



SS 2011

Praktikum: (P2) (Mo/Di/Mi/ Do) Gruppe-Nr: Do23

Name: Januszewski Vorname: Maximilian

Name: Schönke Vorname: Daniel

Versuch: LASER-B (ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Fabian Harms Durchgeführt am: 09.Jun 2011

Abgabe am:

Rückgabe am:

Begründung:

2. Abgabe am:

Ergebnis: (+ / 0 / -)

Fehlerrechnung: ja / nein

Datum:

Handzeichen:

Bemerkungen:



Obwohl A.Einstein schon 1917 von der theoretischen Existenz stimulierter Emission berichtet hat, wurde erst 1954 dieses Phänomen experimentell nachgewiesen. Mit dem darauf basierenden optischen Laser stehen der Forschung und der Technik seit 1960 Lichtquellen zur Verfügung, die sich durch extrem große Kohärenzlänge, sehr gute Parallelität und große 'Energiestromdichte' auszeichnen.

Sie verwenden bei diesem Versuch den Laser als ideale Lichtquelle für Beugungs- und Interferenzexperimente und lernen Anwendungen wie z.B. die Holographie kennen.

SICHERHEITSHINWEISE:

DER LASERSTRAHL IST GEFÄHRLICH FÜR DIE AUGEN!

NIE DIREKT IN DEN STRAHL HINEINSEHEN!

Bei allen Justier- und Aufbauarbeiten Laserschutzbrillen tragen!

Da beim Experimentieren spiegelnde Flächen im Strahl unvermeidlich sind und die Strahlage nicht festliegt, ist besondere Vorsicht geboten. Bleiben Sie beim Experimentieren in der Regel stehen, mit den Augen also weit über der Strahlhöhe. Stark aufgeweitetes oder gestreutes Laserlicht, z.B. von matten Flächen, vom Schirm, vom Hologramm etc., ist bei den verwendeten, relativ schwachen Lasern ungefährlich.

Aufgaben:

1. Messen Sie in einem 'on-line'-Experiment die Beugungsfigur eines Spaltes aus und gewinnen Sie durch Fourier-Transformation ein Bild des Spaltes zurück.

Das Experiment hat demonstrativen Charakter. Es soll mit den übrigen Gruppen gemeinsam und mit Unterstützung des Betreuers ausgeführt werden. Ein Phototransistor mit schmalen Spalt wird rechnergesteuert von einem Schrittmotor durch die Beugungsfigur geführt und die Intensitäten werden gemessen. Der Verstärkungsfaktor eines Vorverstärkers wird dabei rechnergesteuert um bis zu drei Zehnerpotenzen verändert und an die jeweilige Intensität angepaßt. Die intensitätsproportionalen Gleichspannungen werden durch einen Analog-Digital-Wandler (ADC) digitalisiert und im Rechner gespeichert. Das Rechnerprogramm enthält neben den Steuerroutinen (z.B. für den Schrittmotor und für die Verstärkerschaltung) und den Meßroutinen (z.B. für die A/D-Wandlung nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation) auch Auswerterroutinen. Eine dieser Routinen setzt voraus, daß ein Einfachspalt als Beugungsobjekt dient. Dann kann zu den Wurzeln aus der Intensität jeweils das richtige Vorzeichen ergänzt und so eine Amplitudenfigur gewonnen werden. Ein FFT-Programm ('Fast Fourier Transform') transformiert diese dann zurück in ein Spaltbild. Die Darstellungen der Beugungsfigur und des berechneten Spaltbildes am Bildschirm können als Hardcopy am Drucker ausgegeben werden.

Wegen der bei der Messung von Beugungsfiguren komplizierterer Objekte fehlenden Phaseninformation ist das Verfahren der Fourier-Rücktransformation dann nicht so einfach. Über Einzelheiten des Versuchsaufbaus, der Elektronik und des Programms informiert bei Interesse gerne das Personal im Praktikum. Beim Versuch wird aber keine Befassung mit Details erwartet.

2. Anwendungen des Michelson-Interferometers

2.1 Beobachten Sie interferometrisch die sehr geringe magnetostruktive Längenabhängigkeit vom Magnetfeld bei Nickel und bestimmen Sie den Magnetostruktionskoeffizienten. Einer der Interferometerspiegel sitzt bei diesem Interferometer auf der Stirnfläche des untersuchten Ni-Stabes, der von einer Spule umgeben ist. Der Strom durch die Spule soll nicht über 0,5A betragen und jeweils nur kurz eingeschaltet sein, weil sonst die thermische Ausdehnung den Magnetostruktionsseffekt überdeckt. Nutzen Sie beide Stromrichtungen.

2.2 Bestimmen Sie aus den beobachteten Änderungen der Interferenzfigur bei gemessener Verschiebung eines der Spiegel die Wellenlänge des Laserlichts. Ab hier wird ein anderes Interferometer als bei 2.1 benutzt! Notieren Sie mehrere Verschiebungen und die zugehörigen Anzahlen von Wechsellinien in der Interferenzfigur, denn die Auswertung soll mit Ausgleichsrechnung erfolgen.

2.3 Demonstrieren Sie den 'Dopplereffekt' mit Lichtwellen im Falle $v \sim c$ und messen Sie interferometrisch eine extrem geringe Geschwindigkeit. Bewegen Sie dazu motorgetrieben einen der Interferometerspiegel gleichmäßig, und beobachten Sie die resultierende geringe Frequenzänderung $\Delta\nu$ anhand des 'Durchlaufens' der Interferenzfigur. Der Betreuer gibt Hinweise zur geeigneten Justierung des Interferometers. Der bewegte Spiegel stellt bei diesem Versuch sowohl einen bewegten Empfänger als auch eine bewegte Quelle dar. Bestimmen Sie $\Delta\nu$ durch Auszählen der Intensitätsschwankungen über bekannte Zeiten (Stoppuhr). Berechnen Sie dann aus $\Delta\nu$ und $\lambda(\text{Laser})$ die Spiegelgeschwindigkeit, die Sie zum Vergleich auch auf direkte Weise ermitteln sollen. Daß hier von Dopplereffekt gesprochen wird, obwohl es sich wie bei 2.2 um Änderungen der Interferenzfigur bei veränderter Spiegellage handelt, ist kein Widerspruch sondern eine äquivalente Beschreibung.

2.4 Akustisches Analogon zu 2.3: Bewegen Sie eine schwingende Stimmgabel von Ihrem Ohr weg und auf Ihr Ohr zu und zwar einmal, wenn keine und dann, wenn eine reflektierende Wand in der Nähe ist.

3. Faraday-Effekt und Pockels-Effekt

3.1 Modulieren Sie die Intensität des Laserlichts durch Anwendung des Faraday-Effekts (Magnetooptischer Effekt, Magnetorotation), indem Sie das linear polarisierte Laserlicht erst einen Bleisilikatglasstab im longitudinalen Magnetfeld und dann ein Polarisationsfilter durchlaufen lassen. Die Magnetfeldspule speisen Sie vom Zweitlautsprecher-Ausgang eines MP3-Players. Fangen Sie das modulierte Licht mit dem Photoelement in der Frontplatte des NF-Verstärkers mit Lautsprecher auf. Suchen Sie die günstigste Stellung des Polarisationsfilters (in der Nähe des Intensitätsminimums). Warum werden die hohen Frequenzen hier wohl so deutlich hörbar benachteiligt? Stellen Sie hier und bei den weiteren Aufgaben das Polarisationsfilter an Stellen möglichst großen Strahlquerschnitts auf!

3.2 Bestimmen Sie die Verdettsche Konstante $V = \alpha / B \cdot l$ von Bleisilikatglas. Betreiben Sie dazu die Spule mit Gleichstrom. Wegen der Gefahr der Zerstörung und wegen hinderlicher Strahlkrümmung bei starker Erwärmung sind maximal 3A für kurze Zeit erlaubt. Eventuell sind Abkühlungspausen nötig. Wegen des kleinen Drehwinkels α ist die erreichbare Genauigkeit recht schlecht. Nutzen Sie beide Stromrichtungen aus. So gewinnen Sie immerhin den Faktor 2. Sie können probeweise statt der direkten Winkelmessungen auch Intensitätsmessungen machen und das Malus-sche Gesetz ausnutzen.

3.3 Modulieren Sie die Intensität des Laserlichts durch Anwendung des Pockels-Effekts (linearer elektrooptischer Effekt, induzierte Doppelbrechung, $\Delta n(E) = k \cdot E$), indem Sie das linear polarisierte Laserlicht einen Lithiumniobat-Kristall mit transversalem elektrischen Feld (Feldrichtung 45° gegen die Polarisationsrichtung des Laserlichts gedreht) und ein Polarisationsfilter (90° gegen die Polarisationsrichtung des Laserlichts gedreht) durchlaufen lassen. Die Kondensatorplatten (Elektroden) am Kristall werden an die Serienschaltung von Gleichspannung (wenige 100V) und NF-Spannung (vom Lautsprecher-Ausgang eines MP3-Players über einen Transformator) angeschlossen.

Moduliertes Licht wird mit dem Photoelement in der Frontplatte des NF-Verstärkers mit Lautsprecher an einer günstigen Stelle des Strahlungsfeldes empfangen. Das Laserlicht wird mit einer +10mm-Linse stark divergent gemacht. Dieses divergente Licht wird mit einer +30mm-Linse im Zentrum der Pockelszelle fokussiert, damit es die Zelle ohne Reflexion an den Seitenflächen des Kristalls passiert. Das austretende Licht liefert hinter einem Polarisationsfilter auf einem Schirm ein großflächiges Bild mit Hyperbelstruktur. Erläutern Sie das Zustandekommen dieses Bildes.

3.4 Bestimmen Sie die Konstante $k = \Delta n(E) / E$ für den Pockels-Effekt bei LiNbO_3 für die Wellenlänge des Laserlichts. Die Anordnung ist die bei 3.3 beschriebene ohne NF-Einkopplung. Variieren Sie die Spannung an der Pockelszelle von -2000V bis +2000V und notieren Sie die Werte, bei denen im Zentrum der Hyperbelfigur Helligkeitsextrema (Maxima oder Minima) auftreten. Numerieren Sie diese Extrema fortlaufend und bestimmen Sie die Steigung der Ausgleichsgeraden 'Spannung über Nummer'. Die Steigung heißt 'Halbwellenspannung'. Sie erhalten daraus $d\phi/dU$, die Änderung der Phasenverschiebung

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_{ao} - n_o) s = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta n \cdot s \quad \text{zwischen ordentlichem und außerordentlichem Strahl längs der Strecke } s$$

mit der Änderung der angelegten Spannung U. Mit der bekannten Vakuumwellenlänge λ_0 des Laserlichts und den bekannten geometrischen Daten des LiNbO₃-Kristalls ergibt sich dann die Konstante k. Beim Messen kann auf ein Photoelement mit Meßinstrument verzichtet und auf das Auge vertraut werden. Beachten Sie, daß der verwendete Kristall auch ohne elektrisches Feld schon doppelbrechend ist. Beachten Sie die Ähnlichkeiten bei der Veränderung der Doppelbrechung bei mechanischer Spannung und bei Einwirkung eines elektrischen Feldes.

4. Optische Aktivität (Saccharimetrie)

4.1 Bestimmen Sie das spezifische optische Drehvermögen $[\alpha] = \alpha / k \cdot l$ einer Haushaltszuckerlösung bei verschiedenen Konzentrationen sowie die Drehrichtung. (α in °; k in g/cm³; l in dm)

Zeigen Sie, daß der Drehwinkel α proportional zur Länge l des Lichtweges durch die Lösung (nur zwei Meßpunkte: Küvette längs und quer durchstrahlt) und zur Konzentration k (Masse des gelösten Stoffes durch Lösungsvolumen, bis etwa 0,3 g/cm³, Lösungsmittel Wasser, mit höchster Konzentration beginnen) ist. Von welchen weiteren Parametern ist α wohl abhängig? Wenn Sie die Konzentration ändern, während Sie den durchtretenden Laserstrahl beobachten, scheint dieser 'krumme Wege zu gehen'. Beachten Sie Ähnlichkeiten bei der optischen Aktivität und beim Faraday-Effekt.

4.2 Bestimmen Sie das spezifische optische Drehvermögen einer entgegengesetzt drehenden Sorbose-Lösung mit vorgegebener Konzentration.

Spülen Sie vor dem Einfüllen der Sorboselösung die Küvette gründlich. Zuckerreste stören! Verändern Sie hier die Konzentration nicht, und füllen Sie die vergleichsweise teure Lösung in die Flasche zurück.

ZUBEHÖR: (Das Zubehör befindet sich teils an den Versuchsplätzen, teils im Schrank. Sehr teures Gerät ist nur zweifach für drei Versuchsplätze vorhanden. Absprache zwischen den Gruppen über die Nutzungsreihenfolge ist erforderlich.)

P 2 / 23 (Kabine 1)	P 2 / 24 (Kabine 2)	P 2 / 25 (Kabine 3)
Experimentiertisch (mit 3m-Zeißschiene), dazu: diverse Verschiebereiter		
2mW-He-Ne-Laser, 632,8nm (geschlossene Bauweise mit integriertem Netzteil, polarisiert)		
mit Schlüsselschalter	mit Kippschalter	mit Schlüsselschalter
<ul style="list-style-type: none"> • Strahlaufweitungssystem • Justieraufbau mit Fassungen • Halter für Linsen, Blenden • Schirm (groß, weiß) 	<ul style="list-style-type: none"> • Strahlaufweitungssystem • Justieraufbau mit Fassungen • Halter für Linsen, Blenden • Schirm (groß, weiß) 	<ul style="list-style-type: none"> • Strahlaufweitungssystem • Justieraufbau mit Fassungen • Halter für Linsen, Blenden • Schirm (groß, weiß)
Vielfachmessinstrument Voltcraft M-4660A	Vielfachmessinstrument Voltcraft M-4650	Vielfachmessinstrument Voltcraft 6500
Amperemeter (Gossen Manometer, ohne Zusatzwiderstände 100mV/1mA {Vorsicht!}, dazu Shunts für 500mA und für 5A zur Messung der Spulenströme)		
Funktionsgenerator FG 800 / 0,2 Hz – 200 KHz		
Netzgerät für die Gleich-spannung an der Pockelszelle, einstellbar bis ca. 2000V, mit integriertem Modulationstrafo (Eigenbau)	Netzgerät für die Gleich-spannung an der Pockelszelle, einstellbar bis ca. 2000V, -mit integriertem Modulationstrafo (Eigenbau)	
NF-Verstärker für mod. Strahlung / AF-Amplifier		
Stromversorgungsgerät / Labor-Netzgerät (stufenlos einstellbar, kurzzeitig bis 4A)		
Polarisationsfilter (d=10cm, auf Stift, drehbar, mit Winkelskala, nicht im unaufgeweiteten Strahl benutzen!)		

Folgende Elemente in 25mm-Fassungen:

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Polarisationsfilter ohne Skala, • Spalt 0,4mm, • Lochblende 1mm • Irisblende • Achromat $f=10\text{mm}$,
Sammellinsen $f=30\text{mm}$, 60mm
und $f=150\text{mm}$. • Tischlampe • Taschenlampe • 2 Laserschutzbrillen | <ul style="list-style-type: none"> • Polarisationsfilter ohne Skala, • Spalt 0,4mm, • Lochblende 1mm • Irisblende • Achromat $f=10\text{mm}$,
Sammellinsen $f=30\text{mm}$ und
$f=150\text{mm}$. • Tischlampe • Taschenlampe • 2 Laserschutzbrillen | <ul style="list-style-type: none"> • Spalt 0,4mm, • Irisblende • Achromat $f=10\text{mm}$,
Sammellinsen $f=30\text{mm}$ und
$f=150\text{mm}$. • Taschenlampe |
|--|--|---|

Im Schrank:

- Lichtdetektor Si-Photoelement (BPW34, kleinflächig, $2,7\text{mm} \bullet 2,7\text{mm}$, wird nur im Elementbetrieb verwendet, d.h. ohne Betriebsspannung direkt an Spannungs- oder Strommessgerät angeschlossen. Anschluss an den mit + und - bezeichneten Stiften mit spezieller Leitung) ,einfach vorhanden
- Lichtdetektor Si-Photoelement ($d=12\text{mm}$, wie bei Versuchsteil A), einfach vorhanden
- Lichtdetektor für moduliertes Licht (mit Photoelement $2,7\text{mm} \bullet 2,7\text{mm}$, NF-Verstärker und Lautsprecher, Netzbetrieb),
- 3-mal: Michelson-Interferometer (mit Feinverstellung eines Spiegels durch 10:1-Hebeluntersetzung und Mikrometerschraube, dazu aufsteckbare Antriebsrolle für Motorantrieb)
- Jeweils einmal. Michelson-Interferometer (ein Spiegel auf Ni-Stab bzw. Fe-Stab, $l=105\text{mm}$, in Spule $n=2000$ Wdgn.),
- Synchronmotor (1U/min, mit Antriebsrolle und Gummiriemen für Bewegung des Interferometerspiegels),
- Küvette ($198\text{mm} \bullet 58\text{mm}$, in Halter auf Stift, für optisch aktive Lösungen (2 x in Plastik, 1x in Glas)
- Haushaltszucker, 2 Gefäße
- Chemikalienwaage, 1mal Mettler H 315 auf Wägetisch und 3 verschiedene mechanische Waagen
- Bechergläser, Messzylinder, Trichter
- Sorbose-Lösung (optisch aktiv, linksdrehend, $k=0,33 \text{ g/cm}^3$),
- Faraday-Modulator (Bleisilikatglas in Spule, $l=75\text{mm}$, $n=800$ Wdgn.)
- Radioapparat (mit Zweitlautsprecherausgang und zugehöriger Anschlussleitung, als Modulationsquelle)
- Lichtdetektor für moduliertes Licht (mit Photoelement $2,7\text{mm} \times 2,7\text{mm}$, NF-Verstärker und Lautsprecher, Netzbetrieb)
- Pockelszelle im Drehhalter mit Skala (Winkel zwischen Feld- und Laserpolarisationsrichtung), LiNbO_3 -Kristall, Höhe = Elektrodenabstand = $h = 2\text{mm}$, Länge = $s = 20\text{mm}$, optische Achse parallel zur Feldrichtung),
- Stimmgabel 1700Hz 2x , Maßband 1x , Stoppuhr 5x
- Aufbau für die optische Bank mit Phototransistor, Schrittmotor und Endschaltern
- Vorverstärker, Schrittmotor- und Relais-Interface.
- 2 Laserschutzbrillen (für Betreuungspersonal)
- Nur 1 –mal vorhanden: Rechner (IBM-kompatibler PC 386SX) mit VGA-Graphikkarte, Graphik-Drucker, Maus, Festplatte, 1,2MB- und 1,44MB-Laufwerk und spezieller Interface-Karte (ADC, DAC, PIO)

Literatur:

- Demtröder, *Experimentalphysik 2*, Elektrizität und Optik, Springer-Verlag, 2006
 F. Pedrotti et al., *Optik für Ingenieure*, Grundlagen, Springer-Verlag, 2002
 Bergmann, Schäfer: *Experimentalphysik*, Bd.3, Optik
 Landolt - Börnstein, Neue Serie, 1986, Springer – Verlag Band III/19a
 Hecht, Zajac: *Optics*
 Koppelman: *Der Laser - Eine elem. Darst.*, Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986), S.37
 Mallwitz (Firma Spindler & Hoyer): *Arbeitsunterlagen zum He-Ne-Laser*, Versuche mit kohärentem Licht
 Kempas (Firma Leybold Didactic), *Elektrisch induzierte Doppelbrechung in einem Kristall*, contact 2/1993
 Tradowsky: *Laser, kurz und bündig*
 Brändli, Dändliker, Hatz: *Laserphysik*
 Mollwo, Kaule: *Maser und Laser*

Praktikum-Versuchsvorbereitung
Versuch P2-23,24,25:
Laser B

Maximilian Januszewski, Daniel Schönke
DO-23

09.06.11

Inhaltsverzeichnis

1	Fouriertransformation	3
2	Michelson-Interferometer	3
2.1	Magnetostriktive Längenabhängigkeit vom Magnetfeld bei Nickel	4
2.2	Bestimmung der Wellenlänge	5
2.3	Dopplereffekt bei Lichtwellen	5
2.4	Dopplereffekt - akustisch	6
3	Faraday- und Pockels-Effekt	6
3.1	Intensitätsmodulation durch Faradayeffekt	6
3.2	Bestimmung der Verdet'schen Konstante V von Bleisilikatglas .	7
3.3	Intensitätsmodulation durch Pockelseffekt	7
3.4	Bestimmung der Konstante k beim Pockelseffekt	8
4	Optische Aktivität (Saccharimetrie)	8
4.1	Spezifisches optisches Drehvermögen, Drehrichtung bei einer Haushaltszuckerlösung	9
4.2	Sorboselösung	9

Der Laser

In einem Laser werden die Atome oder Moleküle des sogenannten aktiven Mediums durch Photonen oder inelastischen Stößen von anderen Teilchen auf ein höheres Energieniveau angeregt. Dies nennt man Pumpen. Von dem angeregten Zustand fallen die Elektronen durch spontane Emission eines Photons zurück. Dieses Photon kann nun ein weiteres Atom anregen. Damit es zu vermehrter Photonenzahl kommt, müssen durch stimulierte Emission schon bereits angeregte Atome nochmals von Photonen getroffen werden (ohne absorbiert zu, wobei sie dann dennoch auf ein niedrigeres Energielevel absinken und dabei ein Photon gleicher Energie und Richtung aussenden. Damit es zu so einer Verstärkung kommt, muss kurzzeitig das thermische Gleichgewicht (Gleichverteilung der energetischen Zustände) in der Art ausgesetzt werden, dass es mehr angeregte Atome gibt als Atome auf dem niedrigen Niveau, damit mehr stimulierte Emissionen stattfinden als spontane Emission (Besetzungsinversion). Dies erreicht man durch ein 3-Niveau-System. In diesem System werden die Atome erstmal auf den höchsten Zustand gebracht und fallen dann schneller zurück auf den mittleren Zustand, als der mittlere auf niedrigsten. Zwei Spiegel bilden den Resonator, der den Zweck hat, die Strahlung hin und her zu leiten, damit sie verstärkt wird. Einer der Spiegel ist nun teilweise durchlässig, woraufhin ein Teil der Strahlung austritt und den sichtbaren Laserstrahl bildet. Das bedeutet auch, dass im Resonator die Strahlung um Einiges höher ist, als die austretende Strahlung.

1 Fouriertransformation

Mit Computerunterstützung messen wir das Beugungsbild eines Spaltes aus. Mittels eines Phototransistors ermitteln wir die Intensitäten im Beugungsbild. Um das richtige Vorzeichen für die Amplitudenfigur zu bekommen (Intensität entspricht dem Amplitudenquadrat), muss das Beugungsobjekt bekannt sein. Dann erhalten wir durch das Fast-Fourier-Transform-Programm (Rücktransformation) das Spaltbild.

2 Michelson-Interferometer

Beim Michelson-Interferometer wird der Lichtstrahl auf einen um 45° gedrehten halbdurchlässigen Spiegel geworfen, sodass 50 Prozent transmittiert und der andere Teil reflektiert wird. Beide Strahlen werden jeweils von einem anderen Spiegel wieder zurückgeworfen und treffen auf einen Detektor, wo die

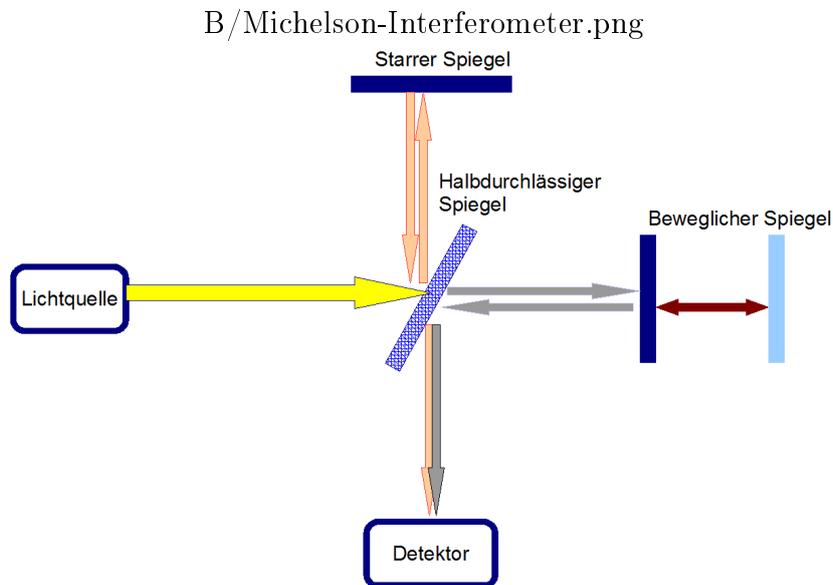


Abbildung 1: Michelson-Interferometer,
 Quelle: <http://www.science-and-fun.de/deutsch/ir-spektroskopie/ir3.html>

Phasenverschiebung gemessen wird. Einer von diesen beiden letzten Spiegeln ist in seiner Position variierbar.

Aus den Interferenzerscheinungen kann auf die Spiegelstellung geschlossen werden. Bei einer Phasenverschiebung von $\frac{2k+1}{2} * \lambda$ ($k \in \mathbb{Z}$) haben wir destruktive Interferenz, bei $k * \lambda$ konstruktive Interferenz.

2.1 Magnetostriktive Längenabhängigkeit vom Magnetfeld bei Nickel

Magnetostriktion tritt auf, wenn man einen Ferromagneten (Eisen, Kobalt, Nickel) in ein Magnetfeld bringt. Es kommt zu einer elastischen Längenänderung, da sich die Weißschen Bezirke gleich ausrichten (Drehen der Dipole). Wir befestigen nun also das mit einer langen Spule umwickelte (\rightarrow Magnetfeld H) Nickel am beweglichen Spiegel und messen anhand der Interferenz mithilfe folgender Formeln die Längenänderung Δl sowie den Magnetostruktionskoeffizienten c_{Ni} :

$$\Delta l = c_{Ni} * l * H \tag{1}$$

Das Magnetfeld lässt sich unter der Näherung, dass wir eine lange Spule verwenden durch

$$H = \frac{N * I}{L} \tag{2}$$

berechnen (N entspricht den Wicklungen, I dem Strom und L der Spulenlänge). Wegen dem Einfluss der Temperatur auf das Material (thermische Ausdehnung) dürfen wir durch die Spule nicht mehr als $I = 0,5A$ schicken. Setzen wir $l = L$, so folgt für c_{Ni} :

$$c_{Ni} = \frac{m * \lambda}{2N * I} \quad (3)$$

m entspricht dabei der Ordnung des ausgemessenen Interferenzminimums.

2.2 Bestimmung der Wellenlänge

Wir setzen den beweglichen Spiegel auf einen Mikrometerschlitten und messen die Position und zählen (m) bei Intensitätsminima. Bei m Interferenzminima und einer Verschiebung um Δx bekommen wir für die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2 * \Delta x}{m} \quad (4)$$

2.3 Dopplereffekt bei Lichtwellen

Auch bei optischen Wellen tritt der Dopplereffekt mit seiner Frequenzverschiebung auf, sodass gilt:

$$f = \frac{1 \pm \frac{v_e}{c}}{1 \mp \frac{v_q}{c}} * f_0 \quad (5)$$

e steht dabei für Empfänger, q für Quelle; bei Annäherung gilt das obere Vorzeichen, beim Entfernen das untere. Zum Versuchsablauf: Wir bewegen den einen Spiegel motorgetrieben, beobachten die Interferenzfigur und bestimmen dadurch zunächst (mit Abzählen pro Zeit) Δf und daraus die Spiegelgeschwindigkeit. Der bewegte Spiegel ist in unserem Fall zugleich bewegter Empfänger als auch bewegter Sender/ Quelle.

$$\Delta f = f - f_0 = \left(\frac{1 \pm \frac{v_e}{c}}{1 \mp \frac{v_q}{c}} - 1 \right) * f_0 = \left(\frac{\pm 2 * \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}} \right) * f_0 \approx \pm 2 \frac{v}{\lambda} \quad (6)$$

Durch dieses Delta in der Frequenz kommt es zu einer Schwebung:

$$\begin{aligned} E &= E_0 * \sin(2\pi f_0 t) + E_0 * \sin(2\pi(f_0 + \Delta f)t) \\ &= 2 * E_0 * \sin\left(2\pi\left(f_0 + \frac{\Delta f}{2}\right)t\right) * E_0 * \cos\left(2\pi\frac{\Delta f}{2}t\right) \end{aligned} \quad (7)$$

Nun betrachten wir nur die einhüllende Cosinus-Fkt., da die Sinus-Fkt. auch zu hochfrequent ist. Die Intensität I ist proportional zu E^2 :

$$I \propto \cos^2\left(2\pi \frac{\Delta f}{2} t\right) = 1 * \cos(2\pi \Delta f t) \quad (8)$$

Durch Messen der Anzahl der Intensitätsmaxima in einem bestimmten Zeitfenster Δt bekommen wir folgenden Zusammenhang:

$$m * 2\pi = 2\pi \Delta f \Delta t \quad (9)$$

Damit ist die Geschwindigkeit

$$v = \frac{m * \lambda}{2 * \Delta t} \quad (10)$$

Abschließend messen wir die Geschwindigkeit noch direkt über $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

2.4 Dopplereffekt - akustisch

Wir bewegen eine schwingende Stimmgabel vom Ohr weg bzw. auf das Ohr zu und hören auf den Frequenzunterschied. Dann machen wir das gleiche nochmal mit einer reflektierenden Wand in der Nähe. Voraussichtliche Auswirkung: Analoge Schwebung, d.h. so wie oben beschrieben.

3 Faraday- und Pockels-Effekt

3.1 Intensitätsmodulation durch Faradayeffekt

Legt man ein transparentes Medium (Rotator) in den Strahl und parallel zur Lichtausbreitungsrichtung ein Magnetfeld an, so wird bei polarisiertem Licht die Polarisationssebene gedreht. Wir haben einen magnetooptischen Effekt. In diesem Versuch nehmen wir als Rotator einen Bleisilikatstab, der wieder von einer Spule, die mit dem Strom I durchflossen wird, umwickelt ist. Unser Magnetfeld und damit auch die Rotation der Polarisationssebene sind abhängig vom Spulenstrom. Wir regeln den Spulenstrom mittels des Zweilautsprecher-Ausganges des MP3-Players und machen das Ausgangssignal durch ein an einen Lautsprecher gekoppeltes Photoelement wieder hörbar. Bei hohen Frequenzen steigt die Selbstinduktion der Spule und damit werden diese vernachlässigt.

3.2 Bestimmung der Verdetschen Konstante V von Bleisilikatglas

Durch Bestimmen des Polarisationsdrehwinkels β und das Messen von B-Feld und Rotatordicke l lässt sich die Verdetkonstante leicht bestimmen:

$$V = \frac{\beta}{Bl}[V] = \frac{rad}{T * m} \quad (11)$$

V ist damit auch von der Temperatur und Wellenlänge abhängig. Diese Abhängigkeiten vernachlässigen wir jedoch hier. Zur Bestimmung des B-Feldes messen wir bei Strom in beide Richtungen (Erhöhung der Genauigkeit, Drehsinn verändert sich nicht, $I < 3A$) entweder über den Analysator direkt den Winkel oder zunächst die Intensität und dann bekommen wir mit dem Malusschen Gesetz den Winkel:

$$I = I_0 * \cos^2(\beta) \quad (12)$$

3.3 Intensitätsmodulation durch Pockelseffekt

Wir setzen statt dem Rotator nun einen Lithiumniobat-Kristall ein und erzeugen ein transversales elektrisches Feld (Feldrichtung 45° gegen Polarisationsrichtung vom Laser gedreht). Hintendran stellen wir einen Polarisationsfilter (90° gegen Polarisationsrichtung vom Laser gedreht). Durch das starke Gleichfeld werden die Kristallelektronen so verschoben, dass es bei einem vorher optisch isotropen Material auf einmal Doppelbrechung gibt (optischer Kerr-Effekt) oder bei einem schon doppelbrechenden Material die optische Achse sich verschiebt (Pockels-Effekt), sodass sie parallel zum elektrischen Feld liegt. Parallel zu dieser Achse breitet sich die elektromagnetische Welle schneller, senkrecht dazu langsamer aus (schnelle bzw. langsame Achse). Bei uns soll der Strahl so einfallen, dass die Schwingungsebene um 45° zur optischen Achse steht. Damit wird die einfallende Welle in zwei senkrecht aufeinander stehende Teilwellen gleicher Amplitude aufgespaltet. Durch die Modulation der Phasengeschwindigkeit ergibt sich folgende Phasenverschiebung:

$$\delta = 2\pi r n_0^3 \frac{U}{\lambda_0} \quad (13)$$

U entspricht der angelegten Kondensatorspannung und r ist die linearelektrooptische Konstante. Wir werten das Experiment zwei Mal aus: einmal wie schon oben beschrieben akustisch und einmal mit einem Schirm visuell. Bei letzterem erwarten wir eine Hyperbel. Sie entsteht durch die unterschiedlichen Einfallswinkel der Wellen (bedingt durch das Linsensystem, das auch

noch Reflexionen am Kristallrand vermeidet) und die damit verbundenen Veränderungen in der Phasengeschwindigkeit.

Die Spannung, bei der der Gangunterschied $\frac{\lambda}{2}$ und damit $\delta = \pi$ ist (analog zum Halbwellenplättchen), berechnet sich durch

$$U_{HW} = \frac{\lambda_0}{2rn_0^3} \quad (14)$$

Damit gilt für die Intensitätsmodulation

$$I = I_{max} * \sin^2\left(\frac{\pi}{2} * \frac{U}{U_{HW}}\right) \quad (15)$$

3.4 Bestimmung der Konstante k beim Pockelseffekt

Zunächst variieren wir die Spannung von -2000V bis +2000V und schreiben die Werte auf, sobald in der Hyperbelmitte Intensitätsextrema auftauchen. Aus der Auftragung Spannung über Intensitätsextremstelle-Nummer bestimmen wir die Steigung und damit zugleich die Halbwellenspannung. Weiter berechnen wir k mit folgenden Formeln:

$$\Delta\Phi = \omega\Delta t = 2\pi\left(\frac{c}{\lambda_0}\right)\left(\frac{s}{\Delta c_m}\right) = \frac{2\pi s}{\lambda_0} * \Delta n = \frac{2\pi s}{\lambda_0} * k * E = \frac{2\pi s * k * U}{\lambda_0 * d} \quad (16)$$

(s entspricht der Kristalldicke, d dem Kondensatorplattenabstand)

Nun differenzieren wir u nach Φ . Das Ergebnis ist proportional zur Halbwellenspannung und damit zur Achsensteigung:

$$\frac{dU}{d\Phi} = \frac{\lambda_0 * d}{2\pi s * k} = \frac{U_{HW}}{\pi} \quad (17)$$

Letzendlich ergibt sich die Konstante k , die abhängig von der Wellenlänge des Lasers ist, durch

$$k = \frac{\lambda_0 * d}{2s * U_{HW}} \quad (18)$$

4 Optische Aktivität (Saccharimetrie)

Beeinflusst ein Medium auch ohne angelegtes B- oder E-Feld die Polarisatonebene, nennt man es optisch aktiv. Der Grund für dieses Verhalten liegt in der Chiralität oder auch Enantiomorphie der Moleküle, aus denen das Medium besteht (Chiralität: das Molekül besitzt keine Drehsymmetrieachse).

4.1 Spezifisches optisches Drehvermögen, Drehrichtung bei einer Haushaltszuckerlösung

Der Winkel α , um den die Schwingungsebene gedreht wird, ist proportional zur Wegstrecke des Lichtes im Medium d und bei Lösungen zur Stoffkonzentration c :

$$\alpha = [\alpha]cd \quad (19)$$

$[\alpha]$ ist dabei das optische Drehvermögen und stark wellenlängenabhängig (Rotationsdispersion). Die Substanz ist rechtsdrehend (Vorzeichen von $[\alpha]$ positiv), wenn man den Analysator im Uhrzeigersinn nachdrehen muss, um minimale Intensität zu erreichen. Bei linksdrehenden Medien ist das ganze genau anders herum.

Zur Durchführung:

Wir beginnen bei einer Konzentration von $0,3 \frac{g}{cm^3}$ und verdünnen dann die Lösung (Lösungsmittel: Wasser). Dabei scheint der Laserstrahl krumme Wege zu gehen, da die Gleichverteilung der Moleküle in der Lösung nur langsam zustandekommt. Zur Formel oben:

d wird in Dezimetern gemessen, $[\alpha]$ in Winkelgrad/dm, c entspricht der Grammmenge gelöster aktiver Substanz pro Kubikzentimeter Lösungsmittel. Die Größen Temperatur, Wellenlänge und den Einfluss der Lösungsmittelsorte vernachlässigen wir hier.

4.2 Sorboselösung

Wie in der ersten Teilaufgabe bestimmen wir nun das spezifische optische Drehvermögen; halten aber die Konzentration konstant. Es sollte sich jedoch eine andere Drehrichtung herausstellen.

Spaltbreite gemessen : 0,441 mm ; angegeben : 0,4 mm

③

Faraday:

I (A)	Winkel für Min [°]	umgepolt
0	162	
1	17	16
2	18	15
3	19 19	14,2

Potential

Min	Max	U ₁ [V]	U ₂ (umgepolt) [V]
(1)	.	4	304
	1	574 337	805 6014
2		357 835	1222 805
	2	1210	1596
3		1600	(1982)
		1935	

→ schneller Durchlauf

② 2.1

I [mA]	I [mA] umgepolt	N (Min)
125	150	1
195	230	2
265	300	3
345	350	4
482	490	

2.2

Drehschraube [µm]	N (Min)
2	5 5
3 5	10
5	15

2.3

t [s]	N (Min)
5	10, 31
10	16
15	20, 70
20	26, 30
25	31, 37
30	36, 30
35	41, 70
40	46
45	52
50	57

Leerdurchlauf : in 1 min = 60 s 19,5 µm

④

Analysator → →

4.1

Min ohne Lösung : 85°

0,3 $\frac{g}{cm^3}$ mit Lösung → → 55°

→ → 76°

hohe Konzentration

→ → 79°

→ → 67°

4.2

→ → 89°

→ → 105°

R.H.

Praktikum-Versuchsauswertung
Versuch P2-23,24,25:
Laser B

Maximilian Januszewski, Daniel Schönke
DO-23

09.06.11

Inhaltsverzeichnis

1	Fouriertransformation	3
2	Michelson-Interferometer	3
2.1	Magnetostriktive Längenabhängigkeit vom Magnetfeld bei Nickel	3
2.2	Bestimmung der Wellenlänge	4
2.3	Dopplereffekt bei Lichtwellen	5
2.4	Dopplereffekt - akustisch	6
3	Faraday- und Pockels-Effekt	6
3.1	Intensitätsmodulation durch Faradayeffekt	6
3.2	Bestimmung der Verdetschen Konstante V von Bleisilikatglas .	6
3.3	Intensitätsmodulation durch Pockelseffekt	7
3.4	Bestimmung der Konstante k beim Pockelseffekt	7
4	Optische Aktivität (Saccharimetrie)	9

1 Fouriertransformation

Mit Computerunterstützung messen wir das Beugungsbild eines Spaltes aus. Ein Phototransistor fährt das Beugungsbild ab und ermittelt die Intensitäten. Das Beugungsobjekt ist bekannt: es handelt sich um einen Einzelspalt. Wir beobachten das erwartete Beugungsmuster auf dem Bildschirm. Durch das Fast-Fourier-Transform-Programm (Rücktransformation) erhalten wir das Spaltbild bzw. die Spaltfunktion und der Computer berechnet für uns die Spaltbreite. Wir kommen auf einen Wert von 0,441 mm (Herstellerwert: 0,4 mm). Der kleine Fehler wird wohl durch Messungenauigkeiten zustande kommen. Die ausgedruckte Spaltfunktion ist hinten am Protokoll angehängt.

2 Michelson-Interferometer

2.1 Magnetostriktive Längenabhängigkeit vom Magnetfeld bei Nickel

Wir haben nun am beweglichen Spiegel Nickel befestigt, das in einer Spule liegt. Durch das angelegte Magnetfeld verändert sich die Länge. Wir drehen nun die Stromstärke hoch und messen sie immer im Abstand Minimum-Minimum. Dazwischen projizieren wir das Beugungsbild auf ein Papier, kennzeichnen die Position eines Minimums und lassen die Minima dann wandern. Bei Übereinstimmung mit unserer Kennzeichnung wird der Strom gemessen. Ähnlich gehen wir auch bei den anderen Versuchsteilen vor.

Wir bemerken eine minimale Verlängerung des Nickels und wollen nun die Magnetostruktionskonstante bestimmen. Aus dem gemessenen Strom berechnen wir mit den in der Vorbereitung gegebenen Formeln das jeweilige Magnetfeld (mit $L = 105\text{mm}$, $N = 2000$, $\lambda = 632,8\text{nm}$) und tragen dieses über der Anzahl der durchlaufenen Minima auf. Die Darstellung mit den negativen Werten kommt durch das Umpolen (ebenso auch in den weiteren Versuchsteilen).

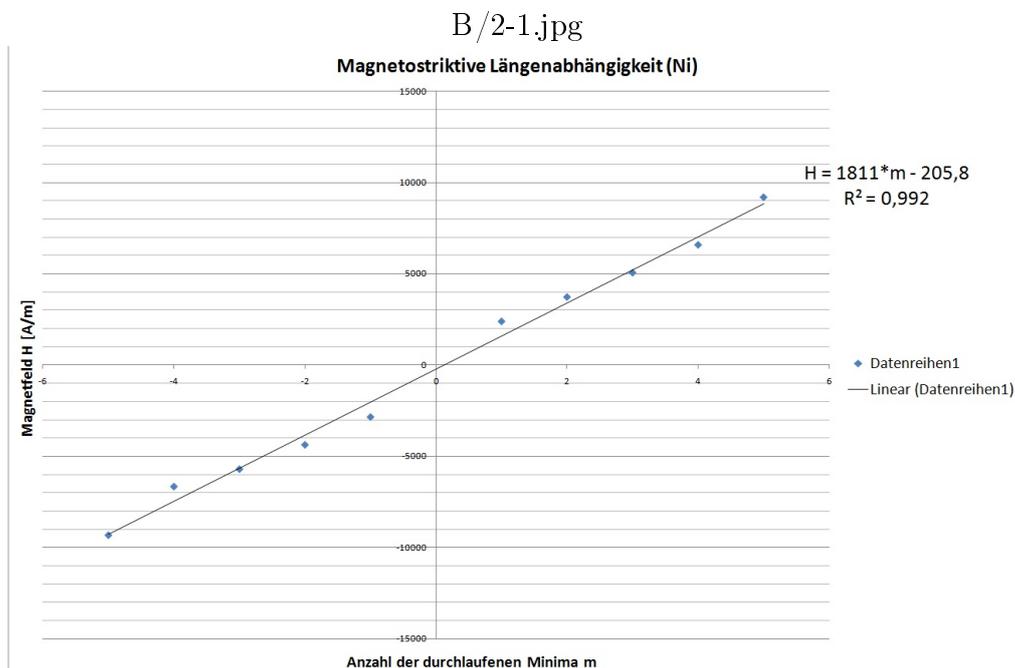


Abbildung 1: Magnetostriktion

Laut Vorbereitung gilt

$$c_{Ni} = \frac{m * \lambda}{2N * I} = \frac{\lambda}{2L} \frac{m}{H}$$

wobei der letzte Bruch genau dem Kehrwert der Steigung entspricht ($\frac{H}{m} = 1811 \frac{A}{m}$). Damit erhalten wir auch schon das Ergebnis:

$$c_{Ni} = 1,6639 * 10^{-9} \frac{m}{A}$$

2.2 Bestimmung der Wellenlänge

Mittels der feinen Drehschraube können wir die Position des Mikrometerschlittens bestimmen. Wir haben drei Werte aufgenommen und sie wieder in Abhängigkeit von den durchgelaufenen Minima gezeichnet und Lineare Regression gemacht. Gemäß der Vorbereitung entspricht die zweifache Steigung dann der Wellenlänge.

B/2-2.jpg

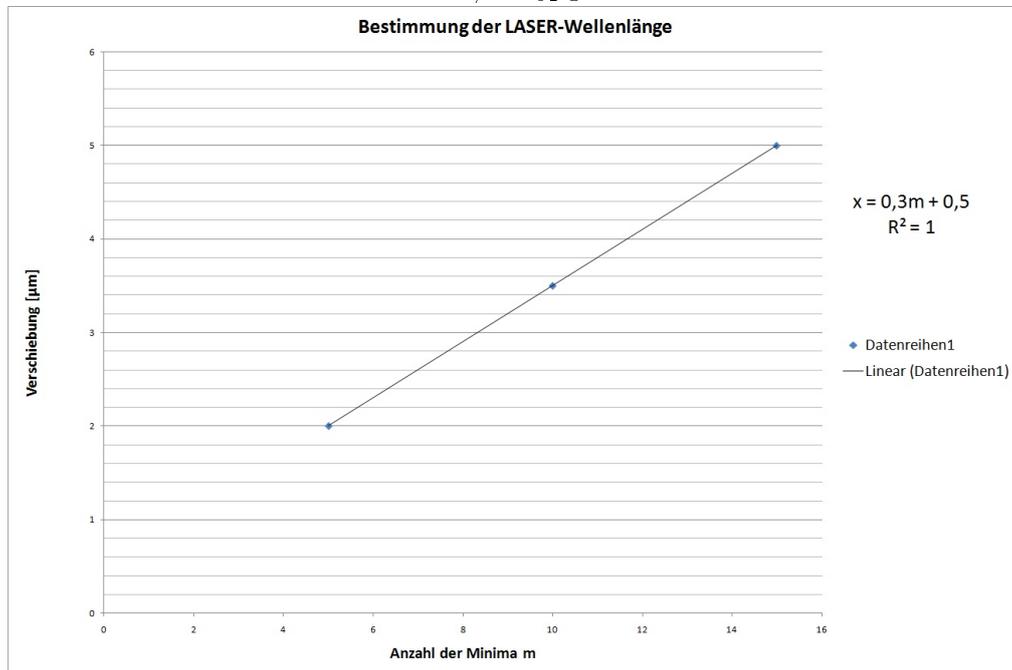


Abbildung 2: Wellenlängenbestimmung

Unser Ergebnis lautet also

$$\lambda = \frac{2 * \Delta x}{m} = 2 * 0,3 \mu m = 600 nm$$

und hat damit eine Abweichung von knapp 5,2 Prozent vom angegebenen Wert. Im optimalen Fall müsste die Gerade aber noch durch den Nullpunkt gehen, aber die Verschiebung ergibt sich durch Messungenauigkeiten.

2.3 Dopplereffekt bei Lichtwellen

Durch einen Motor bewegen wir nun langsam den einen Spiegel, indem wir den Motor durch einen Riemen mit der Drehschraube verbinden. Nun lassen wir ihn bis zum 50. Minimum laufen und lesen bei jedem 5. Minimum die Zeit auf einer Stoppuhr ab (Messdaten siehe Messprotokoll). Nun ermitteln wir den Zeitunterschied Δt für jedes Mal, wenn 5 Minima durchlaufen sind, mitteln das Ergebnis ($\Delta t = 5,188 s$) und setzen es in die bereits hergeleitete Gleichung ein:

Damit ist die durch den Dopplereffekt ermittelte Geschwindigkeit

$$v = \frac{m * \lambda}{2 * \Delta t} = 305 \frac{nm}{s}$$

Abschließend messen wir die Geschwindigkeit noch direkt. In einer Minute verschiebt der Motor den Spiegel um $19,5 \mu m$. So erhalten wir

$$v = 325 \frac{nm}{s}$$

das entspricht einer Abweichung von knapp 6,2 Prozent. Somit ist die Interferometer-Messung durchaus brauchbar.

2.4 Dopplereffekt - akustisch

Wir bewegen eine schwingende Stimmgabel vom Ohr weg bzw. auf das Ohr zu und hören einen Frequenzunterschied. Dann machen wir das Gleiche nochmal mit einer reflektierenden Wand in der Nähe. Dabei hat sich die Frequenz nicht hörbar verändert, aber die Lautstärke. Dies ist ein Effekt der Schwebung bzw. Interferenz.

3 Faraday- und Pockels-Effekt

3.1 Intensitätsmodulation durch Faradayeffekt

Nun positionieren wir den Faraday-Modulator (Bleisilikatglas in Spule) im Laserstrahl. Stattdessen dass wir den Zweilautsprecher-Ausgang des MP3-Players an eine Box stecken, verbinden wir ihn mit der Spule und modulieren so den Spulenstrom. Die veränderte Intensität des Laserstrahls (aufgrund des Analysators) interpretieren wir durch ein an einen Lautsprecher gekoppeltes Photoelement (Umrechnen der Intensität in Spannungsimpulse). In unserem Fall waren die hohen Frequenzen nicht hörbar vernachlässigt, aber der Ton kam insgesamt etwas rauschend rüber, vor allem im Vergleich zum Pockels-effekt.

3.2 Bestimmung der Verdetschen Konstante V von Bleisilikatglas

Den Polarisationsdrehwinkel α bestimmen wir bei verschiedenen Stromstärken ($0-1A$, wobei $\Delta I = 1A$), indem wir den Analysator immer so nachjustieren, dass ein Minimum vorhanden ist. Wir tragen den Winkel der Polarisatorstellung über dem Spulenstrom auf und machen erneut Lineare Regression.

B/3-2.jpg

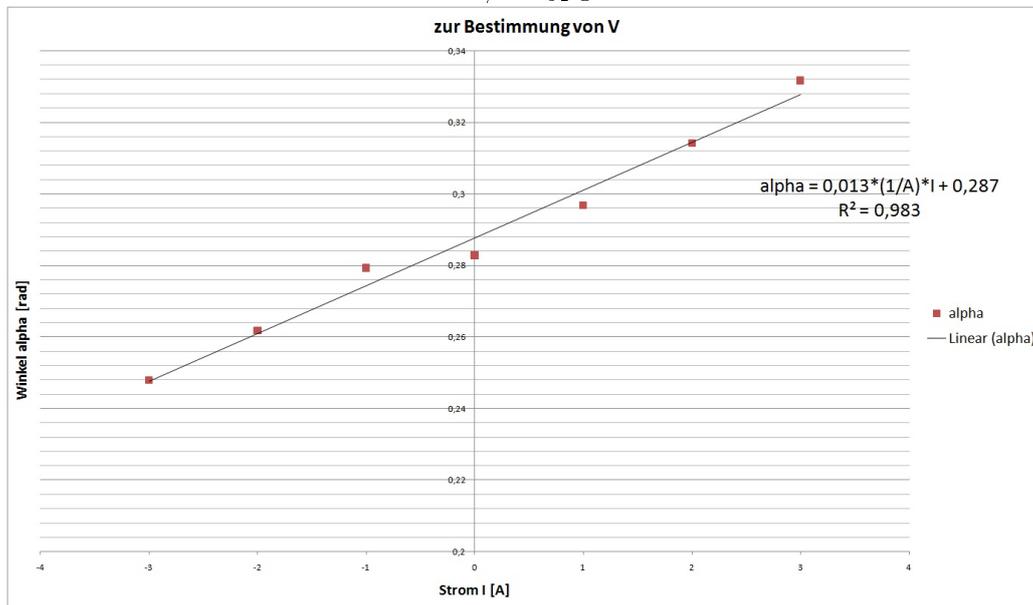


Abbildung 3: zur Bestimmung von V

Aus der Steigung $\frac{\alpha}{I} = 0,013 \frac{rad}{A}$ lässt sich schnell die Verdetkonstante ermitteln.

$$V = \frac{\alpha}{Bl} = \frac{\alpha}{I} \frac{1}{\mu_0 N} = 0,013 \frac{rad}{A} \frac{1}{\mu_0 * 800} = 12,93 \frac{rad}{Tm}$$

(Zur Berechnung der Konstante mussten wir die Winkel ins Radialmaß umrechnen.)

3.3 Intensitätsmodulation durch Pockelseffekt

Wir ersetzen den Faraday-Modulator durch eine Pockelszelle mit einem LiNbO₃-Kristall. Ebenso wie vorhin speisen wir das Ausgangssignal des mp3-Players hier ein. So verschiebt sich die optische Achse, es kommt zur Doppelbrechung (siehe Vorbereitung) und mit dem Photoelement wandeln wir das Signal wieder um, sodass wir es wieder als Ton hören. Diesmal ist der Klang wesentlich klarer. Woran das liegt, wissen wir jedoch nicht.

3.4 Bestimmung der Konstante k beim Pockelseffekt

Zunächst variieren wir die Spannung von -2000V bis +2000V (durch Umpolen) und schreiben die Werte auf, sobald auf dem Schirm in der Hyperbelmitte Intensitätsextrema auftauchen. Bei der Justierung muss man sehr

genau sein, um eine brauchbare Hyperbelfigur auf den Schirm zu bekommen. WICHTIG: Wir betrachten nun die Differenz zwischen Extrema (Herleitung zu Konstantenbestimmung in der Vorbereitung). Aus der Auftragung Spannung über Intensitätsextremstelle-Nummer bestimmen wir die Steigung, welche die Halwellenspannung ist.

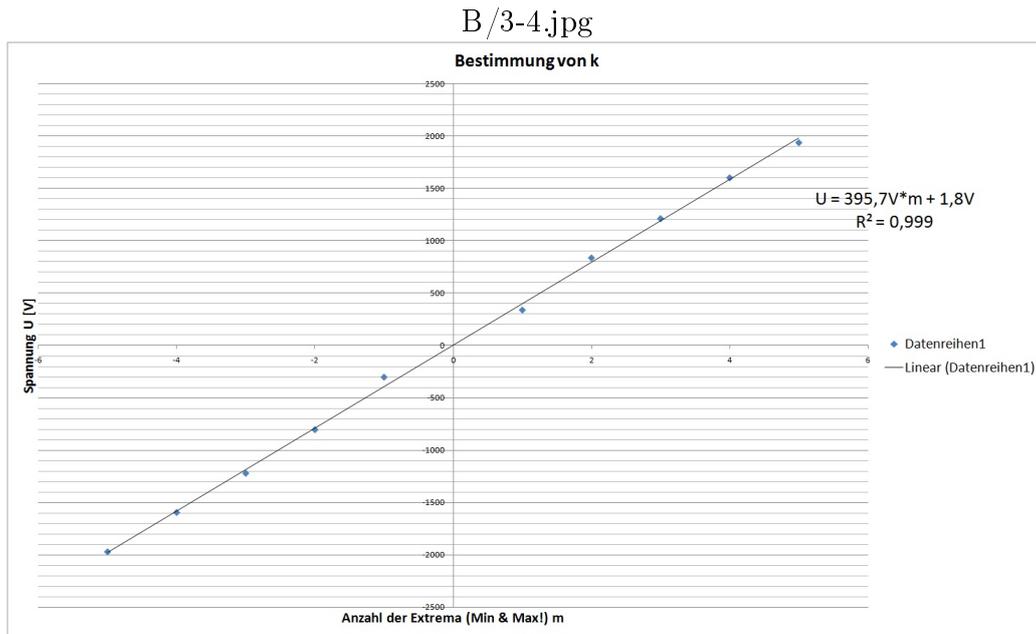


Abbildung 4: zur Bestimmung von k

Mit der Halwellenspannung $U_{HW} = 395,7V$ haben wir beinahe schon das Ergebnis für k :

$$k = \frac{\lambda_0 * d}{2s * U_{HW}} = \frac{632,8nm * 2mm}{2 * 20mm * 395,7V} = 0,0799 \frac{nm}{V}$$

(s entspricht der Kristalldicke, d dem Kondensatorplattenabstand)

4 Optische Aktivität (Saccharimetrie)

Im letzten Versuchsteil untersuchten wir chirale Stoffe - in unserem Fall mit einer Haushaltszucker- und einer Sorboselösung auf ihr spezifisches optisches Drehvermögen und den Drehsinn. Das Drehvermögen ist durch

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{cd}$$

gegeben, wobei c der Stoffkonzentration und d der Wegstrecke des Lichtes im Medium entspricht. In einer quaderförmigen Küvette rührten wir die Haushaltszuckerlösung an und positionierten sie sowohl längs als auch quer im Strahl. Danach das Gleiche nochmal mit der halben Konzentration und dann noch mal mit der schon fertigen Sorboselösung.

Zunächst unsere Ergebnisse für den Haushaltszucker:

Konzentration $\frac{g}{cm^3}$	Weglänge durch Lösung [m]	Winkel α	$[\alpha] \left[\frac{1}{g/cm^3 * m} \right]$
0,3	0,198	28°	471,4°
0,3	0,058	7°	402,3°
0,15	0,198	16°	538,7°
0,15	0,058	4°	459,8°

Daraus ergibt sich der Mittelwert für die Haushaltszuckerlösung:

$$[\alpha] = 468,05^\circ \frac{1}{g/cm^3 * m}.$$

Nun zur Sorboselösung:

Konzentration $\frac{g}{cm^3}$	Weglänge durch Lösung [m]	Winkel α	$[\alpha] \left[\frac{1}{g/cm^3 * m} \right]$
0,33	0,198	-22°	-336,7°
0,33	0,058	-6°	-313,5°

Jetzt auch noch der Mittelwert für die Sorboselösung:

$$[\alpha] = -325,1^\circ \frac{1}{g/cm^3 * m}.$$

Bei der Haushaltszuckerlösung weichen die Werte ziemlich stark voneinander ab. Das kann aber durch die nicht hundertprozentige Gleichverteilung zustandekommen. Nach dem Verdünnen der ersten Lösung sind uns krumme Lichtwege nicht wirklich aufgefallen, wir haben aber auch vergessen, darauf zu achten. Sofort erkennbar ist jedoch am Vorzeichen, dass die Sorboselösung im Gegensatz zur Zuckerlösung linksdrehend ist (wir mussten den Analysator gegen den Uhrzeigersinn nachjustieren um ein Minimum zu bekommen).