

V308 - Spulen und Magnetfelder

Jan Herdieckerhoff
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 27.11.2018, Abgabe: 04.12.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Allgemeine Grundlagen zu Magnetfeldern	3
2.2	Magnetfeld eines Spulenpaares	3
2.3	Ferromagnetismus und die Hysteresekurve	4
3	Durchführung	5
3.1	Magnetfelder von langen und kurzen Spulen	5
3.2	Spulenpaare im Magnetfeld	5
3.3	Hysteresekurve einer Ringspule	6
4	Auswertung	6
4.1	Magnetische Flussdichte einer langen und einer kurzen Spule	6
4.2	Magnetische Flussdichte eines Spulenpaares	6
4.3	Hysteresekurve einer Ringspule mit Luftspalt	6
5	Diskussion	6

1 Ziel

2 Theorie

[1]

2.1 Allgemeine Grundlagen zu Magnetfeldern

Die magnetische Flussdichte \mathbf{B} wird durch die Permeabilität μ und die magnetische Feldstärke \mathbf{H} dargestellt. Es gilt die Beziehung

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H}.$$

μ besteht dabei aus der Vakuum-Permeabilität μ_0 und der relativen Permeabilität μ_r , die von der Materie abhängt. Es gilt

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r.$$

Die magnetische Flussdichte im Mittelpunkt einer Spule wird mit der Formel

$$\mathbf{B}(x) = n \cdot \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \cdot \hat{\mathbf{x}} \quad (1)$$

beschrieben. Dabei ist R der Radius des Rings und n die Anzahl der Windungen. Bei einer langen Spule (Solenoid) ist die magnetische Feldstärke in der Mitte der Spule konstant. Außerhalb der Spule ist der magnetische Fluss inhomogen. Das innere Feld ist proportional zur Länge l der Spule, zur Anzahl der Windungen n und zum Strom I , der durch die Spule fließt. Es gilt die Beziehung

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{n}{l} I. \quad (2)$$

Wird dieser Solenoid zu einem Ring mit Radius r_R gebogen, verschwinden die Randeffekte und das Feld außerhalb des Rings wird null. Im Inneren gilt

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{n}{2\pi r_R} I. \quad (3)$$

2.2 Magnetfeld eines Spulenpaares

Ein Helmholtz-Spulenpaar hat ein homogenes Magnetfeld im Innern der zwei Ringe (s. Abb 1). Der Abstand der Spulen entspricht den Radien der Spulen. Die magnetische Flussdichte im Mittelpunkt des Spulenpaares ist durch

$$B(0) = B_n(x) + B_n(-x) = 2n \frac{\mu_0 I R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (4)$$

gegeben.

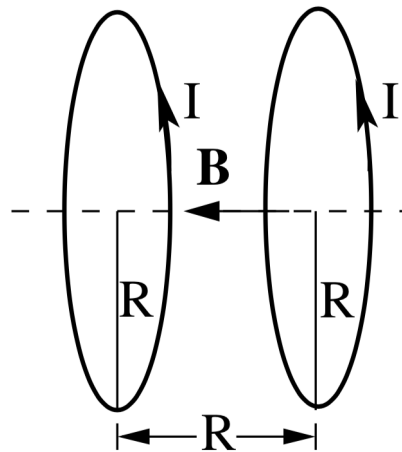


Abbildung 1: Aufbau eines Helmholtz-Spulenpaares. Der Abstand der Spulen entspricht den Radien der Spulen.

2.3 Ferromagnetismus und die Hysteresekurve

Ferromagnetische Materialien besitzen ohne äußere Magnetfelder ein permanentes magnetisches Moment. Sie richten sich in einzelnen Bereichen parallel zueinander aus. Man nennt diese Bereiche Weiß'sche Bezirke. Im unmagnetischen Zustand ist die Ausrichtung der Bereiche statistisch verteilt. Ein äußeres Magnetfeld sorgt für eine Änderung der Richtung der magnetischen Momente und vergrößert somit die Weiß'schen Bereiche.

Die relative Permeabilität μ_r ist in ferromagnetischen Materialien sehr hoch und ist nicht mehr linear proportional zur magnetischen Flussdichte. Die Abhängigkeit kann durch eine Hysteresekurve dargestellt werden. In der Kurve lassen sich verschiedene markante Punkte erkennen. Ohne äußeres Magnetfeld gilt $B = H = 0$. Wird ein Magnetfeld angelegt, steigt die Magnetisierung an, bis ein Sättigungswert B_S bei H_S erreicht wird. Der Kurvenverlauf dorthin wird Neukurve genannt. Wird das äußere Magnetfeld verringert, bilden sich Bereiche mit entgegengesetzter Magnetisierung. So bleibt, wenn das äußere Magnetfeld abgeschaltet wird, eine Restmagnetisierung B_r , genannt Remanenz, bestehen. Ein Gegenfeld H_c , genannt Koerzitivkraft, kann diese Ausrichtungen wieder aufheben, sodass die magnetische Flussdichte Null wird. Wenn dieses Feld noch weiter erhöht wird, wird die Magnetisierung in dem Stoff negativ und erreicht den Sättigungswert $-B_S$. Wird das äußere Magnetfeld wieder umgekehrt, entsteht eine zum Ursprung punktsymmetrische Kurve, welche Hysteresekurve genannt wird. Hysteresekurven verschiedener Stoffe unterscheiden sich je nach Materialeigenschaften in der Schärfe bzw. Breite.

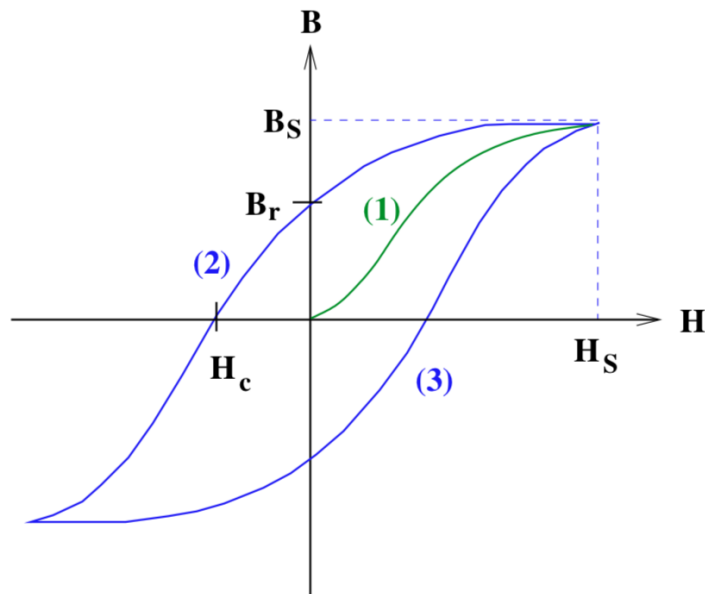


Abbildung 2: Allgemeine Hysteresekurve. Eingezeichnet sind der Sättigungswert B_S sowie H_S , die Remanenz B_r und die Koerzitivkraft H_c .

3 Durchführung

3.1 Magnetfelder von langen und kurzen Spulen

Im ersten Teil des Versuchs wird eine lange Spule an ein Netzgerät angeschlossen. Anschließend wird die Stromstärke eingestellt. Die Werte werden mittels einer longitudinalen Hall-Sonde innerhalb und außerhalb der Spule gemessen. Danach wird die Messung mit einer kurzen Spule wiederholt.

3.2 Spulenpaare im Magnetfeld

Es wird das Magnetfeld eines in Reihe geschalteten Spulenpaares gemessen. Dabei wird der Abstand der Spulen zunächst so gewählt, dass dieser den Radien der Spule entspricht. Es handelt sich also um ein Helmholtz-Spulenpaar. Es wird eine Stromstärke von $I = 4 \text{ A}$ eingestellt. Das Magnetfeld wird mittels einer transversalen Hall-Sonde innerhalb und außerhalb des Spulenpaares gemessen.

Anschließend wird der Abstand der Spulen auf den Durchmesser der Spulen erhöht. Die Stromstärke wird zuerst auf $I = 4 \text{ A}$ eingestellt. Die magnetische Flussdichte wird mit der transversalen Hall-Sonde innerhalb und außerhalb des Spulenpaares gemessen.

Die gleiche Messung wird mit einer eingestellten Stromstärke von $I = 3 \text{ A}$ wiederholt.

3.3 Hysteresekurve einer Ringspule

Die Ringspule hat einen Luftspalt. Mit einer transversalen Hall-Sonde wird die magnetische Flussdichte der Ringspule in Abhängigkeit vom Spulenstrom gemessen. Die Stromstärke wird von 0 auf 10 A erhöht. Anschließend wird I bis -10 A verringert. Danach wird die Stromstärke von -10 auf 10 A erhöht.

4 Auswertung

Für die Auswertung wird Python, im Speziellen matplotlib [2], numpy [5], scipy [3] und uncertainties [4] verwendet.

4.1 Magnetische Flussdichte einer langen und einer kurzen Spule

4.2 Magnetische Flussdichte eines Spulenpaares

4.3 Hysteresekurve einer Ringspule mit Luftspalt

5 Diskussion

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 308 - Spulen und Magnetfelder*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/Magnetfeld.pdf>.
- [2] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. „SciPy: Open source scientific tools for Python“. Version 0.16.0. In: (). URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] Eric O. Lebigot. „Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties“. Version 2.4.6.1. In: (). URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.