

VERSUCHSBERICHT ZU

O4 - MAGNETO-OPTISCHER
KERR-EFFEKT

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a_neuw01@wwu.de)
Leonhard Segger (E-Mail: l_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 25.06.2018
betreut von
Marcel Holtmann

1. Juli 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	3
2	Methoden	3
3	Ergebnisse und Diskussion	4
3.1	Beobachtung und Datenanalyse	4
3.1.1	Unsicherheiten	4
3.1.2	Bestimmung des Magnetfelds	5
3.1.3	Messung der Hysterese	6
3.2	Diskussion	8
4	Schlussfolgerung	8

1 Kurzfassung

2 Methoden

In Abb. 1 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Dabei befindet sich eine Probe aus einem Cobalt/Platin-Schichtsystem in einem Magnetfeld, das von zwei Spulen zwischen zwei Polschuhen aufgebaut wird. Zunächst wird das Magnetfeld am Ort der Probe in Abhängigkeit vom durch die Spulen fließenden Strom gemessen, indem anstelle der Probe eine Hallsonde zwischen die Polschuhe gebracht wird. Diese wird in einem Winkel von ca. 45° zur Strecke, die die Polschuhe verbindet, positioniert, da eine Messung in Magnetfeldrichtung aufgrund der Polschuhe nicht möglich ist. Dazu wird der Strom von 0 A bis 1 A in 0,05 A Schritten erhöht. Dies wird dann bei umgekehrter Flussrichtung wiederholt.

Dann wird die Probe zwischen die Polschuhe gebracht und ein Laser durch einen Polarisationsfilter als Polarisator auf die Probe gerichtet. Ein weiterer Polarisationsfilter wird als Analysator mit einem Polarisationswinkel von 45° zum Polarisator in den reflektierten Strahl gebracht, weil gemäß dem Gesetz von Malus die Intensität proportional zum quadrierten Kosinus des Differenz der Polarisationswinkel ist und die Ableitung des quadrierten Kosinus bei einem Winkel von 45° maximal ist. Dies führt zu maximaler Messgenauigkeit. Ein Lichtsensor wird so aufgestellt, dass der Strahl in ihm endet.

Die vom Lichtsensor gemessene Intensität wird in Abhängigkeit vom Spulenstrom aufgenommen. Dabei ist der Raum durch einen Vorhang abgedunkelt und der Strom wird wie zuvor in beiden Flussrichtungen schrittweise erhöht.

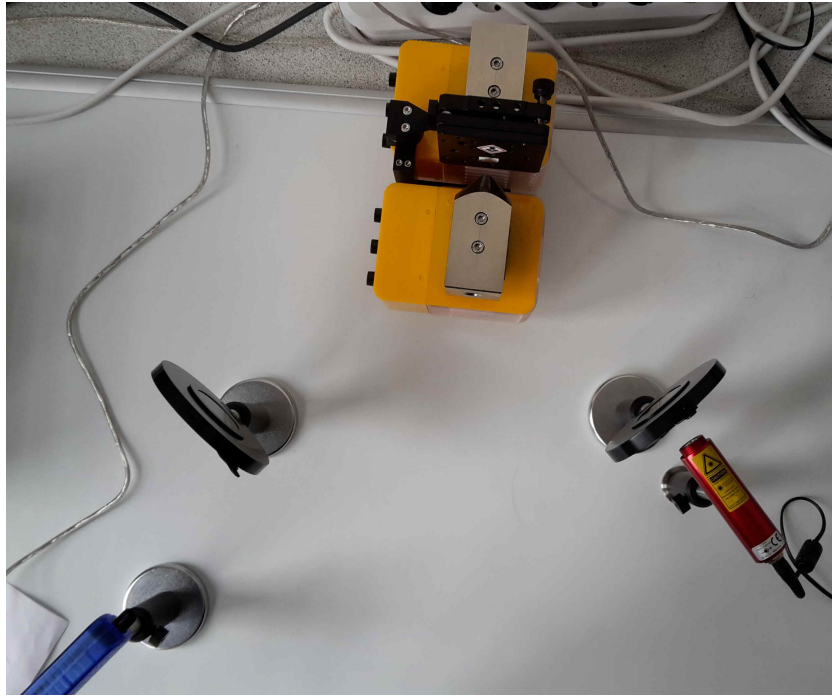


Abbildung 1: Elemente des Aufbaus des Experiments. Ein linear polarisierter Laserstrahl trifft auf eine Probe aus einem Cobalt/Platin-Schichtsystem, die sich in einem Magnetfeld befindet. Der reflektierte Strahl trifft durch einen Polarisationsfilter in einen Lichtsensor. Aus Übersichtsgründen sind keine Kabel an die Spulen angeschlossen. Die optischen Komponenten sind im Bild nicht justiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beobachtung und Datenanalyse

3.1.1 Unsicherheiten

Die Unsicherheiten werden gemäß GUM ermittelt. Außerdem wird für Unsicherheitsrechnungen die Python-Bibliothek „uncertainties“ verwendet.

Amperemeter/Multimeter: Der Messwert des Betriebsstroms der Spulen wird von einem Multimeter abgelesen. Dieses zeigt die Stromstärke auf zwei Nachkommastellen genau an. Es ergibt sich also eine Unsicherheit von 3 mA (rechteckige WDF). Dabei wird angenommen, dass der eigentliche Messfehler des Gerätes dem Displayfehler gegenüber verschwindet.

Hall-Sonde: Die Stärke des Magnetfelds wird mit einer Hall-Sonde gemessen. Die Messwerte schwanken in der fünften Nachkommastelle, sodass eine Unsicherheit von $30 \mu\text{T}$ angenommen wird.

Photodiode: Die relative Intensität des Lichts wird mit einer Photodiode gemessen. Die Unsicherheit bei dieser Messung wird mit 0,1 abgeschätzt.

3.1.2 Bestimmung des Magnetfelds

Die Stärke des Magnetfelds an der Position der Probe wird mit der Hall-Sonde in einem Winkel θ gemessen. Für ein $\theta = 90^\circ$ wurde $\vec{B}_{\text{Mess}} = 0,1 \text{ mT}$ gemessen. In Abb. 2 sind die Winkelverhältnisse dargestellt. \vec{B} ist das Magnetfeld senkrecht zur Probenoberfläche. \vec{B}_{Hall} zeigt die Messrichtung der Hall-Sonde an. Der Messwert $|\vec{B}_{\text{Mess}}|$ ist die Projektion von \vec{B} auf \vec{B}_{Hall} :

$$|\vec{B}_{\text{Mess}}| = \vec{B} \cdot \frac{\vec{B}_{\text{Hall}}}{|\vec{B}_{\text{Hall}}|} = |\vec{B}| \cdot \cos(\theta) \quad (1)$$

Mit $\theta = (45 \pm 2)^\circ$ folgt also $B = (\sqrt{2} \pm 0,05) \cdot B_{\text{Mess}}$.

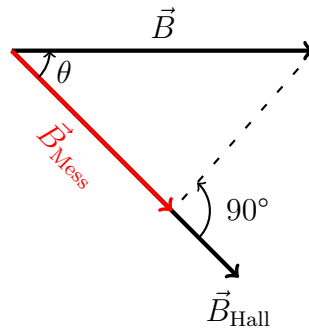


Abbildung 2: Skizze zur Veranschaulichung der Messung des Magnetfelds in Abhängigkeit vom Stromfluss durch die Spulen.

Die Messergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Da ein linearer Zusammenhang erwartet wird, wird ein linearer Fit berechnet. Der y-Achsenabschnitt b ist vernachlässigbar klein, sodass sich als Proportionalitätsfaktor zwischen Stromstärke und B-Feld von $a = (-0,0532 \pm 0,0001) \text{ T/A}$ ergibt.

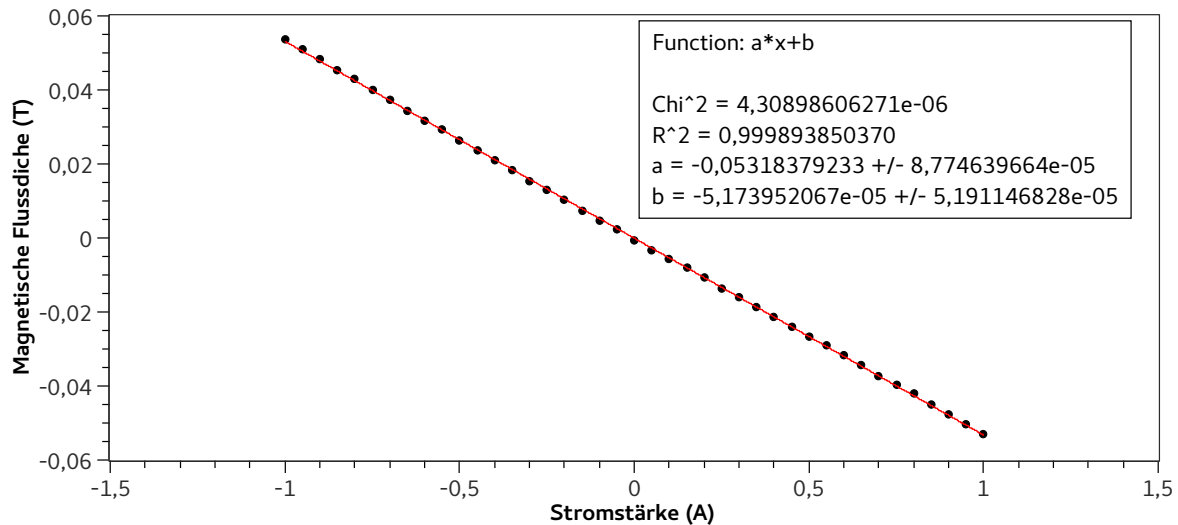


Abbildung 3: Die gemessene senkrechte magnetische Flussdichte ist gegen den Betriebsstrom der Spulen aufgetragen. Die Unsicherheiten sind kleiner als die Symbolgröße.

3.1.3 Messung der Hysterese

Aus der Einführung ist bekannt, dass die Lichtintensität proportional zur Magnetisierung ist. Die Stärke des magnetischen Felds ergibt sich aus dem in ?? bestimmten Proportionalitätsfaktor und aus dem Strom, der durch die Spulen fließt.

Die erste durchgeführte Messung ergab keinen stetigen Verlauf der Magnetisierung. Die relative Intensität ist zwischen verschiedenen Werten ohne erkennbaren Bezug zum angelegten Magnetfeld gesprungen. Es zeigt sich, dass die Messwerte besser sind, wenn der Raum verdunkelt ist. Des Weiteren wird beobachtet, dass die Messwerte der Photodiode um ca. $\pm 0,2$ schwanken, wenn man an den Tisch stößt.

Die so gemessene Hystereseschleife ist in Abb. 4 und Abb. 5 dargestellt. Vor der Messung in Abb. 4 wird ein negatives Magnetfeld angelegt und dann die Veränderung der Magnetisierung bei steigendem Magnetfeld aufgezeichnet. Es zeigt sich ein scheinbarer Anstieg der Magnetisierung in einem Bereich von $(-0,02 \pm 0,02)$ T. Dieser fällt allerdings wieder auf den bereits bei $-0,055$ T gemessenen Wert zurück. Bei $(0,030 \pm 0,001)$ T ist ein deutlicher Sprung in der Magnetisierung zu erkennen und bei noch stärkeren Magnetfeldern scheint sich die Magnetisierung nicht mehr zu ändern.

Direkt im Anschluss wird die Messung für ein abnehmendes Magnetfeld durchgeführt und in Abb. 5 dargestellt. Nach einem langsam linearen Abnehmen der Magnetisierung zeigt sich ein deutlich steileres Abfallen bei $(0,026 \pm 0,020)$ T.

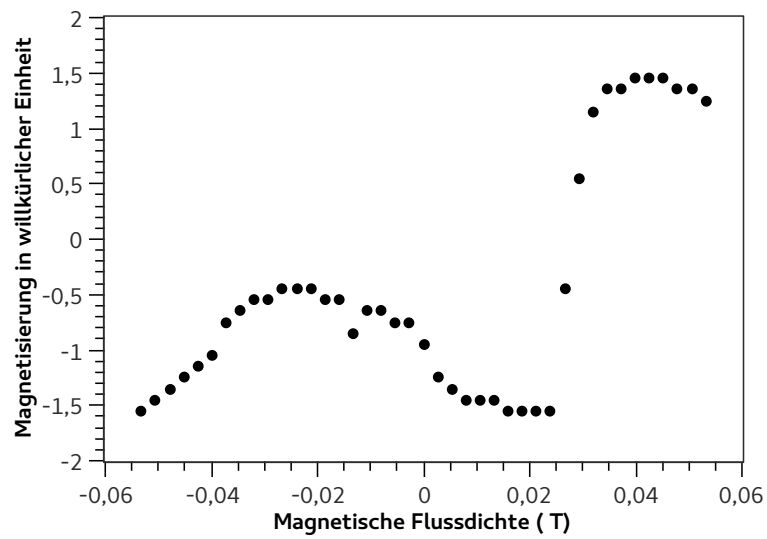


Abbildung 4: Die Magnetisierung, die durch die Messung der Polarisationsänderung des einfallenden linear polarisierten Lichts gemessen wird, ist gegen die magnetische Flussdichte aufgetragen. Zunächst wurde ein negatives Magnetfeld angelegt. Dieses wurde bis auf Null abgeschwächt und dann ein positives Magnetfeld gesteigert. Die Unsicherheiten sind kleiner als die Symbolgröße.

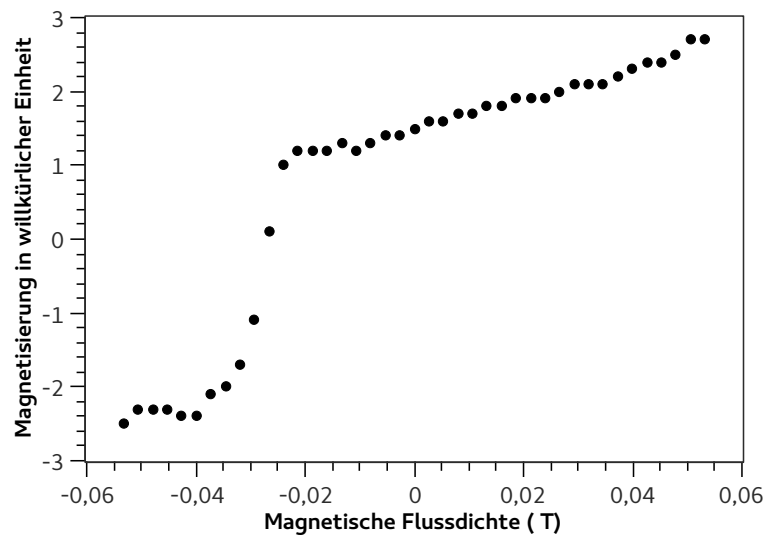


Abbildung 5: Die Magnetisierung, die durch die Messung der Polarisationsänderung des einfallenden linear polarisierten Lichts gemessen wird, ist gegen die magnetische Flussdichte aufgetragen. Zunächst ist ein positives Magnetfeld angelegt, dieses wird bis auf Null abgeschwächt und dann in die umgekehrte Richtung erhöht. Die Unsicherheiten sind kleiner als die Symbole.

3.2 Diskussion

4 Schlussfolgerung