

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	2
2 Theorie	2
3 Aufbau und Durchführung	4
3.1 Magnetfelder verschiedener Spulen	4
3.1.1 Lange Spule	4
3.1.2 Kurze Spule	4
3.2 Magnetfelder einer Helmholtzspule	4
3.3 Hysteresekurve	4
4 Auswertung	5
4.1 Magnetfelder verschiedener Spulen	5
4.1.1 Lange Spule	5
4.1.2 Kurze Spule	6
4.2 Magnetfelder einer Helmholtzspule	8
4.3 Hysteresekurve	14
5 Diskussion	15

1 Zielsetzung

Ziel des Versuch ist es, verschiedene Magnetfelder zu vermessen und die Hysteresekurve einer Toroidspule mit Eisenkern zu messen.

2 Theorie

Magnetische Felder werden durch bewegte elektrische Ladungen erzeugt. Das Magnetfeld lässt sich durch die magnetische Feldstärke \vec{H} und die magnetische Flussdichte \vec{B} beschreiben. \vec{H} beschreibt den Betrag und die Richtung des Magnetfelds. \vec{B} nimmt außerdem die magnetische Permeabilität $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ in die Betrachtung mit auf. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$ ist dabei die Vakuum-Permeabilität oder auch magnetische Feldkonstante. μ_r ist die materialabhängige Permeabilität.

Für die beiden vektoriellen Größen \vec{H} und \vec{B} gilt folgender Zusammenhang:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}.$$

Bewegte Ladungen kommen in stromdurchflossenen Leitern vor, entsprechend entsteht um einen solchen Leiter ein Magnetfeld. Über das Biot-Savart'sche Gesetz

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{Leiter}} \frac{d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

mit dem Strom I und dem infinitesimalen Leiterstück $d\vec{l}$ lässt sich im Abstand $\vec{r}' - \vec{r}$ die magnetische Flussdichte berechnen.

Für eine lange Spule der Länge l und der Windungszahl N ergibt sich der Betrag der magnetischen Flussdichte zu

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}. \quad (1)$$

Das Magnetfeld innerhalb einer langen Spule ist näherungsweise homogen und wird zu den Enden der Spule inhomogen.

Eine Toroidspule mit dem Radius R hat die magnetische Flussdichte

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{2\pi R}.$$

In der Toroidspule ist das Magnetfeld homogen, außerhalb ist kein Magnetfeld vorhanden. Für ein Paar Helmholtzspulen mit dem Radius R und mit dem Abstand x zum Mittelpunkt gilt im Mittelpunkt zwischen den beiden Spulen folgende Gleichung:

$$B(0) = \mu_0 \frac{NIR^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}. \quad (2)$$

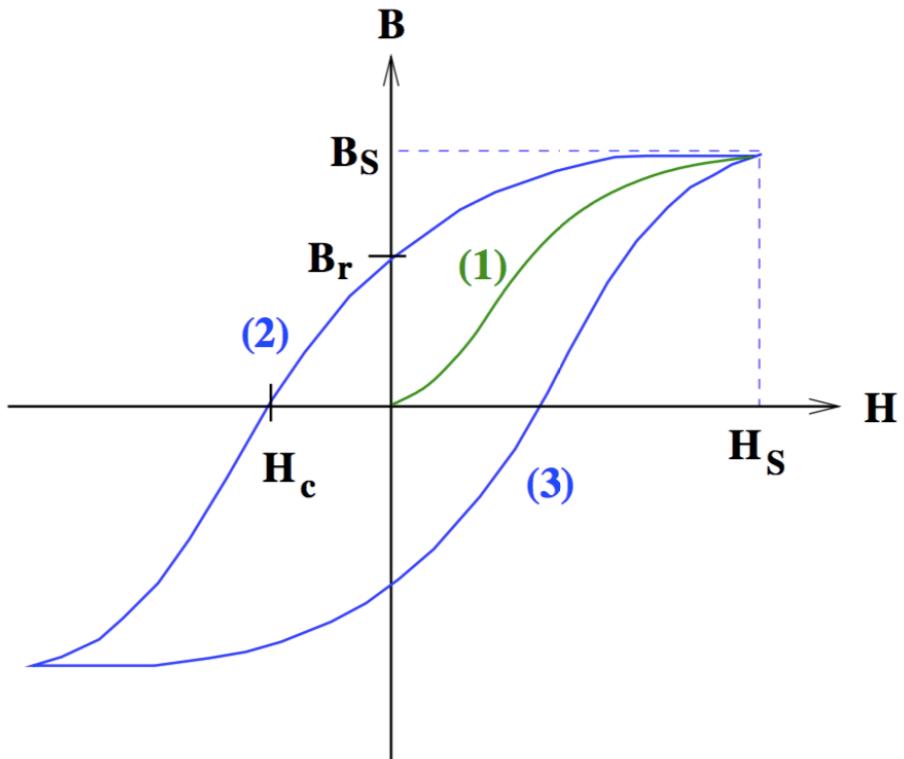


Abbildung 1: Hysteresekurve [1]

Für ideale Helmholtzspulen ist der Abstand der Spulen gleich dem Radius der Spulen. Da dies nicht immer der Fall ist, wird der allgemeine Fall berechnet. Ferromagnetische Materialien haben eine sehr große relative Permeabilität μ_r . Dabei gilt folgende Beziehung nicht mehr:

$$\vec{B} = \mu_r \cdot \vec{H}.$$

Die relative Permeabilität ist also eine Funktion der magnetischen Feldstärke \vec{H} . Ferromagnetische Materialien haben auch ohne äußeres Magnetfeld ein permanentes magnetisches Moment. Innerhalb der Weiß'schen Bezirke ist das magnetische Moment gleich, über das Material sind die Weiß'schen Bezirke statistisch in alle Richtungen ausgerichtet und führen so dazu, dass das Material kein eigenes Magnetfeld hat. Ein äußeres Magnetfeld richtet die magnetischen Momente aus und das Material bewirkt eine Verstärkung des Magnetfelds. Außerdem wird das Material zunehmend magnetisiert, da sich die magnetischen Momente nicht alle wieder in alle Richtungen ausrichten. Dieses Verhalten lässt sich durch eine Hysteresekurve (Abbildung 1) darstellen. Wird der Strom in der Spule hochgeregelt, steigt zunächst das B-Feld auf den Sättigungswert B_s . Wird der Spulenstrom runtergeregelt, fällt das B-Feld dann mit einer anderen

Steigung auf den negativen Sättigungswert.

Der Schnittpunkt B_r mit der B-Achse wird Remanenz genannt. Diese beschreibt die Restmagnetisierung im Material, die ohne äußeres Feld wirkt.

Die Nullstelle H_c dieser Kurve wird Koerzitivkraft genannt. Die Koerzitivkraft ist der Wert, um den das B-Feld erhöht werden muss damit im Material die Restmagnetisierung ausgeglichen ist.

Wird der Spulenstrom nun wieder erhöht, verläuft die Kurve ähnlich, aber verschoben zum Sättigungswert.

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Magnetfelder verschiedener Spulen

3.1.1 Lange Spule

Als erstes wird eine längliche Spule mit der Windungszahl $N = 300$ und der Länge $l = 0,18\text{ m}$ an ein Netzgerät angeschlossen. Der magnetfelderzeugende Strom $I = 1\text{ A}$ wird eingeregelt und mit einer longitudinalen Hall-Sonde wird das Magnetfeld entlang der Längsachse gemessen. Die Messwerte innerhalb der Spule werden aufgenommen, bis die Sonde nicht weiter in die Spule versenkt werden kann. Es werden Messwerte ab $0,04\text{ m}$ vor der Spule aufgenommen.

3.1.2 Kurze Spule

Die kurze Spule mit der Windungszahl $N = 300$ und der Länge $l = 0,08\text{ m}$ wird an das Netzgerät geschlossen. Der Strom wird auf $I = 1\text{ A}$ eingestellt und die Messung wird analog zur Messung an der langen Spule durchgeführt. Die Messwerte werden ab $0,03\text{ m}$ vor der Spule aufgenommen.

3.2 Magnetfelder einer Helmholtzspule

Die Helmholtzspulen mit der jeweiligen der Windungszahl $N = 100$ und dem Spulenradius $R = 0,0625\text{ m}$ werden an das Netzgerät geschlossen. Der Strom wird auf $I = 1\text{ A}$ eingestellt. Der Spulenabstand ist variabel wird zunächst auf $d_1 = 0,08\text{ m}$ eingestellt. Das Magnetfeld wird zuerst mit der transversalen Hall-Sonde entlang der Verbindungsgeraden der Mittelpunkte der Spulen ausgemessen, danach wird auch entlang der Verlängerung der Verbindungsgeraden gemessen. Die Messung wird für die Spulenabstände $d_2 = 0,10\text{ m}$ und $d_3 = 0,12\text{ m}$ wiederholt.

3.3 Hysteresekurve

Zur Messung der Hysteresekurve wird die Toroidspule mit der Windungszahl $N = 595$ und einem Luftspalt der Breite $b = 0,003\text{ m}$ an das Netzgerät angeschlossen. Die transversale Hall-Sonde wird in dem Luftspalt angebracht.

Der magnetfelderzeugende Strom wird Schrittweise auf $I = 10\text{ A}$ erhöht um die Neukurve

zu messen. Danach wird der Strom von 10 A auf 0 A reduziert. An dieser Stelle wird umgepolzt. Dann wird der Strom wieder von 0 A auf 10 A erhöht. Der Strom wird von 10 A auf 0 A verringert. Es wird umgepolzt und der Strom wird wieder auf 10 A erhöht. Damit ist die Hysteresekurve ausgemessen.

4 Auswertung

4.1 Magnetfelder verschiedener Spulen

Es wird an zwei unterschiedlich langen Spulen die magnetische Flussdichte vermessen.

4.1.1 Lange Spule

Die Messwerte für die lange Spule werden in der Tabelle 1 aufgeführt und sind in der Abbildung 2 zu betrachten. Der Ursprung in der Grafik liegt auf dem Anfangspunkt der Spule. Die Mitte der Spule liegt bei $x = 0,09 \text{ m}$. Als experimenteller Vergleichswert wird

Tabelle 1: Messdaten zur langen Spule

x/m	B/ 10^{-3} T	x/m	B/ 10^{-3} T
-0,04	0,024	0,04	2,130
-0,03	0,273	0,05	2,153
-0,02	0,554	0,06	2,165
-0,01	1,047	0,07	2,165
0,00	1,563	0,08	2,160
0,01	1,844	0,09	2,148
0,02	2,015	0,10	2,129
0,03	2,090	0,11	2,101

der Messwert gewählt, der sich in der Mitte der Spule befindet:

$$B_{LS,e} = 2,160 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

abgelesen.

Der theoretische Wert des Magnetfelds in der Spule wird mit Formel (1) errechnet. Es ergibt sich

$$B_{LS,t} = 2,094\,395 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$$

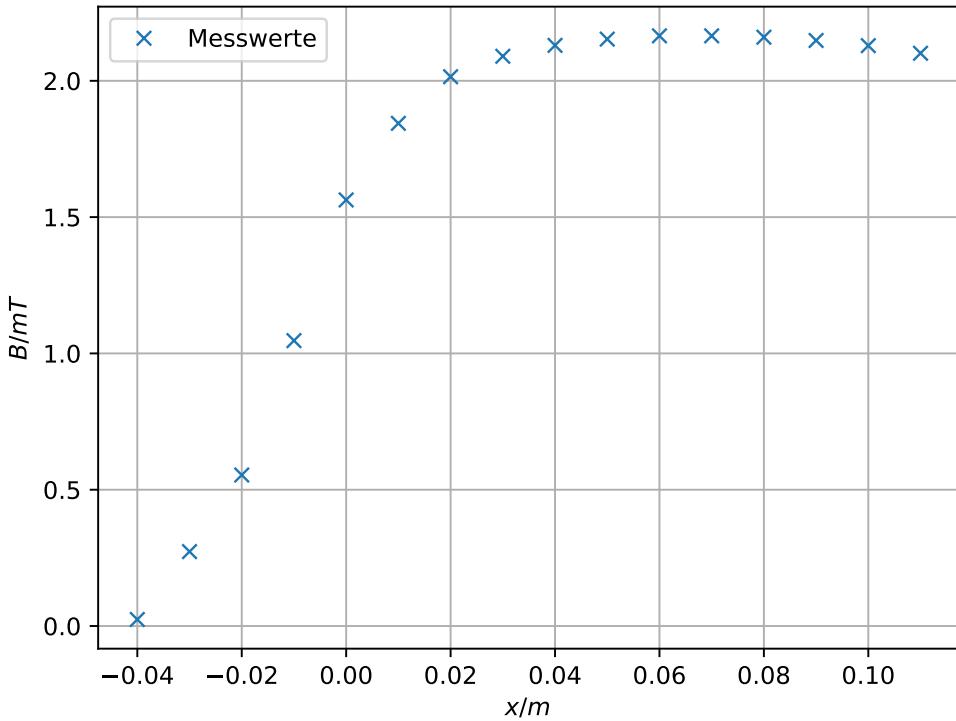


Abbildung 2: B-Feld der langen Spule

4.1.2 Kurze Spule

Die Ergebnisse der Vermessung der kurzen Spule sind in der Tabelle 2 zu sehen. Die Messwerte sind wiederum in der Abbildung 3 aufgetragen. Der Anfangspunkt der Spule liegt im Ursprung, die Mitte der Spule bei $x = 0,04\text{ m}$.

Als experimenteller Wert wird das Maximum der magnetischen Flussdichte

$$B_{KS,e} = 1,885 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

gewählt.

Mit Formel (1) wird ein Theoriewert angenähert. Es ergibt sich

$$B_{KS,t} = 4,712\,389 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$$

Tabelle 2: Messdaten zur kurzen Spule

x/m	B/ 10^{-3} T
-0,03	0,066
-0,02	0,211
-0,01	0,451
0,00	0,900
0,01	1,471
0,02	1,782
0,03	1,885
0,04	1,779
0,05	1,507
0,06	1,105
0,07	0,556
0,08	0,254
0,09	0,105
0,10	0,035

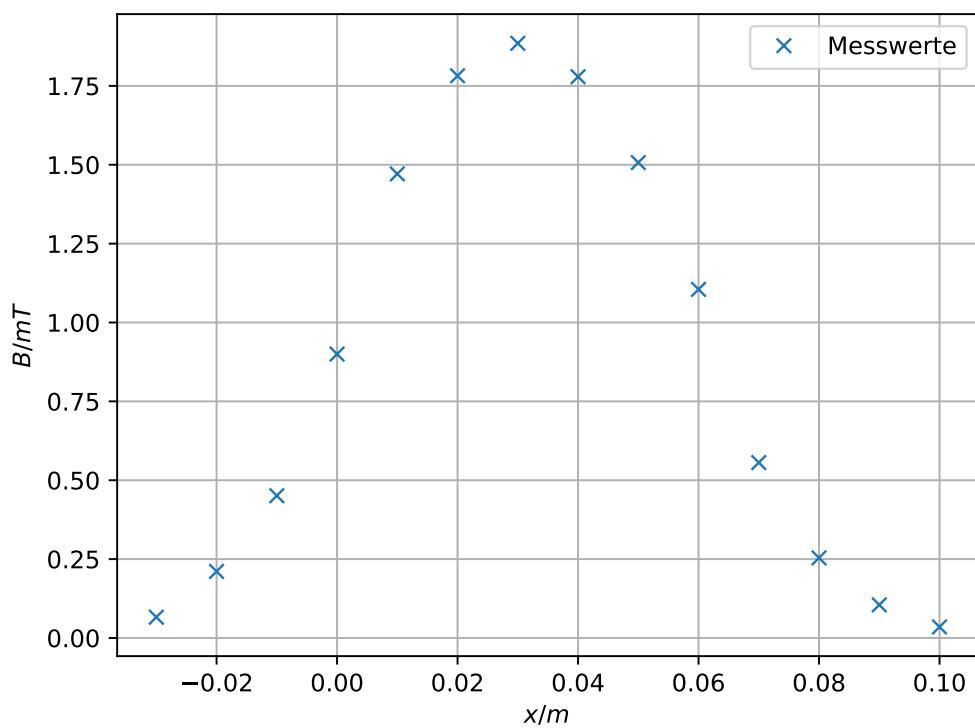


Abbildung 3: B-Feld der kurzen Spule

4.2 Magnetfelder einer Helmholtzspule

Das Magnetfeld einer Helmholtzspule wird für die Spulenabstände $d_1 = 0,08\text{ m}$, $d_2 = 0,10\text{ m}$ und $d_3 = 0,12\text{ m}$ gemessen. Die Messwerte sind in Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 aufgeführt. Die Messwerte sind in Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 aufgetragen.

Tabelle 3: Messdaten zur Helmholtzspule mit $d_1 = 0,08\text{ m}$

x/m	B/ 10^{-3} T	x/m	B/ 10^{-3} T
-0,0120	1,199	0,0125	1,209
-0,0110	1,198	0,0670	0,899
-0,0090	1,197	0,0690	0,861
-0,0070	1,196	0,0740	0,791
-0,0050	1,195	0,0790	0,719
-0,0030	1,195	0,0840	0,648
-0,0010	1,196	0,0890	0,583
0,0010	1,197	0,0940	0,526
0,0030	1,198	0,0990	0,467
0,0050	1,200	0,1090	0,376
0,0070	1,202	0,1190	0,297
0,0090	1,205	0,1290	0,236
0,0110	1,208	-	-

Folgende Werte werden als magnetische Flussdichte in der Mitte der beiden Spulen gemessen.

Für den Spulenabstand $d_1 = 0,08\text{ m}$:

$$B_{H1,e} = 11,97 \cdot 10^{-4} \text{ T}.$$

Für den Spulenabstand $d_2 = 0,10\text{ m}$:

$$B_{H2,e} = 9,73 \cdot 10^{-4} \text{ T}.$$

Für den Spulenabstand $d_3 = 0,12\text{ m}$:

$$B_{H3,e} = 7,76 \cdot 10^{-4} \text{ T}.$$

Die theoretischen Werte werden mit Formel (2) ermittelt. Es ergeben sich die folgenden Werte:

$$B_{H1,t} = 12,013\,95 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_{H2,t} = 9,573\,353 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_{H3,t} = 7,548\,060 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

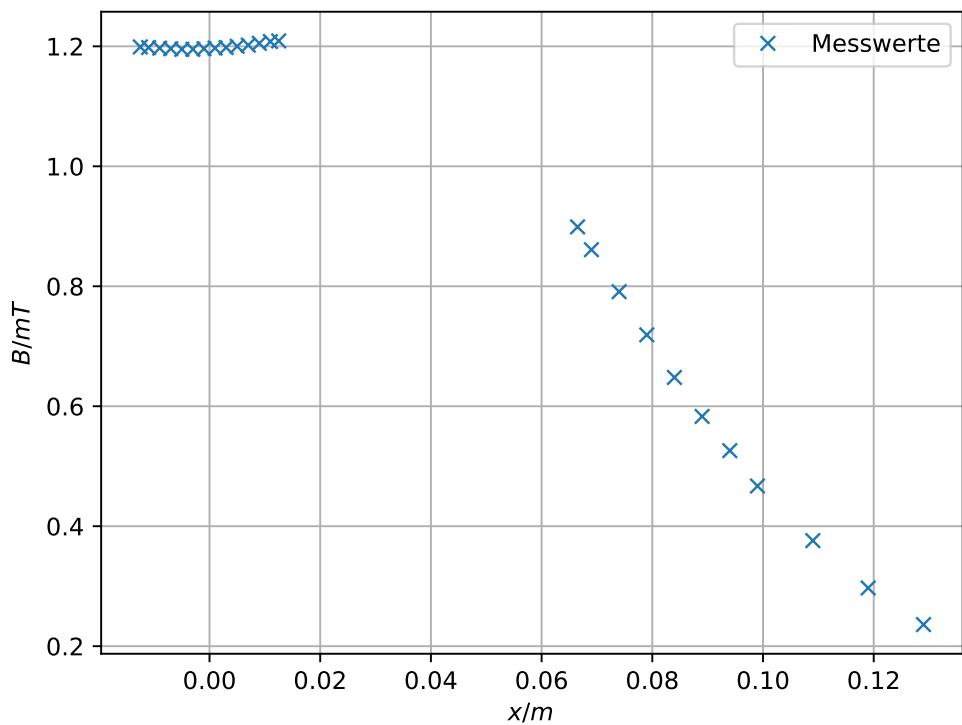


Abbildung 4: B-Feld der Helmholtzspule mit $d_1 = 0,08 \text{ m}$

Tabelle 4: Messdaten zur Helmholtzspule mit $d_2 = 0,10\text{ m}$

x/m	B/ 10^{-3} T	x/m	B/ 10^{-3} T
-0,02275	1,028	0,00875	0,987
-0,02125	1,020	0,01075	0,997
-0,01925	1,015	0,01275	1,001
-0,01725	1,004	0,01475	1,009
-0,01525	0,997	0,01675	1,019
-0,01325	0,991	0,01875	1,028
-0,01125	0,985	0,02075	1,037
-0,00925	0,981	0,02275	1,044
-0,00725	0,977	0,07625	0,855
-0,00525	0,974	0,07875	0,823
-0,00325	0,973	0,08375	0,755
-0,00125	0,972	0,08875	0,686
0,00075	0,973	0,09375	0,624
0,00275	0,975	0,09875	0,561
0,00475	0,978	0,10875	0,454
0,00675	0,982	0,11875	0,366

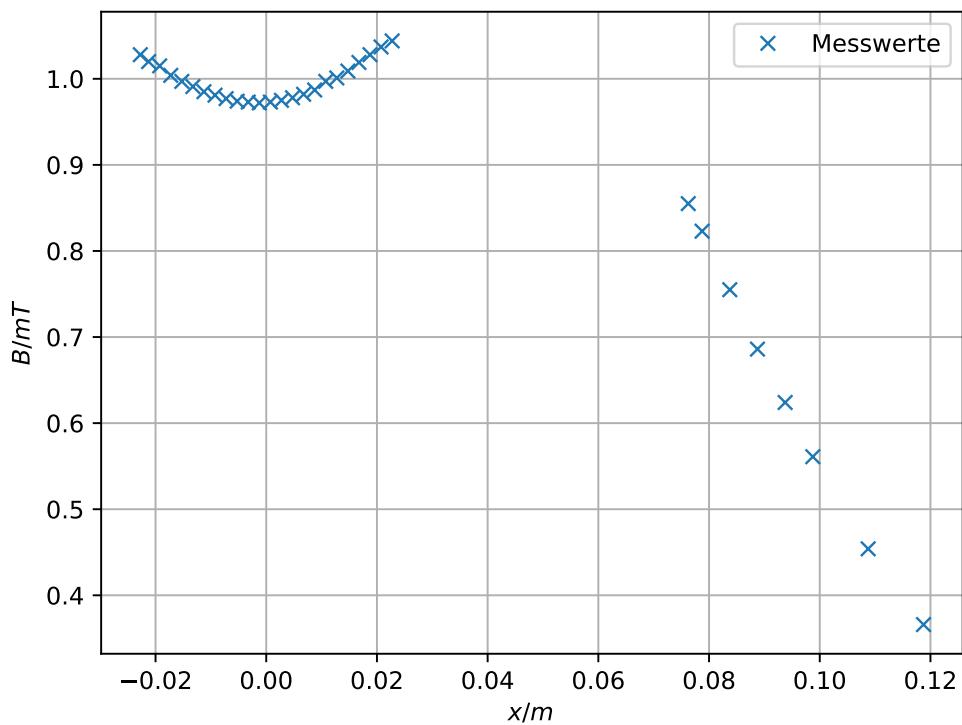


Abbildung 5: B-Feld der Helmholtzspule mit $d_2 = 0,10 \text{ m}$

Tabelle 5: Messdaten zur Helmholtzspule mit $d_3 = 0,12\text{ m}$

x/m	B/ 10^{-3} T	x/m	B/ 10^{-3} T
-0,03275	0,915	0,01075	0,799
-0,03125	0,906	0,01275	0,808
-0,02925	0,892	0,01475	0,817
-0,02725	0,879	0,01675	0,829
-0,02525	0,866	0,01875	0,839
-0,02325	0,852	0,02075	0,854
-0,02125	0,842	0,02275	0,866
-0,01925	0,831	0,02475	0,879
-0,01725	0,818	0,02675	0,893
-0,01525	0,809	0,02875	0,909
-0,01325	0,800	0,03075	0,922
-0,01125	0,794	0,03275	0,937
-0,00925	0,788	0,08675	0,825
-0,00725	0,782	0,08875	0,801
-0,00525	0,780	0,09375	0,735
-0,00325	0,777	0,09875	0,665
-0,00125	0,776	0,10375	0,610
0,00075	0,776	0,10875	0,543
0,00275	0,778	0,11875	0,437
0,00475	0,781	0,12875	0,345
0,00675	0,786	0,13875	0,273
0,00875	0,792	-	-

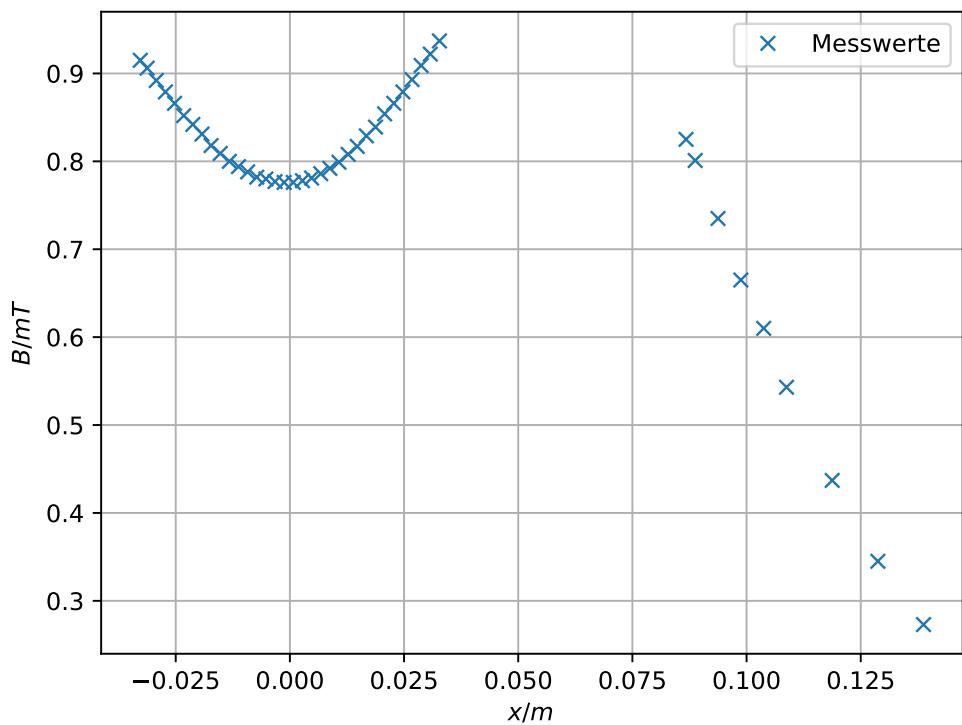


Abbildung 6: B-Feld der Helmholtzspule mit $d_3 = 0,12 \text{ m}$

4.3 Hysteresekurve

Die Messwerte für die Hysteresekurve sind in der Tabelle 6 zu sehen. In der Abbildung 7 sind die Messwerte aufgetragen. Aus der Graphik lassen sich die äquivalenten Werte für die Remanenz und die Koerzitivkraft ablesen. Das Äquivalent der Remanenz hat den Wert

$$B_r = -123,2 \text{ mT}.$$

Das Äquivalent der Koerzitivkraft lässt sich als

$$H_c = -0,7 \text{ A}$$

bestimmen.

Tabelle 6: Messdaten

I/A	B/10 ⁻³ T	I/A	B/10 ⁻³ T	I/A	B/10 ⁻³ T
-	-	10,0	-685,5	-10,0	683,3
0,5	-40,21	9,0	-668,0	-9,0	683,3
1,0	-118,1	8,0	-650,0	-8,0	644,9
1,5	-203,6	7,0	-630,0	-7,0	622,6
2,0	-284,2	6,0	-605,3	-6,0	600,9
3,0	-400,1	5,0	-575,2	-5,0	571,9
4,0	-474,2	4,0	-541,7	-4,0	536,5
5,0	-527,5	3,0	-495,4	-3,0	491,4
6,0	-570,4	2,0	-430,2	-2,0	424,1
7,0	-604,5	1,5	-377,0	-1,5	372,6
8,0	-634,6	0,9	-281,0	-1,0	295,1
9,0	-661,3	0,2	-148,0	-0,5	198,4
10,0	-685,5	0,0	123,2	-0,0	122,3
		-0,5	-38,22	0,5	44,96
		-1,0	60,46	1,0	-54,85
		-1,5	145,2	1,5	-143,2
		-2,0	233,1	2,0	-227,4
		-3,0	368	3,0	-360,8
		-4,0	459	4,0	-455,5
		-5,0	518,3	5,0	-514,8
		-6,0	565,2	6,0	-577,5
		-7,0	599,5	7,0	-597,0
		-8,0	631,9	8,0	-628,9
		-9,0	660,4	9,0	-657,1
		-10,0	683,3	10,0	-683,3

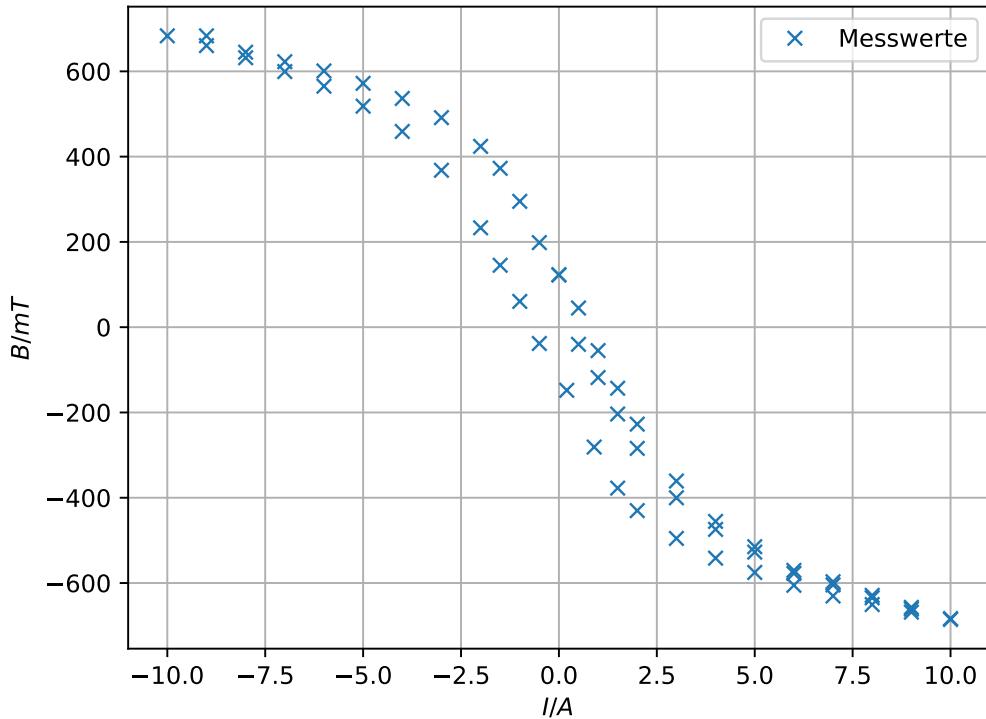


Abbildung 7: Hysteresekurve

5 Diskussion

Allgemein fällt auf, dass die gemessenen Größen und die Verläufe den Erwartungen entsprechen.

In der langen Spule ist das B-Feld nach einer gewissen Eindringtiefe konstant und ergibt ein Plateau im Graphen. Die Abweichung von dem theoretischen Wert

$$B_{LS,t} = 2,094\,395 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

zu dem aus dem Graphen abgelesenen experimentellen Wert

$$B_{LS,e} = 2,160 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

des Magnetfelds in der Spule ist 3,13%.

Die kurze Spule hat kein homogenes Magnetfeld sondern nur ein Maximum des B-Felds auf Höhe der Mitte der Spule. Es kann als parabolisches Profil beschrieben werden. Der

theoretischen Wert des Magnetfelds in der Mitte der kurzen Spule kann nur genähert werden:

$$B_{KS,t} = 4,712\,389 \cdot 10^{-3} \text{ T.}$$

Für den aus dem Graphen abgelesene experimentelle Wert ergibt sich:

$$B_{KS,e} = 1,885 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Die Abweichung beläuft sich auf 149,99%. Die große Abweichung lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass für den Theoriewert die Formel einer langen Spule verwendet wird. Diese Formel beschreibt das B-Feld einer kurzen Spule nur mäßig.

Bei den Helmholtzspulen ist erkennbar, wie wichtig der Spulenabstand ist, um das Magnetfeld zwischen den Spulen als homogen zu nähern. In den Graphen ist eine Überlagerung zweier parabolischer Profile ersichtlich. Je größer der Spulenabstand ist, desto deutlicher ist zu erkennen, dass sich die parabolischen Profile der Magnetfelder der beiden kurzen Spulen überlagern. Der theoretische Wert für das B-Feld ist hier immer größer als der Experimentelle.

Der theoretische Wert zum Spulenabstand $d_1 = 0,08 \text{ m}$ ist

$$B_{H1,t} = 12,013\,95 \cdot 10^{-4} \text{ T.}$$

Der experimentelle Wert ergibt sich zu

$$B_{H1,e} = 11,97 \cdot 10^{-4} \text{ T.}$$

Die Abweichung der beiden Werte beträgt 0,38%.

Für den Spulenabstand $d_2 = 0,10 \text{ m}$ wird ein theoretischer Wert von

$$B_{H2,t} = 9,573\,353 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

errechnet. Der zugehörige experimentelle Wert beläuft sich auf

$$B_{H2,e} = 9,73 \cdot 10^{-4} \text{ T.}$$

Die Abweichung wird als 1,64% bestimmt.

Der theoretische Wert zum Spulenabstand $d_3 = 0,12 \text{ m}$ wird als

$$B_{H3,t} = 7,548\,060 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

berechnet. Der experimentelle Wert ist

$$B_{H3,e} = 7,76 \cdot 10^{-4} \text{ T.}$$

Die Abweichung ist 2,81%.

Bei der Toroidspule ist kein Theoriewert ermittelbar. Außerdem kann das H-Feld nicht ausgerechnet werden, da der Radius der Toroidspule nicht bekannt ist. Da das H-Feld direkt abhängig vom magnetfelderzeugenden Strom ist, kann gleichermaßen B gegen I aufgetragen werden. Es ergibt sich eine Hysteresekurve. Diese Kurve kann nun nicht mit Literaturwerten verglichen werden.

Generell lässt sich sagen, dass die Erwartungen erfüllt wurden.

Literatur

- [1] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V308*.

<u>V308</u>			<u>Newkurve</u>	<u>N = 595, Luftspalt d = 3mm</u>
<u>I</u>	<u>V</u>	<u>B / mT</u>	<u>H</u>	
0	0		0	
0,5	0,5	-40,21		
1	1,2	-118,1		
1,5	2	-203,6		
2	2,5	-284,2		
3	4	-400,1		
4	5,5	-474,42		
5	7	-527,5		
6	8,4	-570,4		
7	9,7	-604,5		
8	11,4	-634,6		
9	12,7	-661,3		
10	14,2	-685,5		

<u>Hysteresekurve</u>			<u>NSP.</u>	<u>Heale</u>
10	14,2	-685,5		
9	13,1	-668,3		
8	11,6	-650,5		
7	10,1	-630,4		
6	8,6	-605,3		
5	7	-575,2		
4	5,6	-541,7		
3	4,2	-495,4		
2	2,7	-430,2		
1,5	2	-377,4		

Abbildung 8: Originale Messdaten

0,8	1	-281,1
0,12	0,1	-148,0
0	0	-123,2
-0,5	0,5	-38,22
-1	1,3	60,46
-1,5	2	145,2
-2	2,7	233,1
-3	4,2	368,0
-4	5,7	459,0
-5	7,2	518,3
-6	8,6	565,2
-7	10	593,5
-8	11,5	631,9
-9	13,1	660,4
-10	14,7	683,3
<hr/>		
-10	14,7	683,3
-9	13,9	663,5
-8	12,2	644,9
-7	10,5	622,8
-6	9,2	600,9
-5	7,5	571,9
-4	6	536,5
-3	4,5	491,4
-2	2,9	424,1
-1,5	2	372,6
-1	1,4	295,1
-0,5	0,5	198,4

15.12.
y-Max

Abbildung 9: Originale Messdaten

0	0	122,3
0,5	0,5	44,96
1	1,4	-54,85
1,5	2,1	-143,2
2	3	-227,4
3	4,5	-360,8
4	6	-455,5
5	7,5	-514,8
6,2	9	-577,5
7	10,5	-587,0
8	12,2	-628,9
9	14,7	-657,1
10	15,5	-683,3
<hr/>		
Messreihe Lange Spule		I = 0,9 A
x/cm 800 800 800		
46	mm	0,024
47		0,273
48		0,554
49		1,047
50		1,563 — Spule
51		1,844
52		2,015
53		2,090
54		2,130
55		2,153
56		2,165
57		2,165
58		2,160

Abbildung 10: Originale Messdaten

X/cm	$[B] mT$
59	2,148
60	2,129
61	2,101
62	2,039
<u>kleine Spule</u>	
X/cm	$[B] mT$
26	0,066
27	0,211
28	0,451
29	0,900
30	1,471
31	1,782
32	1,885
33	1,779
34	1,507
35	1,105
36	0,556
37	0,254
38	0,105
39	0,035

15.12.2018

Abbildung 11: Originale Messdaten

Spülabstand 8 cm	
	[8] m t
0,85	- 0,199
1	- 1,198
1,2	- 1,197
1,4	- 1,196
1,6	- 1,195
1,8	- 1,195
2	- 1,196
2,2	- 1,197
2,4	- 1,198
2,6	- 1,200
2,8	- 1,202
3,0	- 1,205
3,2	1,208
3,35	1,209
<u>Innen</u>	
aussen	
8,75	0,899
9,00	0,866
9,50	0,791
10,00	0,719
10,50	0,648
11,00	0,583
11,50	0,526
12,00	0,467
13,00	0,376
14,00	0,297
15,00	0,236

15 R.
Haus

Abbildung 12: Originale Messdaten

Spülens abstand		10cm	
X/cm	B		
0,85	1,028		
1,00	1,020		
1,20	1,015		
1,4	1,004		
1,6	0,997		
1,8	0,991		
2,0	0,985		
2,2	0,981		
2,4	0,977		
2,6	0,974		
2,8	0,973		
3,0	0,972	12,5	0,624
3,2	0,973	13	0,561
3,4	0,975	13,8	0,52
3,6	0,978	14	0,454
3,8	0,982	15	0,366
4,0	0,987	16	
4,2	0,987		
4,4	0,001		
4,6	1,009		
4,8	1,019		
5,0	1,028		
5,2	1,037		
5,4	1,044		
10,75	0,855		
11	0,823		
11,5	0,755		
12,0	0,686		

Abbildung 13: Originale Messdaten

Spulen abstand cm 12	X/cm	B	
	0,85	0,915	6,2 0,854
	1	0,906	6,4 0,866
	1,2	0,892	6,6 0,879
	1,4	0,879	6,8 0,893
	1,6	0,866	7,0 0,909
	1,8	0,852	7,2 0,922
	2,0	0,842	7,4 0,937
	2,2	0,831	7,6 0,946
	2,4	0,818	7,8 0,825
	2,6	0,809	8,0 0,801
	2,8	0,8	8,5 0,735
	3,0	0,794	14 0,665
	3,2	0,788	14,5 0,610
	3,4	0,782	15 0,563
	3,6	0,780	16 0,437
	3,8	0,777	17 0,345
	4,0	0,776	18 0,273
	4,2	0,776	
	4,4	0,778	
	4,6	0,781	
	4,8	0,786	
	5,0	0,792	
	5,2	0,799	
	5,4	0,808	
	5,6	0,817	
	5,8	0,829	
	6,0	0,839	

NSR.
Mittelw.

Abbildung 14: Originale Messdaten