

Zielsetzung

In diesem Versuch geht es um die Wechselwirkung von polarisiertem Licht in Materie. Damit soll die Anwendung von Polarimetrie, LCD-Displays oder Spannungsoptik zu Materialuntersuchung verdeutlicht werden.

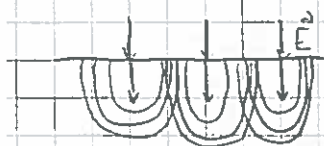
Theorie + Formeln

Die elektromagnetische (em) Welle ist eine raum-zeit-periodische Schwingung von gekoppelten elektrischen und magnetischen Feldern. Schwingt der elektrische Feldstärkevektor in einer Ebene so ist die Welle linear polarisiert. Diese Ebene heißt Polarisations Ebene der Welle. Der Polarisationsgrad P_G ist wie folgt definiert: $P_G = \frac{I_{||} - I_{\perp}}{I_{||} + I_{\perp}}$ wobei $I_{||}$ die Lichtintensität parallel zu einer ausgezeichneten Polarisations Ebene und I_{\perp} die senkrecht dazu ist. Falls die Polarisation der Einzelwelle homogen im Raum verteilt ist, dann ist der Strahl unpolarisiert $P_G = 0$. Sind jedoch alle Wellen gleich ausgerichtet dann ist der Strahl polarisiert $P_G = 1$.

Rotiert der e-Feldstärkevektor um die Ausbreitungsrichtung so ist die em-Welle elliptisch polarisiert. Eine em-Welle heißt zirkular polarisiert, wenn der Betrag des Feldstärkevektors konstant bleibt. Rotiert diese im mathematisch positiven Sinn, ist die rechts elliptisch bzw. andersrum links elliptisch polarisiert. Die Überlagerung von einer rechts und links zirkular polarisierten Welle mit fester Phasenbeziehung wird als lin. pol. Welle aufgefasst. \Rightarrow eine zirkular bzw. elliptische polarisierte Welle kann man als Überlagerung zweier lin. pol. Wellen darstellen.

Das e-Feld einer em Welle kann ein erzwungene Schwingungen versetzen (Lochung wird beschleunigt) und strahlt mit parallel existierende eines Hertzischen Dipols, eine em Welle ab. In Materie überlagern sich die Wellen zu einer neuen Welle die sich langsamer als im Vakuum fortkommt. Brechungsindex $n = \frac{c}{v}$. Im Bereich der normalen Dispersion kann n auch durch die Cauchy-Formel beschrieben werden $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \dots$ mit A & B materialabhängige Konstanten.

Um zu erzeugen von pol. Licht gibt es die Doppelbrechung. Die unterschiedlichen Brechungsindizes hängen von der Ausbreitungsrichtung und Polarisation des einfallenden Lichts ab. Dabei wird das Licht in 2 parallele (den Polaris. Strahlen), den 'ordentlichen' und 'außerordentlichen' Strahl aufgespalten.



ordentlicher Strahl



außerordentlicher Strahl

linear polarisiertes Licht auf optisch aktives Material kommt es zur Drehung der pol. Ebene. \Rightarrow Rotationsdispersion
 anderen Worten, ist das Folge von unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten von rechts- und links- zirkularem
 Licht. Dies betrachtet / tritt auf bei Materialien, die aus schraubenförmig aufgebauten Molekülen oder
 Kristallen besteht. Dann gilt die Biot-Savart-Formel: $\varphi = \varphi_0 - A + B \lambda^2 + \dots$

eine en Welle auf ein Gitter (elektrisch leitfähige Stäben) trifft erzeugt die Komponente des E -Feldes, \parallel zu den
 Stäben, Dipolstrahlungen, die eine en Welle aussenden. Die Überlagerung ^{der} erzeugten und einfallenden Welle,
 dazu dass nur die Komponente der en Welle \perp zum Gitter transmittiert wird. Für den Licht kann
 sich nutzt man Polaroidfilter (langkettige, klanggeordnete Moleküle Wasserstoffmoleküle mit eingelenkten
 d) Ein Teil der einfallenden Welle der \parallel zur Molekülkette polarisiert, rest der Elektronen zum Schwingen an
 der Fall dass lin. pol. Licht mit I_0 auf einen Polarisator fällt so gilt das Malus Gesetz

$I = I_0 \cos^2(\varphi - \varphi_0)$

Abb. 370 A

Achsenbeschriftung

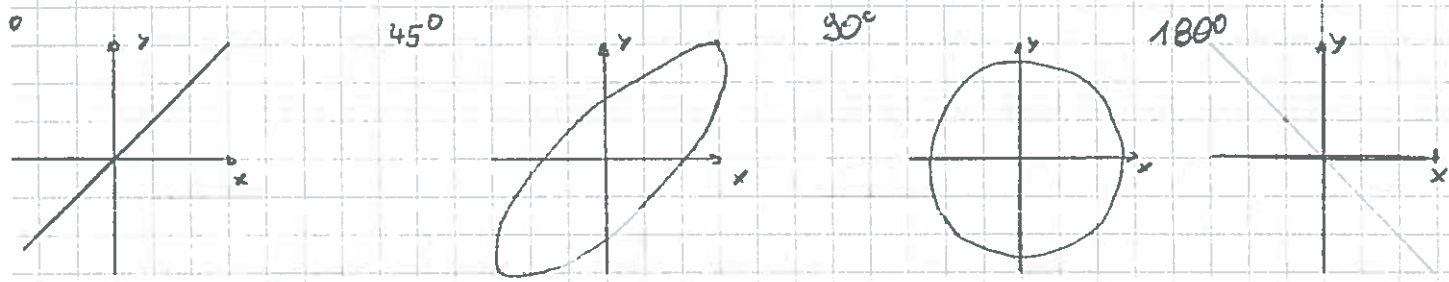
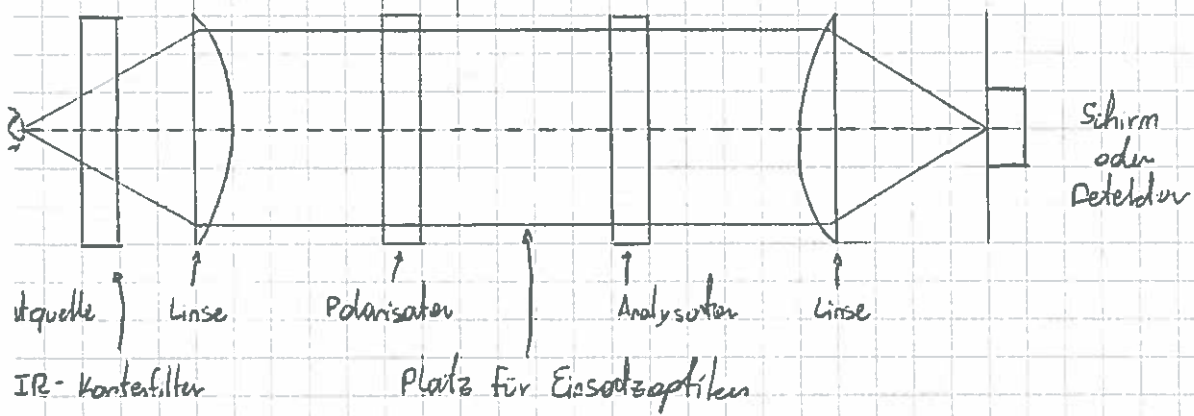


Abb. 370 B

(370.1) $P_G = \frac{I_{II} - I_I}{I_{II} + I_I} \Rightarrow P_G = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$

Herleitung aus Malusgesetz!

Suchlaufbau + Durchführung.



Mit Hilfe des IR-Kontenfilters wird der infrarote Spektralteil der Halogenlampe raus gefiltert um eine schärfere
 bildung zu erhalten bzw störungen durch Temperatur zu vermeiden. Der Analysator ist drehbare
 Wellenfilter.

Zurückführung \rightarrow andere Seite

Im ersten Versuchsteil soll das Malus Gesetz experimentell bestätigt werden. Dazu bauen wir auf der optischen Bank eine Halogenlampe, zwei Polarisatoren und eine Linse mit der wir das Licht auf eine Photodiode fokussieren. Am Ende der Bank setzen wir noch eine Silizium-Photodiode zur Spannungsmessung. Erst messen wir den Dunkelstrom der Photodiode (vollständige Abschaltung), dann stellen wir den Analysator auf -90° und messen jeweils die Spannung für verschiedene Stellungen $90^\circ - -90^\circ$ von Analysator.

Im zweiten Versuchsteil sollen wir unser errechnetes Drehvermögen von Quarz mit dem Literatur Wert vergleichen. Hierzu entfernen wir die zweite Linse und die Photodiode vom Aufbau. Danach drehen wir den Analysator auf eine transmittierte Intensität und bauen eine 4mm dicke Quarzplatte zwischen Polarisator und Analysator. Nun bestimmen wir den Drehwinkel des Quarzpräparates. Jetzt stellen wir den Analysator auf $\pm 90^\circ$ (Quarzplatte schärft abgebildet auf Photodiode) und durch den Einbau des Filterrohrs messen wir $\Delta \varphi$ des Minimums der Intensität jeweils 5x für 2 verschiedene Wellenlängensfilter.

Im dritten Versuchsteil bauen wir ein Halbschattenpolarimeter (Polarisator mit halb verdeckter Ebene) ein, anschließend verdreht man beide Polarisatoren um 45° und baut zwischen sie eine Rundkuvette (Zuckerlösung). Hier haben wir 6 verschiedene Zuckerlösungen und messen jeweils das Drehvermögen.

Im letzten Versuchsteil sollen wir ein durchsichtiges Stück Kunststoff mit bringen welches wir jetzt zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren einbauen und drehen/verformen. Die Beobachtungen sind zu skizzieren.

Im 4. Teilb, gibt es zwei Fragen. Der Strahl trifft auf und die Quarzplatte die polarisiert. Im 5. Teilb, das Licht wird nicht mehr beim Analysator komplett gebrochen. Die Farben ändern sich weil der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängt, damit auch die Geschwindigkeit der einzelnen λ somit erfahren verschiedene Phasendifferenzen.

La.

Selbstspannung $U_0 = 0,0110 \text{ V} \pm 0,0002 \text{ V} \rightarrow$ vergessen den Messverstärker einzustellen

$10,0167 \pm 0,0002 \text{ V}$ Potentiometer 100 s/b

Erzeugungsspannung liegt auf maximal $7,5 \pm 0,2 \text{ V}$

Analysator $+90^\circ$

Polarisator -90°

Analysator $[\circ]$	U [V]	Analysator $[\circ]$	U [V]
30	7,024	90	6,897
20	6,883	80	6,817
10	6,410	70	6,359
0	5,677	60	5,646
-10	4,775	50	4,765
-20	3,794	40	3,776
-30	2,841	30	2,892
-20	2,089	20	2,121
-10	1,602	10	1,607
0	1,414	0	1,414
10	1,576	-10	1,527
20	2,033	-20	1,963
30	2,733	-30	2,646
40	3,607	-40	3,541
50	4,530	-50	4,450
60	5,438	-60	5,328
70	6,139	-70	6,064
80	6,623	-80	6,588
90	6,798	-90	6,814

$\Delta\varphi = \pm 0,5^\circ \pm 1^\circ$
 $\Delta U = \pm 0,02 \text{ V}$

Ob.

$U_0 = 0^\circ$

Analysator von $-90^\circ \rightarrow +90^\circ$ Farben: Gelb, Grün, Blau, rot, gelb

$\varphi(458 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$	$\varphi(458 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$	$\varphi(488 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$	$\varphi(520 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$
86	65	43	20
85	60	42	26
88	54	40	25
84	57	43	27
83	60	38	23

$\varphi(568 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$	$\varphi(620 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$	$\varphi(694 \text{ nm}) [^\circ] \pm 5^\circ$
4	-12	-28
4	-10	-30
5	-12	-27
8	-13	-27
3	-11	-27

370c

$\varphi [^\circ]$ Lösung 1 mol/L	$\varphi [^\circ]$ Lösung 2 mol/L	$\varphi [^\circ]$ Lösung 3 mol/L	$\varphi [^\circ]$ Lösung 4 mol/L
-15°	-28	-35	-51
-12°	-31	-37	-54
-15°	-28	-38	-51
-14°	-32	-39	-53
-17	-34	-39	-49
$\varphi [^\circ]$ Lösung 5 mol/L	$\varphi [^\circ]$ B	XXXXXXXXXX	
-63	-31	Filter 520 nm $\Delta \varphi = 15^\circ$	
-63	-35		
-67	-36		
-66	-34		
-71	-33		

700i

verschaltete Folie

- ohne Filter

ohne Folie kommt fast kein Licht am Schirm an, mit Folie wird es heller

Bei Drehung \rightarrow nichts passiert

Beim auseinanderziehen \rightarrow nur die Falten machen Schatten

- bei Grünfilter (520 nm) \rightarrow keine Veränderung

Klebeband Tesca

- ohne Filter

violettes / rotes Licht kommt durch

Bei Drehung & Zugspannung wird es heller und verändert die Farbe (gelb grün)

• bei Grünfilter (520 nm)

Hält man den Streifen $\pm 45^\circ$ geneigt dann kommt leicht Licht durch sonst nicht

bei 0° und Spannung kommt wenig Licht durch ~~da~~ zusätzlich um 45° geneigt kommt viel Licht durch.



Verteilung

Fehler erhöht: $\Delta\psi = 1,5^\circ$ $\Delta U = 0,05V$

$I = U_0 \cos^2(\psi - \psi_0)$

$U_{max} = (7,0073 \pm 0,05)V$

$U_{min} = (1,3373 \pm 0,05)V$

$P_6 = (0,6675 \pm 0,0101)$

$P_6 = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = 0,6675$

$$\Delta P_6 = \sqrt{\left(\frac{I_{max} + I_{min}}{(I_{max} + I_{min})^2} \Delta I_{max} \right)^2 + \left(\frac{I_{max} - I_{min}}{(I_{max} + I_{min})^2} \Delta I_{min} \right)^2}$$

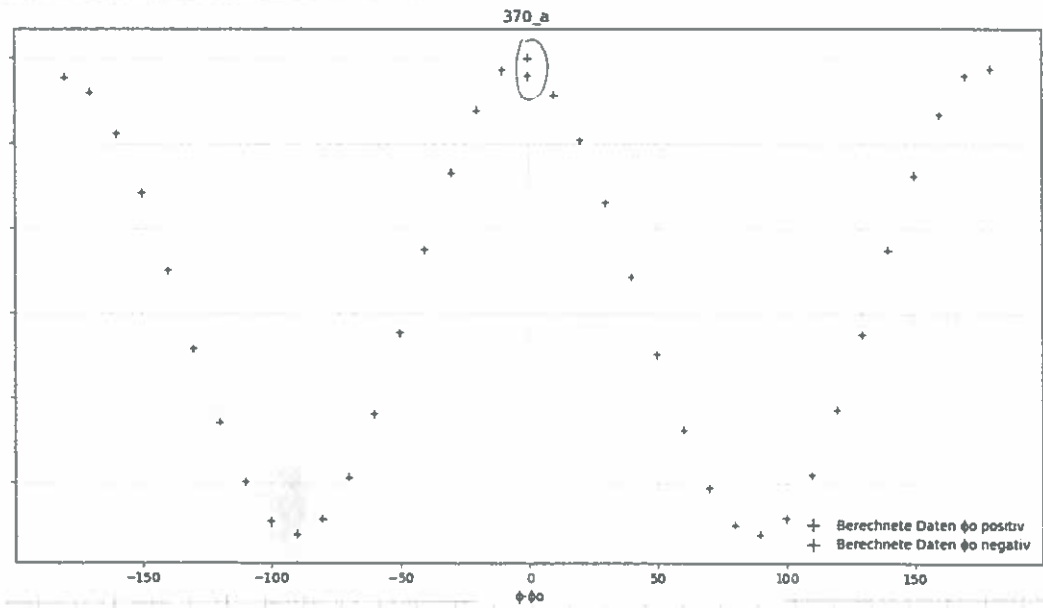
$$= 0,0101$$

Das Ergebnis ist nicht zufriedenstellend da P_6 müsste 1 sein. Dieser Wert würde mich etwas tiefer im dunkeln gemessen haben dh der Fehler nicht vom Tageslicht kommt sondern eher von der Qualität des Polarisators/Analyators bzw unser Lichtstrahl ging nicht komplett am Sensor ankommen. P_6 sollte eher bei ca. 80% liegen. Messung lief nicht super gut!

U	U-U ₀	ψ-ψ ₀	U	U-U ₀
7,024	7,0073	180	6,897	6,8803
6,883	6,8663	170	6,817	6,8003
6,41	6,3933	160	6,359	6,3423
5,677	5,6603	150	5,646	5,6293
4,775	4,7583	140	4,765	4,7483
3,794	3,7773	130	3,775	3,7583
2,841	2,8243	120	2,892	2,8753
2,089	2,0723	110	2,121	2,1043
1,602	1,5853	100	1,607	1,5903
1,414	1,3973	90	1,414	1,3973
1,575	1,5583	80	1,527	1,5103
2,039	2,0223	70	1,963	1,9463
2,733	2,7163	60	2,646	2,6293
3,607	3,5903	50	3,541	3,5243
4,53	4,5133	40	4,45	4,4333
5,438	5,4213	30	5,328	5,3113
6,139	6,1223	20	6,064	6,0473
6,623	6,6063	10	6,588	6,5713
6,798	6,7813	0	6,814	6,7973

$\Delta\psi - \psi_0 = 1,5^\circ$ $\Delta U - U_0 = 0,05V$

Die ersten 3 Voltmeter waren die Messungen wenn der Polarisator auf $+90^\circ$ steht, Voltmeter 4-6 wenn der Polarisator auf -90° steht



Diese durch verbinden der Messwerte entstehende Funktion sieht einer \cos^2 Funktion, jedoch sieht man eine Versetzung bei $\psi - \psi_0 = 0$. Das sieht man, dass wir unseren Fehler größer hatten

schätzen müssen.

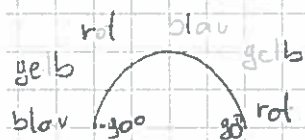
Grüß!!!

$a \cdot \cos^2(\psi) + b$

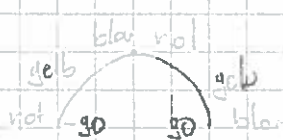
Sind Polarisator und Analyzer 90° zueinander verstellt erhält man Imm. welche mit der Quarzplatte (B) auf dem Schirm gelb erscheint.

Polarisator auf 0° eingestellt, Analyzer von -90° nach 0 bis $+90^\circ$ dabei wechseln die Farben wie vorher beschrieben: Gelb, Grün, Blau, Rot, Gelb.

Wissend dass Blaues Licht die stärkste Phaserverschiebung hat.



linksdrehend



rechtsdrehend

=> Unsere Quarzplatte ist rechtsdrehend! ✓

Steigung positiv -> rechtsdrehend

$$\bar{\Gamma}(430\text{nm}) = 85,2^\circ \pm 5^\circ$$

$$\bar{\Gamma}(458\text{nm}) = 59,2^\circ \pm 5^\circ$$

$$\bar{\Gamma}(488) = 41,2^\circ \pm 5^\circ$$

$$\chi^2(430\text{nm}) = 5,408 \cdot 10^{-6}$$

$$\chi^2(458\text{nm}) = 4,767 \cdot 10^{-6}$$

$$\chi^2(488) = 4,199 \cdot 10^{-6}$$

$$\bar{\Gamma}(520\text{nm}) = 24,2^\circ \pm 5^\circ$$

$$\bar{\Gamma}(568\text{nm}) = 4,8^\circ \pm 5^\circ$$

$$\bar{\Gamma}(620\text{nm}) = -11,6^\circ \pm 5^\circ$$

$$\chi^2(520\text{nm}) = 3,698 \cdot 10^{-6}$$

$$\chi^2(568\text{nm}) = 3,100 \cdot 10^{-6}$$

$$\chi^2(620\text{nm}) = 2,601 \cdot 10^{-6}$$

$$\bar{\Gamma}(634\text{nm}) = -27,8^\circ \pm 5^\circ$$

$$\chi^2(634\text{nm}) = 2,076 \cdot 10^{-6}$$

Alle unsere Werte passen (mit ihren Fehlern) auf die Gerade.

lineare Formel: $(\psi - \psi_0) = A + B/\lambda^2$

ist ψ -> Steigung $\wedge A$ -> y-Achse Schnitt

$B =$ ~~steigung~~ -> falscher Wert abgeschrieben

$$B = 32,749 \pm 0,163 \quad d = 4\text{nm}$$

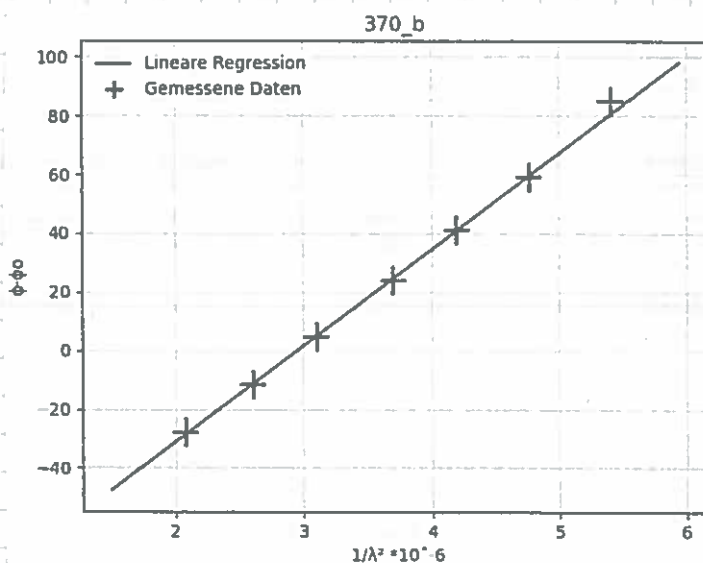
$$A = -96,722 \pm 0,503 \quad \lambda = 520\text{nm}$$

$$\psi - \psi_0 = -96,722 + \frac{32,749}{\lambda^2}$$

$$\psi - \psi_0 = 101,508^\circ \quad \Delta\psi - \psi_0 = \sqrt{(AA)^2 + (\frac{\Delta B}{\lambda^2})^2} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \frac{\psi - \psi_0}{d} = \frac{101,508}{4\text{nm}} \Rightarrow 25,377 \frac{^\circ}{\text{nm}} \pm 0,503 \frac{^\circ}{\text{nm}}$$

Unser Wert liegt leider etwas über dem Literaturwert das kann aber auch daran liegen dass der Literaturwert ein leicht anderes λ zur Berechnung benutzt hat.

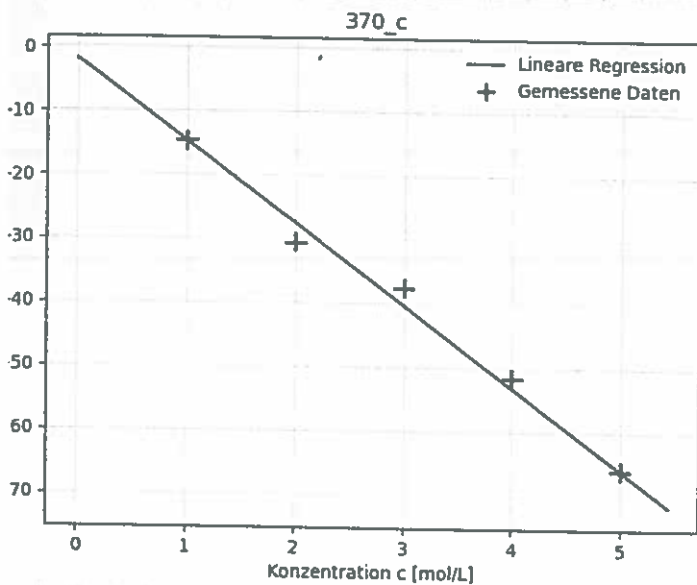


Literaturwert $21,7 \frac{^\circ}{\text{nm}}$

(Spektrum des)

bestimmen erneut (b) die Mittelwerte für jede Küvette.

$$\begin{aligned} \bar{\Psi} = -14,6^\circ &\rightarrow 1 \text{ mol/L} & \bar{\Psi} = -30,6^\circ &\rightarrow 2 \text{ mol/L} & \bar{\Psi} = -37,6^\circ &\rightarrow 3 \text{ mol/L} & \bar{\Psi} = -51,6^\circ &\rightarrow 4 \text{ mol/L} \\ -66^\circ &\rightarrow 5 \text{ mol/L} & \bar{\Psi}_B = -33,8 &\rightarrow \text{Lösung B} & \Delta \bar{\Psi} = 1,6^\circ & & & \end{aligned}$$



Hier liegen unsere Werte nicht ganz auf der Geraden. Ich hätte den Fehler für $\Delta \bar{\Psi}$ größer machen können, da es manchmal extrem schwer war den Hellsten Bereich (I_{\max}) einzugrenzen.

$$\begin{aligned} \text{Steigung } m &= -12,849 \pm 1,011 \frac{^\circ}{\text{mol}} \\ y\text{-Achse Abschnitt } b &= -1,835 \pm 1,219^\circ \\ \Rightarrow \Psi &= \Psi_0 + c \cdot m \end{aligned}$$

is Drehvermögen berechnen wir anhand von $\Psi_0 = \frac{m}{L}$ und $\Delta \Psi_0 = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{L^2} \Delta L\right)^2}$ ($L = 10 \text{ cm} \pm 0,2$)

$$\Psi_0 = (-1,2849 \pm 0,1043) \frac{^\circ}{\text{cm}}$$

Bestimmung der Konzentration c von B $\bar{\Psi}_B = -33,8^\circ$

in Graphen lässt sich bei $\bar{\Psi}_B$ eine Konzentration von $\approx 2,5 \text{ mol/L}$ ablesen (Wert aus meinem Programm)

Wichtig: $\bar{\Psi}_B = m \cdot c \Rightarrow c = \frac{\bar{\Psi}_B}{m}$ $\Delta c = \sqrt{\left(\frac{\Delta \bar{\Psi}_B}{m}\right)^2 + \left(\frac{\bar{\Psi}_B}{m^2} \Delta m\right)^2}$

$$(2,6305 \pm 0,2376) \text{ mol/L}$$

$$A = 2,718 \frac{\text{mol}}{\text{e}}$$

$$B = 3,162 \frac{\text{mol}}{\text{e}}$$

is Drehvermögen ist negativ also ist die Substanz linksdrehend. Der Rechnerische Wert für die Konzentration von B ist der gleiche (mit Fehler) als der vom Diagramm abgelesene Wert. Man kann nur sagen dass wir trotz größerer Fehler ($\Delta \dots$) genau gemessen haben

Ich hatte mir ein Stück Frischhaltefolie zwischen die Polarisator, ohne Filter. Man sieht deutlich beobachten dass das mit dem mit der Folie Licht am Schirm kommt. Bei der Drehung konnte nichts weiter festgestellt werden. Beim zwei Händigen voneinander ziehen hat man nur schwarze Streifen beobachtet die sehr als die Filter die Falten in Plastik herausstellten. Später haben wir versucht die Folie um

! Stifte zuwickeln, doch bei Zugspannung entstanden bereits diese Falten (warum?)

ser 2^{tes} Material war Tesa Klebeband, ohne Filter und mit Klebeband war kein violettes /
stes Licht am Schirm an. Bei Zug und Drehung wird das Licht auf dem Schirm intensiver
nd verändert die Farbe. Bringt man nun ein Filter (520nm) & vor den ersten Pol, erscheint
t Klebeband am Schirm dunkel, hat außen das Klebeband wird um $\pm 45^\circ$ gedreht.
uch wieder hier, Bei der 45° drehung und zug kommt etwas mehr Licht durch

⇒ Spannung führt zur Doppelbrechung.

Zeit

Im Fazit kann helfen, du brauchst
nicht eine zweite Durchleitung schreiben

a) haben wir den Versuchsa so wie bei "Versuchsaufbau" aufgebaut und den Pol auf -90°
gestellt und, den Analysator jeweils um 10° bewegt und die entstehende Spannung (Detektor)
otiert. Das gleiche haben wir für pol $+90^\circ$ gemacht und das ganze auf ein Diagramm
abgetragen. Außerdem haben wir bei der α der Dunkelstrom gemessen den wir jeweils beim plotten
on 0 abgezogen haben. Unser Polarisations-grad ist leider zu klein, ich denke dass die
Kombi der verschiedenen Messungenauigkeiten und Qualität / Aufbau der Apertur dem Schuld war.
ein zweiter Teil b) sollte wir das Drehvermögen der Quarzplatte bestimmen. Dazu musste man Pol und
Analysator um 40° zueinander versetzen (Imn) und den den Analysator langsam drehen, ein Farben
wechsel war gut erkennbar. Um das spezifische Drehvermögen vom Quarz zu messen hatten wir einen
Bandpass filter vor die erste Linse und haben durch drehung vom Analysator, geschaut wo
die Spannung am schwächsten ist und dann den Winkel notiert. (Jeweils 7 Bandpass filter)
Inschließen wurde $1/\lambda^2$ ($\lambda \rightarrow$ Bandpass filter) gegen φ ($=\varphi - \varphi_0$) aufgetragen. Mit Hilfe der Steigung
und y-Achse Schnitt habe ich das Drehvermögen bestimmt, welches nicht ganz auf den Literaturwert
passte, da bei der Angabe vom Literatur wert nicht dabei stand welche λ sie benutzt haben.
! verschiedenen λ ist es klar dass Abweichungen entstehen

Bei Teil c sollte man das Drehvermögen und Konzentration der unbekannten Lsg heraus finden.
Insgesamt von 5 Kuvetten konnten wir eine Platt erstellen und c von der unbekannten Flüssig-
keit B bestimmen. Wir haben jeweil 1 Kuvette zwischen Halbschattenphotometer und Analysator
gestellt und um Analysator so lange gedreht bis die Intensität am Schirm maximal war
und haben φ notiert. ~~Unsere~~ unsere Werte scheinen gut gemessen zu sein.

letzten Teil haben wir Zwischenschicht durchsichtige Kunststoffleiste zwischen Polanalyse polarisiert und unsere Beobachtungen bei Drehung Sperrung, was mit Polar-Filter beobachtet hat.

Letztendlich kann man sagen dass dieser Versuch, trotz einiger Aufbauverwirrung, gut ^{klappen} ist. Unsere Werte passen zum Großteil mit unsere Platte, haben jedoch einen kleinen ^{von} den Literaturwerten.

Todo:

- Überprüfen
- Plot \rightarrow Fit

der 370 B.

$\rightarrow \alpha = 0^\circ$ und $I_\perp \rightarrow \alpha = 90^\circ$

Malusgesetz $I = I_0 \cos^2 \alpha$

so mit $\alpha = 0^\circ$ ergibt 1 also maximal somit $I_{||} = I_{max}$

so mit $\alpha = 90^\circ$ ergibt 0 also minimal somit $I_\perp = I_{min}$

$$P_C = \frac{I_{||} - I_\perp}{I_{||} + I_\perp} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Fit aus 370 a

