

V308: Spulen und Magnetfelder

Ziel: Es sollen die Magnetfelder verschiedener Spulenanordnungen vermessen werden.

Stichworte: Biot-Savartsche Gesetz, Hall-Sonde, Helmholtzspule, Hysteresekurve, Induktivität, Maxwell'sche Gleichungen, Permeabilität, Spule, stromdurchflossener Leiter

Theoretische Grundlagen

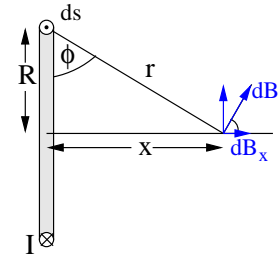
Bewegte elektrische Ladungen erzeugen magnetische Felder. Jeder *stromdurchflossene Leiter* wird von einem Magnetfeld umgeben, wobei die *Magnetfeldlinien* immer geschlossen sind. Die Feldlinien sind in diesem Fall konzentrische Kreise, die senkrecht zum Stromfluß verlaufen. Die Stromrichtung und die Feldlinien bilden eine Rechtsschraube.

Die Magnetfeldstärke \vec{H} eines beliebigen stromdurchflossenen Drahtes, läßt sich mit dem *Biot-Savartschen Gesetz*

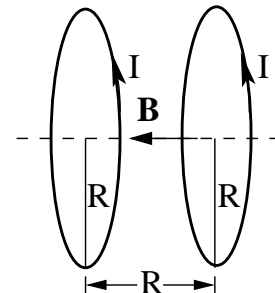
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1)$$

berechnen. Angewendet auf eine stromdurchflossene Spule mit nur einer Windung (Abb. rechts), erhält man für das Feld im Mittelpunkt des Ringes

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



Zum Aufbau eines *homogenen Magnetfeldes* werden häufig zwei gleichsinnig vom Strom I durchflossene Kreisspulen so angeordnet, daß die Achsen zusammenfallen und daß der gegenseitige Abstand der Spulen dem Spulenradius R entspricht (Abb. rechts). Das Magnetfeld im Inneren des *Helmholtz-Spulenpaares* ist auf der Symmetrieachse homogen und läßt sich aus dem *Biot-Savartschen Gesetz* für eine stromdurchflossene Spule mit einer Windung (siehe oben)



herleiten. Das Feld im Zentrum des Helmholtz-Spulenpaares findet man durch Überlagerung der Einzelfelder, wobei der Ursprung im Idealfall in der Mitte des Spulenpaares gelegt wird. Unterscheidet sich der Spulenradius R vom Abstand $d = 2 \cdot x$, so muß der allgemeine Fall berechnet werden. Das Feld in der Mitte der Helmholtz-Spulen ergibt sich dann zu

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

Der Feldgradient $\frac{dB}{dx}$ entlang der Symmetrieachse ergibt sich dann zu:

$$\frac{dB}{dx} = -3 \mu_0 I R^2 \frac{x}{(R^2 + x^2)^{5/2}} \quad (4)$$

Im Idealfall ist der Feldgradient auf der Symmetrieachse in einen relativ großen Bereich vernachlässigbar, sodaß sich ein nahezu homogenes Feld ergibt.

In einer langgestreckten stromdurchflossenen Spule ist die magnetische Feldstärke konstant. Die magnetische Flußdichte B in einer langen stromdurchflossenen Spule mit der Länge l und der Windungszahl n ist gegeben durch

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

Aufgaben

- Messen Sie die magnetische Flußdichte längs der Achse einer Spule und stellen das Ergebnis graphisch dar.
- Messen Sie die magnetische Flußdichte eines Helmholtzspulenpaares längs seiner Achse.
- Bestimmen Sie aus der Hysteresekurve einer Spule mit Eisenkern die Sättigungsmagnetisierung, Remanenz und Koerzitivkraft.

Versuchsaufbau

Für die verschiedenen Meßaufgaben stehen verschiedene Spulentypen, Netzgeräte und Hallsonden zur Verfügung. Bauen Sie die einzelnen Experimente im spannungslosen Zustand auf. Achten Sie vor dem Einschalten der Spannungsgeräte, daß Strom und Spannung auf 'Null' geregelt wurden. Beachten Sie beim Einstellen der Stromstärke den *maximal zulässige Strom*. Zum Messen der magnetischen Feldstärke werden transversale und longitudinale Hall-Sonden verwendet. Die Sonden sind sehr empfindlich, bitte immer in der beiliegenden Hülle aufbewahren.

Das Meßprinzip der Sonden basiert auf dem *Hall-Effekt*. An der Spitze einer *Hall-Sonde* befindet sich ein Leiterplättchen, an das ein Steuerstrom angelegt wird. Bei einem senkrecht zum Steuerstrom gerichtetes Magnetfeld wirkt die Lorenzkraft auf die Ladungen und erzeugen einen Verschiebungsstrom, sodaß senkrecht zum Strom und zum Magnetfeld eine Spannung (*Hall-Spannung*) aufgebaut wird. Bei konstantem Steuerstrom ist die Hall-Spannung ein Maß für die Stärke des zu messenden Magnetfeldes.

Versuchsdurchführung

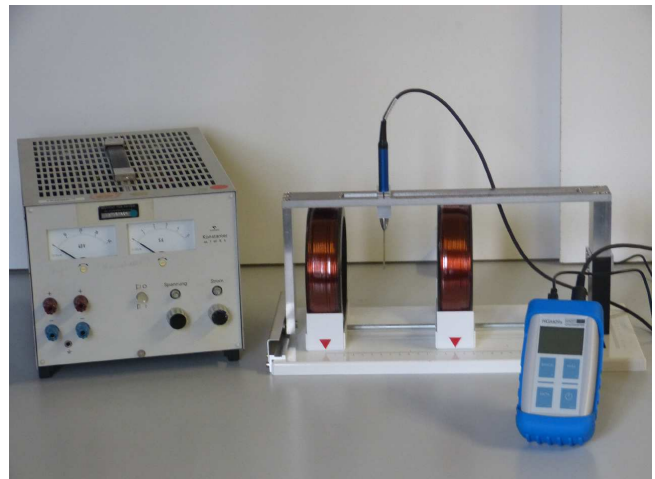
Magnetfeld von Spulen

Schließen Sie eine lange Spule an das Netzgerät an und regeln Sie den Strom und die Spannung hoch. Beachten Sie den maximal zulässigen Strom!!! Verwenden Sie zum Vermessen des Magnetfeldes eine longitudinale Sonde. Justieren Sie die Höhe der Sonde so ein, daß Sie das Magnetfeld auf der Achse der Spule messen. Nehmen Sie innerhalb und außerhalb der Spule Meßwerte auf. Wiederholen Sie die Messung mit einer kurzen Spule. Tragen Sie die erhaltenen Meßwerte in ein x_B -Diagramm ein und vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Theorie.



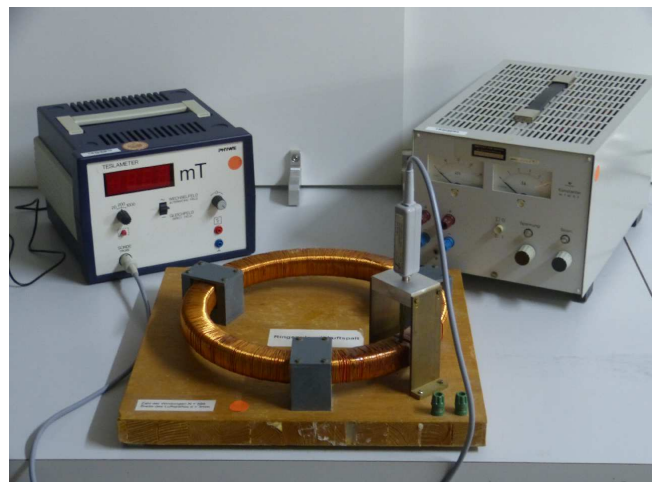
Magnetfeld eines Spulenpaares

Schließen Sie das Netzgerät an das Spulenpaar, wobei die Spulen in Reihe geschaltet werden sollten und regeln Sie den Strom und den Spannung so ein, daß der Spulenstrom 5 A nicht überschreitet. Wählen Sie drei verschiedene Spulenabstände und vermessen mit der transversalen Hall-Sonde das Magnetfeld innerhalb und außerhalb des Spulenpaares. Tragen Sie die Meßwerte in ein x_B -Diagramm ein und vergleichen Sie das Ergebniss mit der Theorie.



Hysteresekurve

Schließen Sie das Netzgerät an die Ringspule mit Luftspalt an. Messen Sie mit der transversalen Hall-Sonde das Magnetfeld als Funktion des Spulenstroms. Stellen Sie die Daten graphisch dar und bestimmen Sie aus der entstandenen Hysteresekurve die Sättigungsmagnetisierung, Remanenz und die Koerzitivkraft.



Literatur

- [1] F. Kohlrausch *Praktische Physik*, Bd.2 , Teubner 1996
- [2] H.J. Eichler, H.-D. Kronfeld, J. Sahm *Das Neue Physikalische Grundpraktikum* Springer 2006

Anhang: Spulenparameter

Einzelspule: Max. zulässiger Strom: $I_{max} = ?$ A
 Windungszahl: $n = 3400$
 Mittlerer Spulendurchmesser $d =$
 Spulenlänge: $l = ?$ mm

Spulenpaar: Max. zulässiger Strom: $I_{max} = 5$ A
 Windungszahl: je $n = 100$
 Mittlerer Spulendurchmesser $d = 125$ mm
 Spulenbreite: $b = 33$ mm

Ringspule mit Luftspalt: Windungszahl: $n = 595$
 Breite des Luftspalts: $d = 3$ mm