

Hysteresekurve und magnetische Suszeptibilität

Anfängerpraktikum SS 2013

Martin Link und Rebekka Garreis

10.06.2013 Universität Konstanz

bei Phillip Knappe

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Hysteresekurve	3
2.1	Versuchsaufbau	3
2.2	Versuchsdurchführung	3
2.3	Auswertung	3
3	Magnetische Suzeptibilität	6
3.1	Versuchsaufbau	6
3.2	Versuchsdurchführung	6
3.3	Auswertung	7
4	Anhang	10

1 Einführung

2 Hysteresekurve

2.1 Versuchsaufbau

Der Versuch besteht aus einer Schaltung, die nach dem Schaltplan in Abbildung 1 aufgebaut ist. Spule zwei besteht dabei aus einem Draht, der mit sechs Windungen um einen Eisenkern gewickelt ist. Spule eins hat eine Windungszahl von $n = 30$. Die beiden Spulen bilden einen Transformator mit Eisenkern und einem abnehmbaren Verbindungsstück. Zusätzlich ist in die Schaltung ein Hochlastwiderstand mit $R_0.01\Omega$ eingebaut, dieser ist an den x-Eingang des Oszilloskopes angeschlossen. Die an den Y-Eingang des Oszilloskops angeschlossene Integratorschaltung besteht neben Spule zwei noch aus einem Kondensator $C = 1\mu F$ und einem Widerstand $R_2 = 510k\Omega$. Die Stromstärke kann über einen Regeltrafo verändert werden.

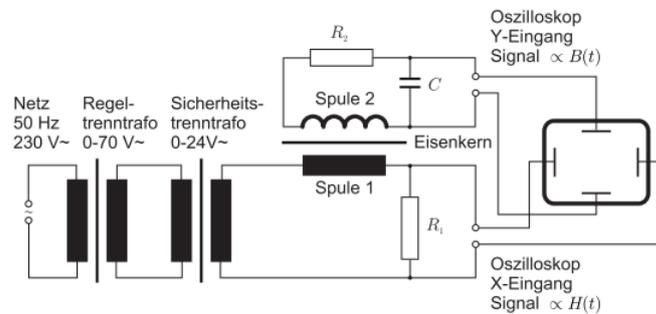


Abbildung 1: Versuchsaufbau [1]

2.2 Versuchsdurchführung

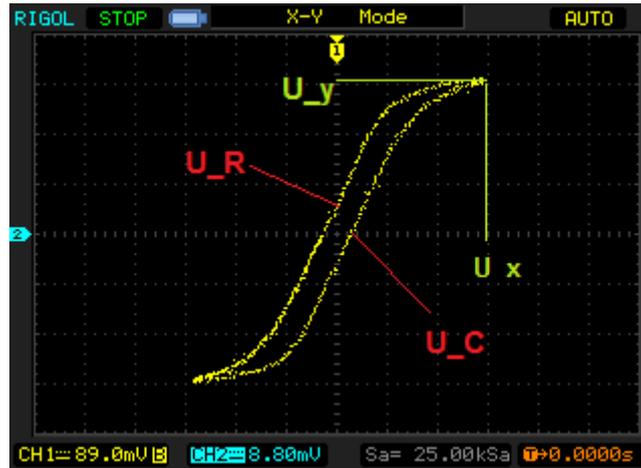
Zunächst werden acht Hysteresekurven für verschiedene Spannungen an Spule 1 aufgezeichnet. Abschließend werden zwischen den Eisenkern und das Eisenjoch bis zu drei Papieren gelegt und jeweils die dazugehörige Hysteresekurve für drei verschiedene Spannungen aufgezeichnet. Zum Schluss soll noch die Neukurve ermittelt werden, wozu zunächst nur der Eisenkern vermessen wird.

2.3 Auswertung

Für den mittleren Umfang des Eisenkerns ergibt sich $l = 0.48 \pm 0.002m$ und für die Querschnittsfläche des Eisenjochs $A = 0.0016 \pm 0.000008m^2$. Die Messunsicherheit ergibt sich dabei aus der Messunsicherheit der Anfangswerte, die mit $\pm 0.005m$ abgeschätzt wurde.

In Abbildung 2 zeigt welche Messwerte im folgenden mit U_x , U_y , U_R und U_C bezeichnet werden. Die Werte wurden allerdings nicht aus den Schaubildern sondern aus den csv-Tabellen, die ebenfalls abgespeichert wurden, herausgelesen. Dafür ergibt sich folgende Tabelle:

Bei den Kurven der restlichen Messungen wurde keine ausreichende Sättigung erreicht. Die Fehler wurden geschätzt.

Abbildung 2: Bezeichnung von U_x , U_y , U_R und U_C

Messung	U_x in V	U_y in V	U_R in mV	U_C in mV
1	0.25 ± 0.005	0.28 ± 0.005	4.58 ± 0.00	2.85 ± 0.05
2	0.456 ± 0.0002	0.0304 ± 0.0002	6.4 ± 0.2	25.9 ± 0.00
3	0.132 ± 0.00	0.0219 ± 0.0006	4.28 ± 0.00	19.2 ± 0.00
8	0.0216 ± 0.002	0.127 ± 0.005	4.3 ± 0.7	17.1 ± 0.6
10	0.224 ± 0.002	0.0248 ± 0.0004	2 ± 1	16.2 ± 0.2
11	0.290 ± 0.0007	0.0279 ± 0.0002	2.8 ± 0.3	24 ± 6
14	0.353 ± 0.003	0.0272 ± 0.0002	2.5 ± 0.6	21.9 ± 1.5
17	0.379 ± 0.003	0.0269 ± 0.0003	2.1 ± 0.4	2.0 ± 0.2

Tabelle 1: Abgelesene Werte für U_x , U_y , U_R und U_C

Mit den Formeln [1]

$$H = U_x \cdot \frac{n_1}{R_1 \cdot l} \quad (1)$$

$$B = U_y \cdot \frac{R_2 \cdot C}{n_2 \cdot A} \quad (2)$$

ergeben sich die Werte für die magnetische Feldstärke und die magnetische Flussdichte. Da n_1 , n_2 , R_1 , R_2 und C als Fehlerlos angenommen werden gilt für die jeweiligen Fehler:

$$\delta H = \frac{n_1}{R_1 \cdot l} \delta U_x + \frac{U_x \cdot n_1}{R_1 \cdot l^2} \delta l \quad (3)$$

$$\delta B = \frac{R_2 \cdot C}{n_2 \cdot A} \delta U_y + \frac{U_y \cdot R_2 \cdot C}{n_2 \cdot A^2} \delta A \quad (4)$$

Dadurch ergeben sich folgende Werte für H , B_s , B_R und H_C :

Messung	H in $\frac{A}{m}$	B_s in V	B_R in V	H_C in $\frac{A}{m}$
1	1562.5 ± 34.4	0.15 ± 0.34	0.2433 ± 0.0012	17.81 ± 0.07
2	2850.0 ± 18.2	1.615 ± 0.019	0.340 ± 0.012	161.9 ± 0.3
3	825.0 ± 1.7	1.16 ± 0.04	0.2274 ± 0.0011	120.0 ± 0.2
8	135.0 ± 12.8	6.747 ± 0.06	0.23 ± 0.04	106.9 ± 4.0
10	1400.0 ± 15.3	1.32 ± 0.03	0.11 ± 0.05	101.3 ± 1.5
11	1812.5 ± 47.4	1.482 ± 0.018	0.149 ± 0.017	150.0 ± 37.8
14	2206.3 ± 23.2	1.445 ± 0.018	0.13 ± 0.03	136.9 ± 9.6
17	2368.8 ± 23.5	1.43 ± 0.02	0.11 ± 0.02	125.0 ± 12.8

Tabelle 2: Berechnete Werte für H , B_s , B_R und H_C

Aus den U_x - und U_y -Werten, welche genau den Umkehrpunkten entsprechen, kann die Neukurve erstellt werden. Dadurch ergibt sich Abbildung 3.

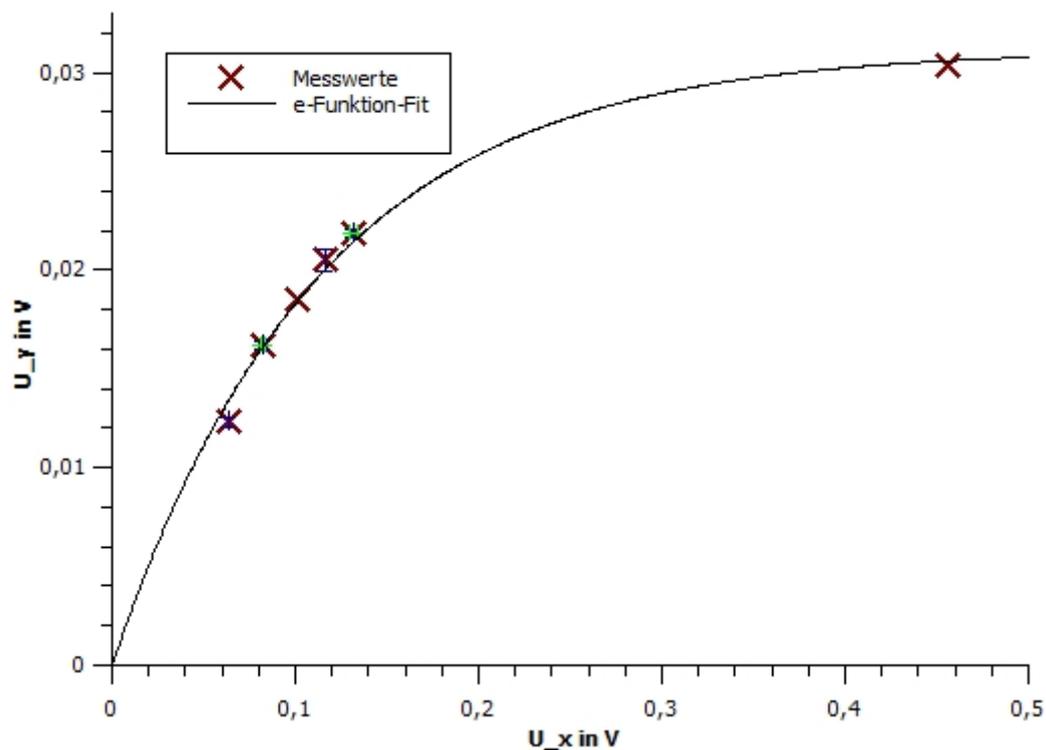


Abbildung 3: Neukurve des Kerns ohne Papier.

Die Daten der ersten und die der achten Messung wurden nicht in das Schaubild der Neukurve aufgenommen, da diese weit außerhalb des Fehlers lagen. Dieser Fehler fällt auch schon bei den Werten für die magnetische Feldstärke und für die Sättigungsinduktion auf. Hier liegt vermutlich ein Fehler beim Herauslesen der Daten vor.

Weitere Fehlerquellen für alle Messwerte liegen hauptsächlich bei den Schaltbauteilen, die alle ohne Fehler angenommen wurden. So kann ein eventueller Materialfehler im Eisenkern zu erheblichen Störungen der Messung führen. Auch wurde die von uns gewickelte Spule I_2 als ideale Spule angesehen. Während der Versuches ist uns außerdem aufgefallen, dass die Kabel vor allem bei höheren Stromstärken extrem warm geworden sind. Dadurch entsteht ein weiterer Widerstand, welcher aber nicht miteinberechnet wurde. Hierbei würde es sich um einen statistischen Fehler handeln.

Trotz dieser Fehler ist die theoretische Tendenz zu erkennen, dass die Koerzitivfeldstärke, die Remanenz und die Sättigungsinduktion mit wachsendem angelegtem Strom ebenfalls zunehmen. Genauso nehmen diese Werte ab je mehr Papierschichten zwischen den Eisenkern und das Eisenjoch gebracht werden. Auch die Neukurve ist gut erkennbar.

3 Magnetische Suzeptibilität

3.1 Versuchsaufbau

In diesem Versuch verwenden wir die sogenannte Gouysche Waage. Das Magnetfeld wird von zwei Elektromagneten mit verschiebbaren Polschuhen erzeugt. In der Lücke zwischen den zwei Polschuhen ist eine Hallsonde angebracht. Mit dieser kann die Magnetfeldstärke bestimmt werden. Die Sonde ist außerdem mit einer Abstandskala verbunden, sodass man genau bestimmen kann, wo sich die Sonde im Magnetfeld befindet. Oberhalb der Lücke befindet sich ein Kraftsensor, an dem später die Proben befestigt werden. Die Daten beider Geräte können am PC ausgewertet werden. Über ein Programm kann außerdem auch die Stromstärke der Elektromagneten und damit das Magnetfeld verändert werden. Zum endmagnetisieren der Polschuhe steht zusätzlich ein Frequenzgenerator und ein Oszilloskop zur Verfügung. Das Nachfolgende Bild zeigt ebenfalls des Versuchsaufbau.

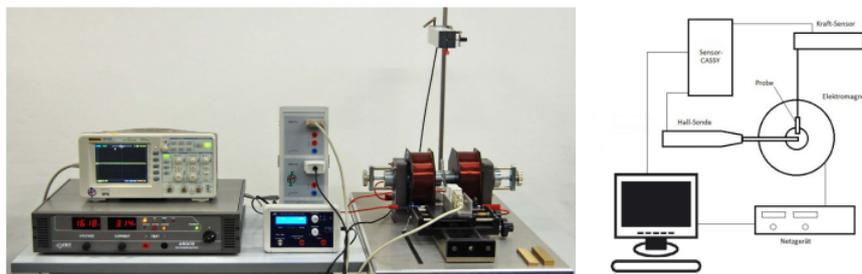


Abbildung 4: Versuchsaufbau magnetische Suseptibilität. [2]

3.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch besteht aus drei wesentlichen Teilen. Zunächst werden die Polschuhe endmagnetisiert, indem die Amplitude am Frequenzgenerator, der mit Wechselspannung bei ca. 3Hz betrieben wird, langsam runtergeregelt wird. Anschließend wird die magnetische Flussdichte in Abhängigkeit zur Stromstärke vermessen.

Im zweiten Versuchsteil wird die Hallsonde in 0.5cm-Abständen aus dem homogenen Magnetfeld der Spulen herausbewegt und dabei jeweils das örtliche Magnetfeld aufgezeichnet.

Im letzten Versuchsteil werden verschiedene Materialproben in das Magnetfeld gehängt und die Kraft

in abhängigkeit zum Magnetfeld, bzw. zur angelegten Stromstärke notiert. Daraus lässt sich die magnetische Suszeptibilität bestimmen.

3.3 Auswertung

Teil 1

Im Gesamten Versuch verwenden wir einen Polschuhabstand von 1cm . Da ein geeichter Abstandshalter verwendet wurde nehmen wir diesen als Fehlerlos an.

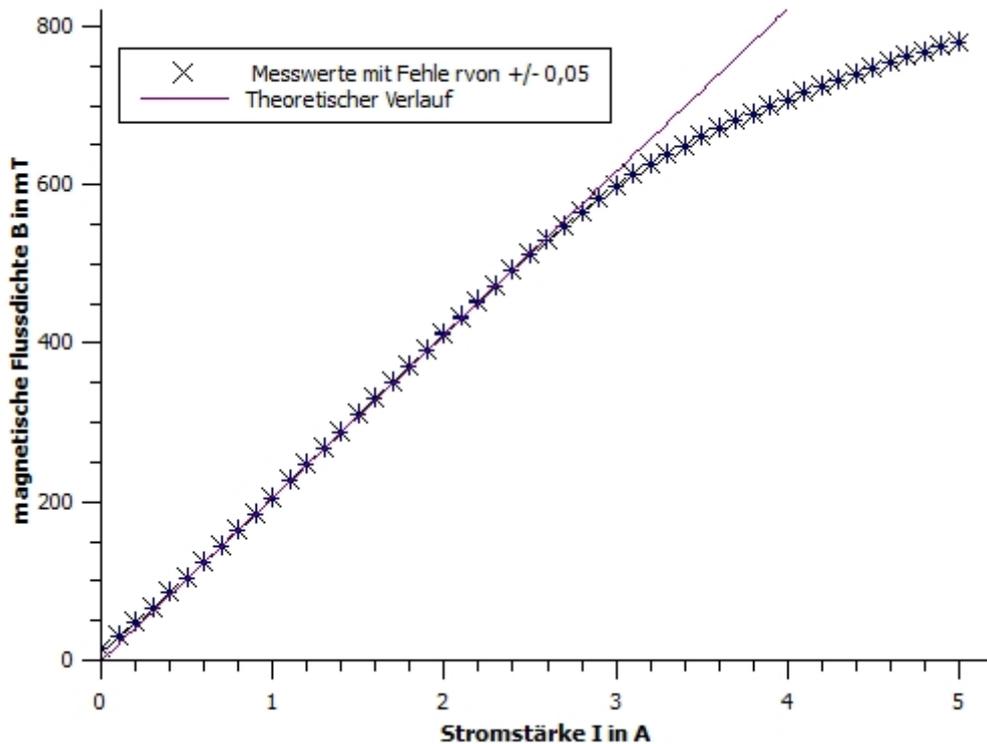


Abbildung 5: Magnetische Flussdichte zur jeweiligen angelegten Stromstärke

In Abbildung 5 ist gut zu sehen, dass das Verhältnis zu Beginn nahezu linear ist. Erst ab einer Stromstärke von ca. 2.7 A nimmt die Steigung ab. Dies ist mit der magnetischen Sättigung der Kerne der Elektromagneten zu erklären. Ein weiterer Grund kann auch sein, dass die als Elektromagnet verwendeten Spulen keine langgestreckten Spulen sind.

Teil 2

Zeichnet man die Magnetische Flussdichte zum Abstand zum Mittelpunkt auf, so erhält man Abbildung 6.

Es ist zu erkennen, dass die magnetische Flussdichte zu Beginn noch konstant bleibt und dann proportional zu $\frac{1}{r}$ abfällt. Das Magnetfeld zwischen den Polschuhen ist also homogen. Den Grenzwert, ab dem das Magnetfeld vernachlässigbar ist, haben wir bei $d = 4.5\text{ cm}$ gesetzt. Hier beträgt die magnetische Flussdichte nur noch etwa $\frac{1}{15}$ des homogenen Feldes.

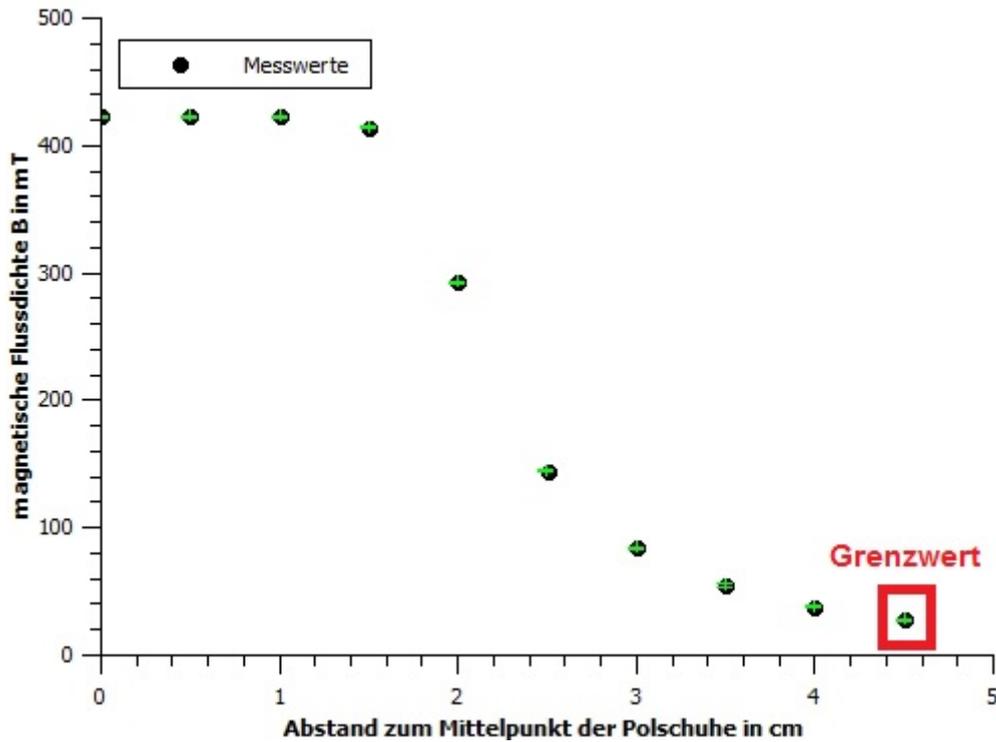


Abbildung 6: Magnetische Flussdichte zum jeweiligen Abstand bei konstanter Stromstärke

Teil 3

In Versuchsteil 1 wurde neben dem Magnetfeld auch die wirkende Kraft, die eigentlich konstant bei Null bleiben sollte aufgezeichnet. Betrachtet man hier die Differenz des größten und des kleinsten Wertes, so kann man den Fehler der gemessenen Kraft auf ca. ± 0.11 schätzen.

Für die Kraft in Abhängigkeit zum Magnetfeld ergibt sich für die jeweiligen Proben also folgendes Schaubild:

Mit Hilfe der Gleichung 4.13.14 aus [2] kann die magnetische Suszeptibilität berechnet werden. Der Fit in abbildung 7 hat die Form $F = c \cdot B^2$ und liefert dadurch die Konstante c . Ferner gilt die Beziehung $\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$. Dadurch ergibt sich

$$F = \frac{\chi \mu_0 A}{2} H^2 = \frac{\chi A}{2 \mu_0} B^2 \quad (5)$$

Daher folgt

$$c = \frac{\chi A}{2 \mu_0} \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow \chi = \frac{2c\mu_0}{A} \quad (7)$$

mit dem Fehler:

$$d\chi = \frac{2\mu_0}{A} \cdot dc - \frac{2c\mu_0}{A^2} dA \quad (8)$$

Es ergibt sich also Folgende Tabelle:

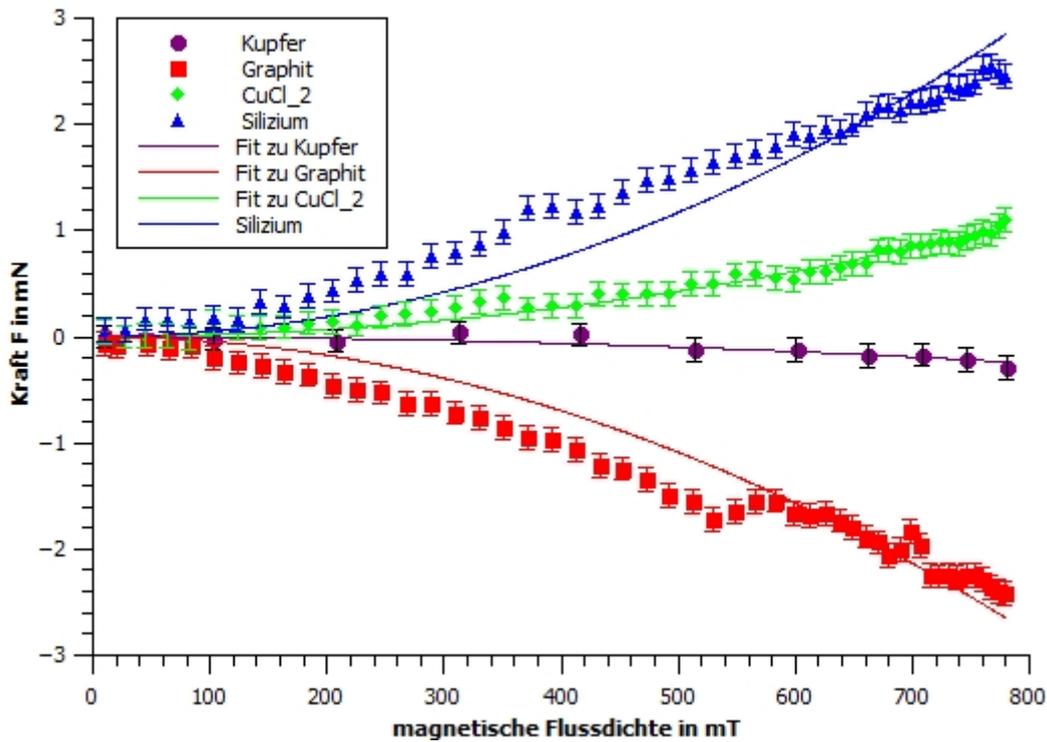


Abbildung 7: Kraft auf verschiedene Materialproben in Abhängigkeit zur magnetischen Flussdichte.

	$c \cdot 10^{-6}$	A in cm^2	χ	$d\chi \cdot 10^{-11}$	Literaturwert
Kupfer	-3.90 ± 0.04	16.05 ± 0.04	$-6.12 \cdot 10^{-3}$	7.8	$-6.4 \cdot 10^{-6}$
Graphit	-4.35 ± 0.10	6.90 ± 0.03	$-1.38 \cdot 10^{-2}$	0.4	$-4.5 \cdot 10^{-4}$
$CuCl_2$	1.71 ± 0.02	1.84 ± 0.02	$2.34 \cdot 10^{-2}$	1.9	$2.66 \cdot 10^{-4}$
Silizium	4.68 ± 0.11	1.84 ± 0.02	$6.39 \cdot 10^{-2}$	8.1	-

Tabelle 3: Ermittelte magnetische Suszeptibilität und Literaturwerte

Fehlerdiskussion

Es fällt sofort auf, dass die gemessenen Werte nicht mit den Literaturwerten übereinstimmen. Auch sind die berechneten Fehler für die magnetische Suszeptibilität zu klein, als dass man sie irgendwie diskutieren könnte.

Allerdings lassen sich einige Kandidaten für Fehlerquellen finden. Schon in Abbildung 7 ist zu sehen, dass die gefitteten Kurven vor allem beim Silizium und beim Graphit nicht sehr mit den Messwerten übereinstimmt. Weiter sind beim Graphit Sprünge zu erkennen, da die Probe während der Messung aus dem homogenen Magnetfeld hinausgedrückt wurde. Diese Bewegung aus dem Magnetfeld hinaus wurde aber bei der Auswertung vernachlässigt.

Weiter wurde vernachlässigt, dass die Proben die Polschuhe teilweise berührten.

Es stellte sich außerdem als relativ schwer dar, die Querschnittsfläche der Küvetten, bzw des darin befindlichen Materials zu bestimmen. Dabei wurde zum einen das Leergewicht von $1g$ und die Ausdehnung des Randes vernachlässigt. Dies führt zu einem statistischen Fehler. Weiter wurde nicht miteinberechnet, dass das in den Küvetten befindliche Material körnig ist und somit Luft, welche nicht

zur Suszeptibilität beiträgt, dazwischen enthält. Dies wäre über die Dichten möglich gewesen.

Insgesamt lässt sich also sagen, dass die magnetische Suszeptibilität in diesem Versuch nicht ausreichen bestimmt werden konnte. Dennoch war es interessant das Messverfahren kennen zu lernen.

4 Anhang

Literatur

- [1] Runge, Bernd-Uwe: *Physikalisches Anfängerpraktikum der Universität Konstanz, Hysteresekurve* <https://ap.physik.uni-konstanz.de/AP-public/Anleitungen/Hysteresekurve.pdf> (entnommen am 20.04.2013)
- [2] Runge, Bernd-Uwe: *Physikalisches Anfängerpraktikum der Universität Konstanz, magnetische Suszeptibilität* <https://ap.physik.uni-konstanz.de/AP-public/Anleitungen/Suszeptibilitaet.pdf> (entnommen am 20.04.2013)
- [3] Wolfgang Demtröder: *Experimentalphysik 2* Auflage 5 2009

1

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau [1]	3
2	Bezeichnung von U_x, U_y, U_R und U_C	4
3	Neukurve des Kerns ohne Papier.	5
4	Versuchsaufbau magnetische Suseptibilität. [2]	6
5	Magnetische Flussdichte zur jeweiligen angelegten Stromstärke	7
6	Magnetische Flussdichte zum jeweiligen Abstand bei konstanter Stromstärke	8
7	Kraft auf verschiedene Matrialproben in Abhängigkeit zur magnetischen Flussdichte.	9

Tabellenverzeichnis

1	Abgelesene Werte für U_x, U_y, U_R und U_C	4
2	Berechnete Werte für H, B_s, B_R und H_C	5
3	Ermittelte magnetische Suszeptibilität und Literaturwerte	9