

**Physikalisches Anfängerpraktikum - P2**

**Laser B**

**P2-23**

Auswertung von  
**Tobias Renz** und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 14. Juni 2012



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 Steuerrouinen (z.B. für den Schrittmotor und für die Verstärkerschaltung) und den Meßrouinen (z.B. für die A/D-Wandlung nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation) auch Auswerterouinen. Eine dieser Rouinen 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 magnetostriktive 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 Magnetostruktionseffekt 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  $\alpha$  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  $45^\circ$  gegen die Polarisationsrichtung des Laserlichts gedreht) und ein Polarisationsfilter ( $90^\circ$  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  $\text{LiNbO}_3$  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  $\lambda_0$  des Laserlichts und den bekannten geometrischen Daten des LiNbO<sub>3</sub>-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. ( $\alpha$ in °; k in g/cm<sup>3</sup>; l in dm)

Zeigen Sie, daß der Drehwinkel  $\alpha$  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/cm<sup>3</sup>, Lösungsmittel Wasser, mit höchster Konzentration beginnen) ist. Von welchen weiteren Parametern ist  $\alpha$  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"> <li>• Strahlaufweitungssystem</li> <li>• Justieraufbau mit Fassungen</li> <li>• Halter für Linsen, Blenden</li> <li>• Schirm (groß, weiß)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlaufweitungssystem</li> <li>• Justieraufbau mit Fassungen</li> <li>• Halter für Linsen, Blenden</li> <li>• Schirm (groß, weiß)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlaufweitungssystem</li> <li>• Justieraufbau mit Fassungen</li> <li>• Halter für Linsen, Blenden</li> <li>• Schirm (groß, weiß)</li> </ul>
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, <b>nicht im unaufgeweiteten Strahl benutzen!</b> )		

Folgende Elemente in 25mm-Fassungen:

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

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),  $\text{LiNbO}_3$ -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*

**Physikalisches Anfängerpraktikum - P2**

**Laser B**  
**P2-23,24,25**

Versuchsvorbereitung von  
**Tobias Renz** und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 26. April 2012

## 0 Einführung

Schon 1917 hatte Albert Einstein von der theoretischen Existenz stimulierter Emission berichtet. Nachgewiesen wurde dieses Phänomen jedoch erst 1954. Heutzutage stehen uns dank dieses Phänomens optische Laser zur Verfügung, die eine extrem große Kohärenzlänge ( $l \approx 300\,000\text{ km}$ ), sehr gute Parallelität und eine große Strahlungsintensität (im Pulsbetrieb bis zu  $10^{12} - 10^{13}\text{ Watt}$ ) besitzen.

Aus diesen Gründen verwenden wir für Beugungs- und Interferenzexperimente einen Laser.

### Funktionsweise eines Lasers

Das Wort Laser wird aus den Anfangsbuchstaben von "light amplification *by* stimulated emission of radiation" gebildet. Daran sieht man schon, dass die stimulierte (induzierte) Emission von Strahlung eine große Rolle bei der Funktionsweise eines Lasers spielt.

Die Wirkungsweise des Lasers versteht man gut, wenn man den experimentellen Aufbau im Schema betrachtet.

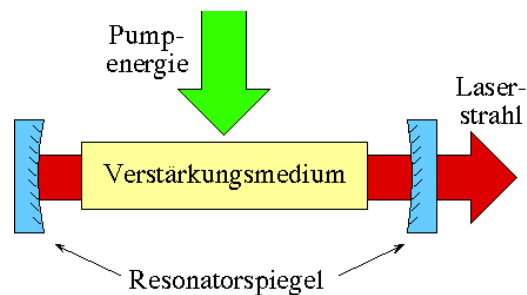


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Lasers

Der Laser besteht aus einem Stück laseraktiven Materials (z.B. ein  $Al_2O_3$ -Kristall, mit Cr-Ionen dotiert), wobei die Chromatome die optischen Übergänge ausführen, die den Laserprozess ermöglichen. Laserprozesse können aber auch in Gasen oder Farbstofflösungen funktionieren. An den Endflächen des laseraktiven Materials ist der Laser durch zwei Spiegel begrenzt, wobei einer davon teildurchlässig ist.

Der Laser muss durch Energiezufuhr von außen angeregt werden. Dies geschieht durch das sogenannte Pumpen.

Das Grundprinzip des Laser ist nun folgendes: Durch optisches Pumpen bringt man viele Atome in den angeregten Zustand. Es können dann Photonen spontan emittiert werden. Diese Photonen treffen auf ein schon angeregtes Atom und veranlassen dies zu induzierter Emission. Dieser Prozess wird fortgesetzt und es kommt zu einer Photonenlawine. Da die Atome aber wieder in den Grundzustand übergehen muss ständig Energie nachgepumpt werden, damit sich ein Gleichgewicht ausbildet.

Nun muss die Anregungsbedingung und die Strahlungseigenschaften so sein, dass die spontane Emission in eine durch induzierte Emission hervorgerufene kollektive Ausstrahlung übergeht.

Gemäß dem Beerschen Absorptionsgesetz ändert sich die Intensität einer elektromagnetischen Welle folgendermaßen:

$$I(z) = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z} \quad (1)$$

mit:

$$\alpha(\nu) = (N_k - \frac{g_i}{g_k} \cdot N_i) \sigma(\nu) \quad (2)$$

Mit den Besetzungsdichten  $N$  und den statischen Gewichten  $g$  der am Übergang  $E_k \rightarrow E_i$  beteiligten Niveaus.

Für

$$N_i > N_k \cdot \frac{g_i}{g_k} \quad (3)$$

wird  $\alpha < 0$  und die Welle somit verstärkt. Eine solche Umkehr der thermischen Gleichgewichtsbesetzung heißt Inversion.

Die Lichtwelle wird zwischen den Spiegeln hin und her reflektiert und dabei jedesmal verstärkt und es baut sich die Laseroszillation auf.

Diese Inversion wird z.B. beim Rubinlaser durch ein 3-Niveau-Schema erreicht. Die Chromatome werden durch Absorption des Lichts vom Grundzustand  $E_0$  in zwei Niveaus  $E_1, E_2$  gepumpt. Von dort aus gehen die Atome sehr schnell auf das Niveau  $E_i$  über. Dadurch erreicht man, dass das Niveau  $E_i$  ausreichend besetzt ist. Die Niveaus  $E_1, E_2$  werden zusammengefasst und man hat somit drei Niveaus.

## 1 Fouriertransformation

Da die Fouriertransformation das Fraunhofersche Beugungsbild eines beliebigen Objektes beschreibt, lassen sich viele Probleme elegant darstellen.

Das Betragsquadrat der Fouriertransformation eines Objektes ist proportional zur Intensität, welche sich messen lässt. Aus der Intensität lassen sich also Rückschlüsse auf das Beugungsobjekt schließen.

Bei zeitlichen Signalen sind die Zeitfunktion  $f(t)$  und Frequenzfunktionen  $F(\omega)$  folgendermaßen über die Fouriertransformation verknüpft:

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} dt f(t) \cdot e^{-i\omega t} \quad (4)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega F(\omega) \cdot e^{i\omega t} \quad (5)$$



In der Fourieroptik ist die Analogie dazu der Übergang von einer Ortsabhängigen Funktion  $f(\vec{r})$  zur Fourier-Transformierten  $F(\vec{k})$  wobei  $|\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$ .

$$F(\vec{k}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\vec{r} \cdot f(\vec{r}) \cdot e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}} \quad (6)$$

$$f(\vec{r}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\vec{k} \cdot F(\vec{k}) \cdot e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} \quad (7)$$

In unserem Versuch messen wir durch ein 'on-line' Experiment das Beugungsbild eines Spaltes aus und gewinnen durch die Fourier-Transformation ein Bild des Spaltes. Dabei wird ein Phototransistor durch einen Schrittmotor durch das Interferenzmuster geführt und die Intensität gemessen. Die intensitätsproportionalen Gleichspannungen werden digitalisiert und gespeichert. Da die Intensität proportional zum Betragsquadrat der Fourier-Transformation ist, muss man dem Programm mitteilen, dass es sich um einen Einzelspalt handelt, damit dieses zu den Wurzeln aus der Intensität das richtige Vorzeichen setzen kann. Über das FFT-Programm ("Fast Fourier Transformation") wird die Amplitudenfigur dann zurück in ein Spaltbild transformiert.

## 2 Michelson-Interferometer

Das Michelson-Interferometer wurde im Jahr 1881 von Albert A. Michelson entwickelt. Es ist aus einem halbdurchlässigen, einem starren und einem beweglichen Spiegel aufgebaut. Ein monochromatischer Lichtstrahl fällt auf den halbdurchlässigen Spiegel, wobei ein Teil durchgelassen (2) und der Andere (1) um 90° abgelenkt wird. Die Strahlhälften werden an den Spiegeln reflektiert und werden dann auf einer Mattscheibe vereinigt. Dort treten dann Interferenzerscheinungen auf.

Die beiden Teilstrahlen haben dabei die gleiche Intensität, da sie je einmal an dem Strahlteiler reflektiert und transmittiert worden sind.

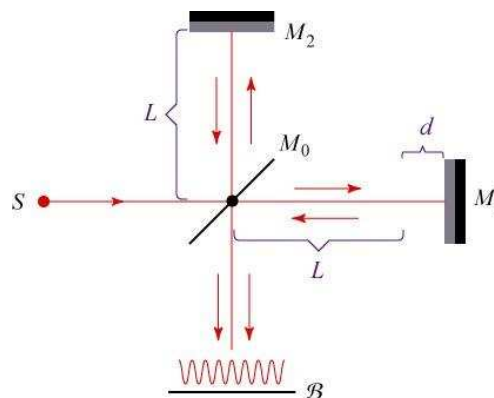


Abbildung 2: Schematischer eines Michelson-Interferometers

Man erhält also einen Gangunterschied  $\Delta s$ , der sich aus der zusätzlichen Strecke  $d$ , die ein Teilstrahl zurücklegt und einer Phasenverschiebung von  $\Delta\phi = \pi$  also einem Gangunterschied von  $\frac{\lambda}{2}$  zusammen. Die zusätzliche Phasenverschiebung kommt dadurch zustande, dass der Strahl (1) durch die Reflektion am Strahlteiler diese Phasenverschiebung erhält.

$$\Delta s = 2 \cdot d + \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

Konstruktive Interferenz ergibt sich, wenn der Gangunterschied  $\Delta s = m \cdot \lambda$  ist. Für destruktive Interferenz hingegen muss  $\Delta s = (m + \frac{1}{2})\lambda$  sein.

Damit ergibt sich **konstruktive Interferenz** für:

$$d = (m - \frac{1}{2}) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (9)$$

Und **destruktive Interferenz** für:

$$d = m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (10)$$

## 2.1 Magnetostruktive Längenabhängigkeit

Unter Magnetostruktion versteht man die Deformation ferromagnetischer Stoffe infolge eines angelegten Magnetfeldes. Bei konstantem Volumen  $V$  erfährt der Körper eine elastische Längenänderung.

Das Prinzip ist folgendes: Durch anlegen eines äußeren Magnetfeldes ( $H$ ) richten sich die Weisschen Bezirke gleich aus. Dabei ändert sich die Länge eines Stabes im Bereich von  $10 - 30 \frac{\mu m}{m}$  in Richtung der Magnetfeldlinien.

Für diesen Versuch benutzen wir einen Ni-Stab, der von einer Spule umgeben ist.

Das Magnetfeld  $H$  einer langen Spule ist gegeben durch:

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \quad (11)$$

mit  $N$  = Windungszahl und  $L$  = Spulenlänge.

Man erwarte, dass die relative Längenzunahme vom angelegten Magnetfeld und einer Materialspezifischen Konstante  $c$  abhängt.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = c \cdot H \quad (12)$$

Durch langsames Erhöhen des Stroms kann die Anzahl der auftretenden Interferenzminima ( $m$ ) gemessen und die Ausdehnung bestimmt werden.

$$\Delta l = \frac{m \cdot \lambda}{2} \quad (13)$$

## 2.2 Wellenlänge des Laserlichts

Nun soll die Wellenlänge des Lasers durch das Verschieben seiner Position bestimmt werden. Dazu wird der Spiegel verschoben und die Verschiebung  $\Delta x$  sowie die Anzahl der auftretenden Minima ( $m$ ) gezählt.

Die Wellenlänge ergibt sich dann:

$$\lambda = \frac{2 \cdot m}{\Delta x} \quad (14)$$

## 2.3 Dopplereffekt mit Lichtwellen

Bewegt sich der Sender und der Empfänger relativ zueinander, so kommt es zu einer Frequenzverschiebung der sogenannten Dopplerverschiebung. Dabei muss unterschieden werden ob sich der Empfänger und der Sender aufeinander zu oder voneinander weg bewegen.

Bewegt sich der Empfänger mit Geschwindigkeit  $v_e$  und der Sender mit Geschwindigkeit  $v_s$  und ausgesandter Frequenz  $f_s$  aufeinander, so ergibt sich die vom Empfänger wahrgenommene Frequenz  $f_e$  zu:

$$f_e = f_s \cdot \frac{1 + \frac{v_e}{c}}{1 - \frac{v_s}{c}} \quad (15)$$

Bewegen sie sich voneinander weg gilt:

$$f_e = f_s \cdot \frac{1 - \frac{v_e}{c}}{1 + \frac{v_s}{c}} \quad (16)$$

Im Versuch wird nun einer der Spiegel motorgetrieben gleichmäßig bewegt und die Frequenzverschiebung  $\Delta f$  gemessen. Der Spiegel ist in diesem Versuch sowohl bewegte Quelle als auch bewegter Empfänger. Es gilt:

$$v = v_e = v_s \quad (17)$$

Für die Frequenzverschiebung gilt:

$$\Delta f = f_e - f_s = f_s \left( \frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}} - 1 \right) = f_s \left( \frac{\pm 2 \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}} \right) \quad (18)$$

Da wir Geschwindigkeiten  $v$  betrachten die viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit ist gilt:

$$\Delta f \approx \pm 2 \cdot \frac{v}{\lambda} \quad (19)$$

Durch die Frequenzverschiebung kommt es nun dazu, dass sich zwei Elektromagnetische Wellen mit gleicher Amplitude überlagern.

Dadurch ergibt sich folgendes elektrisches Feld:

$$E = E_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f_s \cdot t) + E_0 \cdot \sin(2\pi(f_s + \Delta f)t) \quad (20)$$

$$E = 2 \cdot E_0 \sin(\pi \cdot t(2f_s + \Delta f)) \cdot \cos(\pi \cdot t \cdot \Delta f) \quad (21)$$

Die Cosinusfunktion entspricht dabei der Einhüllenden. Die Intensität ist proportional zu  $E^2$  und damit ergibt sich:

$$I \propto \cos^2(\pi \cdot t \cdot \Delta f) = \frac{1}{2}(1 + \cos(2\pi \cdot t \cdot \Delta f)) \quad (22)$$

Wir messen nun die Anzahl der Intensitätsmaxima ( $m$ ) in einem bestimmten Zeitintervall  $\Delta t$  und können damit  $\Delta f$  bestimmen.

$$m = \Delta f \cdot \Delta t \quad (23)$$

$$\Rightarrow v = \frac{\lambda \cdot m}{2 \cdot \Delta t} \quad (24)$$

## 2.4 Akustischer Dopplereffekt

Nun sollen wir eine schwingende Stimmgabel von unserem Ohr weg und auf unser Ohr zu bewegen. Dies soll einmal in der Nähe einer Wand und einmal ohne and durchgeführt werden.

Ohne Wand erwartet man die "normale" Dopplerverschiebung. Ist man in der Nähe einer Wand sollten analog zu 2.3 Schwebungen entstehen.

## 3 Faraday-Effekt und Pockels-Effekt

### Faraday-Effekt:

Beim magnetooptischen Faraday-Effekt beobachtet man, dass die Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht beim Durchgang durch einen in einem Magnetfeld befindlichen Stoff. Die maximale Drehung tritt bei Ausbreitung parallel zum B-Feld auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Brechzahl proportional zur magnetischen Induktion ist ( $\Delta n \propto B$ ). Der Drehwinkel hängt also von der Probendicke  $d$  und der magnetischen Induktion  $B$  ab:

$$\beta = V \cdot B \cdot d \quad (25)$$

Wobei  $V$  die Verdettsche Konstante ist, die von Temperatur und Wellenlänge abhängig ist.

Dabei ist zu beachten, dass der Drehsinn um die Magnetfeldachse nicht von der Ausbreitungsrichtung des Lichts relativ zum Magnetfeld abhängt. Damit addieren sich die Drehwinkel bei wiederholtem Durchgang in Hin- und Rückrichtung.

Die Verdettsche Konstante kann folgendermaßen berechnet werden:

$$V = \frac{e}{2 \cdot m \cdot c} \cdot \lambda \frac{dn}{d\lambda} \quad (26)$$

**Pockels-Effekt:**

Wird an einen doppelbrechenden Kristall ein starkes Gleichfeld angelegt, werden Kristallelektronen verschoben und es entstehen neue optische Achsen. Der Pockels-Effekt tritt nur in Materialien ohne Inversionssymmetrie auf.

Bei einer longitudinalen Pockels-Zelle wird die optische Achse parallel zum angelegten E-Feld ausgerichtet und es entstehen in der zu E senkrechten Ebene langsame und schnelle Achsen. Eine linear polarisierte Welle, deren Schwingungsebene um  $45^\circ$  zu diesen Achsen gedreht ist, wird also in zwei zueinander senkrecht polarisierte Teilwellen gleicher Amplitude aufgespalten. Nach Austritt aus dem Material haben sie eine Phasenverschiebung  $\delta$ .

$$\delta = 2\pi n_0^3 \cdot r \cdot \frac{U}{\lambda_0} \quad (27)$$

Wobei  $r$  die lineare elektrooptische Konstante ist.

Die Halbwellenspannung  $U_{HW}$  ist die Spannung, bei der die Phasenverschiebung gerade  $\pi$  ist.  $U_{HW}$  ergibt sich dann zu:

$$U_{HW} = \frac{\lambda_0}{2 \cdot r \cdot n_0^3} \quad (28)$$

**3.1 Modulation des Laserlichts mit dem Faraday-Effekt**

Es soll das Laserlicht mit Hilfe des Faraday-Effekt moduliert werden. Dabei durchläuft das Laserlicht zuerst durch einen Bleisilikatglasstab im longitudinalen Magnetfeld und dann einen Polarisationsfilter. Ändern wir das Magnetfeld, so ändern wir auch die Polarisationssebene des Lichts. Der Spulenstrom (und somit das Magnetfeld) wird über einen Zweilautsprecher-Ausgang eines MP3-Players verändert. Wir wollen aber nun die Intensität modulieren und benötigen deshalb einen Polarisationsfilter.

Die durchgelassene Intensität ist als abhängig vom Drehwinkel  $\beta$ :

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\beta - \beta_0) \quad (29)$$

wobei  $\beta_0$  die Ausrichtung des Polarisationsfilters ist.

Das modulierte Licht wird dann mit Hilfe eines Photoelements und einem Lautsprecher "hörbar" gemacht.

Hohe Frequenzen sind hier benachteiligt, da schnelle Stromschwankungen zu Selbstinduktion führen.

**3.2 Verdettsche Konstante von Bleisilikatglas**

Es soll die Verdettsche Konstante  $V$  von Bleisilikatglas bestimmt werden, indem die Spule mit Gleichstrom betrieben wird. Die Konstante  $V$  ergibt sich nach Gleichung (25) folgendermaßen:

$$V = \frac{\beta}{B \cdot d} \quad (30)$$

Da der Drehwinkel  $\beta$  sehr klein ist, ist die erreichbare Genauigkeit sehr schlecht.

Man kann versuchen eine indirekte Winkelmessung zu machen, indem man die Intensität hinter dem Polarisationsfilter misst. Der Zusammenhang von Intensität vom Drehwinkel ist dann folgendermaßen gegeben:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\beta - \beta_0) \quad (31)$$

### 3.3 Modulation des Laserlichts mit dem Pockels-Effekt

Es soll die Intensität des Laserlichts durch Anwendung des Pockels-Effekt moduliert werden. Dazu durchläuft das Licht zuerst einen Lithiumniobat-Kristall, mit elektrischem Feld, dessen Feldrichtung um  $45^\circ$  zur Polarisationsrichtung gedreht ist. Anschließend durchläuft das Licht einen Polarisator, der um  $90^\circ$  gegenüber der Polarisationsrichtung gedreht ist.

Da das elektrische Feld um  $45^\circ$  zur Polarisationsrichtung gedreht ist, spaltet sich die einfallende Welle in zwei senkrecht aufeinander stehende Teilwellen mit gleicher Amplitude auf. Diese Teilwellen erfahren eine Phasenverschiebung  $\delta$  (vgl. (27) ).

Da unser Polarisator um  $90^\circ$  zur ursprünglichen Polarisationssebene gedreht ist, ist die Intensität proportional zu  $\sin^2$ . Sie wird null, wenn keine Phasenverschiebung stattfindet und maximal für eine Phasenverschiebung um  $\pi$ . Dann wird nämlich die Polarisation um den doppelten Einfallswinkel gedreht. Dies ist genau der Fall, wenn  $U = U_{HW}$  ist.

$$I = I_0 \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{U}{U_{HW}}\right) \quad (32)$$

Das modulierte Licht wird zum einen wieder mit Hilfe der Photozelle und dem Lautsprecher ausgewertet. Zum anderen wird das Licht das auf einen Schirm auftreffende Bild beobachtet.

Das Laserlicht wird zuerst durch eine Linse divergent gemacht und dann durch eine zweite Linse im Zentrum der Photozelle fokussiert. Dadurch wird Reflexion an den Seitenflächen des Kristalls vermieden.

Durch dieses Linsensystem haben die Wellen unterschiedliche Einfallswinkel und erfahren somit unterschiedliche Phasenverschiebungen. Dadurch erscheint auf dem Schirm eine Hyperbel.

### 3.4 Bestimmung der Konstanten k für den Pockels-Effekt

Die Änderung des Brechungsindex ist proportional zum elektrischen Feld.

$$\Delta n = k \cdot E \quad (33)$$

Diese Proportionalitätskonstante k soll nun bestimmt werden. Dazu wird die Spannung von -2000V bis +2000V variiert und die Werte notiert, bei denen im Zentrum der Hyperbelfigur Helligkeitsextrema (Minima oder Maxima) auftreten. Diese Extrema werden fortlaufend notiert und es wird die Spannung über den Nummern aufgetragen. Die Steigung entspricht gerade der Halbwellenspannung. Ein Minimum tritt bei vielfachen von  $2\pi$  auf und ein Maximum bei vielfachen von  $\pi$  für die Phasenverschiebung. Also:

$$n = \frac{\phi}{\pi} \quad (34)$$

Die Steigung ist dann:

$$\frac{dU}{dn} = \frac{dU}{d\phi} \frac{d\phi}{dn} = \pi \frac{dU}{d\phi} \quad (35)$$

Andererseits ergibt sich die Phasenverschiebung folgendermaßen:

$$\phi = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_0} \Delta n \cdot s = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_0} k \cdot E \cdot s = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_0} s \cdot k \cdot \frac{U}{d} \quad (36)$$

Mit s der Kristalllänge und d dem Abstand der Kondensatorplatten.

Differenziert man nun die Phasenverschiebung nach der Spannung erhält man:

$$\frac{d\phi}{dU} = \frac{2 \cdot \pi \cdot s}{\lambda_0 \cdot d} \cdot k \quad (37)$$

Fassen wir unser Ergebnisse zusammen, so erhalten wir:

$$\frac{dU}{d\phi} = \frac{1}{\frac{d\phi}{dU}} = \frac{\lambda_0 \cdot d}{2\pi \cdot s \cdot k} = \frac{dU}{d\phi} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{dU}{dn} = \frac{U_{HW}}{\pi} \quad (38)$$

Nach k umgeformt erhält man:

$$k = \frac{\lambda_0 \cdot d}{2 \cdot s \cdot U_{HW}} \quad (39)$$

## 4 Optische Aktivität

Weist ein Medium auch ohne angelegtes Magnetfeld einen Einfluss auf die Polarisationssebene, so ist das Medium optisch aktiv. Optisch aktive Stoffe besitzen chirale Moleküle. Chiralität kommt aus dem Griechischen und bedeutet Händigkeit. Chirale Moleküle lassen sich durch Drehungen nicht auf ihr eigenes Spiegelbild bringen (z.B. wie unsere Hände). Man unterscheidet dann zwischen rechtsdrehend und linksdrehend.

Durchläuft linear polarisiertes Licht ein optisch aktives Medium wird die Schwingungsebene gedreht. Der Drehwinkel  $\alpha$  ist proportional zur Länge d des Lichtweges im Medium und bei Lösungen außerdem proportional zur Konzentration c.

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot d \quad (40)$$

Die Proportionalitätskonstante  $[\alpha]$  wird als spezifische Drehung bezeichnet.  $[\alpha]$  ist stark wellenlängenabhängig und das Vorzeichen wird positiv gesetzt für rechtsdrehende und negativ für linksdrehende Substanzen.

Der Lichtvektor bewegt sich in rechtsdrehenden Substanzen mit einer Linksschraube um seine Fortpflanzungsrichtung. In linksdrehenden mit einer Rechtsschraube.

Optisch Aktive Substanzen sind z.B. Glucose und Fructose.

#### 4.1 Bestimmung des spezifischen optischen Drehvermögens von Haushaltszucker

Bei dieser Aufgabe soll das optische Drehvermögen  $[\alpha]$  einer Haushaltszuckerlösung bei verschiedenen Konzentrationen und die Drehrichtung bestimmt werden.

Ist der Stoff rechtsdrehend, so wird der Lichtstrahl wenn man im entgegenblickt im Uhrzeigersinn gedreht.

Aus den Messwerten soll gezeigt werden, dass der Drehwinkel proportional zur Länge  $l$  und zur Konzentration  $c$  ist.

Wir beginnen mit der höchsten Konzentration und verdünnen dann die Lösung nach und nach.

Wird die Konzentration geändert während man den Strahl beobachtet, scheint dieser krumme Wege zu gehen. Gibt man Wasser in die Lösung, dauert es eine gewisse Zeit, bis die Moleküle wieder gleichverteilt sind. Es entstehen also kurzzeitig Gebiete mit unterschiedlichem  $[\alpha]$ .

#### 4.2 Optisches Drehvermögen einer Sorboselösung

Es soll das optische Drehvermögen einer entgegengesetzt drehenden Sorboselösung mit vorgegebener Konzentration bestimmt werden.

### 5 Quellen

- Abbildung 1:  
<http://www.iap.uni-bonn.de/dunkel/laser.html>  
14.06.2012, 11Uhr
- Abbildung 2:  
<http://skullsinthestars.com/2008/10/16/fabry-perot-and-their-wonderful-interferometer-1897-1899/>  
14.06.2012, 11Uhr
- Literatur zum Versuch
- Haken, Wolf, Atom- und Quantenphysik
- Demtröder, Experimentalphysik 3



**Physikalisches Anfängerpraktikum - P2**

**Laser B**

**P2-23**

Auswertung von  
**Tobias Renz** und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 14. Juni 2012

## Bemerkung zur Fehlerrechnung

Bei den folgenden Aufgaben tragen wir oft Messwerte übereinander auf, die zueinander proportional sind. Wir erhalten also eine Gerade:

$$y = a \cdot x \quad (1)$$

Mit Hilfe einer linearen Regression können wir dann die Steigung bestimmen und erhalten für die Steigung einen statistischen Fehler.

Die Steigung hat aber auch einen systematischen Fehler, der aus der Fehlerfortpflanzung der systematischen Fehler von  $y$  und  $x$  entsteht.

$$\begin{aligned} \Delta a &= \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial x} \Delta x\right)^2} \\ &= \frac{1}{x} \sqrt{(\Delta y)^2 + (a \Delta x)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Nun haben wir das Problem, dass wir keine relativen Fehler  $\frac{\Delta y}{y}$  bzw.  $\frac{\Delta x}{x}$  haben, sondern absolute Fehler und somit für  $x$  einen Wert einsetzen müssen.

Für dieses  $x$  setzen wir im folgenden immer den Mittelwert aus den  $x$ -Werten ein.

## 1 Fourier-Transformation

Die erste Aufgabe ist eine Art Demonstrationsversuch und wurde mit den anderen Gruppen zusammen durchgeführt.

Um mit Hilfe eines FFT-Programms aus dem Intensitätsmuster Informationen über die Spaltbreite des untersuchten Einzelspalts hat unser Betreuer folgendermaßen aufgebaut.

Mit dem Licht eines He-Neon-Lasers wurde ein Einzelspalt beleuchtet und in einem Abstand von 189,2cm wurde ein Phototransistor auf einem Schrittmotor platziert. Der Schrittmotor kann rechnergesteuert durch das Beugungsbild gefahren werden und die Intensitäten gemessen und auf dem Computer gespeichert werden.

Um die Spaltbreite mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation Programm berechnen zu können musste dem Programm noch der Abstand von Spalt zum Beugungsmuster mitgeteilt werden.

Auf dem Computer war nun die Intensitätsverteilung zu sehen und der Betreuer hat die linke Seite auf die rechte gespiegelt um die Mitte der Verteilung bestimmen zu können. Von der einen Seite wurde nun mit Hilfe des Programms die Rücktransformation durchgeführt und man hat die Spaltbild erhalten. Wir hatten erwartet, dass das Spaltbild eine Rechtecksfunktion ist, dies war aber nicht der Fall. Das Spaltbild ähnelte einer Gaußkurve.

Das das Spaltbild keine perfekte Rechtecksfunktion ist liegt zum einen daran, dass der Einzelspalt kein perfekter Spalt ist, zum anderen daran, dass nur ein kleiner Bereich der Intensitätsverteilung gemessen wurde und somit Informationen für die Rücktransformation fehlen.

Wir denken aber dass der Hauptgrund daran liegt, dass ein Laserstrahl ein bestimmtes Profil aufweist, dass durch die Moden gekennzeichnet ist. Wir vermuten, dass unser Laser Strahlung im Modus  $TEM_{00}$  ausstrahlt und somit das Strahlungsprofil durch eine Gaußverteilung

beschrieben wird. Dieses Strahlungsprofil überlagert sich mit dem Spaltbild und müsste noch herausgerechnet werden.

## 2 Anwendungen des Michelson-Interferometers

In diesem Versuchsteil haben wir das Michelson-Interferometer genutzt um sehr kleine Längenänderungen zu messen. In Aufgabe 2.1 verwenden wir das Michelson-Interferometer um magnetostriktive Längenänderung von Nickel im Magnetfeld zu messen und in 2.2 messen wir damit die geringe Verschiebung eines Spiegels um die Wellenlänge des Lasers zu bestimmen.

### 2.1 Magnetostriktive Längenabhängigkeit

Um die magnetostriktive Längenabhängigkeit von Nickel im Magnetfeld zu messen haben wir ein Michelson-Interferometer benutzt, bei welchem der Nickel-Stab schon fest verbaut war. Einer der beiden Spiegel war dabei an der Stirnfläche des Stabes angebracht und um den Stab war eine Spule angebracht.

Nun haben wir den Spulenstrom erhöht und somit das Magnetfeld  $H$  und die Anzahl  $m$  der auftretenden Interferenzminima gezählt.

Aus den Messwerten soll nun der Magnetostruktionskoeffizient  $c$  berechnet werden, der folgendermaßen definiert ist:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = c \cdot H \quad (3)$$

In der Vorbereitung wurde gezeigt, dass die Längenänderung  $\Delta l$  folgendermaßen berechnet werden kann:

$$\Delta l = \frac{m \cdot \lambda}{2} \quad (4)$$

Nehmen wir außerdem noch für das Magnetfeld die Näherung einer langen Spule an:

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \quad (5)$$

so ergibt sich, wenn man den Strom  $I$  über der Anzahl  $m$  aufträgt eine Gerade:

$$I = \frac{L \cdot \lambda}{2 \cdot l_0 \cdot N} \cdot \frac{1}{c} \cdot m \quad (6)$$

wobei die Konstanten  $L = l_0 = 105$  mm,  $N = 2000$  und  $\lambda = 632,8$ nm auf dem Aufgabenblatt angegeben sind.

Wir tragen nun den Strom  $I$  über der Anzahl  $m$  auf und bestimmen eine lineare Regression mit Steigung  $a$ . Daraus ergibt sich dann der Magnetostruktionskoeffizient zu:

$$c = \frac{1}{a} \cdot 1,582 \cdot 10^{-10} m \quad (7)$$

Im folgenden haben wir für die Strommessung einen systematischen Fehler  $\Delta I = \pm 25$ mA angenommen.

Außerdem benutzen wir im folgenden für die Fehlerfortpflanzung die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung, da unsere Messwerte nicht korrelieren.

Ordnung	Strom / mA	systematischer Fehler / mA
-6	-470	25
-5	-393	25
-4	-330	25
-3	-251	25
-2	-190	25
-1	-116	25
1	110	25
2	190	25
3	251	25
4	312	25
5	420	25
6	515	25

Tabelle 1: Längenabhängigkeit bei Nickel

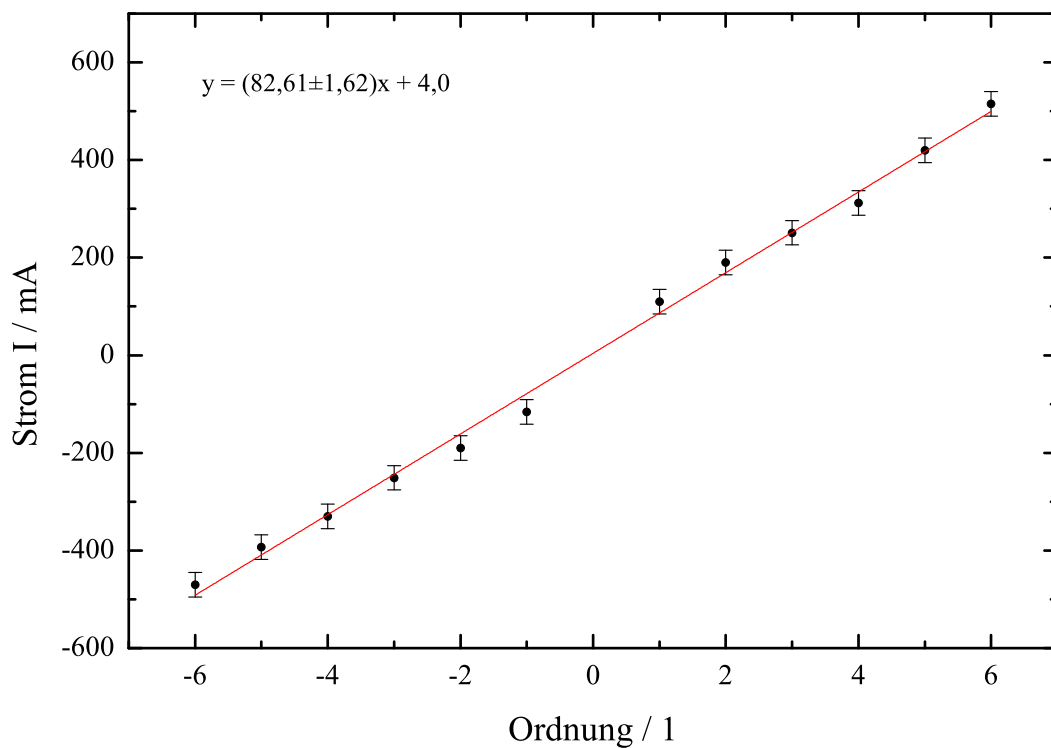


Abbildung 1: magnetostruktive Längenabhängigkeit

Für die Steigung erhalten wir folgenden Wert:

$$a = (82,6 \pm 1,6 \pm 7,1) \text{mA} \tag{8}$$

Nun können wir daraus die Konstante  $c$  berechnen (7):

$$c = 1,91 \cdot 10^{-8} \frac{m}{A} \quad (9)$$

Nun muss noch der statistische und der systematische Fehler berechnet werden.

**systematischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \Delta c &= \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial a} \Delta a\right)^2} \\ &= \frac{1,582 \cdot 10^{-10} m}{a^2} \Delta a \\ &= 0,16 \cdot 10^{-8} \frac{m}{A} \end{aligned} \quad (10)$$

**statistischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial a} \sigma_a\right)^2} \\ &= \frac{1,582 \cdot 10^{-10} m}{a^2} \sigma_a \\ &= 0,04 \cdot 10^{-8} \frac{m}{A} \end{aligned} \quad (11)$$

Damit ergibt sich für den Magnetostruktionskoeffizient folgender Wert:

$$c = (1,91 \pm 0,04 \pm 0,16) \cdot 10^{-8} \frac{m}{A} \quad (12)$$

## 2.2 Bestimmung der Wellenlänge

In dieser Aufgabe haben wir ein Michelson-Interferometer benutzt, an welchem an einem Spiegel eine Mikrometerschraube angebracht war. Mit Hilfe der Mikrometerschraube kann der Spiegel um einige Mikrometer genau verschoben und die Verschiebung  $\Delta x$  abgelesen werden.

Für die Verschiebung  $\Delta x$  haben wir einen systematischen Fehler von  $\Delta(\Delta x) = \pm 1 \mu m$  angenommen.

Wir haben die Anzahl der auftretenden Interferenzminima und die jeweilige Verschiebung  $\Delta x$  gemessen. Die Messwerte sind in folgender Tabelle aufgeführt.

Die Wellenlänge ergibt sich wie in der Vorbereitung gezeigt wurde folgendermaßen:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{m} \quad (13)$$

Tragen wir also  $\Delta x$  über  $m$  auf erhalten wir eine Gerade mit Steigung  $a = \frac{\lambda}{2}$ .

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2} \cdot m \quad (14)$$

Anzahl n	Strecke $\Delta x$ / $\mu\text{m}$	systematischer Fehler / $\mu\text{m}$
10	5	1
20	9	1
30	13	1
40	18	1
50	20,5	1
60	24	1
70	28	1
80	31	1
90	33,5	1
100	37,8	1
110	41	1
120	44	1
130	47,5	1
140	51	1
150	54,5	1

Tabelle 2: Wellenlänge des Laserlichts

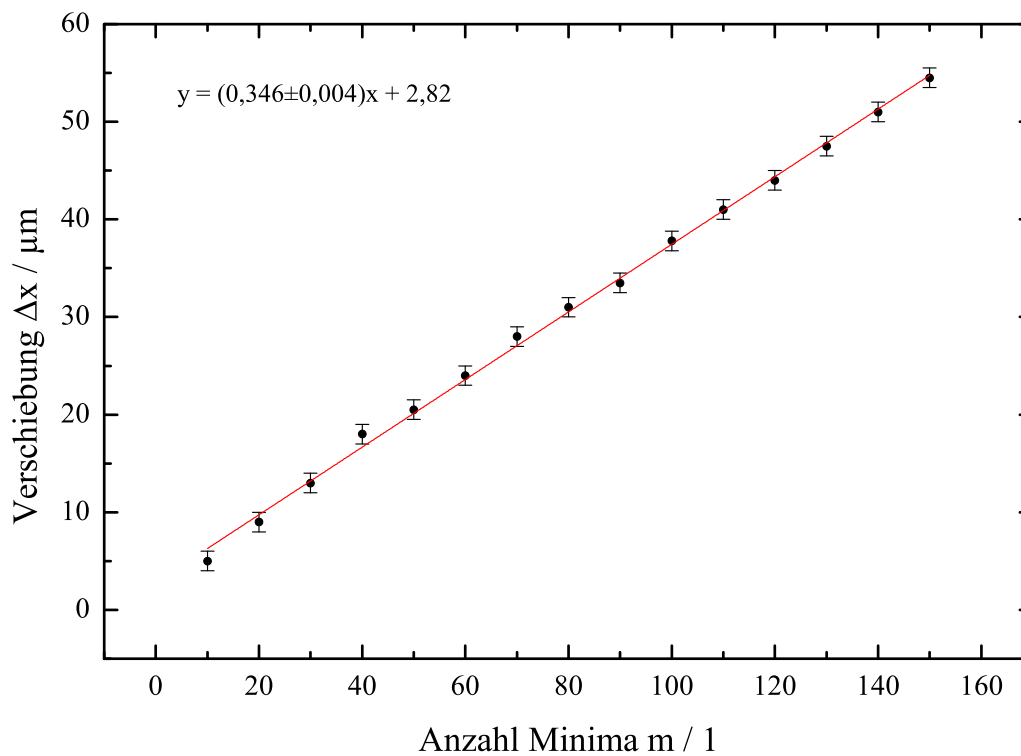


Abbildung 2: Bestimmung der Wellenlänge

Für die Steigung erhalten wir folgenden Wert:

$$a = (0,346 \pm 0,004 \pm 0,02)\mu m \quad (15)$$

Daraus kann nun die Wellenlänge berechnet werden:

$$\lambda = 2 \cdot a = 692nm \quad (16)$$

Nun muss noch der statistische und der systematische Fehler berechnet werden.

**systematischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial a} \Delta a\right)^2} \\ &= 2 \Delta a \\ &= 40nm \end{aligned} \quad (17)$$

**statistischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \sigma_\lambda &= \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial a} \sigma_a\right)^2} \\ &= 2 \sigma_a \\ &= 8nm \end{aligned} \quad (18)$$

Damit erhalten wir für die Wellenlänge folgendes Ergebnis:

$$\lambda = (692 \pm 8 \pm 40)nm \quad (19)$$

Unser Messwert weicht um ca. 9% vom Literaturwert (632,8nm) ab.

### 2.3 Dopplereffekt mit Lichtwellen

Um den Dopplereffekt mit Lichtwellen zu Demonstrieren sollte einer der beiden Spiegel gleichmäßig bewegt werden. Dazu war an einem Spiegel wieder die Mikrometerschraube angebracht und diese Schraube war über einen kleinen Riemen mit einem Antrieb verbunden, der sich gleichmäßig gedreht hat.

Nun haben wir das Beugungsmuster an der Wand beobachtet und die Anzahl  $m$  der Auftretenden Intensitätsminima in einem bestimmten Zeitintervall  $\Delta t$  gemessen.

Es ergaben sich folgende Messwerte:

Wie man sieht, haben wir zwei Messreihen aufgenommen. Tragen wir nun die Zeit  $t$  über  $m$  auf, erhalten wir eine Gerade mit Steigung  $a = \frac{\lambda}{2 \cdot v}$

$$t = \frac{\lambda}{2 \cdot v} \cdot m \quad (20)$$

Anzahl m	Zeit $t_1$ / s	syst. Fehler zu $t_1$ / s	Zeit $t_2$ / s	syst. Fehler zu $t_2$ / s
5	4,8	0,5	4,7	0,5
10	9,6	0,5	9,7	0,5
15	14,3	0,5	14,5	0,5
20	18,8	0,5	19,3	0,5
25	23,3	0,5	24,2	0,5
30	27,7	0,5	29,3	0,5
35	32,5	0,5	34,2	0,5
40	37,2	0,5	38,9	0,5

Tabelle 3: Doppler Effekt

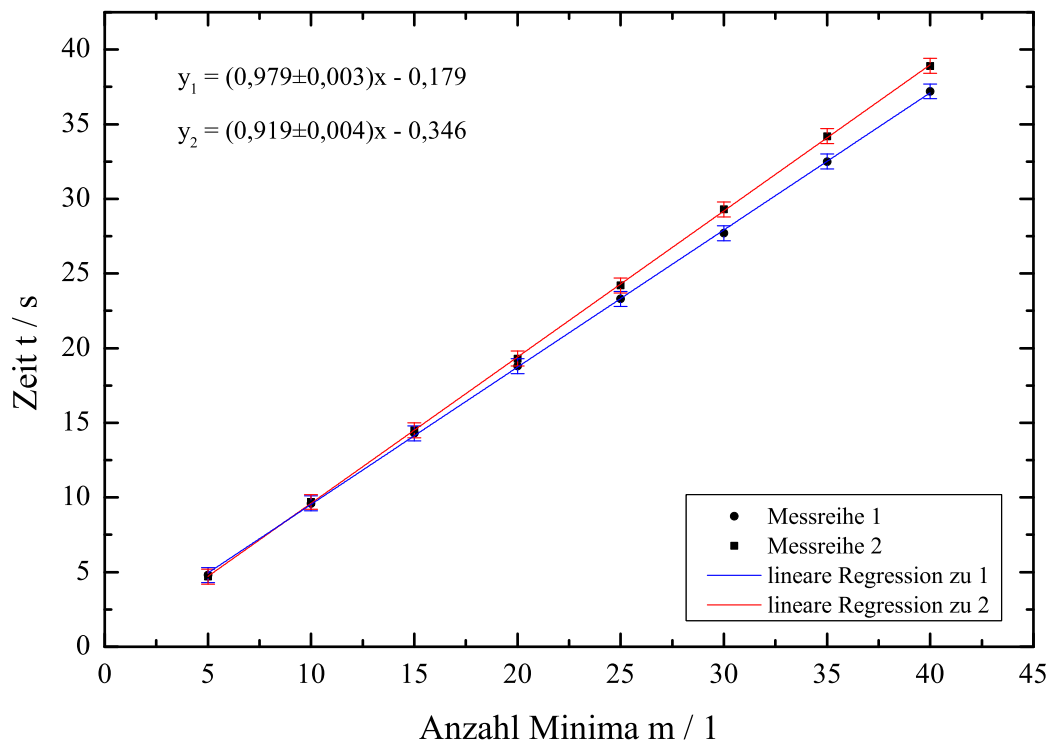


Abbildung 3: Dopplereffekt

Für die Steigungen erhalten wir unter Berücksichtigung von Gleichung (2) folgende Werte:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (0,979 \pm 0,003 \pm 0,02)s \\
 a_2 &= (0,919 \pm 0,004 \pm 0,02)s
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

Nun berechnen wir den Mittelwert der Steigungen, wobei wir für den statistischen Fehler die Standardabweichung nehmen, da dieser Größer ist.

$$a = (0,949 \pm 0,03 \pm 0,02)s
 \tag{22}$$



Aus der Steigung kann nun die Geschwindigkeit  $v$  berechnet werden:

$$v = \frac{\lambda}{2 \cdot a} = 333,4 \frac{nm}{s} \quad (23)$$

Nun muss noch der statistische und der systematische Fehler berechnet werden.

**systematischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \Delta v &= \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial a} \Delta a\right)^2} \\ &= \frac{\lambda}{2 \cdot a^2} \Delta a \\ &= 10,5 \frac{nm}{s} \end{aligned} \quad (24)$$

**statistischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial a} \sigma_a\right)^2} \\ &= \frac{\lambda}{2 \cdot a^2} \sigma_a \\ &= 7,0 \frac{nm}{s} \end{aligned} \quad (25)$$

Damit erhalten wir für die Geschwindigkeit folgendes Ergebnis:

$$v = (333,4 \pm 7,0 \pm 10,5) \frac{nm}{s} \quad (26)$$

Die Geschwindigkeit ist extrem klein und die Näherung, die in der Vorbereitung (19) benutzt wurde, dass  $\frac{v}{c} \approx 1 \cdot 10^{-15} \ll 1$  ist ausreichend erfüllt. ;-)

## 2.4 Akustischer Dopplereffekt

Um das Phänomen aus Aufgabe 2.3 hörbar zu machen bewegen wir eine Stimmgabel von unserem Ohr weg und auf unser Ohr zu einmal vor einer Wand und einmal davon entfernt.

Als keine Wand in der Nähe war und wann die Stimmgabel bewegte konnte man eine veränderte Frequenz hören. Dies entspricht dem bekannten Dopplereffekt.

In der Nähe einer Wand war ein schwanken der Lautstärke hörbar, dies ist eine Schwebung, die bei Überlagerung zweier Wellen mit leicht verschobener Frequenz entsteht.

## 3 Farady-Effekt und Pockels-Effekt

### 3.1 Intensitätsmodulation mit dem Faraday-Effekt

Bei diesem Demonstrationsversuch haben wir das Laserlicht zuerst durch einen Bleisilikatstab mit angelegtem Magnetfeld durchlaufen lassen und anschließend durch einen Polarisationsfilter. Der Laserstrahl trifft dann anschließend auf das Photoelement auf der Frontplatte des

NF-Verstärkers mit Lautsprecher. Das Magnetfeld haben wir mit dem Ausgang eines MP3-Players gespeist.

Nun haben wir ein Lied abgespielt und somit änderte sich je nach Frequenz auch die Spannung (und Strom) durch die Spule. Dadurch änderte sich das Magnetfeld und dadurch wurde der Laserstrahl gedreht. Durch den Polarisationsfilter wird nun eine winkelabhängige Intensität durchgelassen, welche durch die Frequenz des Liedes moduliert ist.

Die Intensität wird nun über ein Photoelement am NF-Verstärkers aufgenommen und über den Lautsprecher abgespielt.

Das abgespielte Lied war gut hörbar, auch wenn es etwas rauschte. Wie zu erwarten konnten die hohen Töne nicht gut übertragen werden. Dass es sich bei dem gehörten Lied um das mit Hilfe des Lasers übertragene Lied handelte konnte man leicht überprüfen, indem man den Laserstrahl unterbrochen hat und die Musik sofort verstummte.

### 3.2 Verdettsche Konstante von Bleisilikatglas

Um die Verdettsche Konstante  $V$  bestimmen zu können, haben wir die Spule mit Gleichstrom betrieben und den Drehwinkel  $\beta$  des Laserlichts in Abhängigkeit vom Spulenstrom gemessen. Um den Drehwinkel genau messen zu können, haben wir einen Polarisationsfilter in den Strahlengang gebracht und in so eingestellt, dass die minimale Intensität durchgelassen wird. Da unser Auge auch noch sehr schwache Lichtintensitäten registrieren kann, konnte dies sehr genau eingestellt werden. Wurde nun ein Strom angelegt, drehte sich die Polarisationsrichtung und wir haben den Polarisationsfilter wieder so eingestellt, dass eine minimale Intensität durchgelassen wird. Den Winkel um den wir den Polarisationsfilter gedreht haben ist der Drehwinkel  $\beta$ .

Aus den Messwerten und der Gleichung für eine lange Spule:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{L} \quad (27)$$

kann nun die Verdettsche Konstante  $V$  bestimmt werden:

$$V = \frac{\beta}{B \cdot d} \quad (28)$$

wobei bei uns  $d = L = 75\text{mm}$  und  $N = 800$  ist.

Für die Strommessung haben wir einen systematischen Fehler von  $\Delta I = \pm 0,3\text{A}$  und für die Winkelmessung einen Fehler von  $\Delta\beta = 0,00873\text{rad}$  abgenommen. Wir tragen nun den Drehwinkel  $\beta$  über den Strom auf und erhalten damit eine Gerade mit Steigung  $a$ :

$$\beta = \mu_0 N \cdot V \cdot I \quad (29)$$

Strom I / A	syst. Fehler I / A	Winkel / °	Winkel / rad	syst. Fehler Winkel / rad
-3	0,3	-2,5	-0,04	8,73E-03
-2	0,3	-1,7	-0,03	8,73E-03
-1	0,3	-1	-0,02	8,73E-03
0	0,3	0	0,00	8,73E-03
1	0,3	1	0,02	8,73E-03
2	0,3	2	0,03	8,73E-03
3	0,3	3	0,05	8,73E-03

Tabelle 4: Verdet'sche Konstante

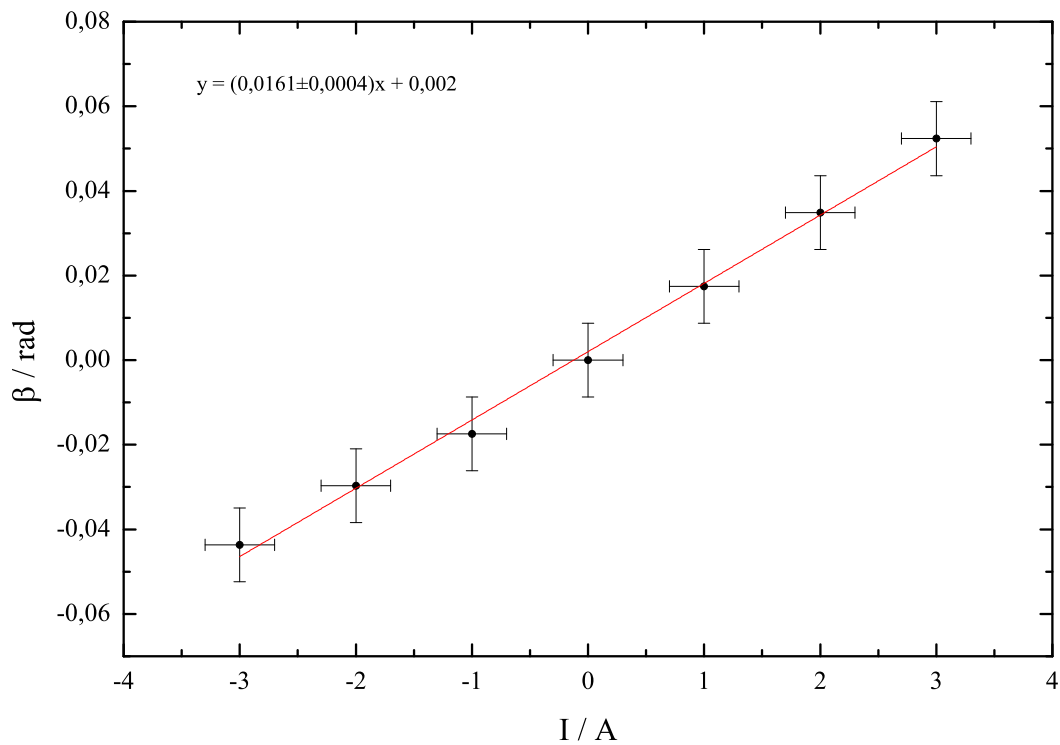


Abbildung 4: Verdet'sche Konstante

Aus der Regressionsgeraden und unter Berücksichtigung von Gleichung (2) erhalten wir für die Steigung a folgenden Wert:

$$a = (0,0161 \pm 0,0004 \pm 0,006) \frac{rad}{A} \tag{30}$$

Damit kann nun die Konstante V berechnet werden:

$$V = \frac{a}{\mu_0 \cdot N} = 16,01 \frac{rad}{Tm} \tag{31}$$

Nun muss noch der statistische und der systematische Fehler berechnet werden:

**systematischer Fehler:**

$$\begin{aligned}\Delta V &= \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial a} \Delta a\right)^2} \\ &= \frac{\Delta a}{\mu_0 \cdot N} \\ &= 5,97 \frac{\text{rad}}{\text{Tm}}\end{aligned}\quad (32)$$

**statistischer Fehler:**

$$\begin{aligned}\sigma_V &= \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial a} \sigma_a\right)^2} \\ &= \frac{\sigma_a}{\mu_0 \cdot N} \\ &= 0,40 \frac{\text{nm}}{\text{s}}\end{aligned}\quad (33)$$

Damit erhalten wir für die Verdet'sche Konstante folgendes Ergebnis:

$$V = (16,01 \pm 0,40 \pm 5,97) \frac{\text{rad}}{\text{Tm}}\quad (34)$$

### 3.3 Intensitätsmodulation des Laserlichts mit dem Pockels-Effekt

Um den Pockels-Effekt zu demonstrieren haben wir den Versuchsaufbau nach Aufgabenstellung aufgebaut, haben aber das Linsensystem weggelassen, da es sehr schwierig ist richtig einzustellen und es auch gut ohne dieses Linsensystem funktioniert.

Als Spannungsquelle diente wieder der MP3-Player aus Aufgabe 3.1 und somit wurde das Licht je nach Frequenz gedreht. Durch den Polarisator wird je nach Drehwinkel und somit je nach Frequenz der Musik eine bestimmte Intensität durchgelassen und wie in Aufgabe 3.1 über das Photoelement und den Lautsprecher abgespielt.

Die Musik war wieder gut hörbar aber auch wieder mit Rauschen überlagert. Wie in Aufgabe 3.1 konnte durch Unterbrechung des Lichtstrahls überprüft werden, dass die Musik wirklich mit dem Laser übertragen wurde.

### 3.4 Bestimmung der Konstanten $k$ für den Pockels-Effekt

Um die Konstante  $k = \frac{\Delta n}{E}$  für den Pockels-Effekt zu bestimmen haben wir die Anordnung wie in 3.3 aufgebaut mit der Änderung, dass wir dieses mal das Linsensystem aufgebaut haben und den Strahl auf einem Schirm beobachtet haben. Es war dabei die in der Vorbereitung beschriebenen Hyperpelfigur sichtbar.

Nun haben wir die Spannung an der Pockelszelle variiert und die Werte notiert, bei denen im Zentrum der Hyperpelfigur ein Minimum oder ein Maximum auftritt.

Wir haben nur einen Fehler in der Spannung angenommen, da wir angenommen haben die Maxima und Minima richtig gezählt haben. Den Fehler in der Spannung haben wir aber höher angesetzt, da es sein kann, dass wir nicht genau das Maximum oder Minimum gemessen haben.

Minimum und Maximum m / 1	Spannung U / V	syst. Fehler Spannung / V
-4	-1588	50
-3	-1234	50
-2	-836	50
-1	-473	50
0	0	0
1	304	50
2	698	50
3	1096	50
4	1439	50

Tabelle 5: Halbwellenspannung für Pockels-Effekt

Tragen wir nun die Spannung über den Extrema auf erhalten wir eine Gerade mit der Halbwellenspannung  $U_{HW}$  als Steigung.

$$U = U_{HW} \cdot n \tag{35}$$

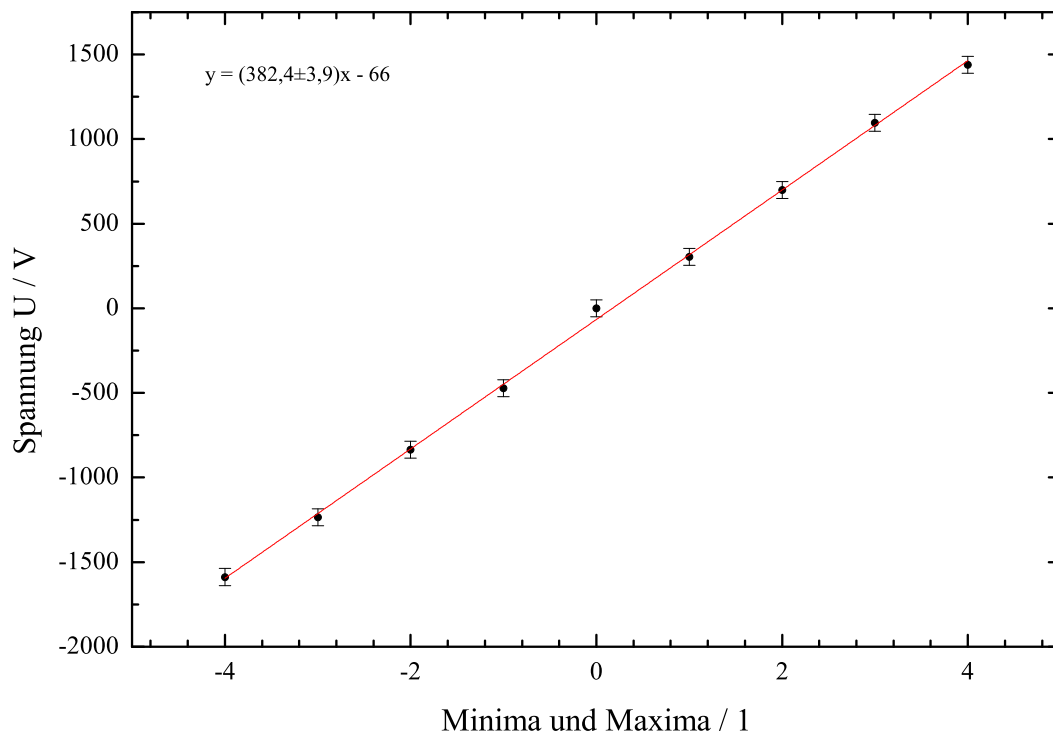


Abbildung 5: Bestimmung der Halbwellenspannung

Für die Halbwellenspannung erhalten wir aus der Regressionsgeraden und mit Gleichung (2) folgenden Wert:

$$U_{HW} = (382,4 \pm 3,9 \pm 22,7)V \quad (36)$$

Daraus kann nun, wie in der Vorbereitung gezeigt wurde, die Konstante k folgendermaßen berechnet werden:

$$k = \frac{\lambda \cdot d}{2 \cdot s \cdot U_{HW}} = 82,7 \frac{pm}{V} \quad (37)$$

mit Länge  $s = 20mm$ , Kondensstorabstand  $d = 2mm$  und Wellenlänge  $\lambda = 632,8nm$ .

Nun wir noch der systematische und der statistische Fehler berechnet:

**systematischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \Delta k &= \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial U_{HW}} \Delta U_{HW}\right)^2} \\ &= \frac{\lambda \cdot d \cdot \Delta U_{HW}}{2s \cdot U_{HW}^2} \\ &= 4,9 \frac{pm}{V} \end{aligned} \quad (38)$$

**statistischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \sigma_k &= \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial U_{HW}} \sigma_{U_{HW}}\right)^2} \\ &= \frac{\lambda \cdot d \cdot \sigma_{U_{HW}}}{2s \cdot U_{HW}^2} \\ &= 0,8 \frac{pm}{V} \end{aligned} \quad (39)$$

Damit erhalten wir für die k folgendes Ergebnis:

$$k = (82,7 \pm 0,8 \pm 4,9) \frac{pm}{V} \quad (40)$$

## 4 Optische Aktivität

Um den Effekt der optischen Aktivität zu untersuchen haben wir die zwei chiralen Stoffe Saccharose (Haushaltszucker) und Tombose untersucht. Um die Drehung der Schwingungsebene zu messen, haben wir einen Polarisator hinter der zunächst leerer Küvette so eingestellt, dass die Intensität auf Null abgesunken ist. Dies entsprach  $1^\circ$ . Die anschließend gemessenen Werte wurden direkt mit dieser Gradzahl korrigiert.

Die Proportionalitätskonstante  $[\alpha]$  wird nun durch Variation der Konzentration und der Länge des Lichtwegs durch das Medium bestimmt:

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{c \cdot d} \quad (41)$$

### 4.1 Drehvermögen von Saccharose

Als erstes wurde das Drehvermögen von Saccharose auf oben beschriebene Art bestimmt. Es wurden zu Beginn 30g Zucker in 40ml Wasser gelöst. Dies war unsere Startkonzentration, welche wir anschließend durch Zugabe von je 100ml Wasser verdünnten. Die Konzentration der Lösung berechnet sich dann einfach über:

$$c_i = \frac{30g}{V_{H_2O}^{(i)}} \quad (42)$$

wobei die Masse des Wassers in  $cm^3 = ml$  angegeben wird und jeweils um 100ml steigt.

Durch die Fehler beim Abwiegen des Zuckers sowie der Zugabe des Wassers bekommen wir einen Fehler in der Konzentration. Zu beachten ist, dass nach jeder Zugabe von weiteren 100ml Wasser steigt der Fehler  $\Delta m_{H_2O}$  um 0,5ml an. Durch Fehlerfortpflanzung erhält man:

$$\Delta c = \sqrt{\frac{\Delta m_{C_{12}H_{22}O_{11}}^2}{m_{H_2O}^2} + \frac{m_{C_{12}H_{22}O_{11}}^2}{m_{H_2O}^4} \Delta m_{H_2O}} \quad (43)$$

Im folgenden sind die Messwerte sowie die Konzentration und ihr jeweiliger Fehler eingetragen.

lange Seite / °	kurze Seite / °	syst. Fehler / °	c / $gcm^{-3}$	syst. Fehler / $gcm^{-3}$
56,1	17,5	0,5	0,67	0,07
17,5	5,9	0,5	0,15	0,02
10	3,5	0,5	0,09	0,01
8	3,1	0,5	0,06	0,01

Tabelle 6: Drehwinkel Saccharose

Nun wurde der gemessene Drehwinkel über der Konzentration eingetragen.

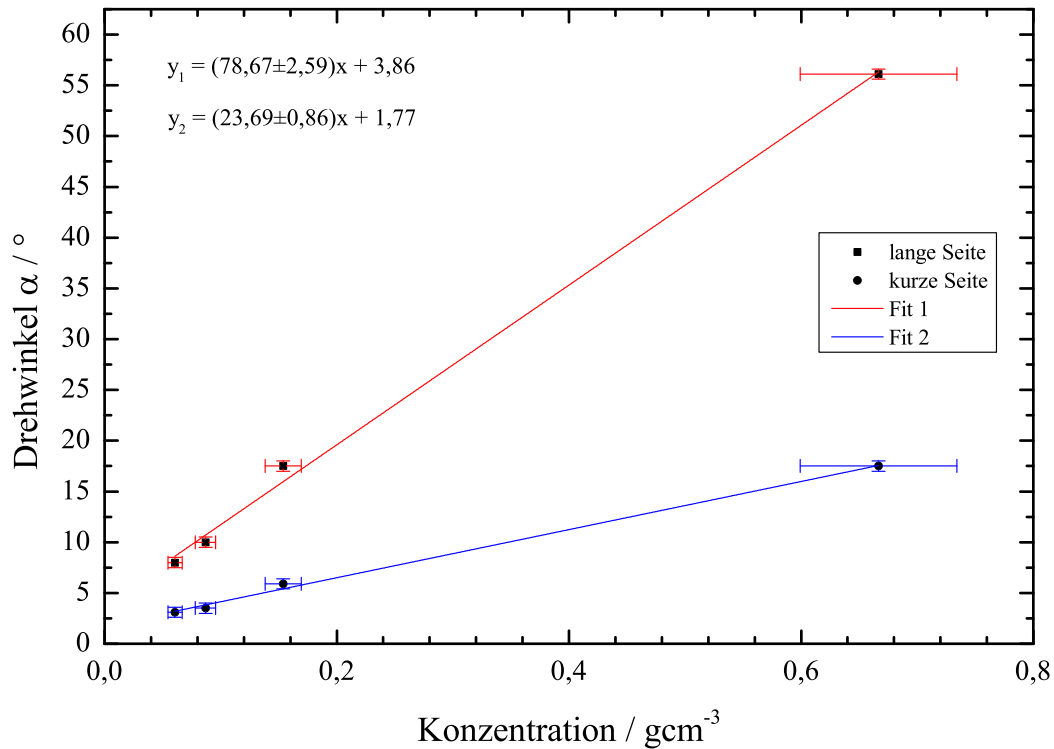


Abbildung 6: Drehvermögen von Saccharose

Die lange Seite betrug:  $d_1 = 198\text{mm}$ , die kurze:  $d_2 = 58\text{mm}$ . Aus der Steigung können wir nun  $[\alpha]$  bestimmen.

$$[\alpha] = \frac{a}{d} \tag{44}$$

Dazu berechnen wir gleich noch die Fehler aus. Um den systematischen Fehler zu berechnen bedienen wir uns wieder Formel 2. Wir wählen für den x-Fehler den größten Wert aus der Tabelle. Es ergibt sich  $\Delta a_1 = 22,84 \frac{\text{°cm}^3}{\text{g}}$  und  $\Delta a_2 = 6,83 \frac{\text{°cm}^3}{\text{g}}$ .

**systematischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \Delta[\alpha] &= \sqrt{\left(\frac{\partial[\alpha]}{\partial a} \Delta a\right)^2} \\ &= \frac{\Delta a}{d_i} \end{aligned} \tag{45}$$

**statistischer Fehler:**

$$\begin{aligned} \sigma_{[\alpha]} &= \sqrt{\left(\frac{\partial[\alpha]}{\partial a} \sigma_a\right)^2} \\ &= \frac{\sigma_a^i}{d_i} \end{aligned} \tag{46}$$



Es ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 [\alpha]_{lang} &= (39,73 \pm 1,31 \pm 11,54) \frac{^\circ \text{ cm}}{\text{g dm}} \\
 [\alpha]_{kurz} &= (40,84 \pm 1,48 \pm 12,31) \frac{^\circ \text{ cm}}{\text{g dm}}
 \end{aligned}
 \tag{47}$$

## 4.2 Optisches Drehvermögen von Sorboselösung

Nun haben wir die Küvette ausgeleert und nach auswaschen mit der Sorboselösung gefüllt. Die Konzentration betrug  $c = 33 \text{ g cm}^{-3}$ . Es war zu erkennen, dass die Sorboselösung die Polarisationsebene des Laserstrahl gerade in die entgegen gesetzte Richtung gedreht hat. Zu erkennen ist das am unterschiedlichen Vorzeichen.

Die Sorboselösung ist also optisch linksdrehend. Die Saccharoselösung ist optisch rechts drehend.

Wir haben bei der langen Seite einen Drehwinkel von  $\alpha_1 = -18^\circ$  gemessen, bei der kurzen Seite maßen wir:  $\alpha_1 = -6,5^\circ$ . Daraus folgt direkt durch einsetzen:

$$\begin{aligned}
 [\alpha]_{lang} &= -27,54 \frac{^\circ \text{ cm}}{\text{g dm}} \\
 [\alpha]_{kurz} &= -33,96 \frac{^\circ \text{ cm}}{\text{g dm}}
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

Der Mittelwert ist:  $[\alpha]_{Sorbosel} = 30,75 \frac{^\circ \text{ cm}}{\text{g dm}}$ . Dies entspricht 38% Abweichung zum Literaturwert aus der Vorbereitungshilfe von  $42,7 \frac{^\circ \text{ cm}}{\text{g dm}}$ .