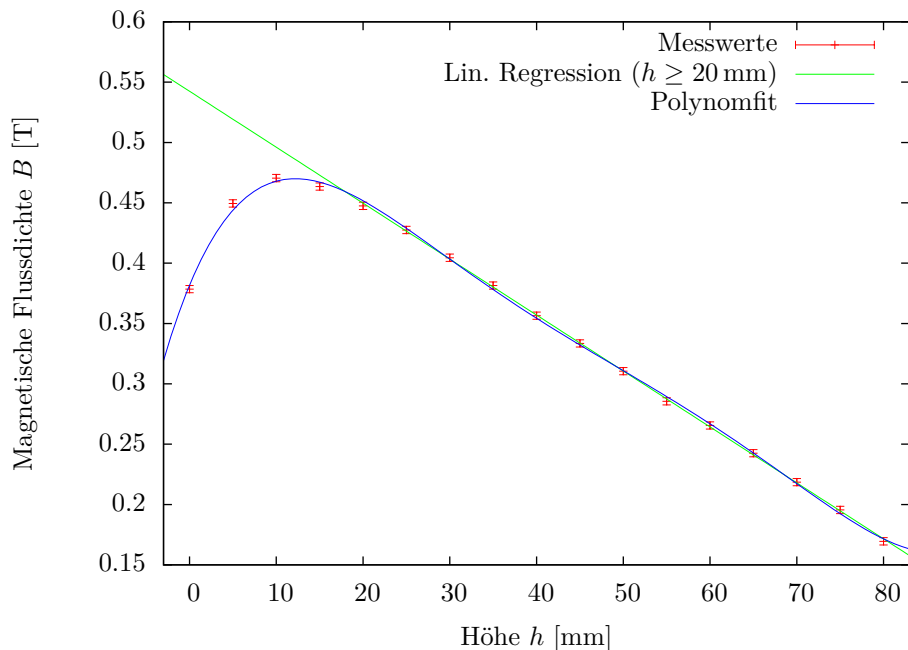


Abbildung 2: Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte von der Höhe zwischen den Polschuhen

In Abb. 2 wurde die mit der Hall-Sonde gemessene magnetische Flussdichte zwischen den Spulen aufgetragen. Dabei fällt ein linearer Zusammenhang im Bereich der Polschuhe ( $h \geq 20$  mm) auf. Um alle Messwerte berücksichtigen zu können, wurde auch ein Polynom 5. Grades gefittet, da ab diesem Grad die Residuen vergleichsweise klein werden.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> $\chi_{\text{red}}^2 = 1.35$

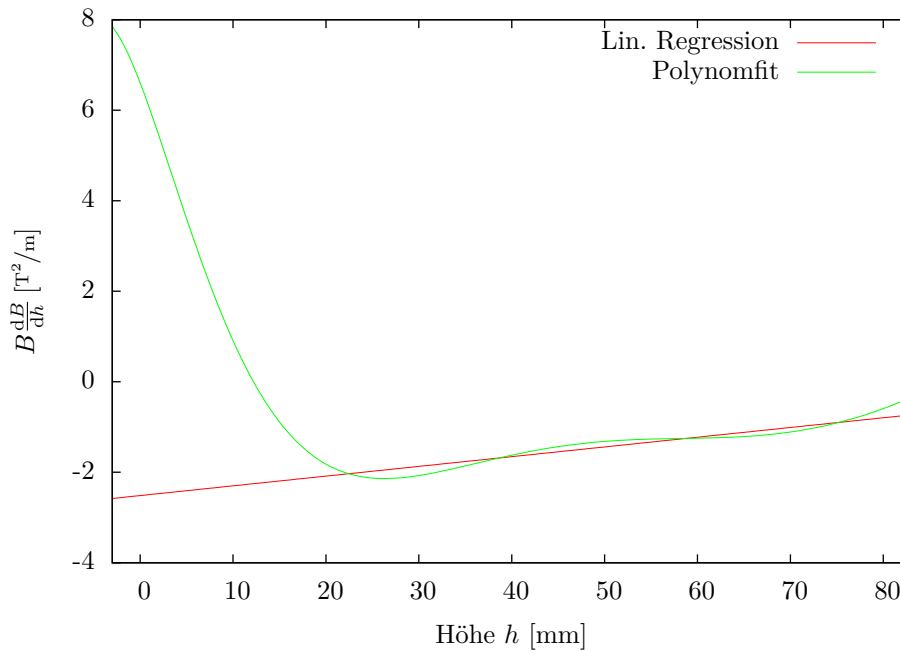


Abbildung 3: Produkt aus magn. Flussdichte und deren Gradient

Für beide Fits wurde ausserdem auch noch  $B \frac{dB}{dh}$  berechnet und geplottet (Abb. 3).

Mittels Formel (1) und den gemessenen Kräften auf die Probekörper (Tab. 1) kann nun deren magnetische Suszeptibilität bestimmt werden. Dabei wurden für die Dichten die Werte aus der Praktikumsanleitung verwendet. (Grosse-Knetter und Schaaf, 2012, S. 133)

$$\begin{aligned} \chi_{\text{MnO}_2} &= (190.6 \pm 1.2) 10^{-5} \\ \chi_{\text{Mn}} &= (109.4 \pm 0.7) 10^{-5} \\ \chi_{\text{Bi}} &= (-16.5 \pm 1.1) 10^{-5} \end{aligned}$$

Mit den angegebenen Dichten kann nun auch die Spezifische Suszeptibilität berechnet werden.

$$\begin{aligned} \chi_{\text{MnO}_2}/\rho &= (381.3 \pm 2.4) 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg} \\ \chi_{\text{Mn}}/\rho &= (152.0 \pm 1.0) 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg} \\ \chi_{\text{Bi}}/\rho &= (-16.9 \pm 1.1) 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Für die verschiedenen Stromstärken wurde die magnetische Flussdichte über der Höhe aufgetragen (Abb. 4) und mittels linearer Regression deren Gradient bestimmt (Tab. 2).

In Abb. 5 wurde die Kraft auf den Mangan-Probekörper, die nur durch das zugeschaltete Magnetfeld entsteht, über der Stromstärke aufgetragen.

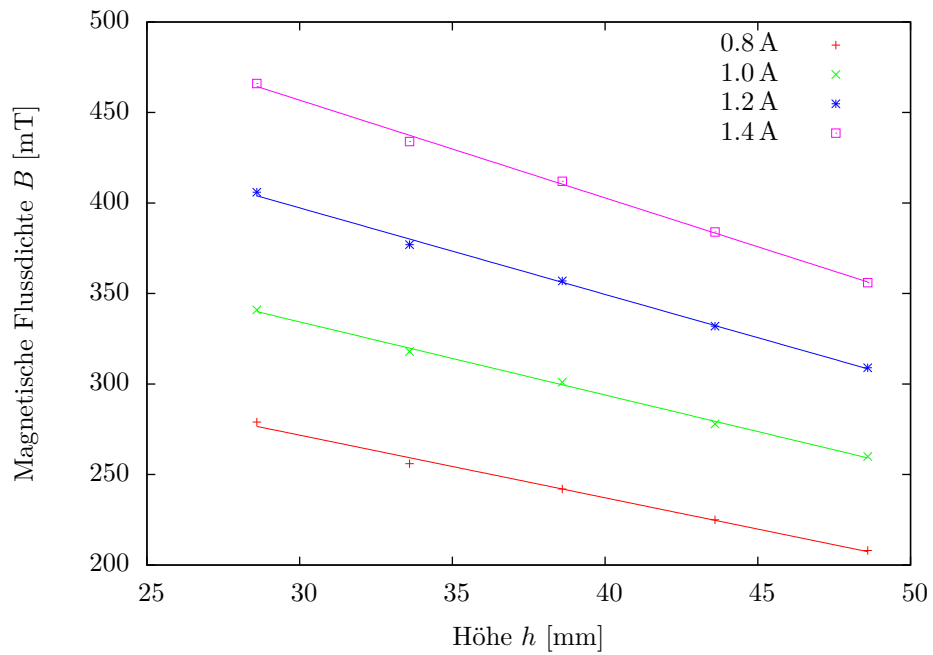


Abbildung 4: Magnetische Flussdichte für verschiedene Stromstärken

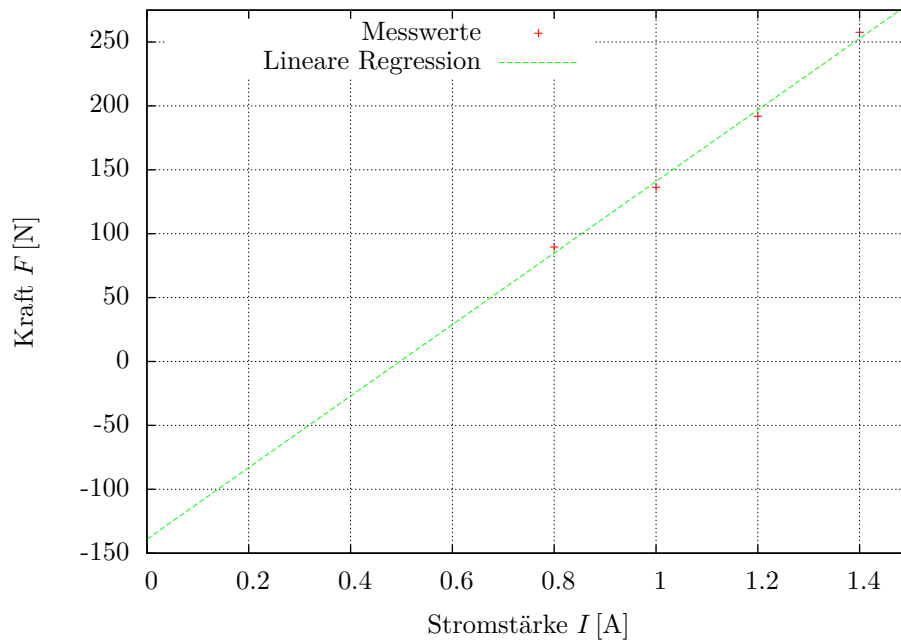


Abbildung 5: Kraft auf den Probekörper für verschiedene Stromstärken



## 5 Diskussion

Zunächst ist zu erwähnen, dass die zweite Hälfte von Auswertungspunkt 7 nicht durchgeführt wurde. Diese Entscheidung beruht auf der Stromabhängigkeit nicht nur des Magnetfeldes selbst, sondern auch seines Gradienten. Hierdurch scheint die Aufstellung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Strom und Magnetfeld recht sinnlos, da dieser immer auch abhängig von der Änderung des Magnetfeldes wäre.

Bei der Auswertung fällt auf, dass einzig der berechnete Wert für die spezifische Suszeptibilität von Mangandioxid mit einer Abweichung von 16% in einem halbwegs akzeptablen Bereich liegt. Die beiden anderen Werte weichen mit 126% (Mangan) und 83% (Wismut) sehr viel stärker vom jeweiligen Literaturwert (Lide, 2010, S. 4-144) ab. Allerdings sind alle Werte größer als die Literaturwerte, sodass ein systematische Fehler zu vermuten ist. Auch ist trotz einer starken Abweichung Wismut wie erwartet immernoch als Diamagnetikum zu registrieren.

Ein Grund für die durchgängige Abweichung nach oben könnte die Magnetisierung der Polschuhe sein, die trotz abgeschalteter Stromversorgung für ein nicht zu vernachlässigendes Magnetfeld gesorgt haben könnte. Leider wurde versäumt, mit der Hall-Sonde diese Magnetisierung auszumessen.

Zur allgemeinen Ungenauigkeit trägt außerdem die nicht ganz zu stoppende Pendelbewegung der am Faden aufgehängten Proben bei. Diese wurde auch durch kleine Luftstöße beim Sprechen oder ungewollte Bewegungen des Tisches aufrechterhalten.

## A Tabellen und Grafiken

Stoff	Dichte [ $10^{-6}$ kg]	Masse (aus) [ $10^{-6}$ kg]	Masse (an) [ $10^{-6}$ kg]	Kraft [ $10^{-6}$ N]	Höhe [ $10^{-3}$ m]	$B \frac{dB}{dh}$ [ $T^2/m$ ]
MnO <sub>2</sub>	5.0	653.0 ± 0.5	672.3 ± 0.5	-189.1 ± 1	67.5 ± 0.5	-1.1713 ± 0.0039
Mn	7.2	1109.0 ± 0.5	1129.3 ± 0.5	-199.6 ± 1	37.3 ± 0.5	-1.7482 ± 0.0063
Bi	9.8	773.85 ± 0.5	772.2 ± 0.5	16.2 ± 1	37.0 ± 0.5	-1.7614 ± 0.0083

Tabelle 1: Zwischenergebnisse für die magnetische Suszeptibilität

Stromstärke [A]	$\frac{dB}{dh}$ [T/m]
0.8	-3.46 ± 0.16
1.0	-4.04 ± 0.11
1.2	-4.78 ± 0.14
1.4	-5.40 ± 0.16

Tabelle 2: Gradient von  $B$  für verschiedene Stromstärken

## Literatur

- [Grosse-Knetter und Schaaf 2012] GROSSE-KNETTER, Jörn ; SCHAAF, Peter: *Das Physikalische Praktikum : Handbuch 2012 für Studentinnen und Studenten der Physik*. Universitätsverlag Göttingen, 2012
- [Lide 2010] LIDE, David P. (Hrsg.): *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 90. Ausgabe. CRC, 2010
- [Meschede 2006] MESCHEDER, Dieter: *Gerthsen Physik*. 23. Ausgabe. Springer, 2006
- [Prior und Grosse-Knetter ] PRIOR, Mira ; GROSSE-KNETTER, Jörn: *LP - Diamagnetismus und Paramagnetismus*. – URL <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/6217>. – Zugriffsdatum: 2012-09-17