

# **Versuch 308 "Spulen und Magnetfelder"**

Robert Konradi  
robert.konradi@tu-dortmund.de

Lauritz Klünder  
lauritz.kluender@tu-dortmund.de

Durchführung: 15.12.2017, Abgabe: 22.12.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>Literatur</b>	<b>7</b>

## 1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen Magnetfelder von verschiedener Spulenordnung vermessen werden.

## 2 Theorie

Magnetische Felder werden erzeugt, wenn sich elektrische Ladung bewegt. Dabei sind sie von Betrag und Richtung als Vektorgröße durch die magnetische Feldstärke  $\vec{H}$  beschrieben. Wichtig zu erwähnen ist das Magnetfelder keine Monopole besitzen sondern immer paarweise auftreten und geschlossen sind im gegensatz zum elektrischen Feld. Die magnetische Flussdichte  $\vec{B}$  wird über die Feldstärke  $\vec{H}$  und über die Permeabilität  $\mu$  zu der Formel:

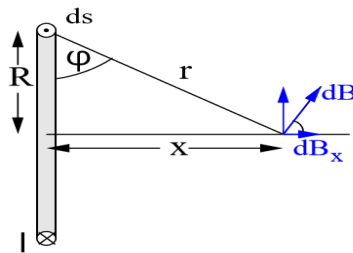
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (1)$$

Dabei beschreibt die Permeabilität  $\mu$  die "Leitfähigkeit" des Materials und setzt sich aus  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$  zusammen.  $\mu_0$  ist die Vakuum-Permeabilität und beträgt  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  und  $\mu_r$  die relative Permeabilität der Materie. Bei einem stromdurchflossenen Leiter verlaufen die Feldlinien in konzentrische Kreise und stehen senkrecht zum Stromfluss. Mit Hilfe des Biot-Savartschen Gesetz lässt sich das Magnetfeld mit einem Abstand  $r$  und dem Strom  $I$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

berechnen. In Abbildung (1), folgt für den stromdurchflossenen Spule die Formel:

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Biot-Savartschen Gesetz[1].

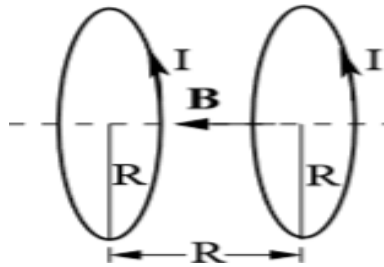
Im Inneren für langgestreckten Spule (Solenoid) ist die magnetische Feldstärke  $\vec{H}$  homogen und konstant während es ausserhalb inhomogen ist. Mit der Spulenlängen  $l$ , der Windungszahl  $n$  und den Strom  $I$  lässt sich das homogene Magnetfeld mit der Formel

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{n}{l} I \quad (3)$$

darstellen. Wird die langgestreckte Spule zu einem Kreis gebogen so wird die Spulen-anordnung als Torus bezeichnet. Die Besonderheit des Torus ist, dass ausserhalb kein Magnetfeld existiert und im Inneren das Magnetfeld homogen ist. Somit lässt sich die Gleichung(3) mit  $l = 2\pi r_T$  zu

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{n}{2\pi r_T} I \quad (4)$$

umschreiben. Dabei ist  $r_T$  der Radius des Torus. Ein anderes Verfahren zu Herrichtung eines homogen Magnetfeldes ist die Helmholtz-Spule. Zwei parallele Kreisspulen, die die gleiche Stromrichtung besitzen, erzeugen ein homogenes Feld im Inneren der beiden Spulen. Eine Darstellung ist in Abbildung(2) zu sehen.

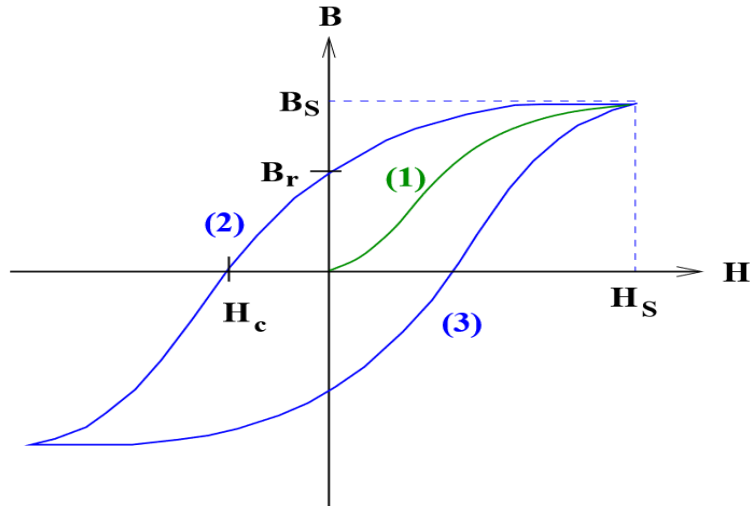


**Abbildung 2:** Schematische Darstellung der Helmholtz-Spule[1].

Mit Hilfe der Gleichung (2) lässt sich das Magnetfeld

$$B(0) = B_1(x_1) + B_1(-x_1) = \mu_0 I \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

beschreiben. Dabei ist  $x = \frac{d}{2}$  mit  $d$  als Abstand der beiden Spulen gemeint. Ferromagnetische Materialien wie z.B. Eisen, Kobalt oder Nickel besitzen ohne ein äußeres Magnetfeld ein permanentes magnetisches Moment. Magnetischen Momente richten sich in einzelnen Bereichen (Weißsche Bezirke) parallel zu einander aus. Ohne äußeres Feld ist die Ausrichtung der Weißschen Bezirke statisch verteilt. Mit einem äußeren Magnetfeld gibt es eine Richtungsänderung und zu einer Vergrößerung des Bezirks. Dies wird solange ausgeführt bis alle magnetischen Momente mit der Ausrichtung vom Magnetfeld übereinstimmen. Für ferromagnetische Materialien ist die relative Permeabilität  $\mu_r$  sehr hoch, somit ist die Gültigkeit der Gleichung (1) ungültig. Die Hysteresekurve beschreibt diese Nicht-linearität und ist in Abbildung (3) dargestellt.



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung einer Hysteresekurve

Liegt ein äußeres Magnetfeld an so wird die **1** in der Abbildung (3) eine Neukurve dargestellt. Sie erreicht nach einiger Zeit ein Sättigungswert  $B_s$ . Beim Abschalten des äußeren Magnetfeldes, bleibt noch beim Ferromagnet eine "Restmagnetisierung" die als Remanenz bezeichnet wird. Die **2** beschreibt die Koerzitivkraft um die Remanenz auf Null zu bekommen. Durch Erhöhung des Gegenfeldes wird ebenfalls ein negativen Sättigungswert erreicht. Die **3** zeigt den Kurvenverlauf durch Erhöhung des Magnetfeldes und sie ist symmetrisch zur Hysteresekurve. Somit wird die relative Permeabilität  $\mu_r$  eine Funktion zur Feldstärke  $\vec{H}$ . Somit wird die Neukurve durch die differentielle Permeabilität  $\mu_{diff}$  eingeführt und wird

$$\mu_{diff} = \frac{dB}{\mu_0 \cdot dH} \quad (6)$$

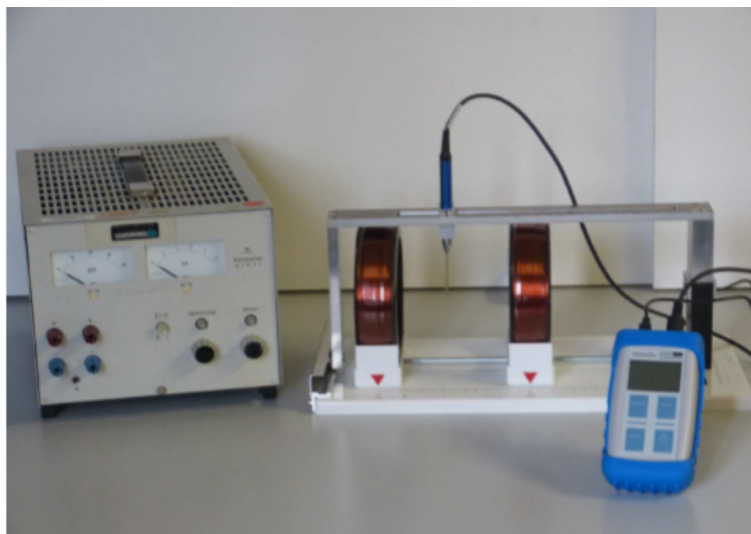
### 3 Durchführung

Zur Berechnung des Magnetfeldes der Spule wird eine Hall-Sonde verwendet. Die Hall-Sonde beruht auf dem Hall-Effekt. An der Spitze der Hall-Sonde befindet sich ein Leiterplättchen an das ein Strom angeschlossen ist. Durch ein Magnetfeld wirkt senkrecht auf die Ladung die Lorenzkraft und erzeugt ein Verschiebungsstrom und ebenfalls eine Spannung (Hall-Spannung). Mit Hilfe der Hall-Spannung kann die Stärke des Magnetfeldes, die von außen erzeugt worden ist, messen. In Abbildung (4) ist der Versuchsaufbau dargestellt, dabei wird eine longitudinal Sonde verwenden. Anschließend fährt die Sonde im Inneren der Magnetspule in verschiedenen Abstände ab und misst dabei das Magnetfeld.



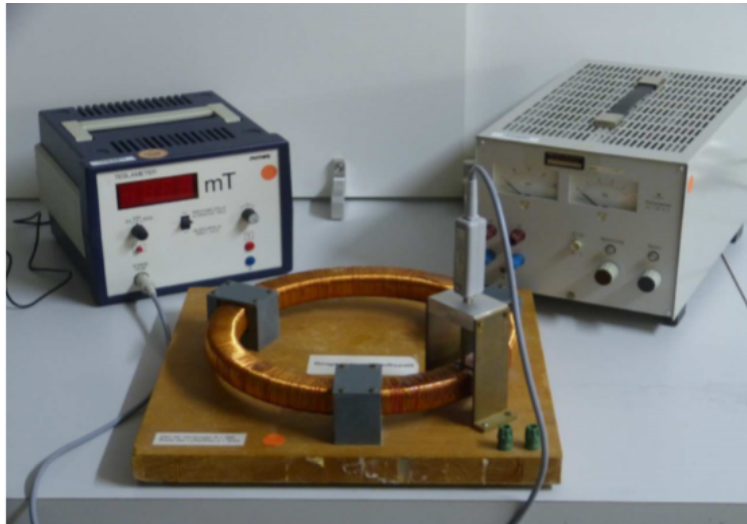
**Abbildung 4:** Versuchsaufbau zur Messung der Magnetspule[1].

Für die Messung des Magnetfeldes der Helmholtz-Spule wird eine transversale Sonde verwendet. Dabei misst man sowohl im Inneren der beiden Spule als auch ausserhalb die Magnetfelder. In Abbildung (5) ist der Versuchsaufbau dargestellt.



**Abbildung 5:** Versuchsaufbau zur Messung der Magnetfelder der Helmholtz-Spule[1].

Für die Bestimmung der Hysteresekurve wird, wie in Abbildung(6) dargestellt, ebenfalls eine transversale Sonde verwendet.



**Abbildung 6:** Versuchsaufbau zur Messung der Hysteresekurve[1].

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 308: Spulen und Magnetfelder*. 2017.