

UNIVERSITÄT STUTTGART

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM
SOMMERSEMESTER 2019

Magnetooptischer Kerr-Effekt

Gruppe: M20

Alexander Sattler

Michael Marquardt

Versuchsdatum: Montag 8. Juli 2019

Betreuer: Dr. Bruno Gompf

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	3
1.1 Magnetooptischer Kerr-Effekt	3
1.2 Optische Speichermedien	3
2 Versuchsaufbau und Durchführung	5
2.1 Kalibrierung der Magnetfeldmessung	5
2.2 Temperaturabhängigkeit der Hysteresekurve	5
3 Auswertung	7
3.1 Kalibrierkurve	7
3.2 Temperaturabhängigkeit der Hysteresekurven	7
4 Zusammenfassung	13

1 Grundlagen

1.1 Magnetooptischer Kerr-Effekt

Der magneto-optische Kerr-Effekt (MOKE) beschreibt den Einfluss magnetischer Momente bei der Reflexion von Licht. Er manifestiert sich in einer Drehung/Änderung der Polarisation und Intensität des reflektierten Lichts. Man unterscheidet prinzipiell zwischen drei Arten des MOKE, polarer, longitudinaler und transversaler MOKE. Diese sind in Abbildung 1 gezeigt.

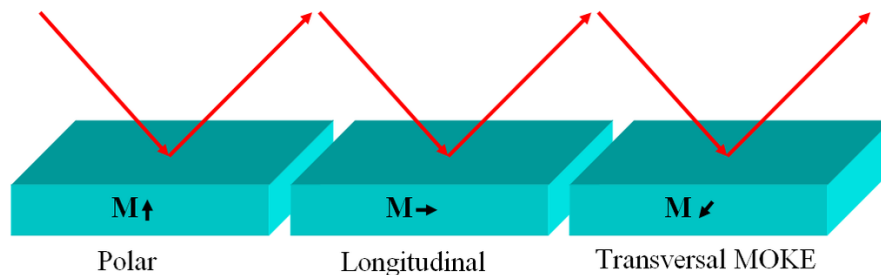


Abb. 1: Die drei MOKE Arten: polar, longitudinal und transversal. Der Pfeil beschreibt die Richtung der magnetischen Polarisierung M des Materials. Der blaue Pfeil zeigt Einfall und Reflexion des Lichts.

Bild von: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/MOKE.PNG/1024px-MOKE.PNG>

Für die Anwendung bei optischen Speichermedien ist der polare MOKE (PMOKE) interessant. Bei diesem ist die Magnetisierung senkrecht zur Oberfläche. Bei diesem Effekt wird linear polarisiertes in elliptisch polarisiertes Licht umgewandelt und die Hauptachse wird um einen Winkel θ gedreht. Erzeugt wird diese Drehung durch den sogenannten magnetisch zirkularen Dichroismus des Materials nach der Magnetisierung. Dies bedeutet, dass es für links und rechts zirkular polarisiertes Licht einen anderen Brechungsindex und Absorptionskoeffizienten hat. Die beiden zirkularen Polarisierungen erhalten daher eine andere Phasendifferenz und eine unterschiedliche Amplitude nach der Reflexion. [3]

1.2 Optische Speichermedien

In optischen Speichermedien sind die Informationen auf einem Datenträger gespeichert, von dem sie mit Hilfe eines Lasers ausgelesen werden.

Ein Beispiel ist die CD oder CD-ROM, wo die Information binär in Form von kleinen Buckeln auf einer reflektierenden Oberfläche gespeichert wird. Ein Laser (Wellenlänge $\lambda = 780 \text{ nm}$) rastert die Oberfläche der CD ab. Wie in Abbildung 2 auf der nächsten Seite gezeigt, trifft er dabei eine Fläche, die größer ist, als ein Buckel. Trifft er nur auf Land (das ist der Bereich wo kein Buckel ist) so haben alle reflektierten Strahlen die gleiche Phase. Trifft er aber auf einen Buckel, so legt der Laserstrahl eine kürzere Strecke

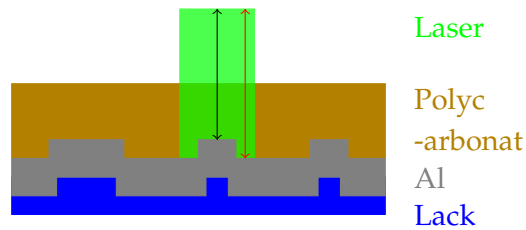


Abb. 2: Schematische Zeichnung einer CD. Die reflektierende Aluminium Oberfläche enthält kleine Buckel (0.38 μm breit). Geschützt wird sie durch eine Lackschicht und eine Polycarbonat-Schicht. Der Laser erfasst ein Gebiet welches größer ist, als der Buckel.

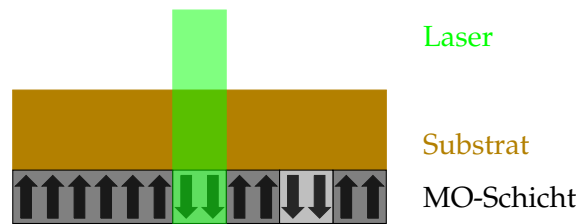


Abb. 3: Magneto Optical device (MO). Die Information ist in der MO-Schicht in Form von Spins gespeichert. Durch den Kerr-Effekt wird die Polarisation des reflektierten Lasers um den Winkel θ gedreht.

zurück. Diese ist so gestaltet, das die Phasendifferenz zwischen schwarzem und rotem Lichtweg $\lambda/2$ beträgt. Durch destruktive Interferenz wird die reflektierte Intensität verringert. [2]

Eine weitere Form von optischen Speichermedien sind Magnetooptische Discs (MO). Bei diesen wird die Information, wie in Abbildung 3 dargestellt, in der lokalen Magnetisierung gespeichert. [1]

2 Versuchsaufbau und Durchführung

2.1 Kalibrierung der Magnetfeldmessung

Die Spule wird mit einer bekannten Spannung betrieben. Um den Zusammenhang dieser Spannung mit der erzeugten Magnetfeldstärke zu bestimmen wird zunächst das Magnetfeld für mehrere Spannung mit einer Hall-Sonde anstelle der Probe in Abbildung 4 auf der nächsten Seite gemessen. Die Spannung kann dabei am Computer durchgefahen, und die Kurve aufgenommen werden.

2.2 Temperaturabhängigkeit der Hysteresekurve

In der eigentlichen Messung wird die Hysteresekurve für verschiedene Temperaturen aufgenommen. Zunächst wird die Hall-Sonde wieder entfernt, da diese nicht für höhere Temperaturen verwendet werden darf. Anschließend wird die MD als Probe eingebracht. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 geschildert. Um die Hysteresekurve aufzunehmen wird die Spannung, die die Spule treibt, kontinuierlich von 0 zum Maximum, dann zum Minimum und wieder zu 0 durchgefahen. Dies wird am Computer erledigt, und auch die resultierende Signalspannung wird am Computer direkt aufgetragen. Die Kalibrierungskurve wird vom Programm verwendet um die Spulen-Spannung direkt in eine Magnetfeldstärke umzurechnen. Aus der Hysteresekurve kann die Koerzitivfeldstärke, also die zur Ummagnetisierung nötige Feldstärke direkt abgelesen werden. Sie entspricht der halben Breite der Hysteresekurve.

Der Kerr-Winkel kann ebenfalls abgelesen werden. Für eine total in eine Richtung Magnetisierte MD ist die Signalstärke maximal oder minimal. Die halbe Differenz zwischen maximaler und minimaler Signalstärke kann also zu einem Kerr-Winkel umgerechnet werden. Hierfür ist es nötig, zu wissen, um wie stark sich die Signalspannung bei einer Drehung der Polarisation um einen bestimmten Winkel ändert. Dies kann ermittelt werden, indem man den Polarisationsfilter mithilfe einer Mikrometerschraube fein verstellt und auf die Änderung des Signals achtet. Es ist entscheidend, danach die Differenz-Verstärkung entweder nicht mehr zu ändern, oder eine Änderung mit dem Signal zu verrechnen.

Die Messung der Hysterese kann nun für verschiedene Temperaturen durchgeführt werden, indem die MD in der Spule aufgeheizt wird. Dies geschieht manuell, indem die Eingangsspannung der Heizung variiert wird. Ein Thermometer zeigt die Aktuelle Temperatur an.

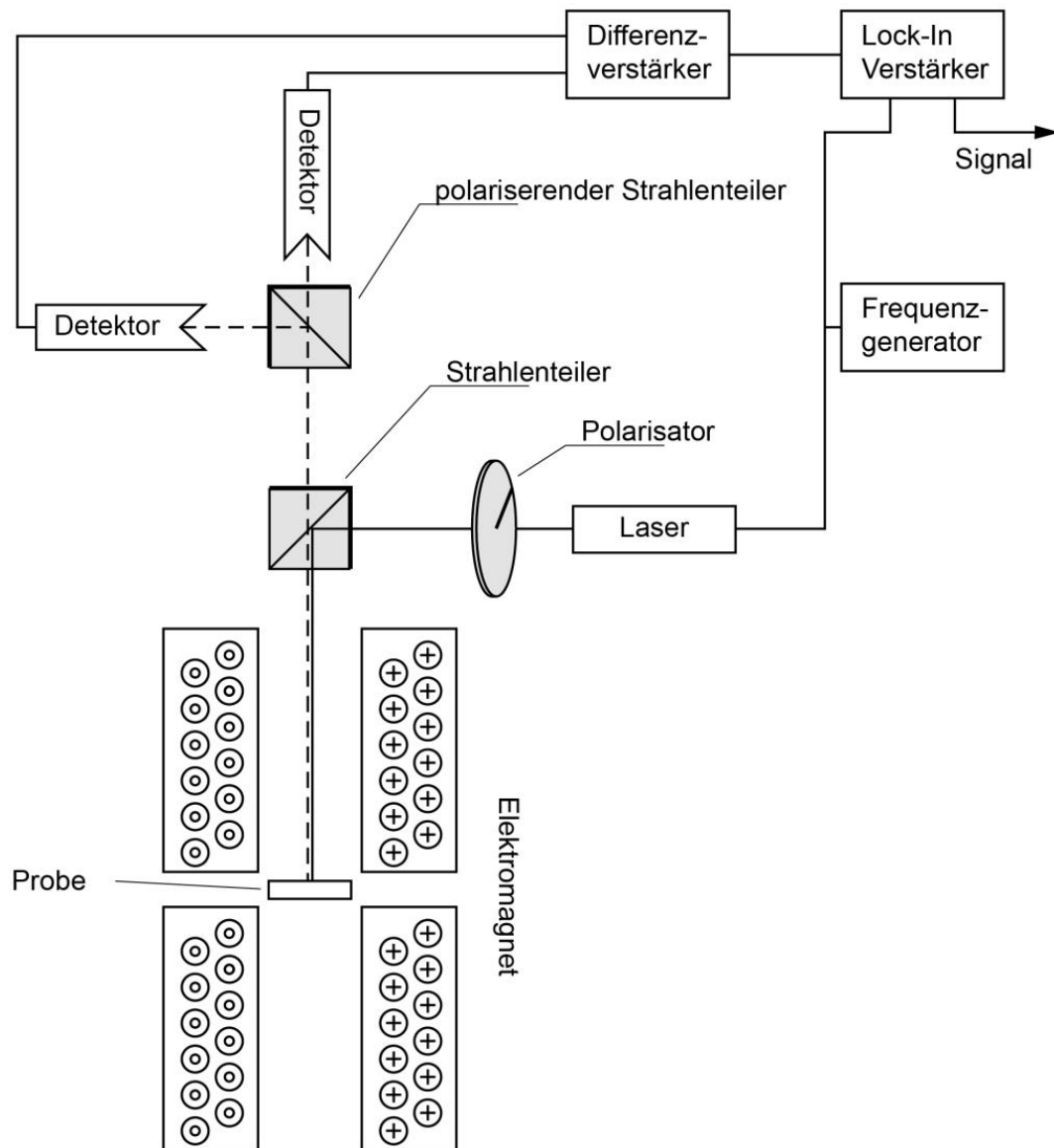


Abb. 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus. Die Probe, eine magnetooptische Speicherdisc (MD), befindet sich in einer Spule, in der ein Magnetfeld erzeugt werden kann. Mit einem Laser wird durch einen Polarisator auf die Probe geschossen, wo dieser reflektiert wird und, abhängig von der lokalen Magnetisierung, um den Kerrwinkel in der Polarisation gedreht wird. Der reflektierte Strahl wird am polarisierenden Strahlteiler in zwei orthogonale Polarisationen aufgeteilt, welche von separaten Detektoren erfasst werden. Die erzeugten Signale werden durch einen Differenzverstärker verstärkt und in einen Lock-In Verstärker geleitet. Dieser wirkt als schmalbandiger Filter, der nur die Frequenz durchlässt, mit der der Laser, über den Frequenzgenerator, moduliert ist. Dies ist nötig um das Rausche zu filtern, das durch den Differenzverstärker mit verstärkt wird. Das Signal aus dem Lock-In Verstärker wird an einem Computer ausgelesen. Der Polarisator sollte etwa so eingestellt sein, dass die beiden Detektoren etwa gleich starke Signale empfangen, wodurch das Verhältnis von Signaländerung zu Signal maximiert wird.

3 Auswertung

3.1 Kalibrierkurve

Vor der eigentlichen Messung der Hysteresekurven, soll die Kalibrierkurve für das Magnetfeld gemessen werden. Dazu wird mittels einer Hall-Sonde das Magnetfeld gemessen. Die gemessenen Daten sind in der Abbildung 5 dargestellt. Die gemessene Kalibrierkurve ist nicht linear. Die Ursache für die Nichtlinearität ist die Sättigung des Eisenkerns.

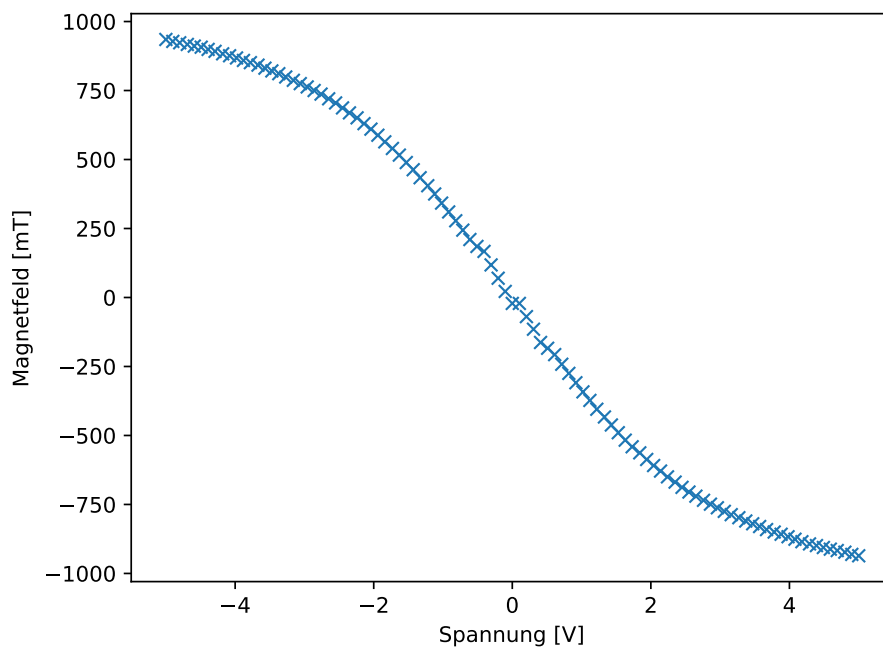


Abb. 5: Das Magnetfeld für unterschiedliche Spannungen an der Position der Probe innerhalb der Spule. Zu sehen ist ein nichtlinearer Zusammenhang der Kalibrierkurve.

3.2 Temperaturabhängigkeit der Hysteresekurven

Für die Berechnung des Kerr-Winkels wird der Zusammenhang zwischen der Drehung der Mikrometerschraube mit der gemessenen Spannung benötigt. Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 1 dargestellt. Aus der Stellung der Mikrometerschraube kann der Winkel berechnet werden, wobei gilt $1\text{Tick} \hat{=} 0.024^\circ$. Gut erkennbar ist der erwartete lineare Zusammenhang zwischen Kerr-Winkel und Spannung. Ohne das ein Fit notwendig ist, kann aufgrund der Daten aus der Tabelle 1 eine Geradengleichung bestimmt werden. Es gilt für alle gemessenen Spannungen das Verhältnis

$$1\text{Tick} \hat{=} 0.01 \text{ V.} \quad (3.1)$$

Unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors zwischen der Stellung der Mikrometerschraube und Winkel ϕ lautet die Geradengleichung

$$\phi = 2.4 \frac{^\circ}{V} \cdot U, \quad (3.2)$$

wobei U die Spannung ist.

Tab. 1: Zusammenhang zwischen Stellung der Mikrometerschraube des Polarisationsfilters und des Kerr-Winkels mit der Spannung.

Mikrometerschraube [ticks]	Kerr-Winkel [°]	Spannung [V]
0	0	0
10	0.24	0.1
20	0.48	0.2
30	0.72	0.3
40	0.96	0.4
50	1.2	0.5

Die unbearbeitete Hysteresekurve in der Abbildung 6 ist schräg und nicht gerade. Die Ursache dafür ist, dass in der Polymerschicht die sich auf der magnetooptischen Disk befindet es auch zu einer Polarisationsänderung kommt. Diese Polarisationsänderung gibt es zusätzlich zu der Polarisationsänderung durch den Kerr-Effekt. Dieser Einfluss der Polymerschicht wurde aus den Hysterekurven rausgerechnet. Die korrigierten Hysteresekurven für unterschiedliche Temperaturen sind in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt.

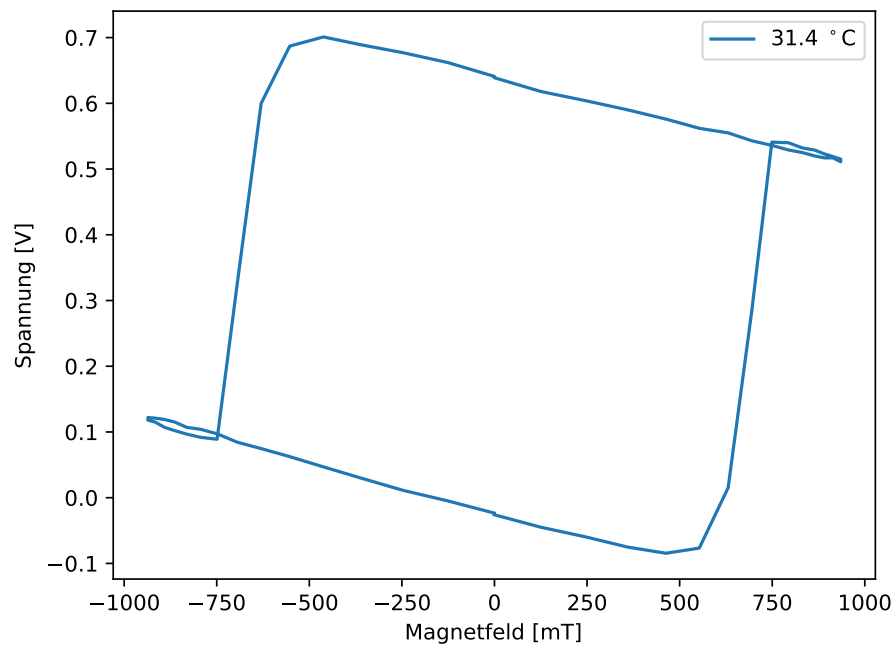
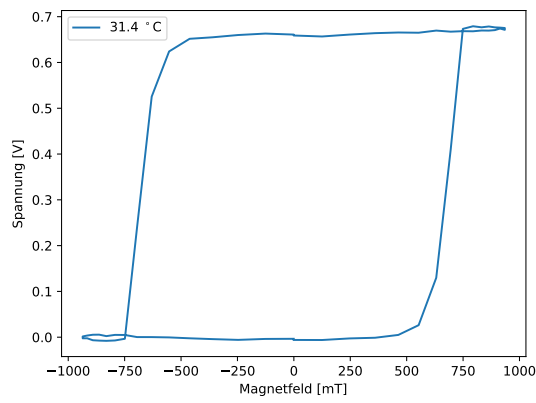
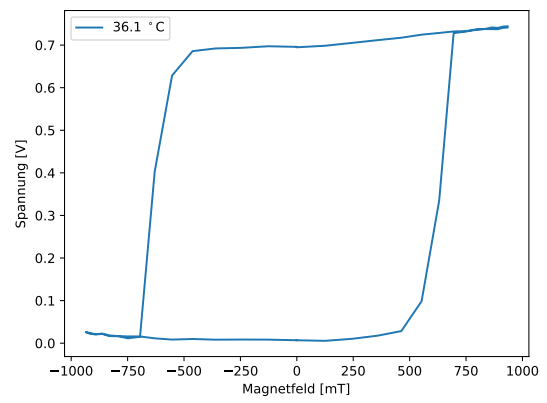


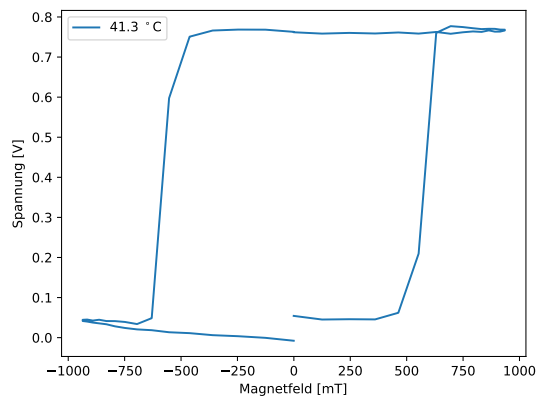
Abb. 6: Unbearbeitete Hysteresekurve bei einer Temperatur von 31,4 °C.



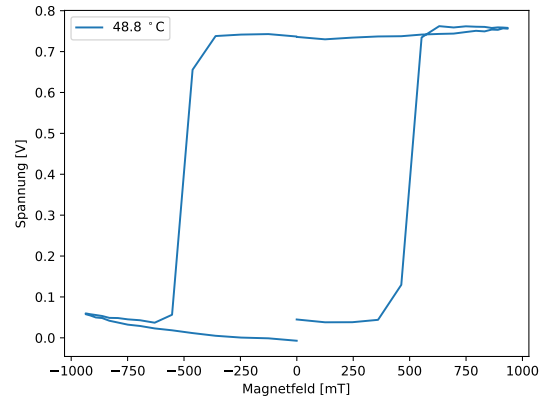
(a)



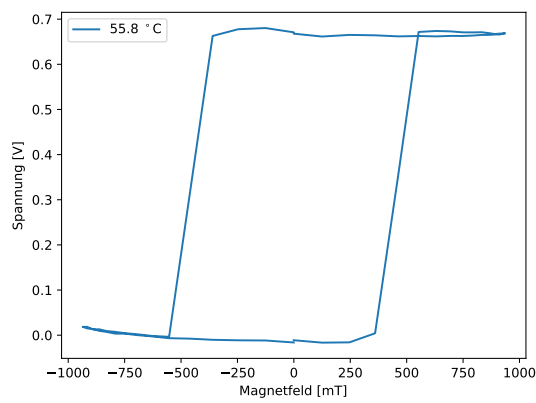
(b)



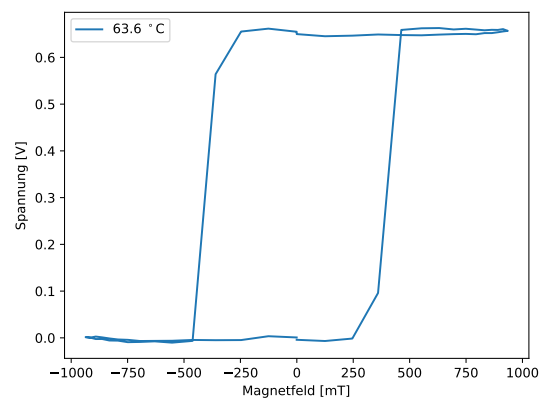
(c)



(d)

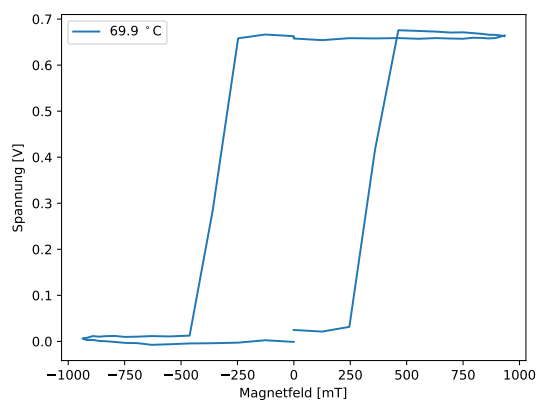


(e)

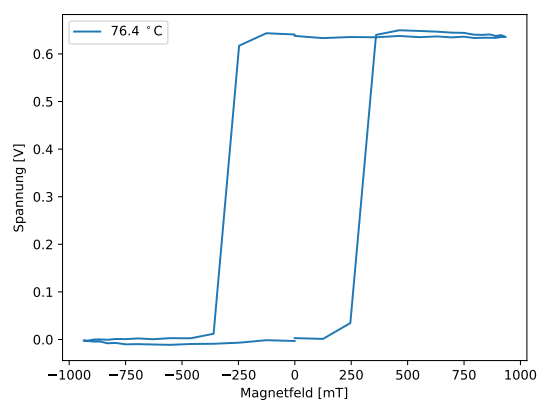


(f)

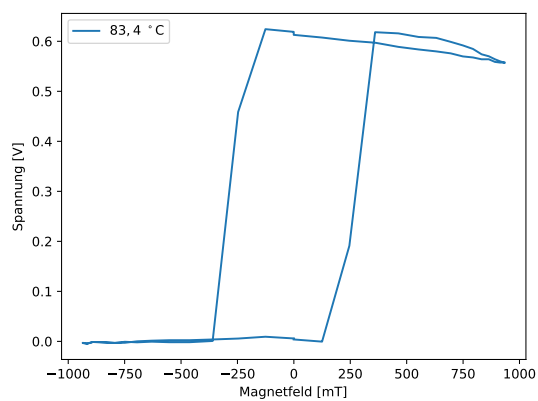
Abb. 7: Hysteresekurven für unterschiedliche Temperaturen.



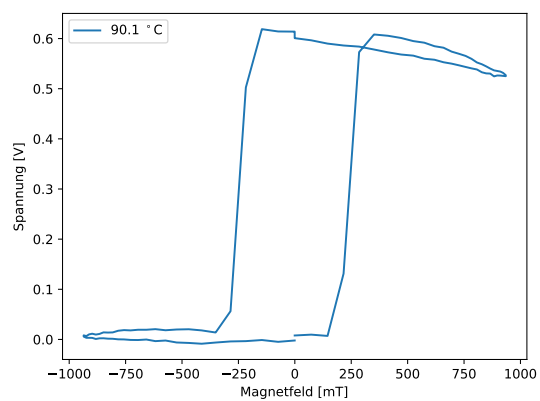
(a)



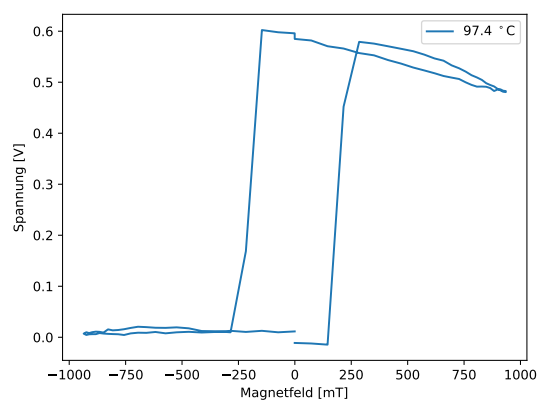
(b)



(c)



(d)



(e)

Abb. 8: Hysteresekurven für unterschiedliche Temperaturen.

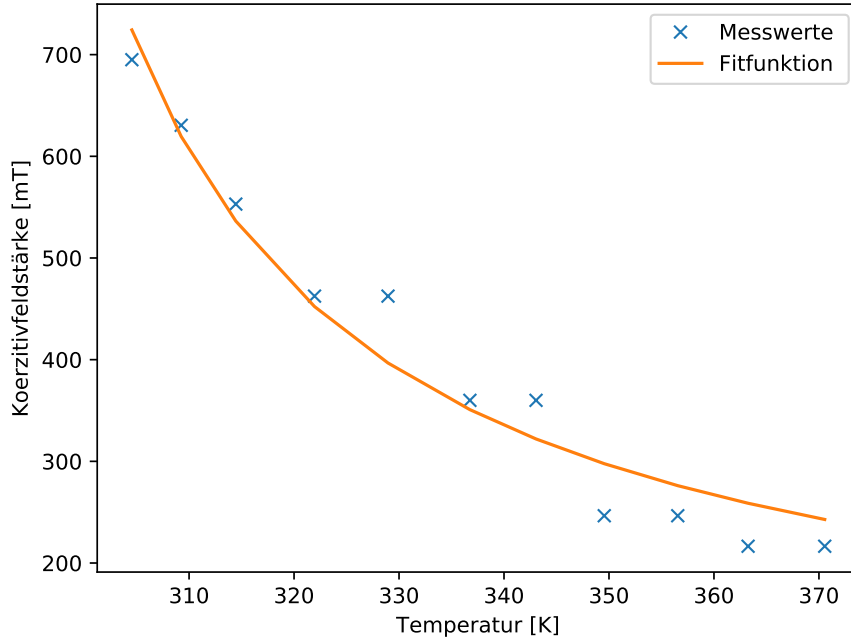


Abb. 9: Die aus den Hysteresekurven ermittelten Koerzitivfeldstärken für unterschiedliche Temperaturen und der Fit mit der Gleichung (3.3).

Die Koerzitivfeldstärke H_c , also die magnetische Feldstärke die für die vollständige Entmagnetisierung notwendig ist, kann den Hysterekurven entnommen werden. Die Koerzitivfeldstärke entspricht der Hälfte der Breite der Hysterekurven. Die Koerzitivfeldstärken in Abhängigkeit der Temperatur sind in der Abbildung 9 dargestellt. Aus den Koerzitivfeldstärken kann die Kompensationstemperatur T_{comp} bestimmt werden. Dazu muss die Funktion

$$H_c = \frac{H_0 \cdot T}{T - T_{\text{comp}}} \quad (3.3)$$

als Fitfunktion benutzt werden. Die Fitparameter sind

$$H_0 = 59.70 \pm 4.78 \text{ mT} \quad (3.4)$$

$$T_{\text{comp}} = 279.45 \pm 2.73 \text{ K}. \quad (3.5)$$

4 Zusammenfassung

In diesem Versuch sind die magnetischen Eigenschaften einer magnetooptischen Disk untersucht worden. Gemessen wurden Hysteresekurven für unterschiedliche Temperaturen. Die gemessene Kurven wurde um ihren Offset und den Einfluss der schützenden Polymerschicht korrigiert. Aus den gemessenen Daten ist die Koerzitivfeldstärke ermittelt worden, mit der die Kompensationstemperatur

$$T_{\text{comp}} = 279.45 \pm 2.73 \text{ K} \quad (4.1)$$

berechnet werden konnte.

Literatur

- [1] K Röhl. „Magneto-optical Discs“. In: ().
- [2] Wikipedia. *Compact Disc*. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Compact_Disc.
- [3] Wikipedia. *Magnetooptischer Kerr-Effekt*. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetooptischer_Kerr-Effekt.