

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch E1
Institut für Physik	Messung von Magnetfeldern	Seite 1

1. Aufgabenstellung

- 1.1. Die magnetische Flussdichte längs der Achse einer flachen Kreisspule ist zu messen und mit zuvor berechneten Werten zu vergleichen.
- 1.2. Die magnetische Flussdichte zwischen zwei flachen Kreisspulen ist in unterschiedlichen Anordnungen zu messen. Ähnlich Aufgabe 1.1 sind die Messwerte längs der gemeinsamen Spulenchse mit zuvor berechneten Werten zu vergleichen.
- 1.3. Die berechneten Flussdichten entsprechend Messanleitung 3.1 bzw. 3.2 a) und b) sind als Bestandteil der Versuchsvorbereitung in geeignete Diagramme einzuzichnen und bei Versuchsbeginn mit vorzulegen.
- 1.4. Die Wirkungsweise einer Hall-Sonde ist mit Skizze und benötigten mathematischen Gleichungen darzulegen.

- Literatur:
- | | |
|----------------------------------|---|
| Demtröder, W. | Experimentalphysik 2, Elektrizität und Optik
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York
4. Ausgabe 2006, S. 83-91 |
| Schenk, W.
Kremer, F. (Hrsg.) | Physikalisches Praktikum
Vieweg + Teubner Verlag Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
13. Auflage 2011, S. 174-177, S. 185-187 |
| Stroppe, H. | Physik für Studenten der Natur- und Technikwissenschaften
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag
11. Auflage 1999, S. 244-255 |

2. Grundlagen

Stromdurchflossene elektrische Leiter erzeugen magnetische Felder. Erkennbar sind diese beispielsweise an Kraftwirkungen auf bewegte elektrische Ladungen. Nach dem *Biot-Savartschen* Gesetz erzeugt ein vom Strom I durchflossenes Leiterelement $d\vec{l}$ im Abstand \vec{s} zu einem Raumpunkt P die magnetische Flussdichte

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{l} \times \vec{s}}{s^3}. \quad (1)$$

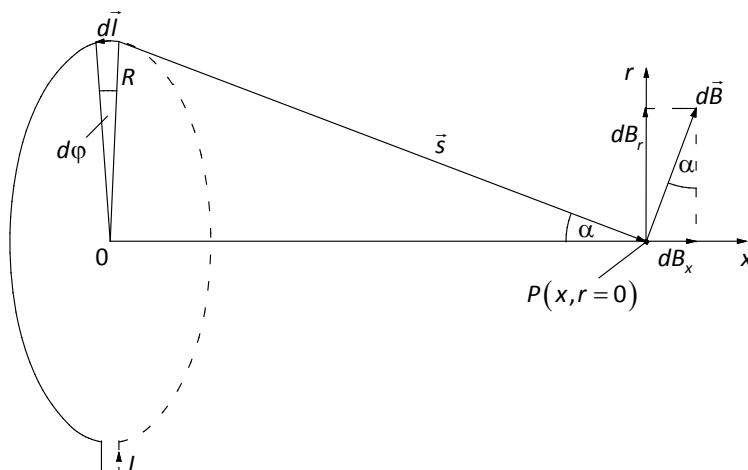


Abb. 1: Zum Biot-Savartschen Gesetz, Beispiel kreisförmiger Leiter

Diese Versuchsanleitung ersetzt NICHT eine eigenständige Ausarbeitung des Grundlagenteils Ihres Versuchsprotokolls!

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch E1
Institut für Physik	Messung von Magnetfeldern	Seite 2

Für einen kreisförmigen Leiter ist die Berechnung der resultierenden Flussdichte für einen Aufpunkt P längs der senkrecht zur Leiterfläche liegenden Symmetrieachse (x -Achse, vgl. Abb. 1) leicht ausführbar, weil sich von gegenüberliegenden Leiterelementen herrührende radiale Feldelemente dB_r paarweise jeweils aufheben. Es genügt also, nur die axialen Beiträge dB_x zu summieren, wobei $d\vec{l}$ stets senkrecht zu \vec{s} ist. Aus (1) folgt daher

$$dB_x = |d\vec{B}| \sin\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{R^2 + x^2} \sin\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R dl}{\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}. \quad (2)$$

Mit $dl = R d\varphi$ erhält man schließlich durch Integration über den gesamten Leiterring

$$B_x(x) = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R^2}{\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} d\varphi = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R^2}{\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}. \quad (3)$$

Besteht eine Flachspule aus N Windungen und sind Spulendicke sowie Wicklungsstärke klein gegen den Spulenradius, dann erhält man für das axiale B -Feld durch Multiplikation von (3) mit der Windungszahl

$$B_x(x) = \frac{\mu_0 NI}{2} \cdot \frac{R^2}{\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}. \quad (4)$$

Technisch interessant ist die Anordnung zweier Flachspulen parallel und koaxial im Abstand a zueinander:

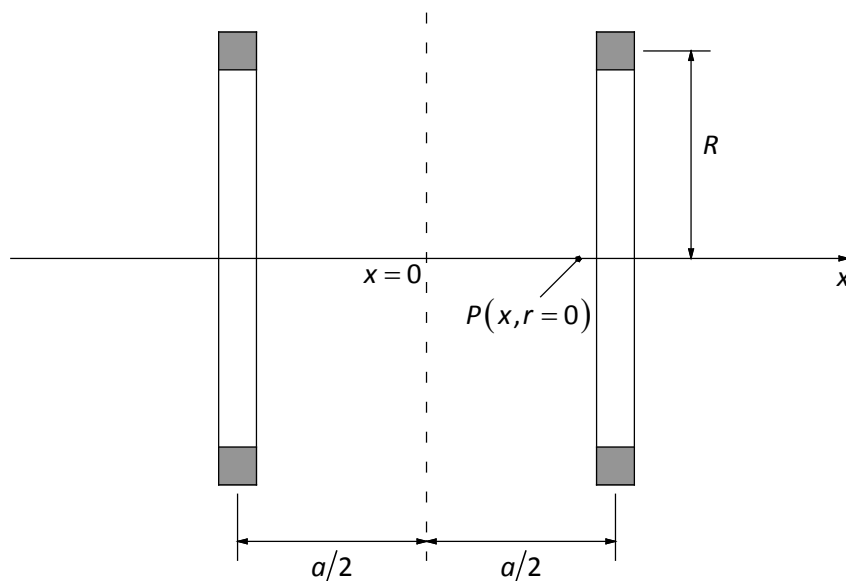


Abb. 2: Anordnung zweier Flachspulen, Helmholtzbedingung für $a = R$

Wird der Koordinatenursprung $x = 0$ in die Mittelebene zwischen beiden Spulen gelegt, erhält man mit Gl. (4) folgenden Ausdruck für das resultierende Magnetfeld:

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch E1
Institut für Physik	Messung von Magnetfeldern	Seite 3

$$B_x(x) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\left[R^2 + \left(\frac{a}{2} + x \right)^2 \right]^3}} + \frac{1}{\sqrt{\left[R^2 + \left(\frac{a}{2} - x \right)^2 \right]^3}} \right) \quad (5)$$

Eine Analyse dieser Gleichung zeigt, dass bei $a = R$ ein nahezu konstantes Feld in einem großen Bereich zwischen den beiden Spulen vorhanden ist. Ein solches *Helmholtz-Spulenpaar* wird daher oft zur technischen Realisierung nahezu konstanter Magnetfelder für Experimente benutzt. In diesem Versuch soll der Grad der Homogenität untersucht werden.

Für die Mitte zwischen beiden Spulen ($x = 0$) erhält man bei der *Helmholtz-Bedingung* aus (5):

$$B_x(x=0) = \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 N I}{R} \quad (6)$$

3. Messanleitung

Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus einer optischen Schiene, auf der wahlweise eine oder zwei Flachspulen an verschiedenen Positionen befestigt werden können. Für die Stromversorgung stehen ein regelbares Netzgerät und diverse Laborkabel einschließlich Strommessgerät zur Verfügung. Die Konstruktionsdaten der Spulen sind:

- Windungszahl $N = 130$
- Spulenradius $R = 155 \text{ mm}$
- maximal zulässiger Strom $I_{\max} = 2 \text{ A}$

Zur Messung der magnetischen Flussdichte wird eine Axial-Feldsonde verwendet, deren Wirkungsweise auf dem Hall-Effekt beruht. Diese befindet sich in einem nichtmagnetischen Tragrohr hinreichender Länge, um Einflüsse der mechanischen Verstellelemente auf das Magnetfeld der Spulen zu vermeiden. Die Feldsonde kann auf der optischen Schiene in x-Richtung und mittels eines Schraubtriebs in radialer Richtung verstellt werden. Gegeben ist hier:

- horizontaler Abstand Reitermarke-Sonde $\Delta x = 400 \text{ mm}$

Zur Messung der Feldkomponente B_x muss die Normale der Sondenfläche in x-Richtung zeigen. Dies ist durch die eingesetzte Halterung gewährleistet, wenn der optische Reiter auf der Schiene befestigt wurde. Die magnetische Flussdichte kann auf dem Teslameter direkt in *mT* abgelesen werden.

Hinweis:

Vor Beginn jeder Messreihe muss eine Nullpunktkompensation des Teslameters ohne angeschlossene Spulen durchgeführt werden, eine Betriebsanleitung für das Gerät liegt am Versuchstisch aus.

Achten Sie auf den richtigen Messbereich des Amperemeters: In den meisten Fällen 2,5A Gleichstrom (gelbe Skala), bei kleineren Strömen entsprechend reduzieren.

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch E1
Institut für Physik	Messung von Magnetfeldern	Seite 4

3.1. Magnetische Flussdichte einer Flachspule

Für eine einzelne Flachspule ist $B_x(x)$ längs der Spulenachse, d. h. $r = 0$, zu messen.

Wertebereich: $-26 \text{ cm} \leq x \leq +26 \text{ cm}$ in Schritten von $\Delta x = 2 \text{ cm}$

Die Position $x = 0$ befindet sich, wie in Abb. 1, in der Spulenmitte, die Messung wird mit einer Stromstärke von $I = 1,5 \text{ A}$ durchgeführt.

3.2. Magnetische Flussdichte zweier Flachspulen

a) Beide Spulen werden entsprechend der Helmholtz-Bedingung ($a = R$, vgl. Abb. 2) angeordnet und gleichsinnig in Reihe geschaltet. Es ist die Stromstärkeabhängigkeit $B_x(I)$ in der Mittelebene, d. h. $x = 0$ und $r = 0$, zu messen.

Wertebereich: $0 \leq I \leq 2,0 \text{ A}$ in Schritten von $\Delta I = 0,2 \text{ A}$

b) In diesem Versuchsteil wird die Helmholtz-Bedingung für das Spulenpaar teilweise aufgegeben und die magnetische Flussdichte $B_x(x)$ längs der Spulenachsen, d. h. $r = 0$, gemessen. Es sind drei Messreihen bei $a = 0,5R$, $a = R$ sowie $a = 2R$ durchzuführen.

Wertebereich: $-6 \text{ cm} \leq x \leq +6 \text{ cm}$ in Schritten von $\Delta x = 1 \text{ cm}$

Die Stromstärke beträgt für diesen Versuchsteil wieder $I = 1,5 \text{ A}$.

c) Für den Spulenabstand $a = R$ wird ergänzend die radiale Abhängigkeit $B_x(r)$ gemessen. Es sind drei Messreihen bei $x = 0$, $x = 1,5 \text{ cm}$ und $x = 3 \text{ cm}$ durchzuführen.

Wertebereich: $0 \leq r \leq 14 \text{ cm}$ in Schritten von $\Delta r = 1 \text{ cm}$

Auch für diesen Versuchsteil beträgt die Stromstärke $I = 1,5 \text{ A}$.

d) Das Spulenpaar in Helmholtz-Anordnung wird benutzt, um die Stärke der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes im Laborraum zu bestimmen. Hierzu wird ein Magnetkompass mit seiner Magnetnadel bei $x = 0$ und $r = 0$ platziert und die optische Schiene so ausgerichtet, dass die Nord-Süd-Richtung des Erdfeldes senkrecht zur Spulenachse verläuft. Stellt man den Strom durch die Spulen so ein, dass die Magnetnadel 45° anzeigt, ist die gesuchte Größe mittels (6) berechenbar.

Wichtig: Ein Widerstand $R_s = 100 \Omega$ muss mit in den Stromkreis geschaltet werden, das Netzgerät ist dann im CV-Modus zu betreiben.

4. Auswertung

Entsprechend der Aufgabenstellung sind die gemessenen Werte B_x mit in die vorbereiteten Diagramme einzuzeichnen. Für die Ergebnisse nach 3.2 c) wird eine gesonderte Grafik angefertigt. Messreihen mit Parametern (Spulenabstand a bzw. axiale Position x) sind hierbei jeweils gemeinsam zu zeichnen.

Für die Ergebnisse der Versuchsteile 3.1 sowie 3.2 a) und b) ist der Grad der Übereinstimmung von Theorie und Experiment zu diskutieren. Ursachen möglicher Abweichungen sind ebenfalls anzugeben.