

Versuch 4: Magnetismus

Team 2-13: Jascha Fricker, Benedict Brouwer

1. September 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
3	Versuchsaufbau und Durchführung	2
4	Ergebnisse und Diskussion	3
4.1	longitudinale Konfiguration	3
4.2	Bestimmung von μ_r	4
4.3	transversale Konfiguration	5
5	Anhang	8
5.1	Gaußsche Fehlerfortpflanzung	8

1 Einleitung

In diesem Versuch werden die Eigenschaften des Magnetfelds einer Spule mittels einer Hall-Sonde untersucht. Dabei wird der Einfluss verschiedener Ströme und eines Metallkerns gemessen.

2 Theorie

Nach dem Biot-Savart-Gesetz kann das Magnetfeld $B(x)$ auf der Symmetrieachse einer dünnen Ringspule mit Radius R durch die Formel

$$B(x) = \frac{\mu_0 \mu_r N}{2} \cdot \frac{R^2 I}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

beschreiben werden. Dabei durchfließt die Spule eine Stromstärke I mit einer Windungszahl N . Das Material in der Spule hat eine Permeabilität μ_r (bei Luft $\mu_r = 1$).

Durch Umstellung der Gleichung nach x können bei gegebenem B_{max} die Spulenränder

$$x_{min, max} = \pm \sqrt{\left(\frac{\mu_0 \mu_r N}{2} \cdot \frac{R^2 I}{B_{max}} \right)^{\frac{2}{3}} - R^2} \quad (2)$$

bestimmt werden.

Wenn ein Material in das Spuleninnere gegeben wird, kann das Magnetfeld innerhalb der Spule B_M durch das Magnetfeld B_0 ohne Material und die magnetische Permeabilität μ_r berechnet werden

$$B_M = \mu_r \cdot B_0. \quad (3)$$

Außerdem kann die Magnetisierung

$$M = \chi_m \cdot H = (\mu_r - 1) \cdot \frac{B_0}{\mu_0}. \quad (4)$$

berechnet werden.

3 Versuchsaufbau und Durchführung

Zur Untersuchung der magnetischen Eigenschaften einer Spule wurde auf einem linear verschiebbaren Schlitten zwei verschiedene Hallsonden mit jeweils unterschiedlicher Ausrichtung montiert. Mit diesen wurde mit variierendem Abstand zur Spule die magnetische Flussdichte gemessen. Es wurde das B-Feld in longitudinaler Richtung bei 1 A, 1.5 A und bei 1 A mit Metallkern gemessen. Des Weiteren wurde das B-Feld in Transversalrichtung bei 1 A gemessen.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 longitudinale Konfiguration

Die rohen Messwerte der verschiedenen Messreihen der longitudinalen Konfiguration wurden im Graph 1 (ohne Metallkern) und 2 (mit Metallkern) geplottet.

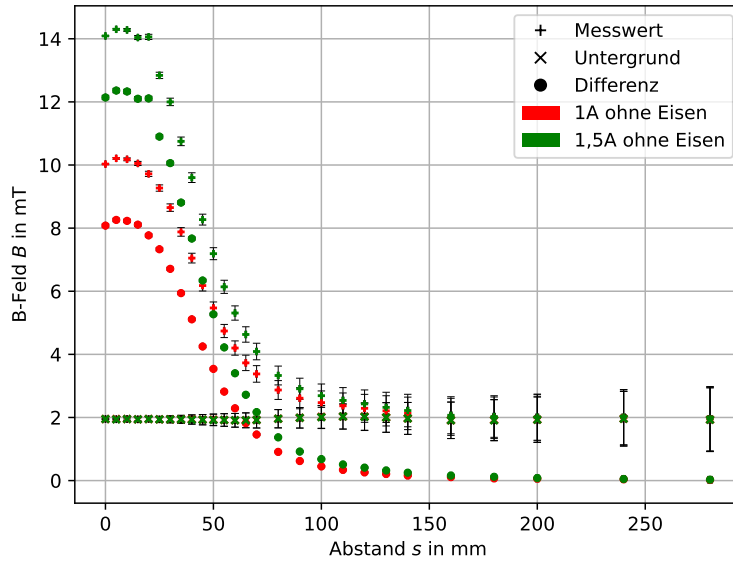


Abbildung 1: Messwerte der longitudinalen Konfiguration ohne Metallkern

Im Plot 4 (longitudinale Konfiguration 1A) wurde die magnetische Flussdichte abzüglich der Hintergrundmagnetisierung aufgetragen und gespiegelt. Anschließend wurde die Funktion (1) auf die Messwerte außerhalb der Spule gefittet und auch aufgetragen. Mit einem abgelesenen B_{max} , den gefitteten Parametern und der Funktion (2) wurden die Spulenränder berechnet. Diese werden als vertikale Balken in dem Graphen dargestellt. Die Ergebnisse des Fits und die errechneten Werte sind in Tabelle 1 aufgelistet. Für den Fit wurden I und R als Fitparameter verwendet, da diese von den gemessenen Werten bei der Versuchsdurchführung abweichen. Dies liegt an der Erwärmung der Spule und da die Spule nicht, wie in der Theorie angenommen, rund ist. Die gleiche Auswertung der Messreihe mit 1,5A Stromstärke ist im Graph 5 dargestellt.

Bei beiden Messreihen ist es erstaunlich, wie stark I_{eff} von der eingestellten Stromstärke abweicht. Die Abweichung ist aber bei beiden Messreihen in sich konsistent. Auch der gefittete Radius R_{eff} ist bei beiden Messreihen konsistent. Nur die Länge der Spule ist bei unterschiedlich. Dies kann aber

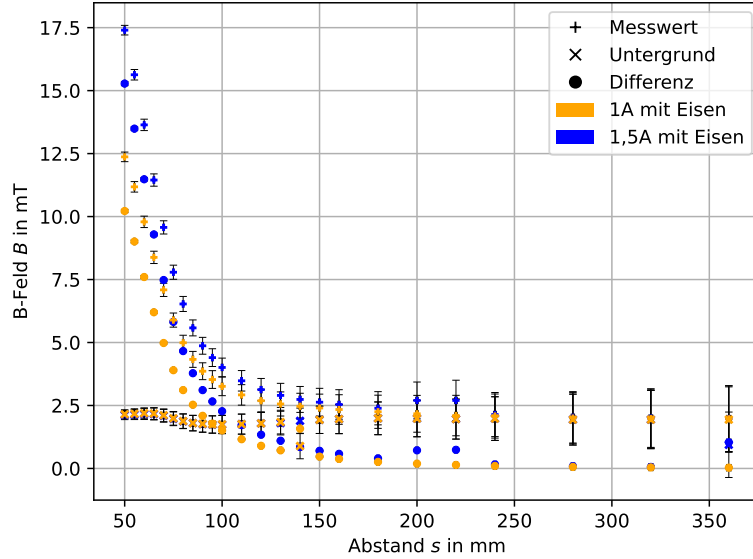


Abbildung 2: Messwerte der longitudinalen Konfiguration mit Metallkern

auch daran liegen, dass die Abweichungen vom Biot-Savart-Gesetz mit der Stromstärke skalieren, und so der homogene Bereich des Magnetfeldes größer wird.

Parameter	Wert mit 1A	Wert mit 1,5A
B_{max}	8,26(41)mT	12,4(55)mT
R_{eff}	35,6(10)mm	35,8(11)mm
I_{eff}	0,739(16)A	1,098(25)A
x_{min}	25,9(54)mm	25,8(55)mm
x_{max}	-25,9(54)mm	-25,8(55)mm

Tabelle 1: Ergebnisse Aufgabe 5.2.2

4.2 Bestimmung von μ_r

Mit den in Tabelle 1 aufgelisteten Ergebnissen, kann die Funktion 1 mit einem freien Parameter μ_r auf die Messwerte der longitudinalen Konfiguration gefittet werden (Siehe Abb. 6). So kann

$$\mu_r = 2.6469(63) \quad (5)$$

bestimmt werden.

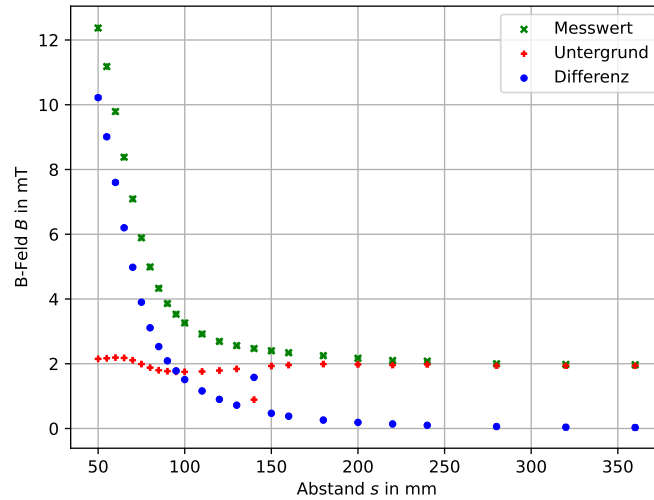


Abbildung 3: Messwerte transversale Konfiguration

Dies ist eine relative Permeabilität die man eigentlich paramagnetischen Stoffen zuordnen würde. Allerdings lässt die vergleichsweise geringe magnetische Flussdichte vermuten, dass es sich um einen ferromagnetischen Stoff handelt, der seine charakteristischen Weißschen Bezirke nicht voll umfänglich ausbilden konnte. Was dazu führt, dass die tatsächlich gemessene relative Permeabilität weit von dem entfernt ist, was für ferromagnetische Stoffe üblich ist.

Nun kann die Magnetisierung der Spule mit Metallkern mittels Gleichung (4) und die maximale magnetische Flussdichte der Spule mittels Gleichung (3) berechnet werden.

$$B_M = 21,8(13)\text{mT} \quad (6)$$

$$M = 10,77(75)\text{kA m}^{-1} \quad (7)$$

4.3 transversale Konfiguration

Die gemessenen Daten der transversalen Konfiguration wurden mit den Daten der longitudinalen Messung im Graph 7 geplottet. Dabei fällt auf, dass die Magnetfelder auf mit ähnlichem Kurvenverlauf abfallen welcher aber logarithmisch um einen festen Wert verschoben ist. Erstaunlicherweise ist der Startwert der transversalen Messung mit 10mT direkt an der Seite der Spule größer als der Wert der longitudinalen Messung direkt in der Spule, der etwa 8mT beträgt.

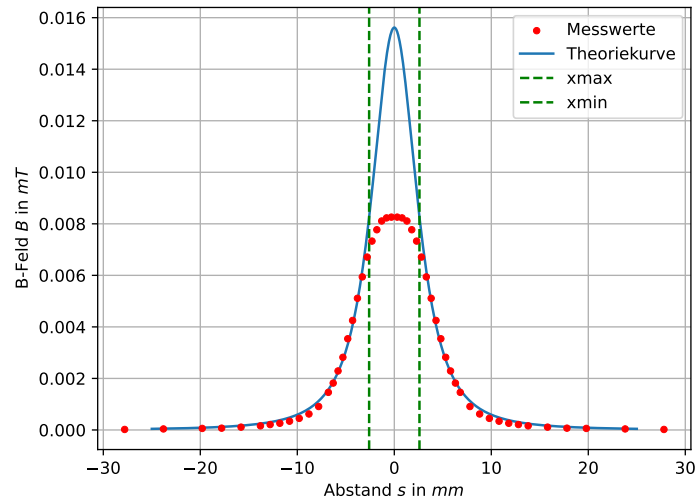


Abbildung 4: Fit der longitudinalen Konfiguration bei 1 Ampere

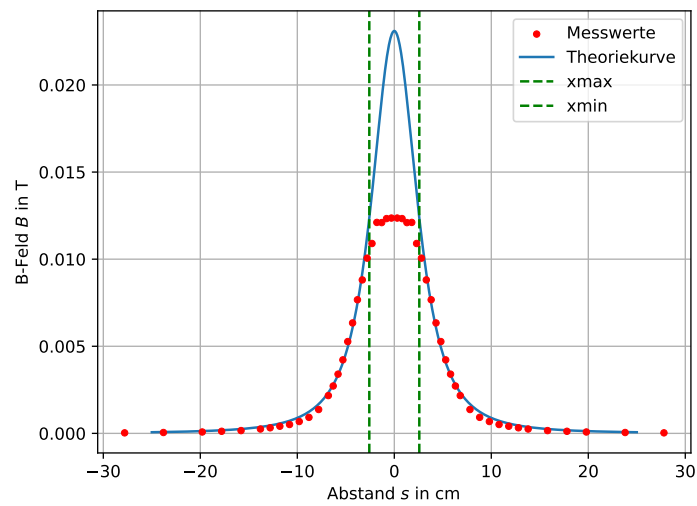


Abbildung 5: Fit der longitudinalen Konfiguration bei 1,5 Ampere

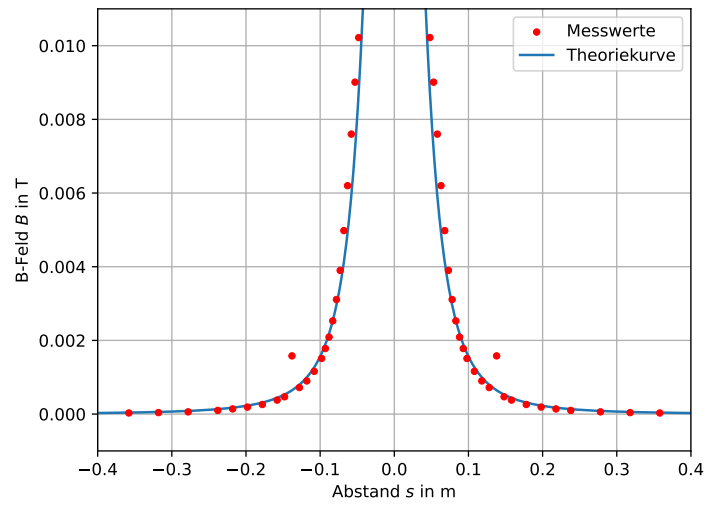


Abbildung 6: Fit der Permeabilitätsmessung

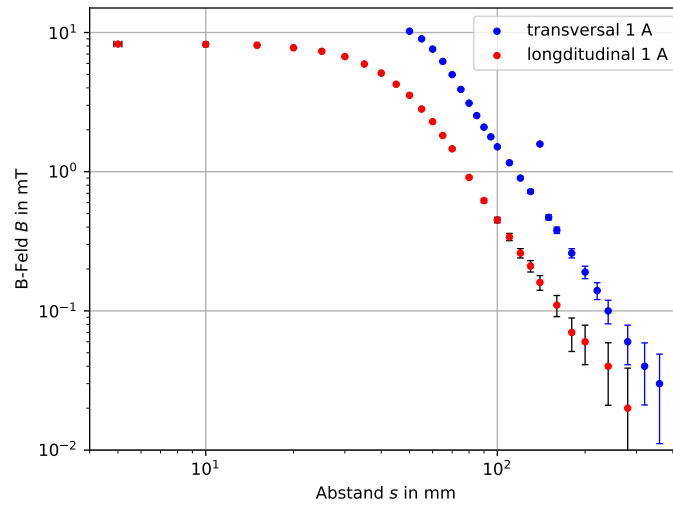


Abbildung 7: Vergleich der transversalen und longitudinalen Messkonfiguration

5 Anhang

5.1 Gaußsche Fehlerfortpflanzung

Die Fehlerfortpflanzung wurde mithilfe der Formel

$$u(g(x_1, \dots, x_n)) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \cdot u(x_i) \right)^2} \quad (8)$$

berechnet.