

V308

Spulen und Magnetfelder

Evelyn Romanjuk
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona Kallo
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 22.12.17

Abgabe: 12.01.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	5
3.1	Magnetfeld einer Spule	5
3.2	Magnetfeld eines Spulenpaares	5
3.3	Hysteresekurve	5

1 Zielsetzung

In diesem Versuch werden Magnetfelder gemessen, welche durch unterschiedliche Spulenarrangements erzeugt werden. Der letzte Teil des Versuchs befasst sich zudem mit der durch eine Ringspule erzeugten Hysteresekurve.

2 Theorie

Den Raum um einen Magneten bezeichnet man als Magnetfeld, welches eine Vektorgröße ist, der eine magnetische Feldstärke \vec{H} zugeordnet wird. Darstellen lässt sich das Feld mithilfe von geschlossenen Feldlinien. Wird die Feldstärke \vec{H} mit der materialspezifischen magnetischen Permeabilität μ verbunden, so ergibt sich die magnetische Flussdichte \vec{B}

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

mit

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r, \quad (2)$$

wobei μ_0 die Vakuum-Permeabilität ist und μ_r die relative Permeabilität in Materie.

Auch stromdurchflossene Leiter sind aufgrund des Ladungsstroms von Magnetfeldern umgeben. Dabei verlaufen die Feldlinien senkrecht zum Stromfluss in konzentrischen Kreisen um den Leiter. Die Magnetfeldstärke \vec{H} im Abstand r von einem Leiter, welcher vom Strom I durchflossen wird, kann mit dem Biot-Savart-Gesetz und der Vakuum-Permeabilität $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ berechnet werden:

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

Das Biot-Savart-Gesetz lässt sich ebenso auf stromdurchflossene Spulen anwenden. Die magnetische Flussdichte in der Mitte der Spule ist dann

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \hat{x}. \quad (4)$$

Bei einer Spule mit n Windungen erhöht sich der magnetische Fluss um Faktor n .

Bei einer langen Spule ist Magnetfeld in der Mitte der Spule homogen, das heißt konstant, da die Feldlinien dort parallel verlaufen. An den Enden der Spulen sowie im Außenbereich ist das Magnetfeld inhomogen, weil sich die Magnetfeldlinien ausbreiten und die Spule umschließen. Das homogene Feld im Inneren kann mit

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{n}{l} I \quad (5)$$

berechnet werden, wobei l die Spulenlänge ist, n die Windungszahl und I der Strom, der durch die Spule fließt.

Wird die lange Spule zu einem Ring gebogen, so verschwindet das Feld außen und es bleibt nur das homogene Magnetfeld innerhalb des Torus. Dann ergibt sich mit $l = 2\pi r_T$ das Magnetfeld

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{n}{2\pi r_T} I. \quad (6)$$

Um ein homogenes Magnetfeld zu erzeugen, kann ein Helmholtz-Spulenpaar verwendet werden, das aus zwei Kreispulen im Abstand des Spulenradius R besteht, die gleichsinnig vom Strom I durchflossen werden. Die Felder der beiden Spulen, die mit dem Biot-Savart-Gesetz berechnet werden, überlagern sich und können nach dem Superpositionsprinzip addiert werden:

$$B(0) = B_1(x) + B_1(-x) = \frac{\mu_0 I R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}. \quad (7)$$

In der Physik sind verschiedene Arten von magnetischen Materialien bekannt. Ein Beispiel sind Ferromagneten, zu denen Eisen gehört. Diese Materialien haben ein eigenes dauerhaftes magnetisches Moment, welches sich jeweils in den sogenannten Weiß'schen Bezirken im Körper parallel zueinander ausrichten. Mittels eines äußeren Magnetfeldes können die Bezirke vergrößert werden, was die magnetische Energie des Körpers erhöht.

Ferromagnetische Materialien besitzen eine hohe relative Permeabilität, was dazu führt, dass die Gleichung (1) aufgrund der Nichtlinearität nicht anwendbar ist. Dargestellt lässt sich dies mit einer Hysteresekurve, wie in Abbildung (1) zu sehen ist. Zur

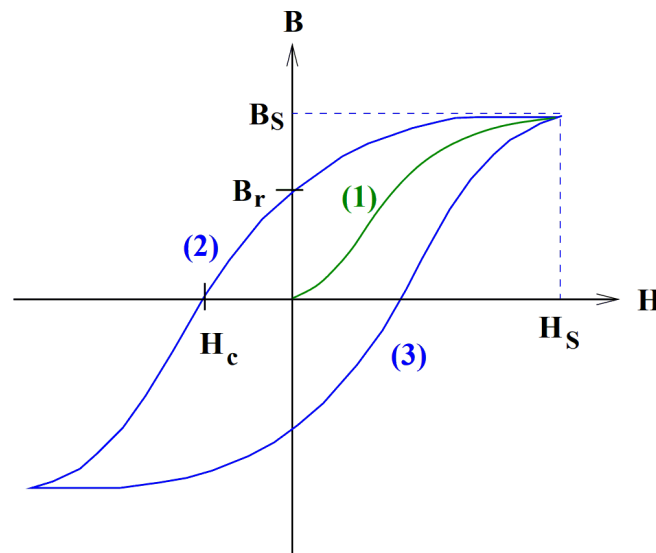


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Hysteresekurve.

Erzeugung der Hysteresekurve wird der Ferromagnet einem äußeren Magnetfeld ausgesetzt. Zunächst ist das äußere Feld Null und wird dann erhöht, sodass die Magnetisierung des Materials bis zu dem Sättigungswert B_r steigt, was in (1), der Neukurve, zu sehen ist. Wird das äußere Feld verringert, so kehrt sich die Magnetisierung um und breitet sich mit stärkerem äußeren Feld über das ganze Material aus (2). Wenn das äußere Feld wieder Null beträgt ist allerdings zu beobachten, dass die Magnetisierung nicht wieder Null ist. Es bleibt also eine Remanenz, die mit einem Gegenfeld, der Koerzitivkraft, aufgehoben werden kann. Wird das Gegenfeld erhöht, so wird die Magnetisierung negativ, bis der Sättigungswert $-B_r$ erreicht wird. Durch erneute Umpolung entsteht dann die

restliche Hysteresekurve (3), die symmetrisch zur ersten Kurve verläuft. Die Form dieser Kurve ist materialabhängig.

Mithilfe eines ferromagnetischen Kerns kann der magnetische Fluss einer Spule erhöht werden:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}). \quad (8)$$

Zu sehen ist, dass diese Erhöhung von der Magnetisierung des Materials abhängt. Mit $\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}_R$ werden bei einer einfachen Spule die Randeffekte berücksichtigt, bei Tori fallen diese Randeffekte weg.

In diesem Versuch werden zur Messung der Magnetfelder Hallsonden verwendet, welche ein Leiterplättchen besitzen, durch das ein Strom fließt. Das zu messende Magnetfeld übt auf die bewegten Elektronen eine Lorentzkraft aus, durch die eine Ladungstrennung und dadurch eine Hallspannung entsteht. Diese Spannung wird direkt gemessen und ist ein Maß für das Magnetfeld.

3 Durchführung

3.1 Magnetfeld einer Spule

Eine lange Spule wird an ein Netzgerät angeschlossen. Durch einstellen von Strom und Spannung kann so ein Magnetfeld erzeugt werden. Gemessen wird dieses mit einer longitudinalen Hallsonde, die nach und nach in die Spule geschoben wird. Dabei werden die Messwerte notiert. Im Anschluss wird dies mit einer kurzen Spule wiederholt.

3.2 Magnetfeld eines Spulenpaares

In diesem Teil wird das Magnetfeld eines Helmholtz-Spulenpaares untersucht. Dazu werden die Spulen mit einem Netzteil in Reihe geschaltet und Strom und Spannung werden in einem zulässigen Bereich ($< 5\text{A}$) eingestellt. Dann wird mit einer transversalen Sonde das Magnetfeld innerhalb und außerhalb des Spulenpaares gemessen und die Werte werden notiert. Wiederholt wird dies für zwei weitere unterschiedliche Spulenabstände.

3.3 Hysteresekurve

Eine Ringspule wird an ein Netzteil angeschlossen, sodass ein Magnetfeld aufgebaut werden kann. Das Feld innerhalb des Ringes wird mit einer transversalen Sonde gemessen. Nun wird schrittweise das Magnetfeld erhöht und dann wieder runtergeregelt. Anschließend wird der Strom umgepolt und das Verfahren wird für das Gegenfeld wiederholt. Nach nochmaligem Umpolen wird dann ein letztes Mal das Magnetfeld auf- und abgebaut.