

V308

Magnetfelder und Spulen

Felix Symma

felix.symma@tu-dortmund.de

Joel Koch

joel.koch@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.11.2021

Abgabe: 23.11.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
3.1 Allgemein	5
3.2 Helmholtz-Spulenpaar	5
3.3 lange Spule	5
3.4 Toroidspule mit Eisenkern	6
4 Auswertung	6
5 Diskussion	14

1 Einleitung

Ziel des Versuches ist es, Magnetfelder von verschiedenen Spulentypen in verschiedenen Anordnungen zu messen. Dabei wird das Magnetfeld einer langen Spule und das eines Spulenpaars, sowohl in der Spule selbst, als auch außerhalb, gemessen. Es wird außerdem eine Hysteresekurve einer toroidförmigen Spule mit einem Eisenkern gemessen. Abschließend werden die Messwerte aus dem Versuch mit der Theorie verglichen und ausgewertet.

2 Theorie

Theoretische Grundlagen für diesen Versuch sind das Biot-Savartsche Gesetz, Stoffmagnetismus mit besonderer Rücksicht auf Ferrimagnetismus, der Hall-Effekt (und Magnetfelder in Materie).

Bewegte elektrische Ladungsträger erzeugen magnetische Felder, die durch die beiden Größen \vec{H} und \vec{B} beschrieben werden können. Dabei entspricht \vec{H} der magnetischen Feldstärke, die Betrag und Richtung des Magnetfeldes beschreibt, und \vec{B} die magnetische Flussdichte, die zusätzlich noch die Permeabilität $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ berücksichtigt. Dabei ist $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [Vs/Am] die magnetische Feldkonstante und μ_r die vom Material abhängige Permeabilität. Die magnetische Feldstärke lässt sich zum Beispiel mit dem Biot-Savartschen Gesetz (1) quantifizieren:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \int_{\text{Leiter}} \frac{d\vec{s} \times \vec{l}}{r^3}. \quad (1)$$

Durch

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (2)$$

folgt somit auch ein Zusammenhang für die magnetische Flussdichte.

Aus der Untersuchung von Stoffmagnetismus, wie es in diesem Versuch auch durchgeführt wurde, folgt eine Klassifizierung verschiedener Stofftypen in Para-, Dia- und Ferrimagnetismus. Da die relative Permeabilität μ_r in allen drei Typen konstant ist, folgt zur Unterteilung eine davon abgeleitete Klassifizierung, die Magnetisierung $\vec{M} = \chi \cdot \vec{H}$ mit der magnetischen Suszeptibilität $\chi = \mu_r - 1$.

Bei Diamagneten gilt $\chi < 0$; $|\chi| \ll 1$. In einem angelegten B-Feld ist die Magnetisierung \vec{M} dem B-Feld entgegengerichtet, wodurch es eine abschwächende Wirkung hat. Diamagneten bewegen sich aus Bereichen mit hoher Feldstärke zu Bereichen mit kleinerer. Paramagnetische Stoffe hingegen haben $\chi > 0$; $|\chi| \ll 1$. Die Magnetisierung richtet sich parallel zu einem äußeren B-Feld aus, wodurch sie eine verstärkende Wirkung hat. Paramagneten werden zu Bereichen hoher Feldstärke angezogen.

Bei Stoffen des Ferrimagnetismus gilt der Zusammenhang (2) nicht mehr, da die relative Permeabilität μ_r sehr hoch ist. Es gilt damit $\chi > 0$; $|\chi| \gg 1$. Ferromagneten richten sich, analog zu Paramagneten, parallel zum angelegten Magnetfeld aus und verstärken dieses stark. Bei Ferromagneten ist die stoffabhängige Permeabilität allerdings nicht konstant,

sondern davon abhängig in welchem Zustand es bereits einem Magnetfeld mit dessen Magnetfeldstärke ausgesetzt worden war. Es ist dadurch zustandsabhängig.

Eine Hysteresekurve, die die Magnetisierung auf das äußere Magnetfeld aufträgt, beschreibt das Verhalten von Ferromagneten in angelegten Magnetfeldern und wird im folgenden beschrieben. Die magnetischen Dipolmomente von Ferromagneten sind in einem angelegten Magnetfeld parallel zu diesem. In einzelnen Bereichen, die man Weiß'sche Bezirke nennt, richten sich diese Dipolmomente parallel zueinander aus. Im unmagnetisierten Zustand sind die Dipole, aufgrund der thermischen Bewegungen, statistisch verteilt.

Wenn ein äußeres Magnetfeld angelegt wird, in dem sich der zu untersuchende Stoff befindet, dann steigt die Magnetisierung der Probe bis auf einen Sättigungswert an. Drosselt man das Magnetfeld nun, sinkt auch die Magnetisierung des Stoffes. Bei einem abgeschalteten Magnetfeld jedoch, ist sie nicht null ($\tilde{M}(\tilde{B} = 0) \neq 0$) und es bleibt eine *Remanenz*. Diese kann durch bilden eines Gegenfeldes, der *Koerzitivkraft*, wieder aufgehoben werden. Erhöht man das Gegenfeld weiter, so bildet sich ein negativer Sättigungswert. Durch erhöhen des äußeren Magnetfeldes, bildet sich eine parallele Kurve, wie auch bei der Erhöhung des Gegenfeldes. Sie erreicht den ursprünglichen, positiven Sättigungswert. Eine Hysteresekurve hat je nach Stoff eine unterschiedliche Form.

Mithilfe des Biot-Savartschen Gesetzes (1) folgt ein Zusammenhang zu dem Magnetfeld einer mit dem Strom I durchflossenen Leiterschleife mit Radius R auf der durch den Kreismittelpunkt gehenden Symmetriearchse, wobei x im Kreismittelpunkt Null sei.:

$$|\mathbf{B}_{\text{Ring}}(x)| = B_{\text{Ring}}(x) = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}. \quad (3)$$

Aus dem Superpositionsprinzip folgt für einen symmetrischen Aufbau aus zwei Leiterschleifen bei $x = \pm d/2$:

$$B_d(x) = B_{\text{Ring}}(x - \frac{d}{2}) + B_{\text{Ring}}(x + \frac{d}{2}) \quad (4)$$

Innerhalb einer Spule, bei der der Radius sehr viel kleiner als die Länge ist, liegt ein homogenes Magnetfeld vor, dass durch folgende Relation beschrieben werden kann:

$$B_{\text{Sp}} = \mu_r \mu_0 \frac{n}{l} I \quad (5)$$

, wobei n die Windungszahl und l die Länge der beschriebenen Spule darstellt.

Biegt man eine lange Spule soweit, dass die beiden Enden zusammengefügt werden, entsteht eine Toroidspule, dessen äußeres Magnetfeld Null ist und die Randeffekte verschwinden. Die Länge l in Gleichung (5) wird durch den Umfang des Toroides mit Radius r_T ersetzt und es folgt:

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

3 Durchführung

3.1 Allgemein

Es werden insgesamt 3 Spulen untersucht. Eine lange Spule, 3 verschiedene Anordnungen eines Helmholtz-Spulenpaars und eine Toroidspule mit Eisenkern. Bei der ersten beiden Spulen(anordnungen) wird ein konstanter Strom eingestellt und das erzeugte Magnetfeld, wird in Abhängigkeit zum Abstand gemessen. Bei der Toroidspule wird der Spulenstrom variiert, um eine Hysteresekurve anzufertigen.

3.2 Helmholtz-Spulenpaar

Beim Helmholtz-Spulenpaar soll vor allem die physikalische Besonderheit untersucht werden, dass das Magnetfeld in ihrem gemeinsamen Mittelpunkt auf der rotationssymmetrischen Achse näherungsweise homogen ist. Für diese Besonderheit muss der Abstand der beiden Spulen zueinander dem Radius der Spulen entsprechen.

Die beiden Spulen sind auf einer Schiene in einer Halterung befestigt worden, auf der eine Spule fest und die andere frei beweglich ist. Die Halterung besitzt eine weitere Schiene, die es ermöglicht eine Hall-Sonde in das Magnetfeld der Spule einzulassen und somit die Magnetflussdichte des Spulenpaars zu messen. Da beide Schienen eine eigenes, festes Lineal besitzen, kann man den Spulen- und den Sondenabstand genau einstellen.

Es werden 3 verschiedene Spulenabstände eingestellt und deren magnetische Flussdichte in Abhängigkeit der Position zu den Spulen gemessen.

Für diesen Aufbau wird eine transversale Hall-Sonde verwendet. Es wird darauf geachtet, dass die Sonde orthogonal zu der Symmetriearchse beider Spulen platziert wird. Die beiden Spulen werden in Reihe geschaltet, wobei darauf geachtet werden muss, dass der Strom langsam von Null hochgedreht wird. Dabei darf der maximal zulässige Spulenstrom nicht überschritten werden. Bevor jedoch der Strom hochgedreht wird, schaltet man das Messgerät für die magnetische Feldstärke ein und setzt es durch drücken der Taste **Null** auf Null.

Über den Knopf **Range** stellt man ein, welche Stellen des Messwertes angezeigt werden sollen.

Anschließend werden die Messungen, wie oben beschrieben durchgeführt.

3.3 lange Spule

Bei der Messung der magnetischen Flussdichte einer langen Spule wird eine longitudinale Hall-Sonde verwendet. Die Spule wird auf ein festes Lineal gestellt, an dessen Ende sich ein Stativ befindet, in dessen Stellschraube eine Hall-Sonde ist. Die Hall-Sonde ist möglichst auf der Symmetriearchse der langen Spule anzubringen. Die lange Spule wird an den Strom angeschlossen. Dabei ist darauf zu achten, dass der Strom anfangs auf Null steht und dann langsam hochgedreht wird. Der maximale Spulenstrom darf nicht überschritten werden.

Es werden nun sowohl in der Spule, als auch außerhalb, Messungen vorgenommen.

3.4 Toroidspule mit Eisenkern

Die Toroidspule hat einen für die Messungen vorgesehenen Luftspalt, in dem die Messungen vorgenommen werden. Die Spule wird an den Strom angeschlossen und eine transversale Hall-Sonde in den Luftspalt eingelassen. Es ist darauf zu achten, dass der maximale Spulenstrom nicht überschritten wird.

Die Messungen werden in gleichmäßigen Inkrementen des Stroms vollzogen. Da bei der Spule ein Maximalwert von 10 Ampere nicht überschritten werden darf, ist es sinnvoll die Abstände auf 1 Ampere zu wählen. Die Größe der Inkremente ist im allgemeinen jedoch frei zu wählen, solange sie gleichmäßig und sinnvoll sind.

Ist ein Spulenstrom von +10 Ampere erreicht, senkt man ihn in 1-Ampere-Schritten wieder auf Null. Danach polt man die Toroidspule um und erhöht den Spulenstrom auf -10 Ampere. Ist dieser Wert erreicht, wird wieder auf 0 und danach auf +10 Ampere erhöht. Es zeichnet sich eine Hysteresekurve ab.

4 Auswertung

Siehe ??!

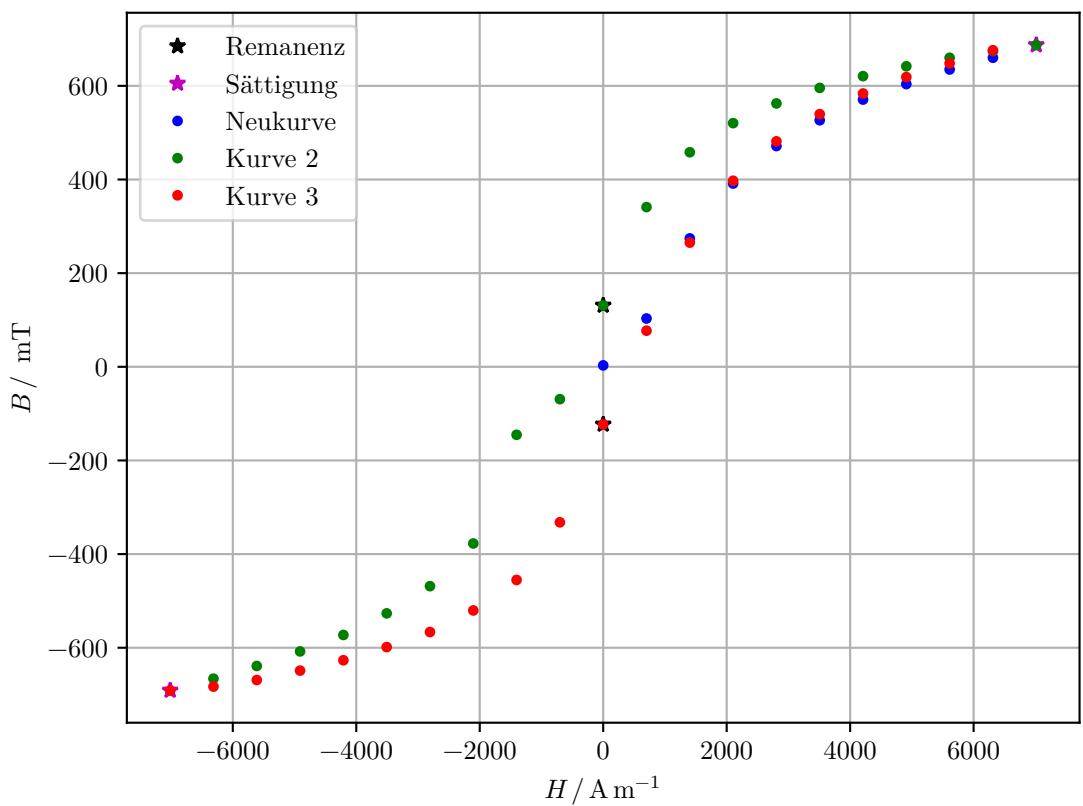


Abbildung 1: Messwerte der Hysteresekurve.

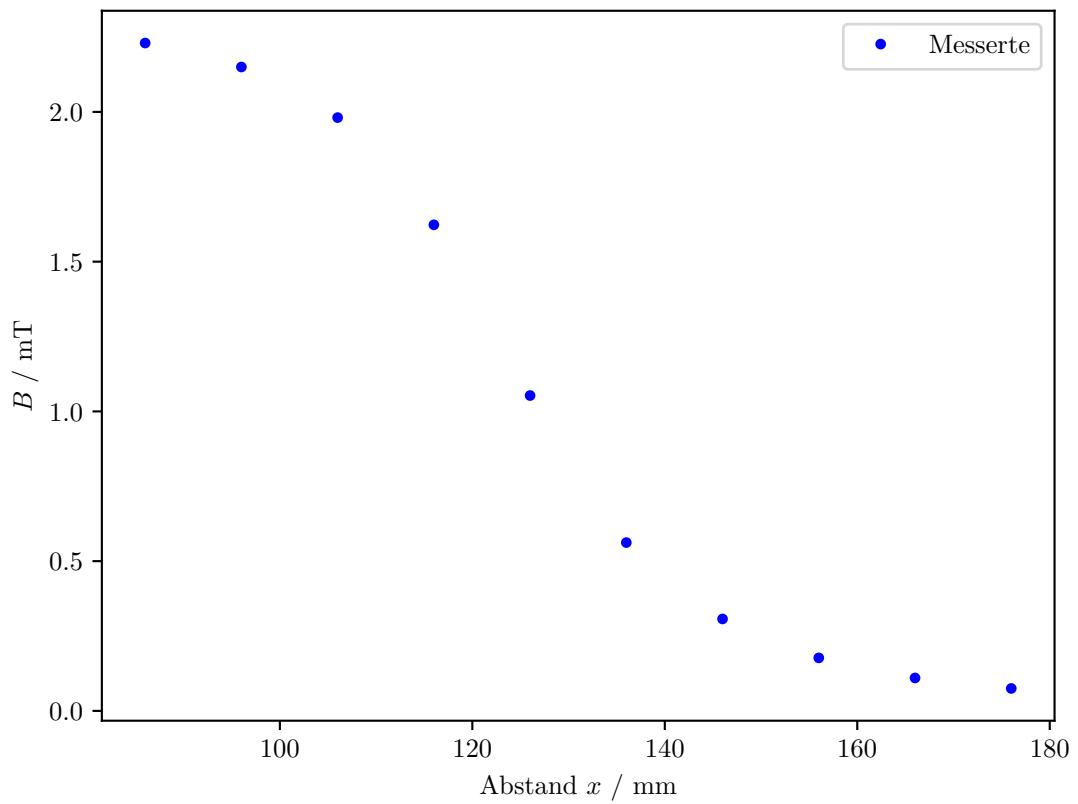


Abbildung 2: Messwerte der langen Spule.

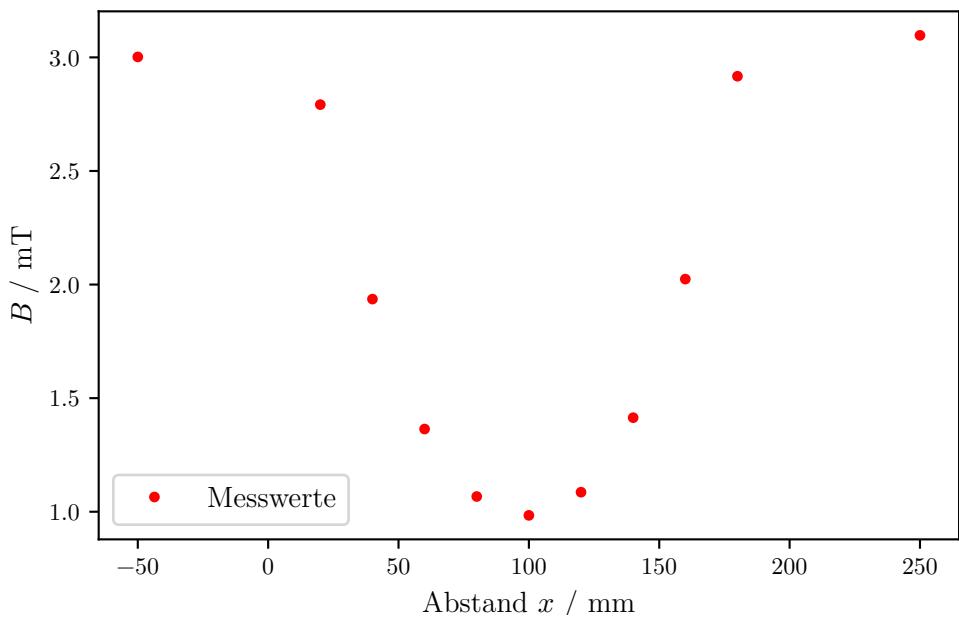


Abbildung 3: Messwerte des ersten Spulenpaars.

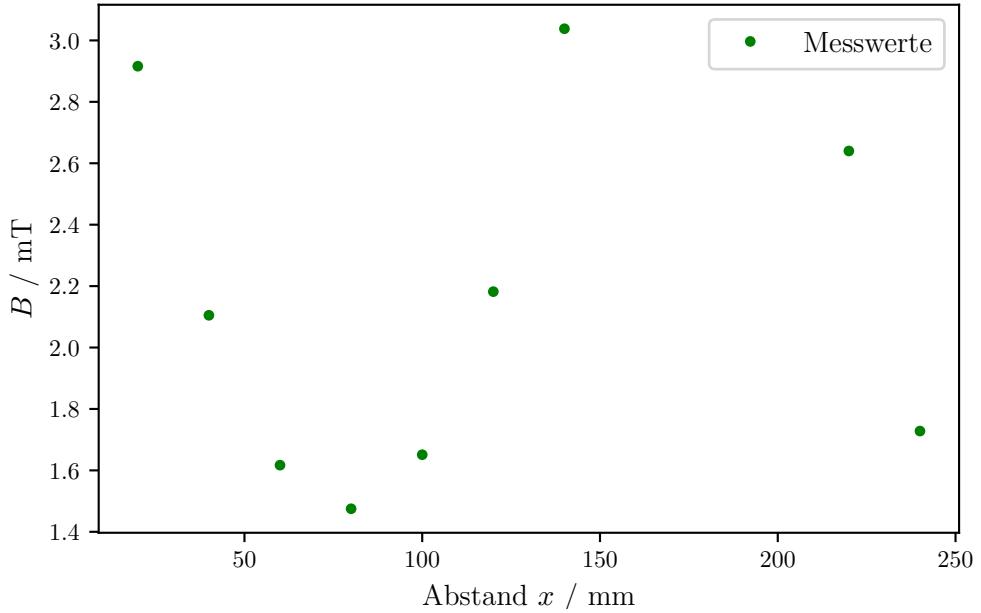


Abbildung 4: Messwerte des zweiten Spulenpaars.

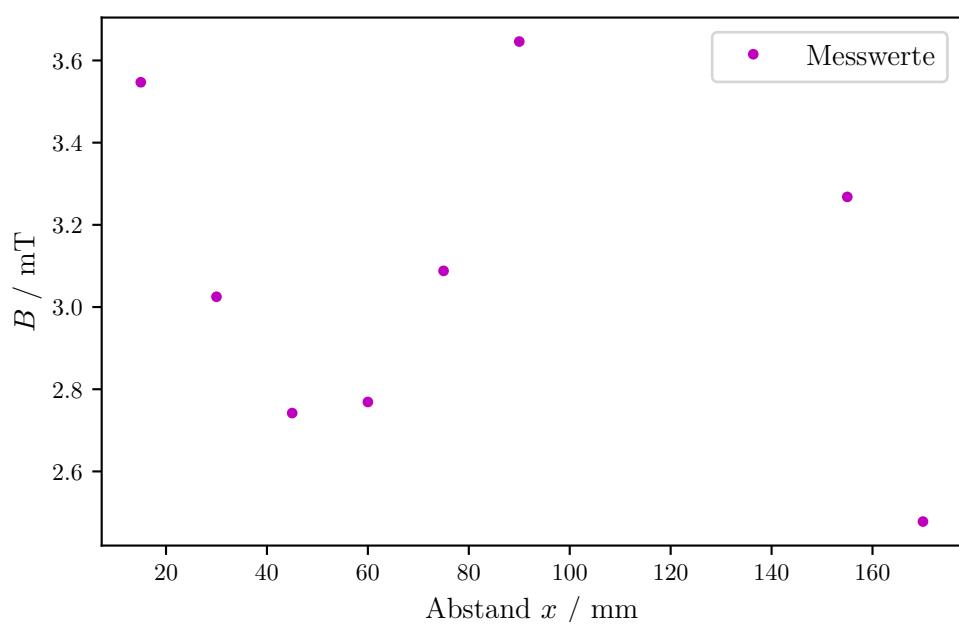


Abbildung 5: Messwerte des dritten Spulenpaars.

Magnetfeld von Spulen) 16. Nov. 2021

Versuch 308 - Teil 1

Hall-Sonde: 67 mm

Magnetische Flussdichte in mT Abstand in mm

2,230

666

2,150

86

1,981

96

1,623

106

1,053

116

0,562

126

0,307

136

0,177

146

0,110

156

0,075

166

- Nullpunkt

2,231

86

2,152

96

1,952

106

1,643

116

1,067

126

0,571

136

0,307

146

0,172

156

0,108

166

0,074

176

- Nullpunkte

→ Spule mit 300 Windungen, gemessen bei 1 A

Magnetfeld eines Spulenpaars!

Helmholz-Spulenpaar mit Radius $R = 125 \text{ mm}$; 4,5 A

Magnetische Flussdichte in mT Spulerabstand in mm ohne Breite b/mm

237

200

Spulenabstand 257 mm

Bin mT	x in mm
3,097	250
2,917	180
2,054	160
1,414	140
1,086	120
0,884	100
1,067	80
1,364	60
1,836	40
2,752	20
3,002	-50

1. Messwerte
→ außerhalb

- Nullpunkt / Mittelpunkt

Bin mT	x in mm
3,100	250
2,937	180
2,034	160
1,420	140
1,086	120
0,884	100
1,066	80
1,371	60
1,823	40
2,784	20
3,086	-50

→ außerhalb
2. Messwerte
→ außerhalb

→ außerhalb

→ außerhalb

→ außerhalb

Spulenabstand 198 mm (80 mm Nullpunkt)

Bin mT	x in mm
1,728	240
2,640	220
3,038	140
2,182	120
1,651	100
1,475	80
1,617	60
2,105	40
2,816	20

} außerhalb

- Mittelpunkt

Spulenabstand 143 mm (545 mm Mittelpunkt)

Bin mT	x in mm
2,478	170
3,268 ₁₂	155
3,646	90
3,088	75
2,769	60
2,742	45
3,025	30
3,567	15

} außerhalb

⇒ x in mm bezeichnet den Abstand -

Hysteresekurve

B in mT

Strom in A

3
104
276
384
475
531
576
610
642
668
696

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

686
682
667
648
626
600
566
523
460
342
101

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

-70
-247
-380
-472
-531
-578
-614
-646
-674
-700

-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10

-691
-676
-655
-632
-603
-570
-523
-457
-333
-123

-9
-8
-7
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0

13

B in mT Strom in A

78
267
400
485
544
588

1
2
3
4
5
6

684
715

9
10

Ph.

5 Diskussion