

Physikalisches Anfängerpraktikum (P2)

P2-23,24,25: Laser B

Matthias Faulhaber, Matthias Ernst (Gruppe 19)

Karlsruhe, 25.11.2009

5 Auswertung

5.1 Fourier-Transformation des Beugungsbildes eines Einfachspalts

Für diesen Versuch wurde ein vorgegebener Aufbau verwendet, bei dem das Beugungsbild automatisiert erfasst und an einem fast zeitgemäßen PC verarbeitet wurde. Nötig war lediglich die Eingabe des Abstands des Beugungsbilds vom Detektor und die Anpassung der Phase der erfassten Daten. Der PC führte eine FFT (schnelle Fourier-Transformation) durch. Das Ergebnis wurde ausgedruckt und liegt dem Protokoll bei. Man kann den Spalt und dessen Breite in der Mitte der Abbildung deutlich erkennen, das anschließende zweimalige „Überschwingen“ jedoch rührt aus dem Verfahren der Abbildung und Transformation her und ist eigentlich nicht erwünscht.

5.2 Messungen mithilfe des Michelson-Interferometers

5.2.1 Längenabhängigkeit einer Spule vom Magnetfeld: Magnetostruktionskoeffizient

Für diesen Versuch wurde ein spezielles Interferometer verwendet, bei dem wie in der Vorbereitung beschrieben der „bewegliche“ Spiegel an das Ende eines in einer Spule befindlichen Nickelstabes angebracht war. Nach einigem Justieren und dem Ausprobieren verschiedener Komponenten (offenbar waren die verfügbaren Strommessgeräte zum Teil nicht funktionsfähig) wurde ein Interferenzbild erhalten. Dann wurde Strom verschiedener Stromstärke und -richtung angelegt, wobei die Stromstärke immer so weit variiert wurde, dass das jeweils nächste Minimum in der Mitte des Interferenzbildes zu sehen war. Bei Auftragung der gemessenen Stromstärke über dem jeweiligen Minimum, dargestellt in Abb. 1 ergab sich für positive und negative Stromstärken jeweils ein linearer Verlauf, allerdings passten die Geraden bei positivem und negativem Verlauf nicht ganz zusammen, möglicherweise wurden Minima bei sehr geringen Stromstärken nicht beobachtet. Die Berechnung des Magnetostruktionskoeffizienten erfolgt gemäß Gl. (3) der Vorbereitung, wobei die Länge des Stabs gleich der der Spule, also $l_S = l_0$ ist. Außerdem wurden Dunkel-Dunkel-Abstände gemessen, es muss also $\Delta l = \frac{\lambda}{2}n$ gelten:

$$m = \underbrace{\left(\frac{I}{N}\right)^{-1}}_A \frac{\lambda}{2n_S} \quad (1)$$

Mit den in der Versuchsvorschrift angegebenen Werten $\lambda = 632,8\text{nm}$, $n_S = 2000$ und den beiden aus dem Schaubild abgelesenen Werten $A_{\text{neg}} = 0,0840\text{A}$ bzw. $A_{\text{pos}} = 0,0890\text{A}$ ergeben sich die Magnetostruktionskoeffizienten $m_{\text{neg}} = 1,88 \cdot 10^{-9}\text{mA}^{-1}$ bzw. $m_{\text{pos}} = 1,78 \cdot 10^{-9}\text{mA}^{-1}$, also gemittelt $m = 1,83 \cdot 10^{-9}\text{mA}^{-1}$.

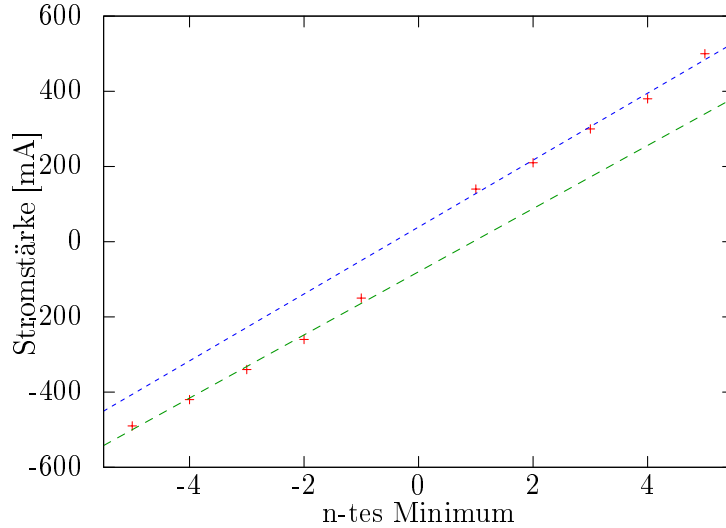


Abbildung 1: Zur Berechnung des Magnetostruktionskoeffizienten: Messwerte, lineare Regression

5.2.2 Messung der Wellenlänge des Lichts des eingesetzten LASERs

Nun wurde ein anderes Interferometer eingesetzt, bei welchem der variable Spiegel mittels einer Mikrometerschraube justiert werden konnte. Es wurden jeweils 30 Durchgänge eines Minimums zum nächsten beobachtet und der Gangunterschied an der Mikrometerschraube abgelesen. Die Wellenlänge des Lichts kann damit gemäß $\lambda = \frac{2}{n}\Delta l$ berechnet werden. Gemessen wurde zweimal $\Delta l_{1/2} = 10\mu\text{m}$, $\Delta l_2 = 9,5\mu\text{m}$ und $\Delta l_3 = 9\mu\text{m}$. Dies ergibt die Wellenlängen $\lambda_{1/2} = 666,7\text{nm}$, $\lambda_2 = 633,3\text{nm}$ sowie $\lambda_3 = 600,0\text{nm}$, gemittelt $\lambda = 641,7\text{nm}$. Dies bedeutet einen relativen Fehler von 1,4%, welcher angesichts der Messungenauigkeit bei der Bestimmung der Gangunterschiede als gering anzusehen ist.

Anzahl Wechsel Minimum-Minimum	30	30	30	30
Δl [μm]	10	9,5	9	10
λ	666,7	633,3	600,0	666,7

Tabelle 1: Zur Bestimmung der Wellenlänge des LASERs

5.2.3 Dopplereffekt von Licht

Die Mikrometerschraube wurde mit einem Gummiring über einen Motor mit konstanter Geschwindigkeit angetrieben. Damit wurden wie oben die Gangunterschiede bei Durchlauf von je 30 Minima abgelesen und zusätzlich die Zeit, die dafür benötigt wurde, gestoppt. Daraus kann nach $\Delta f = \frac{N}{\Delta t}$ die Frequenzverschiebung und nach $v = \frac{N\lambda}{2\Delta t} = \frac{\lambda}{2}\Delta f$ die Geschwindigkeit des Spiegels berechnet

werden (der Faktor 2 im Vergleich zur Vorbereitung resultiert aus der Beobachtung aufeinanderfolgender Minima statt, wie dort, abwechselnd Minimum und Maximum). Die Messung und Berechnung ergab die in Tab. 2 angegebenen Werte.

N	Δl [μm]	Δt [s]	$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ [$\mu\text{m s}^{-1}$]	$\Delta f = \frac{N}{\Delta t}$ [Hz]	$v = \frac{\Delta f \cdot \lambda}{2}$ [nm s^{-1}]
30	10	27,72	360,75	1,08	342,42
30	10	28,31	353,23	1,06	335,29
30	9	26,52	339,37	1,13	357,92
30	9,5	27,45	346,08	1,09	345,79

Tabelle 2: Zur Bestimmung des Dopplereffekts von Licht

Dies ergibt eine mittlere Frequenzverschiebung von 1,09Hz, was angesichts der Frequenz der LASERs von 473,6THz verschwindend gering ist. Des Weiteren beträgt die interferometrisch bestimmte mittlere Geschwindigkeit des Spiegels $345,4\mu\text{m s}^{-1}$, was eine Abweichung von 1,3% zur mit der Stoppuhr bestimmten mittleren Geschwindigkeit von $349,9\mu\text{m s}^{-1}$ darstellt. Angesichts der unvermeidlichen Ungenauigkeit bei der Benutzung der Stoppuhr ist auch dieser Fehler als gering anzusehen.

5.2.4 Akustischer Dopplereffekt

Bei Bewegung der Stimmgabel auf den Hörer zu und von ihm weg im Raum konnte eine unterschiedliche Tonhöhe wahrgenommen werden. An einer Wand war eine Schwebung zu vernehmen.

5.3 Faraday- und Pockelseffekt

5.3.1 Modulation der Intensität von LASER-Licht mithilfe des Faraday-Effekts

Wie in der Vorbereitung ausgeführt, wurde ein Signal über einen in einer Spule befindlichen Bleisilikatstab und einen Polfilter geschickt und mit einem Verstärker hörbar gemacht. Im Gegensatz zur Versuchsvorschrift wurde enttäuschenderweise jedoch kein MP3-Player, sondern lediglich ein Generator sinusförmiger Wechselspannung variabler Frequenz eingesetzt. Der Verlauf der Frequenz war hörbar, aber von Brummen überlagert, das bei eingeschaltetem Raumlicht sehr viel lauter wurde. Es konnte keine deutliche Abhängigkeit von der Frequenz herausgehört werden, dies wäre vielleicht mit einem MP3-Player möglich.

5.3.2 Bestimmung der Verdet-Konstante

Zur Bestimmung der Verdetschen Konstante wurde Strom vorgegebener Stärke durch die Spule geleitet und die Abweichung des Drehwinkels mittels eines Polfilters, der nachjustiert wurde, bis ihn kein Licht mehr durchdringen konnte, gemessen. Die Berechnung der Verdetschen Konstante erfolgt gemäß Gleichung (8) der Vorbereitung, wobei die Spule und der Silikatstab gleich lang sind. Für die Verdetsche Konstante gilt damit $V = \frac{\alpha}{I} \frac{1}{\mu_0 n}$. Der Quotient $\frac{\alpha}{I}$ ergibt sich aus der Steigung der Ausgleichsgeraden bei Auftragung des gemessenen Drehwinkels über der Stromstärke und beträgt $1 \frac{\circ}{\text{A}}$. Es ergeben sich aus den Messwerten zwar zwei Geraden für positive und negative Stromstärke, beide haben jedoch dieselbe Steigung. Damit erhält man für die Verdet-Konstante den Wert $V = 994,7^\circ \text{T}^{-1} \text{m}^{-1}$. In *Bergmann, Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3* wurde der Wert $0,0711$ Winkelminuten A^{-1} gefunden, was $V = 943,0^\circ \text{T}^{-1} \text{m}^{-1}$ entspricht, die

Abweichung davon beträgt 5,5%. Die Abweichung ist durch die Messungenauigkeit beim Ablesen der Winkel (ca. 1°) bedingt.

5.3.3 Modulation mithilfe des Pockels-Effekts

Analog zu oben hätte Musik durch den in der Vorbereitung beschriebenen Aufbau moduliert und empfangen werden sollen. Dies wurde jedoch mangels MP3-Player nicht durchgeführt, da das erwartete Ergebnis bis auf nicht wahrnehmbare Änderung bei hohen und tiefen Frequenzen dem der Modulation mit dem Faraday-Effekt entspricht.

Trotzdem wurde für den nächsten Versuch der angegebene Aufbau verwendet und das Bild auf dem Schirm betrachtet. Die Hyperbelstruktur aufgrund der unterschiedlichen Brechung im doppelbrechenden Medium waren deutlich zu erkennen.

5.3.4 Bestimmung der Konstante beim Pockels-Effekt

Die in der Vorbereitung beschriebene und bereits oben aufgebaute Anordnung mit der Pockels-Zelle wurde verwendet, um den Verlauf der hyperbelförmigen Interferenzbilder bei vorgegebener Spannung zu messen. Dabei wurde jeweils die Mitte der Beugungsfigur betrachtet und jeweils die Spannung der Minima und Maxima abgelesen. Im Gegensatz zur Vorschrift war jedoch die Messung nur von -1250V bis 1200V statt von -2000V bis 2000V möglich. Die Messwerte sind in Tab. 3 angegeben. Bei der Auftragung der Spannung über der Zahl des jeweiligen Minimums/Maximums

N	1	2	3	-1	-2	-3
U_{\max}	123	690	1220	-374	-920	
U_{\min}	385	975		-113	-660	-1198

Tabelle 3: Zur Bestimmung der Konstante beim Pockels-Effekt

kann man erkennen, dass jeweils die Minima und Maxima einen linearen Verlauf zeigen, dass am Ursprung jedoch ein Versatz deutlich erkennbar ist. Daher wurden wieder separate Ausgleichs-

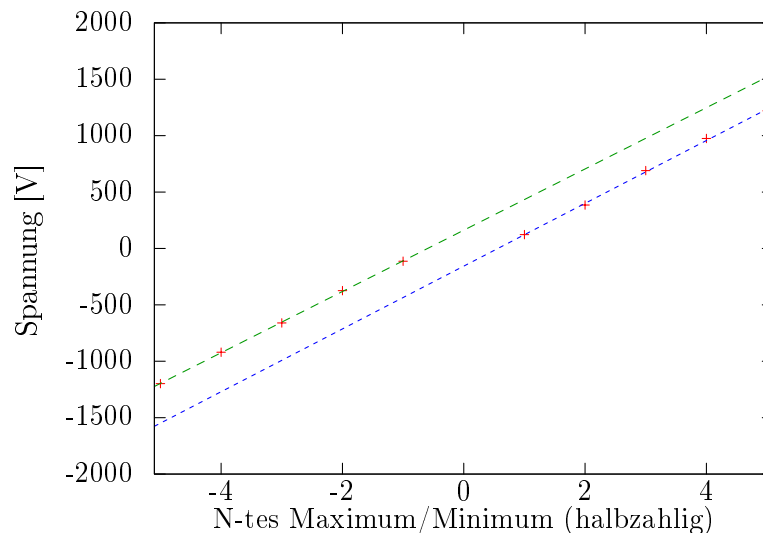


Abbildung 2: Zum Pockelseffekt: Messwerte, lineare Regression

geraden an die positiven und negativen Werte angelegt und deren Steigung gemittelt. Immerhin konnten wie in der Versuchsvorschrift vorgeschlagen die aufgrund des geringen Messbereichs wenigen Messwerte durch Einbeziehung sowohl der Maxima mit den oben angegebenen Werten als auch der Minima mit dann fortlaufender Numerierung kombiniert werden. Diese Werte sind mit den beiden zugehörigen Ausgleichsgeraden in Abb. 2 dargestellt. Die Werte für die Steigungen der Ausgleichsgeraden, also die Halbwellenspannungen betragen $U_{H,neg} = 271,6V$ und $U_{H,pos} = 278,4V$, also gemittelt $U_H = 275,0V$. Daraus kann nach $k = \frac{d\lambda_0}{2sU_H}$ die Konstante k bestimmt werden. Mit dem ermittelten Wert für U_H und den in der Versuchsvorschrift angegebenen Werten $\lambda_H = 632,8nm$, $d=2mm$ und $s=20mm$ ergibt sich $k = 1,15 \cdot 10^{-10}mV^{-1}$.

5.4 Optische Aktivität

5.4.1 Drehvermögen von Saccharose („Zucker“ im Sprachgebrauch)

Zur Bestimmung des Drehvermögens von Saccharose wurde zunächst eine Lösung der Konzentration $0,3gcm^{-1}$ hergestellt, indem 60g Zucker in 200mL Wasser gelöst wurden. Der Drehwinkel dieser Lösung wurde in der gegebenen großen Küvette längs ($l = 198mm$) und quer ($b = 58mm$) gemessen. Dann wurde die Konzentration durch Zugabe der gleichen Menge an Wasser halbiert und der Drehwinkel wieder längs und quer gemessen. Für das spezifische optische Drehvermögen α_s gilt:

$$\alpha_s = \frac{\alpha}{k \cdot l} \quad (2)$$

Zur Auswertung wurde daher der gemessene Drehwinkel über dem Produkt aus Konzentration und durchmessener Länge $k \cdot l$ aufgetragen und eine lineare Regression durchgeführt (Abb. 3). Die Steigung der Ausgleichsgeraden gibt dann direkt das spezifische optische Drehvermögen von

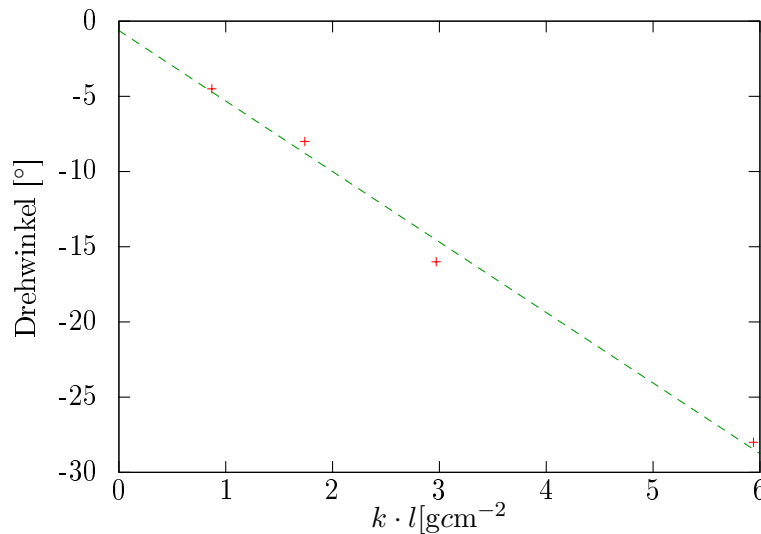


Abbildung 3: Zum spezifischen Drehvermögen: Auftragung von $k \cdot l$, lineare Regression

Saccharose an, es beträgt $-4,69 \frac{°cm^2}{g}$.

5.5 Drehvermögen von Sorbose

Hier wurde der Drehwinkel einer Sorbose-Lösung, die offenbar schon einige Zeit im Schrank verbracht und infolgedessen Algen angesetzt hatte und daher zunächst gefiltert wurde, wie oben längs und quer gemessen. Die Konzentration der Lösung war (wenn man davon ausgeht, dass diese durch Lagerung, Gebrauch und Rückführung ins Gefäß sowie das Algenwachstum nicht verändert wurde) $k = 0,33 \text{ g cm}^{-3}$. Aus den beiden gemessenen Werten (s. Messprotokoll) ergibt sich das spezifische optische Drehvermögen von Sorbose zu $\alpha_S = 3,68 \frac{\text{°cm}^2}{\text{g}}$.