

# Praktikumsprotokoll

## Laser B

André Schendel, Silas Kraus  
Gruppe DO-20

31. Mai 2012

### 1 Fourier-Transformation

Der Einfachspalt wurde in die Halterung eingebracht und so justiert, dass das Beugungsbild genau auf Höhe der Detektorzeile verlief. Dann wurde der Raum abgedunkelt, um Streulicht zu minimieren, und die Einleseroutine gestartet. Das Programm lieferte eine eindimensionale graphische Auftragung der Intensität in Abhängigkeit vom Ort in x-Richtung. Nach Eingabe der Parameter Abstand Spalt-Schirm und Messbereich wurde auf Tastendruck die Fourier-Rücktransformation ausgeführt. Als Ergebnis wurde wieder der eindimensionale graphische Verlauf der Transmission durch den Spalt sowie die errechnete Spaltbreite ausgegeben. Das Bild des Spalts war weit vom tatsächlichen Rechteck entfernt, da dazu eine Messung über unendlich viele Beugungsordnungen nötig gewesen wäre, aber die grobe Form war noch zu erkennen.

Für den Abstand Schirm-Spalt =191,2 cm und ein Messintervall [7 cm , 15 cm] errechnete der Computer eine Spaltbreite von 0.357 mm.

### 2 Michelson-Interferometer

#### 2.1 Magnetostriktion

Es wurden insgesamt 4 Messreihen vorgenommen: zweimal mit kontinuierlicher Erhöhung des Spulenstroms (jeweils auch mit umgekehrter Polung) und zweimal mit Pausen zwischen den einzelnen Messwerten, in denen der Spulenstrom auf 0 geregelt wurde, um Erhitzung zu vermeiden (ebenfalls mit Umpolung).

Die Messungen lieferten folgende Ergebnisse:

Tabelle 1: Messwerte für kontinuierliche Erhöhung des Spulenstroms

Max	I(mA)	$\Delta l$ (m)	Min	I(mA)	$\Delta l$ (m)
4	450	6.33E-007			
3	310	4.75E-007	4	380	5.54E-007
2	198	3.16E-007	3	215	3.96E-007
1	130	1.58E-007	2	165	2.37E-007
0	0	0.00E+000	1	70	7.91E-008
0	0	-0.00E+000	-1	-90	-2.37E-007
-1	-130	-1.58E-007	-2	-175	-3.96E-007
-2	-220	-3.16E-007	-3	-270	-5.54E-007
-3	-340	-4.75E-007	-4	-390	-7.12E-007
-4	-480	-6.33E-007			

Tabelle 2: Messwerte für schrittweise Erhöhung des Spulenstroms

Max	I(mA)	$\Delta l$ (m)	min	I(mA)	$\Delta l$ (m)
5	395	7.91E-007			
4	292	6.33E-007	5	360	7.12E-007
3	260	4.75E-007	4	285	5.54E-007
2	158	3.16E-007	3	235	3.96E-007
1	110	1.58E-007	2	140	2.37E-007
0	0	0.00E+000	1	72	7.91E-008
0	0	-0.00E+000	-1	-90	-2.37E-007
-1	-150	-1.58E-007	-2	-190	-3.96E-007
-2	-200	-3.16E-007	-3	-260	-5.54E-007
-3	-300	-4.75E-007	-4	-330	-7.12E-007
-4	-380	-6.33E-007			

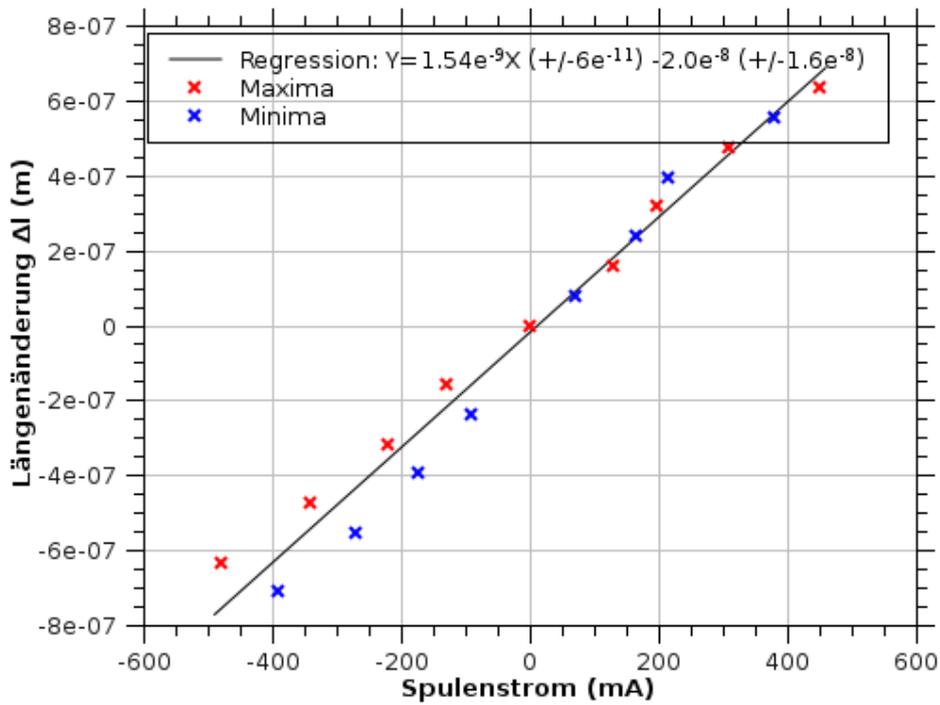


Abbildung 1: kontinuierliche Erhöhung des Spulenstroms

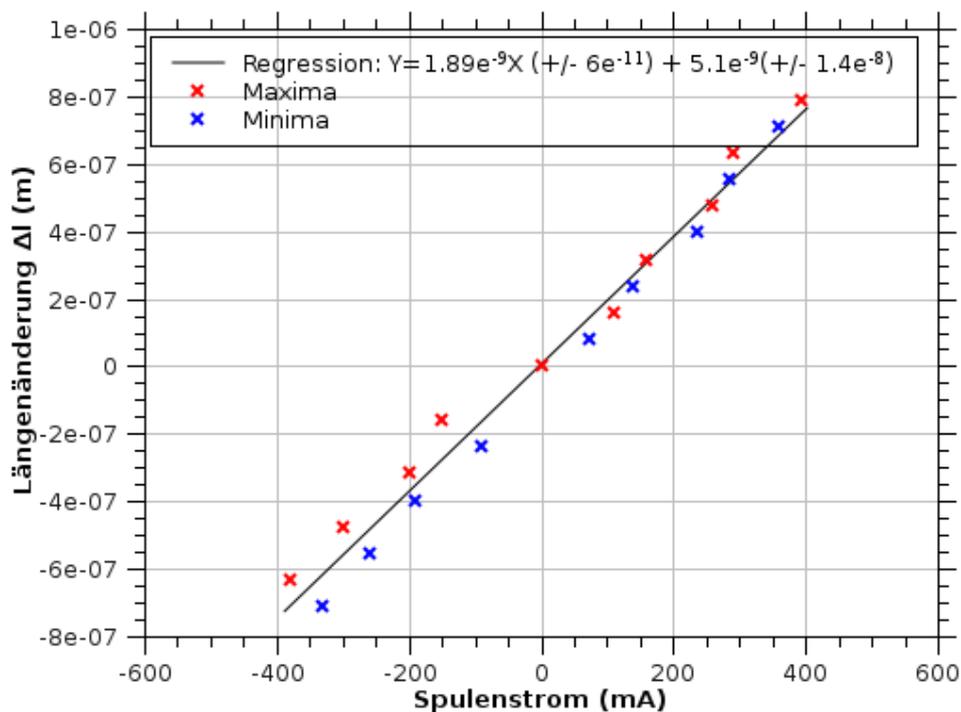


Abbildung 2: schrittweise Erhöhung des Spulenstroms

Der Mittelwert aus den Regressionsgeraden ergibt:

$$\alpha = 1.715e^{-9}$$

Der systematische Fehler wurde mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet. Da für  $\lambda$  auf dem Aufgabenblatt kein Fehler angegeben war, wurde angenommen, dass dieser vernachlässigbar klein ist. Damit bleibt nur der Spulenstrom  $I$  als fehlerbehaftete Messgröße übrig:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial I}\right)^2 * \sigma_I^2} = \sqrt{\frac{m^2\lambda^2}{4n^2I^4} * \sigma_I^2} = 4.36e^{-11}$$

Unter der Annahme, dass  $\sigma_I$  ungefähr  $5mA$  betrug.

Mit diesem systematischen Fehler und dem gemittelten statistischen Fehler, der direkt aus den Regressionsgeraden abgelesen werden kann, ergibt sich der endgültige Wert für die magnetostriktive Konstante (Reihenfolge der Fehler: statistisch, systematisch):

$$\alpha = 1.715e^{-9}(\pm 6e^{-11})(\pm 4.36e^{-11})[m/A]$$

bzw. in prozentualen Fehlern (statistisch, systematisch):

$$\alpha = 1.715e^{-9}(\pm 3\%)(\pm 2.5\%)[m/A]$$

## 2.2 Bestimmung der Wellenlänge

Die Mikrometerschraube wurde jeweils so verschoben, dass auf dem Schirm 5 Hell-Dunkel-Durchgänge zu sehen waren. Die Messung lieferte folgende Ergebnisse:

Tabelle 3: Messwerte zur Messung der Wellenlänge

H/D-Durchg.	$\Delta l$ [ $\mu m$ ]	$\lambda$ [ $\mu m$ ]
5	1.5	0.6000
10	2.9	0.5800
15	4.5	0.6000
20	5.9	0.5900
25	7.1	0.5680
30	8.8	0.5867
35	10	0.5714
40	11.5	0.5750
45	13	0.5778
50	14.5	0.5800
55	16	0.5818
60	17.4	0.5800
65	19	0.5846
70	20.2	0.5771
75	21.9	0.5840
80	23.2	0.5800
85	25	0.5882
90	26.2	0.5822
95	27.7	0.5832
100	29	0.5800

Der Mittelwert für die Wellenlänge ist dann:

$$\lambda = 0.5825 \mu m = 582.5 nm$$

Verglichen mit dem Literaturwert von  $\lambda = 632.8 nm$  weicht der gemessene Wert um 8% ab. Dies liegt also noch im Rahmen der 10%, die als relativ genau akzeptiert werden. Da die Abweichung jedoch nicht zu vernachlässigen ist, wurde in den Aufgaben, in denen die Wellenlänge verwendet wurde, stets der Literaturwert benutzt.

### 2.3 Dopplereffekt

Die Skala der Schraube wurde auf 0 gesetzt. Dann wurde mit dem Einschalten des Motors die Stoppuhr gestartet und mithilfe der "Split"-Funktion jeweils die Zeit nach 10 Hell-Dunkel-Durchläufen gemessen.

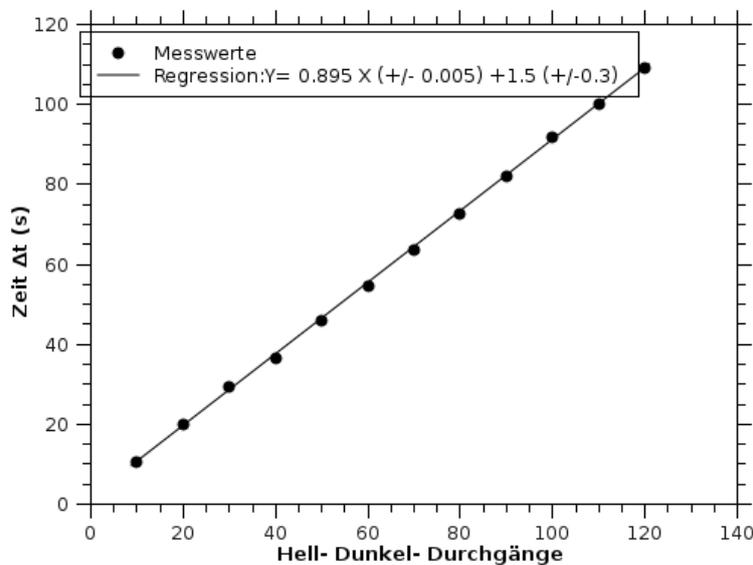


Abbildung 3: linearer Verlauf der Zeitmessung

Mit der Formel aus der Vorbereitung

$$v = \frac{m \cdot \lambda}{2 \cdot \Delta t}$$

wurde dann die Geschwindigkeit berechnet:

Tabelle 4: Messwerte zum Dopplereffekt

m	$\Delta t$ [s]	v [m/s]
10	10.49	3.02E-007
20	20.06	3.15E-007
30	29.17	3.25E-007
40	36.43	3.47E-007
50	46.02	3.44E-007
60	54.73	3.47E-007
70	63.56	3.48E-007
80	72.66	3.48E-007
90	82.14	3.47E-007
100	91.68	3.45E-007
110	100.07	3.48E-007
120	109	3.48E-007

Der Mittelwert der Geschwindigkeiten ist

$$v = 3.39e^{-7}$$

Der systematische Fehler wurde wieder mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet. Da nur  $\Delta t$  fehlerbehaftet war, ist die Formel für den systematischen Fehler gegeben durch:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{m^2 \lambda^2}{4t^4} * \sigma_t^2}$$

also, mit  $\sigma_t \approx 1s$ :

$$\sigma_v = 8.66e^{-9}$$

Der statistische Fehler der Zeit, der aus der Regressionsgeraden abgelesen wurde, wurde mit derselben Formel verarbeitet und lieferte:

$$\delta_v = 4.33e^{-11}$$

Damit ergibt sich ein Endwert von:

$$v = 3.39e^{-7} m/s (\pm 4.33e^{-11}) (\pm 8.66e^{-9})$$

beziehungsweise in Prozent:

$$v = 3.39e^{-7} m/s (\pm 0.1\%) (\pm 2.5\%)$$

Am Ende der Messung nach der Zeit  $\Delta t = 114.55s$  stand die Skala der Schraube bei  $36\mu m$ . Daraus ergibt sich eine Geschwindigkeit von  $3.14e^{-7} m/s$ .

Es zeigt sich, dass die beiden Werte für die Geschwindigkeit zwar grob übereinstimmen, jedoch nicht innerhalb der errechneten Fehlertoleranz liegen. Allerdings ist der 2. Wert nur aus einem einzigen Wertepaar berechnet, sodass kein Mittelwert genommen werden kann. Da die Messung der Zeit mit der Stoppuhr vom Reaktionsvermögen des Experimentators abhängt, ist zu vermuten, dass die Endzeit nicht korrekt gestoppt wurde.

## 2.4 Akustischer Dopplereffekt

Zur Demonstration des akustischen Dopplereffekts war eine Stimmgabel vorhanden, die Schallwellen mit der Frequenz  $1700Hz$  erzeugte. Sie wurde angeschlagen und dann an der ausgestreckten Hand vom Ohr weg und zum Ohr hin bewegt. Da die Geschwindigkeit von Schall in Luft mit  $343m/s$  um Größenordnungen kleiner ist als die Lichtgeschwindigkeit in der vorherigen Aufgabe, ist nun auch das Verhältnis  $\frac{v}{c}$  in der Dopplereffektsformel wesentlich größer. Damit lässt sich der Dopplereffekt mit Schallwellen direkt ohne raffinierte Messapparatur wie dem Interferometer wahrnehmen.

Es war deutlich zu hören, dass sich die Frequenz um gut einen Viertelton änderte, wenn die Stimmgabel die Richtung wechselte. Bei einer schallreflektierenden Wand in der Nähe war sehr schwach eine Überlagerung der beiden Frequenzen zu hören.

## 3 Farady- und Pockelseffekt

### 3.1 Faraday qualitativ

In der dritten Aufgabe beschäftigt man sich mit dem Faraday- und dem Pockels-Effekt, wobei zuerst jeweils ein Demonstrationsversuch zu den einzelnen Effekten durchgeführt wird bevor es an die quantitative Betrachtung geht.

Deshalb wurde als Demonstrationsversuch für den Faraday-Effekt zuerst einmal ein Laser aufgebaut, gefolgt von einem Bleisilikatkristall, der entlang der longitudinalen Magnetfeldlinie einer Spule platziert wurde. Hinter dem Kristall befand sich ein Polarisator, hinter dem wiederum ein Photoelement platziert wurde, an das ein Lautsprecher angeschlossen wurde.

Die Magnetspule war außerdem an den Zweitlautsprecherausgang eines MP3-Players angeschlossen.

Schaltete man nun den Laser ein, ließ aber den MP3-Player ausgeschaltet so war nur ein Rauschen zu hören. Wurde jetzt allerdings der MP3-Player eingeschaltet, so wurden, durch den von ihm ausgehenden Strom, Informationen an die Spule übertragen. Der Strom der nun durch die Spule floss, regelte das Magnetfeld der Spule so, dass durch den Faraday-Effekt der Bleisilikatglasstab doppelbrechend wurde, immer proportional zum elektrischen Signal des MP3-Players. Dadurch konnte die zuerst elektrische Information des MP3-Players durch Polarisierung auf das Licht übertragen werden. Durch diese nun unterschiedlichen Polarisierungen wurden auch immer unterschiedliche Intensitäten vom Polarisator zum Photoelement hindurch gelassen, sodass die Intensitäten und die darin enthaltenen Daten wieder in elektrische Signale übertragen werden konnten, wie man auch sehr gut aus dem Lautsprecher vernehmen konnte.

Im Gegensatz zur Direktübertragung vom MP3-Player an den Lautsprecher waren nur geringfügige Informationsverluste festzustellen. Die schlechtere Übertragung hochfrequenter Signale, die von der Selbstinduktion der Spule herrührt, konnte nicht wirklich ausgemacht werden.

Alles in allem kann somit gesagt werden, dass der Faraday-Effekt doch recht eindrucksvoll vermittelt werden konnte.

### 3.2 Verdettsche Konstante

Als nächstes sollte man sich quantitativ mit der Verdettschen Konstante  $V$  befassen, die benötigt wird, um die genaue Relation zwischen dem Verdrehungswinkel  $\beta$ , der Länge  $l$  des doppelbrechenden Kristalls und der Stärke des Magnetfelds  $B$  herzustellen.

$$\beta = V \cdot B \cdot l$$

Dafür wurden wieder ein Laser und ein Polarisator vor einem Schirm aufgebaut. Dazwischen wurde der Bleisilikatglasstab in einer Magnetspule platziert, damit durch den Faraday-Effekt das Licht polarisiert werden konnte. So lässt sich durch unterschiedliche Stromstärken eine unterschiedlich starke Polarisierung des Lichts unter Zuhilfenahme des Polarisators auf dem Schirm feststellen, was wiederum einen Rückschluss auf die materialspezifische Verdettsche Konstante zulässt.

Es gilt:

$$\beta = V \cdot B \cdot l$$

mit

$$B = \mu_0 \cdot H \quad \text{und} \quad H = \frac{n \cdot I}{L}$$

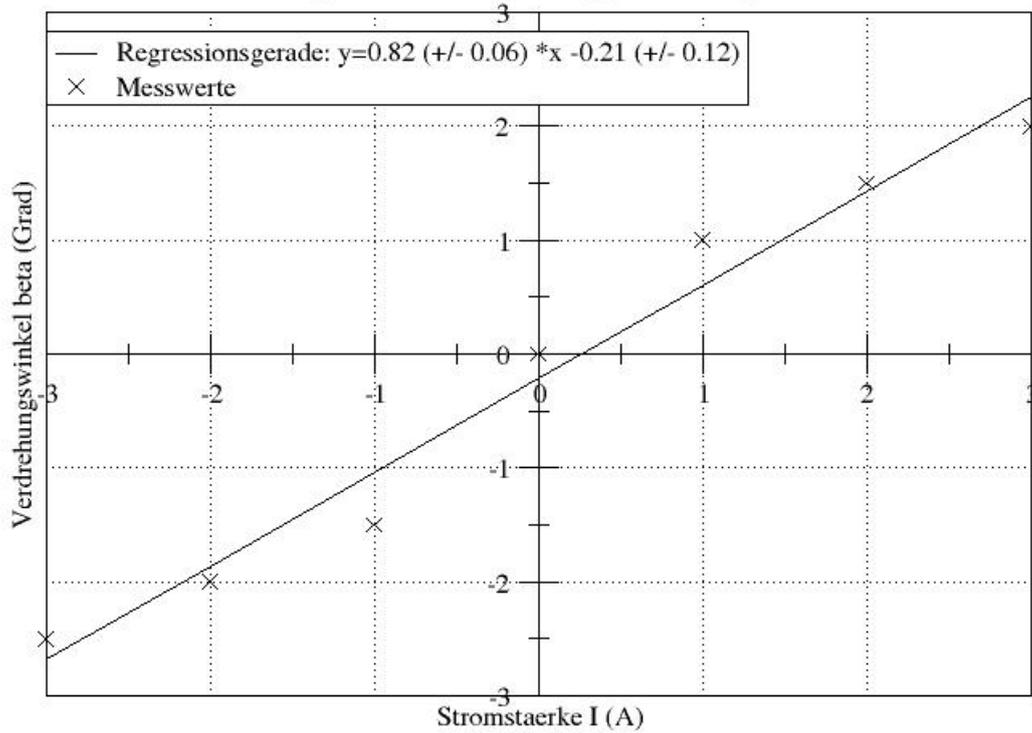
$L$ = Länge der Spule, hier  $L=l$  also gilt

$$V = \frac{\beta}{\mu_0 \cdot n \cdot I}$$

mit  $\beta$ =Verdrehungswinkel abzüglich dem Drehwinkel ohne E-Feld ( $14,5^\circ$ ),  $\mu_0$ =magnetische Feldkonstante,  $n=2000$ = Windungszahl der Spule und  $I$ =Stromstärke

## Messwerte Verdet'sche Konstante

Verdrehungswinkel beta in Abhaengigkeit vom Spulenstrom I



Aus dem Graphen kann das Verhältnis von Verdrehungswinkel zu Stromstärke als Steigung der Regressionsgeraden entnommen werden. Somit ergibt sich für die Verdet'sche Konstante von Bleisilikatglas ein Wert von

$$326,27 \left( \frac{\circ}{T \cdot m} \right)$$

Nicht zu vernachlässigen ist allerdings der statistische und der systematische Fehler dieser Messreihe. In diesem Fall ist die Berechnung des systematischen und statistischen Fehlers sehr einfach, da keinerlei Korrelationen zwischen den Messgrößen auftreten und man somit den Fehler mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnen kann.

Systematischer Fehler  $\Delta V$ :

Da die magnetische Feldkonstante eine sehr genau bestimmte Naturkonstante ist und die Anzahl der Spulenwindungen sich nicht geändert hat, gibt es lediglich einen systematischen Fehler auf den Verdrehungswinkel  $\Delta_\beta$ , der hier mit  $\pm 0,25(\circ)$  angenommen wird, und einen systematischen Fehler auf die Stromstärke von  $\Delta_I = 100(mA)$ , also 2% des Vollausschlags des Amperemeters, da die Spannungsquelle nicht ideal war und beim Ablesen der Stromstärke auf dem nicht-digitalen Messinstrument Fehler auftreten konnten.

$$\Delta_V = \sqrt{\left( \frac{\partial \frac{\beta}{\mu_0 \cdot n \cdot I}}{\partial \beta} \right)^2 \cdot \Delta_\beta^2 + \left( \frac{\partial \frac{\beta}{\mu_0 \cdot n \cdot I}}{\partial I} \right)^2 \cdot \Delta_I^2}$$

Tabelle 5: Messdaten fuer den systematischen Fehler der Verdet'schen Konstante

I (A)	varDelta Grad (°)	$\beta$ -Term (°/T * m) <sup>2</sup>	I-Term (°/T * m) <sup>2</sup>	Gesamtfehler (°/T*m)
-3	2.5	1099.41	122.16	34.95
-2	2	2473.66	395.79	53.57
-1	1.5	9894.65	3562.07	116.00
1	-1	9894.65	1583.14	107.13
2	-1.5	2473.66	222.63	51.93
3	-2	1099.41	78.18	34.32
gemittelter Gesamtfehler (°/T*m)				
66.32				

Damit erhält man einen systematischen Fehler von

$$\Delta_V = 66.32 \left( \frac{^\circ}{T \cdot m} \right)$$

auf die Verdet'sche Konstante.

Statistische Fehler  $\sigma_V$ :

Wie auch beim systematischen Fehler entfällt kein Fehler auf die Windungszahl oder die magnetische Feldkonstante. Es ergibt sich also lediglich ein statistischer auf den Quotienten  $\frac{\beta}{T}$ , wobei dieser als Fehler der Steigung der Regressionsgeraden aus dem Graphen heraus gelesen werden kann.

$$\sigma_V = \sqrt{\left( \frac{\partial \frac{\beta}{\mu_0 \cdot n \cdot I}}{\partial \left( \frac{\beta}{T} \right)} \right)^2 \cdot \sigma_{\left( \frac{\beta}{T} \right)}^2} = \frac{1}{\mu_0 \cdot n} \cdot \sigma_{\left( \frac{\beta}{T} \right)}$$

Somit erhält man für diese Messung einen statischen Fehler von

$$\sigma_V = 23.87 \left( \frac{^\circ}{T \cdot m} \right)$$

Damit ergibt sich also insgesamt ein Wert von

$$326.27 \pm 66.32 \pm 23.87 \left( \frac{^\circ}{T \cdot m} \right)$$

für die Verdet'sche Konstante von Bleisilikatglas. Da kein passender Literaturwert für die Verdet'sche Konstante von Bleisilikatglas gefunden werden konnte, kann nicht gesagt werden, ob das Ergebnis dieser Messung zutreffend ist. Was man aber sagen kann ist, dass die ermittelte Konstante sehr stark fehlerbehaftet ist, der Gesamtfehler entspricht 27.64% des ermittelten Wertes. Der Grund hierfür sind der relativ große Fehler auf den Verdrehungswinkel und die Tatsache, dass die Stromstärke zum Teil in der 4. Potenz in den Fehlerwert einfließt.

### 3.3 Pockels qualitativ

Als nächstes wurde der Pockels-Effekt betrachtet, auch wieder zuerst qualitativ durch einen Demonstrationsversuch.

Im Aufbau sehr ähnlich zum Aufgabenteil 3.1 sollte der Pockels-Effekt gezeigt werden. Allerdings wurde die Spule durch einen Plattenkondensator und der Bleisilikatglasstab durch einen Lithiumniobat-Kristall ersetzt. Zusätzlich wurde noch vor diese Pockels-Zelle eine Konkavlinse zur Aufweitung des Laserlichts und eine Konvexlinse zur anschließenden Fokussierung des Laserlichts im Zentrum der Pockels-Zelle eingebracht.

Obwohl theoretisch ein besseres Ergebnis als beim Faraday-Effekt möglich ist, war das hörbare Resultat dieses Versuchs doch von minderer Qualität, da es in der Praxis doch sehr schwierig ist, die Linsen optimal zu platzieren. So ging ein Teil der Informationen hauptsächlich durch Streuung in der Linsenanordnung verloren.

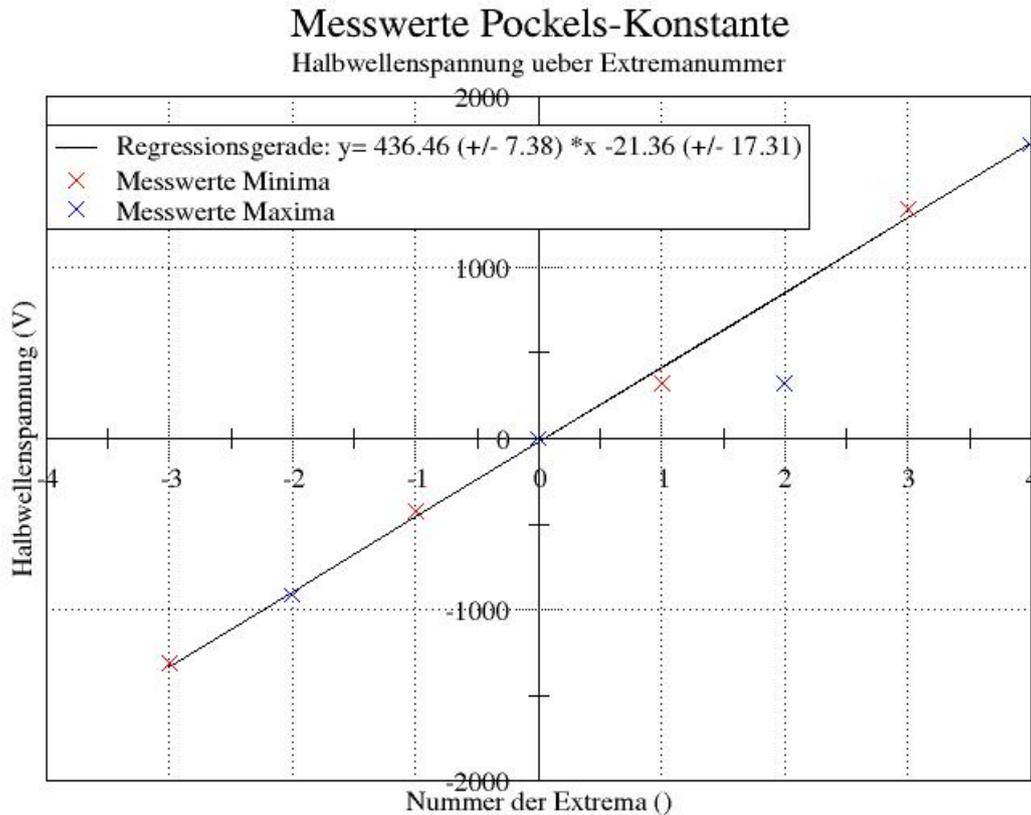
Anschließend wurde außerdem noch zusätzlich das Photoelement durch einen einfachen Schirm ersetzt, auf dem man dann doch gut die Hyperbelstruktur des Lichts, hervorgerufen durch unterschiedliche Ausbreitung der Teilwellen des Laserlichts, aufgrund der Brechung des Laserstrahls am Linsensystem, erkennen konnte.

### 3.4 Pockels-Konstante

Zum Abschluss dieser Aufgabe sollte noch die Pockels-Konstante  $k$  bestimmt werden. Dafür wurde der gleiche Versuchsaufbau wie im vorangegangenen Aufgabenteil verwendet.

Um die Pockels-Konstante bestimmen zu können, wurden Spannungen von -2000V bis +2000V an den Plattenkondensator angelegt, um durch das entstehende elektrische Feld die Polarisation des Laserlichts im Lithiumniobat-Kristall zu verändern. Diese Veränderungen konnte mit der Hilfe eines Analysators hinter der Pockelszelle untersucht und ausgewertet werden.

Anschließend wurden die aufgezeichneten Spannungswerte für die Halbwellenspannung, bei der Minima und Maxima der Intensität des Laserlichts am Schirm aufgetreten sind, über die Nummer des jeweiligen Extremwertes aufgetragen.



Aus diesem Graphen lässt sich nun leicht über die Regressionsgerade die gemittelte Halbwellenspannung ablesen, mit deren Hilfe die Pockels-Konstante bestimmt werden konnte:

$$k = \frac{\lambda_0 \cdot d}{2 \cdot s \cdot U_{Hw}}$$

mit  $d=2(\text{mm})$ = Kondensatorplattenabstand,  $\lambda_0=632.8(\text{nm})$ = Vakuumwellenlänge des Laserlichts,  $s=20(\text{mm})$ = Kristalldicke und  $U_{Hw}$ =Halbwellenspannung

Damit ergibt sich für Lithiumniobat eine Pockels-Konstante von

$$7.25 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{m}}{\text{V}} \right)$$

Auch hier werden wieder der systematische und der statistische Fehler untersucht, um eine bessere Aussagekraft über die Verwendbarkeit der bestimmten Konstante erhalten zu können.

Systematischer Fehler  $\Delta k$ :

Bei der Berechnung des systematischen Fehlers beschränkt man sich auf den Fehler der Halbwellenspannung, da die Kristalldicke  $s$ , der Abstand der Kondensatorplatten  $d$  und auch die Wellenlänge des Laserlichts als konstant und nicht fehlerbehaftet angegeben wurden. Damit ergibt sich unter der Verwendung der Gaußschen Fehlerfortpflanzung ein systematischer Fehler von

$$\Delta_k = \sqrt{\left(\frac{\partial \frac{\lambda_0 \cdot d}{2 \cdot s \cdot U_{Hw}}}{\partial U_{Hw}}\right)^2 \cdot \Delta_{U_{Hw}}^2}$$

,wobei ein Fehler von 1% auf den Maximalspannungswert von  $\Delta U_{Hw} = \pm 20V$  angenommen wird, da die Spannung an dem Messinstrument nicht exakt ausgegeben werden konnten und es auch nicht möglich war, die genauen Minima und besonders nicht die genauen Maximazustände zu bestimmen.

Tabelle 6: Messdaten fuer den systematischen Fehler der Pockels-Konstante

Extremanummer ()	Hw-Spannung korrigiert (V)	Gesamtfehler (m/V)
-3	-1314	3.67E-013
-2	-916	7.54E-013
-1	-426	3.49E-012
0	0	0.00E+000
1	322	6.10E-012
2	849	8.78E-013
3	1341	3.52E-013
4	1719	2.14E-013
gemittelter Gesamtfehler (m/V)		
		1.52E-012

Damit ist also der systematische Fehler der Pockels-Konstante  $\Delta_k = 1.52 \cdot 10^{-12}(\frac{m}{V})$ .

Statistischer Fehler  $\sigma_k$ :

Da außer der Spannung keine für die Berechnung der Konstanten relevanten Messgrößen variiert wurden, ergibt sich lediglich ein statistischer Fehler auf die Halbwellenspannung von  $\sigma_{U_{Hw}} = 7.38(V)$ , der direkt aus dem Fehler der Regressionsgeradensteigung stammt.

Somit ergibt sich ein gesamtstatistischer Fehler von:

$$\sigma_k = \sqrt{\left(\frac{\partial \frac{\lambda_0 \cdot d}{2 \cdot s \cdot U_{Hw}}}{\partial U_{Hw}}\right)^2 \cdot (\sigma_{U_{Hw}})^2}$$

Tabelle 7: Messdaten fuer den statistischen Fehler der Pockels-Konstante

Extremanummer ()	Hw-Spannung korrigiert (V)	Gesamtfehler (m/V)
-3	-1314	1.35E-013
-2	-916	2.78E-013
-1	-426	1.29E-012
0	0	0.00E+000
1	322	2.25E-012
2	849	3.24E-013
3	1341	1.30E-013
4	1719	7.90E-014
gemittelter Gesamtfehler (m/V)		
		5.61E-013

Also ist  $\sigma_k = 5.61 \cdot 10^{-13}(\frac{m}{V})$

Damit ergibt sich also insgesamt ein Wert von

$$7.25 \cdot 10^{-11} \pm 1.52 \cdot 10^{-12} \pm 5.61 \cdot 10^{-13} \left(\frac{m}{V}\right)$$

für die Pockels-Konstante Lithiumniobat. Da auch hier kein Literaturwert für die Pockels-Konstante von Lithiumniobat gefunden werden konnte, kann auch keine endgültige Aussage über die Gültigkeit der Messung getroffen werden. Es lässt sich allerdings sagen, dass die Messung mit einem Gesamtfehler von unter einem 0.1% doch deutlich genau war als die Messung der Verdet'schen Konstante.

## 4 Saccharimetrie

### 4.1 Zuckerlösung

Zum Abschluss sollte noch das optische Drehvermögen von Zucker und später auch noch von Sorbose untersucht werden.

Dafür wurde eine bestimmte Menge Zucker, hier 20g, in Wasser gelöst. Anschließend wurde die Lösung in eine Küvette gefüllt, die jeweils einmal längs und einmal quer von einem Laserstrahl durchleuchtet wurde. Hinter der Küvette befand sich wieder ein Analysator mit dem man dann den Winkel bestimmen konnte, um den die Polarisation des Laserlichts gedreht wurde. Damit man aber nicht nur die Abhängigkeit von der Weglänge im optisch aktiven Medium untersucht, wurde nach jedem Durchlauf die Konzentration der Lösung verringert, um auch diesen Zusammenhang zu beleuchten.

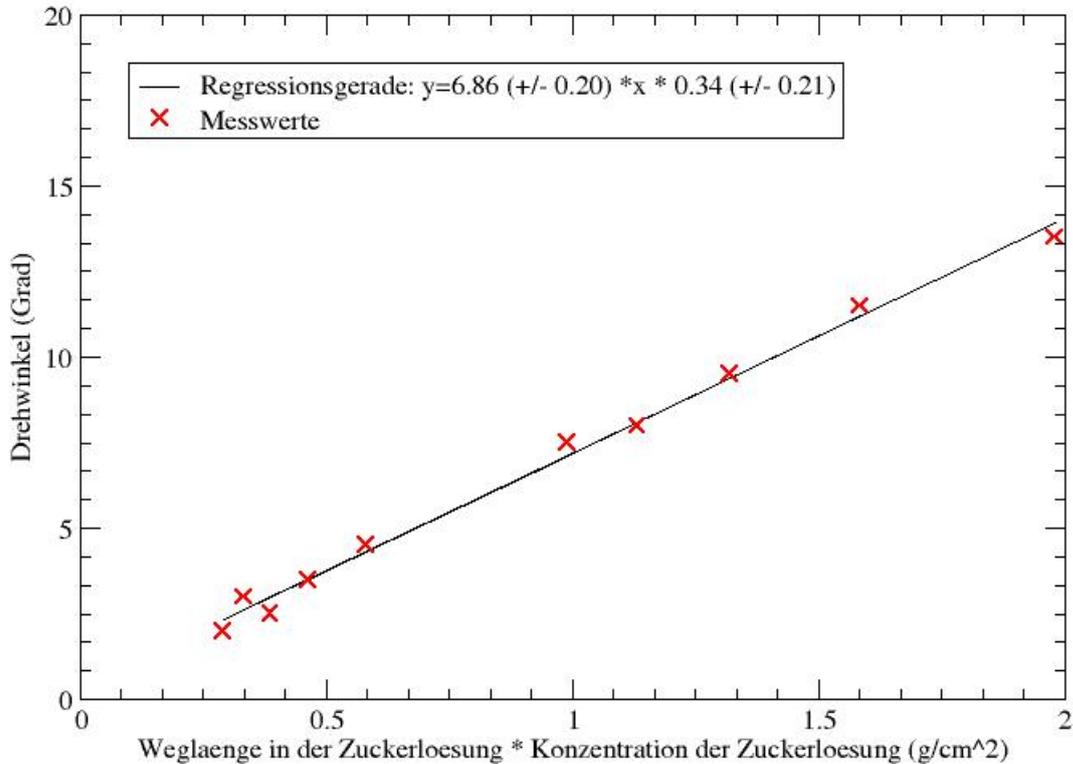
Mit den gemessen Werten ergeben sich folgende Größen

Tabelle 8: Messgrößen des Drehvermögens mit der Zuckerlösung

l (dm)	c ( $\frac{g}{cm^3}$ )	$\beta_{korrr.}$ (°)
1.98	0.100	13.5
0.58	0.100	4.5
1.98	0.080	11.5
0.58	0.080	3.5
1.98	0.067	9.5
0.58	0.067	2.5
1.98	0.057	8
0.58	0.057	3
1.98	0.050	7.5
0.58	0.050	2

mit  $c = \frac{m_{Zucker}}{m_{Wasser}}$  = Lösungskonzentration, l = Weglänge des Lichts in der Küvette und  $\beta$  = Drehwinkel erzeugt durch die Zuckerlösung

Abbildung 4: Drehwinkel  $\beta$  in Abhängigkeit von der Weglängen in der Zuckerlösung und der Konzentration der Zuckerlösung



Wieder lässt sich durch die Auftragung im Graphen direkt der Wert für das optische Drehvermögen  $\alpha$  von Zucker ablesen. Dieser beträgt laut dieser Messreihe

$$\alpha = 6.86 \left( \frac{^\circ}{\frac{g}{cm^2}} \right)$$

Systematischer Fehler  $\Delta_\alpha$ :

Der systematische Fehler ergibt sich aus den Fehlern der Lösungskonzentration, der hier mit 5% angenommen wird - da der Zucker wahrscheinlich nicht grammgenau gemessen wurde und auch die Wassermenge wohl nicht ganz exakt abgefüllt wurde - und dem Fehler auf die Bestimmung des Drehwinkels von  $\pm 0.25(^\circ)$  aufgrund von Rundung und ungenauen Ablesens. Der Fehler auf die Weglänge in der Zuckerlösung wird nicht berücksichtigt, da kein Fehler auf die Längenmessung der Küvette angegeben wurde.

Damit ergibt sich

$$\Delta_\alpha = \sqrt{\left( \frac{\partial \frac{\beta}{c \cdot l}}{\partial c} \right)^2 \cdot \Delta_c^2 + \left( \frac{\partial \frac{\beta}{c \cdot l}}{\partial \beta} \right)^2 \cdot \Delta_\beta^2}$$

Tabelle 9: Fehlerterme des systematischen Fehlers mit der Zuckerlösung

$\beta$ -Term $\left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)^2$	C-Term $\left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)^2$	Gesamtfehler $\Delta_\alpha \left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)$
0.02	0.14	0.40
0.22	0.18	0.64
0.03	0.15	0.43
0.34	0.17	0.71
0.04	0.15	0.43
0.48	0.12	0.77
0.05	0.14	0.44
0.64	0.23	0.93
0.07	0.16	0.48
0.82	0.13	0.97
gemittelter Gesamtfehler $\Delta_\alpha \left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)$		
0.62		

Der systematische Fehler beträgt also:

$$\Delta_\alpha = \pm 0.62 \left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)$$

Statistischer Fehler  $\sigma_\alpha$ :

Da bei dieser Messung alle Parameter variiert wurden, hängt der statistische Fehler auch von allen Messgrößen ab. Da aber auch alle diese Messgrößen in die Regressionsgerade eingeflossen sind, ergibt sich der statistische Fehler  $\sigma_\alpha$  direkt aus dem Fehler der Regressionsgeraden:

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial \frac{\beta}{c-l}}{\partial \frac{\beta}{c-l}}\right)^2 \cdot \sigma_{\frac{\beta}{c-l}}^2} = \sigma_{\frac{\beta}{c-l}}$$

Also beträgt der Statistische Fehler

$$\sigma_\alpha = \pm 0.20 \left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)$$

Insgesamt ergibt sich also ein Wert von

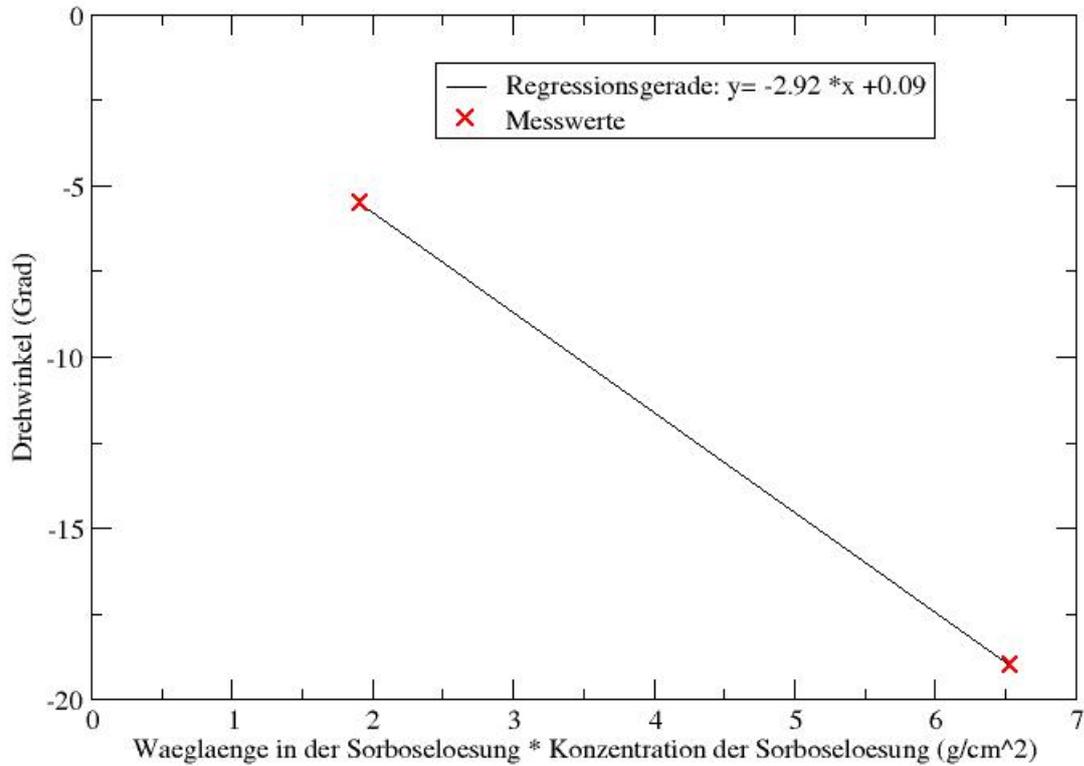
$$\alpha = 6.86 \pm 0.62 \pm 0.20 \left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)$$

Verglichen mit dem Literaturwert [de.wikipedia.org/wiki/Saccharose] von  $6.65 \left(\frac{\circ}{\frac{g}{cm^2}}\right)$  ergibt sich lediglich eine Abweichung von 3.15%, was sich innerhalb des Rahmens der Fehlerabschätzung von 11.9% bewegt.

## 4.2 Sorbose

Wie schon vorher erwähnt, sollte zum Vergleich auch noch eine Saccharimetrie an einer Sorboselösung vorgenommen werden. Mit den Messwerten und der angegebenen Konzentration  $c = 0.33 \frac{g}{cm^3}$  ergibt sich folgender Graph:

Abbildung 5: Drehwinkel  $\beta$  in Abhängigkeit von der Weglängen in der Sorboselösung und der Konzentration der Sorboselösung



Daraus schließt man, dass Sorbose ein optisches Drehvermögen von

$$\alpha = -2.92 \left( \frac{^\circ}{\frac{g}{cm^2}} \right)$$

Dieser Versuch war nur als qualitativer Vergleich zur Saccharose gedacht, da nur zwei Messwerte genommen werden konnten. (Die teure Sorboselösung wurde nicht verdünnt, um sie später weiterverwenden zu können.) Dennoch ist deutlich sichtbar, dass verschiedene Stoffe unterschiedliche optische Drehvermögen aufweisen, sowohl im Betrag als auch in der Richtung.