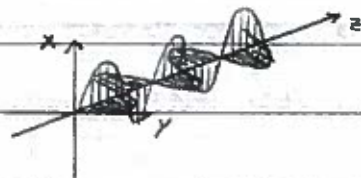
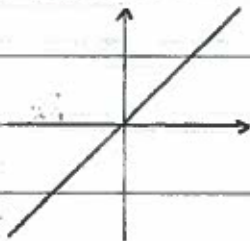


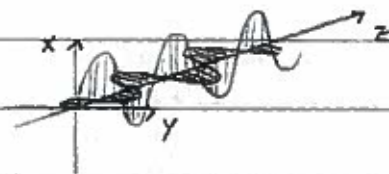
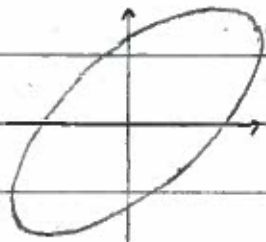
1.) Einleitung: Der Versuch 370 gliedert sich in vier Teile, in denen die Polarisation von Licht und seine Anwendung in Polarisimetern und in der Spannungsoptik untersucht werden. Im ersten Versuchsteil messen wir mit einer Photodiode die Lichtintensität in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Polarisator und Analysator. Damit wollen wir das Malus'sche Gesetz verifizieren und den Polarisationsgrad der Polaroid-Polarisatoren ermitteln. Im nächsten Versuchsteil platzieren wir eine Quarzplatte zwischen Polarisator und Analysator und bestimmen mithilfe verschiedener Bandpassfilter für bestimmte Wellenlängen das spezifische Drehvermögen von Quarz. Auf ähnliche Art und Weise, dieses Mal in Anordnung eines Halbschattenpolarimeters, wird im dritten Versuchsteil die optische Aktivität einer D(-)-Fructoselösung bestimmt sowie die Konzentration einer unbekannten Lösung ermittelt. Schließlich machen wir uns im letzten Versuchsteil die belastungsabhängige Veränderung der Brechungsindizes in transparenten Kunststoffen zunutze, um Spannungen und Deformationen in den Materialien sichtbar zu machen. ✓

2.) Voraufgaben: 370.1

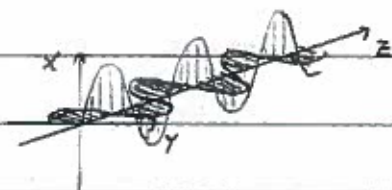
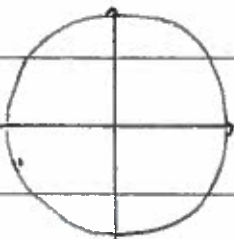
1.) 0° :



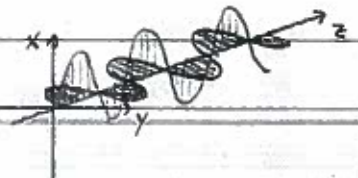
2.) 45° :



3.) 90° :



4.) 180° :

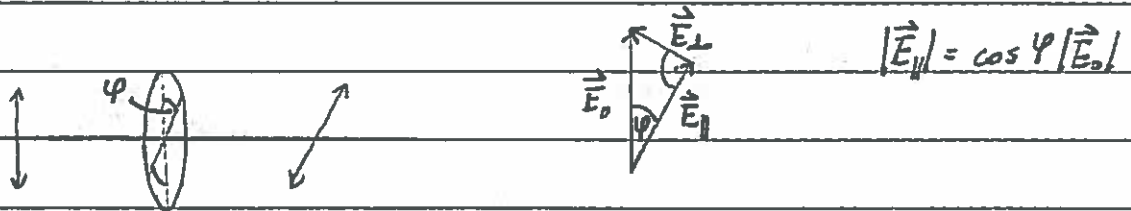


370.B Die maximale Intensität I_{\max} tritt dann durch den Analysator, wenn er parallel zum Polarisator ausgerichtet ist und die minimale Intensität, wenn er senkrecht dazu steht. Also gilt nach der Definition des Polarisationsgrades:

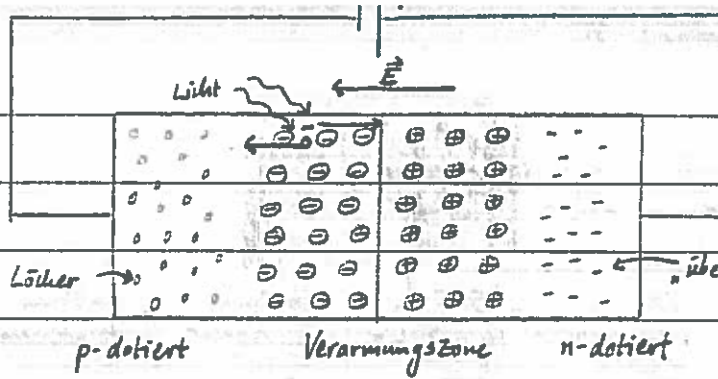
$$PG = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

3.) Theorie: Polarisation bezeichnet die Schwingungsrichtung des \vec{E} -Feld-Vektors in einer elektromagnetischen Welle. Er kann in einer Ebene schwingen (linear polarisiertes Licht) oder um die Ausbreitungsrichtung rotieren (elliptisch und zirkular polarisiertes Licht). Im Allgemeinen ist Licht unpolarisiert, d.h. die Polarisation aller Einzelwellen in einem Lichtstrahl ist zufällig verteilt und hebt sich im Mittel weg. Zur Erzeugung von linear polarisiertem Licht können Polaroid-Polarisationsfilter verwendet werden. Sie beruhen auf Dichroismus, d.h. der polarisationsabhängigen Absorption von Licht, und bestehen meist aus langkettigen, parallel ausgerichteten Molekülen, in denen Jod eingelagert ist. Der zu den Molekülketten parallele Anteil des \vec{E} -Felds des einfallenden Lichtes regt die Elektronen im Material zu Schwingungen an, wodurch die Feldenergie in Wärme umgewandelt wird. Das Ergebnis ist, dass nur die senkrechte Feldkomponente den Polarisationsfilter passiert und die Lichtwelle folglich linear polarisiert ist.

Trifft solches linear polarisiertes Licht auf einen weiteren Polarisationsfilter (den sogenannten Analysator), dessen Durchlassrichtung um den Winkel φ gedreht ist, dann gilt:



Und wegen $I \propto \langle |\vec{E}|^2 \rangle$ folgt daraus sofort das Malussche Gesetz: $I = I_0 \cos^2(\varphi)$
Um im Versuch die Lichtintensitäten zu messen, benutzen wir eine Photodiode. Dabei handelt es sich um eine Diode, die in Sperrrichtung geschaltet ist, damit die Verarmungszone zwischen p- und n-dotierter Schicht relativ groß ist. Trifft Licht ausreichend hoher Energie auf die Atome in der Verarmungszone, so hebt es einige Elektronen aus dem Valenz- ins Leitungsband, sodass Elektronen-Loch-Paare entstehen. Durch das \vec{E} -Feld werden Elektronen und Löcher in entgegengesetzte Richtungen beschleunigt, sodass ein Strom proportional zur einfallenden Intensität entsteht.



hier hier hin schön, ich vermisse nur den
Polarisationsgrad, optische Aktivität und
Doppelbrechung

4.) Messwerte: 370. a $U_0 = 10 \text{ V}$ bei maximaler Intensität

Dunkelstrom $U_D = 14 \text{ mV} \pm 2 \text{ mV}$ bei vollständig abgeschalteter Diode

$$\Delta\varphi = 1^\circ$$

$$\Delta U = 0,05 \text{ V}$$

Analysatorwinkel φ	U/V , Polarisator auf -90°	U/V , Polarisator auf 90°
-90°	10,00	10,07
-80°	11,37	11,45
-70°	12,32	12,39
-60°	12,51	12,55
-50°	12,06	12,04
-40°	10,94	10,96
-30°	9,36	9,43
-20°	7,49	7,52
-10°	5,56	5,60
0°	3,85	3,85
10°	2,43	2,44
20°	1,61	1,59
30°	1,39	1,38
40°	1,81	1,82
50°	2,83	2,80
60°	4,30	4,25
70°	6,06	5,96
80°	7,83	7,81
90°	" 9,53	9,48

Polarisator: 90°

Quarzplättchen B

370. b

Farbwechsel: türkis - gelb - orange - magenta - grün
 90° 45° 0° -45° -90°

-65°
 klar

$\Delta\varphi = 3^\circ$

Winkel φ Analysator	430 nm Polarisator φ_{in}	460 nm Polarisator φ_{in}	490 nm Polarisator φ_{in}	520 nm Polarisator φ_{in}	568 nm Polarisator φ_{in}	620 nm Polarisator φ_{in}	694 nm Polarisator φ_{in}
25°	-90°	-61°	-47°	-31°	-10°	7°	20°
0°	32°	-85°	-67°	-54°	-34°	-18°	0°
45°	-67°	-42°	-24°	-9°	10°	26°	45°
60°	-53°	-25°	-9°	6°	25°	42°	57°
75°	-35°	-15°	5°	21°	42°	57°	75°

370. c Länge Küvette: $l = (9,5 \pm 0,1) \text{ cm}$ Polarisator 1: 0° , Polarisator 2: 10°

Winkeldifferenz zwischen den beiden Polarisatoren: 10° $\Delta\varphi_0 = 1^\circ$

in der Tabelle: Nullstellung φ_0 des Analysators

$c = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$c = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$c = 4 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	$c = 5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	Küvette D $c = ?$	
-56°	-40°	-17°	-6°	-43°	1
-57°	-39°	-17°	-5°	-43°	2
-57°	-40°	-16°	-6°	-42°	3
-57°	-40°	-16°	-5°	-43°	4
-58°	-40°	-16°	-7°	-44°	5

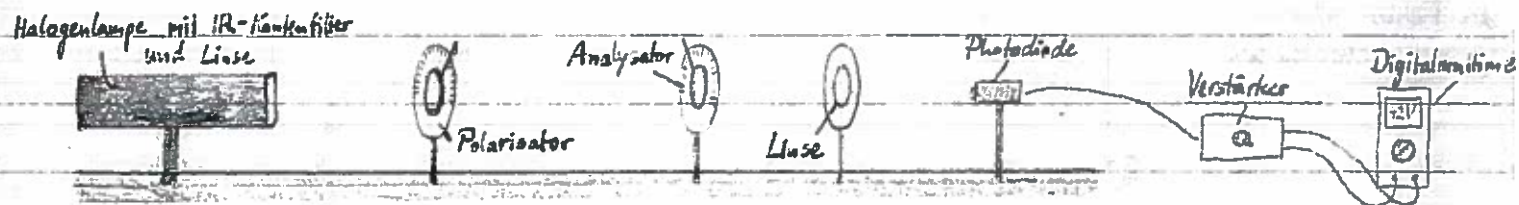
370. d

- Aufhellung des Bildes, Intensität wird höher
- unterschiedliche Farben an einer Bruchstelle eines Geo-Dreiecks
- mit Bandpassfilter ist das Ergebnis noch deutlicher, d.h. ohne Gegenstand zwischen Polarisatoren kommt nichts durch, mit Gegenstand doch

OK

5.) Durchführung und Auswertung:

310.a Für den Versuch bauen wir folgende Anordnung auf:

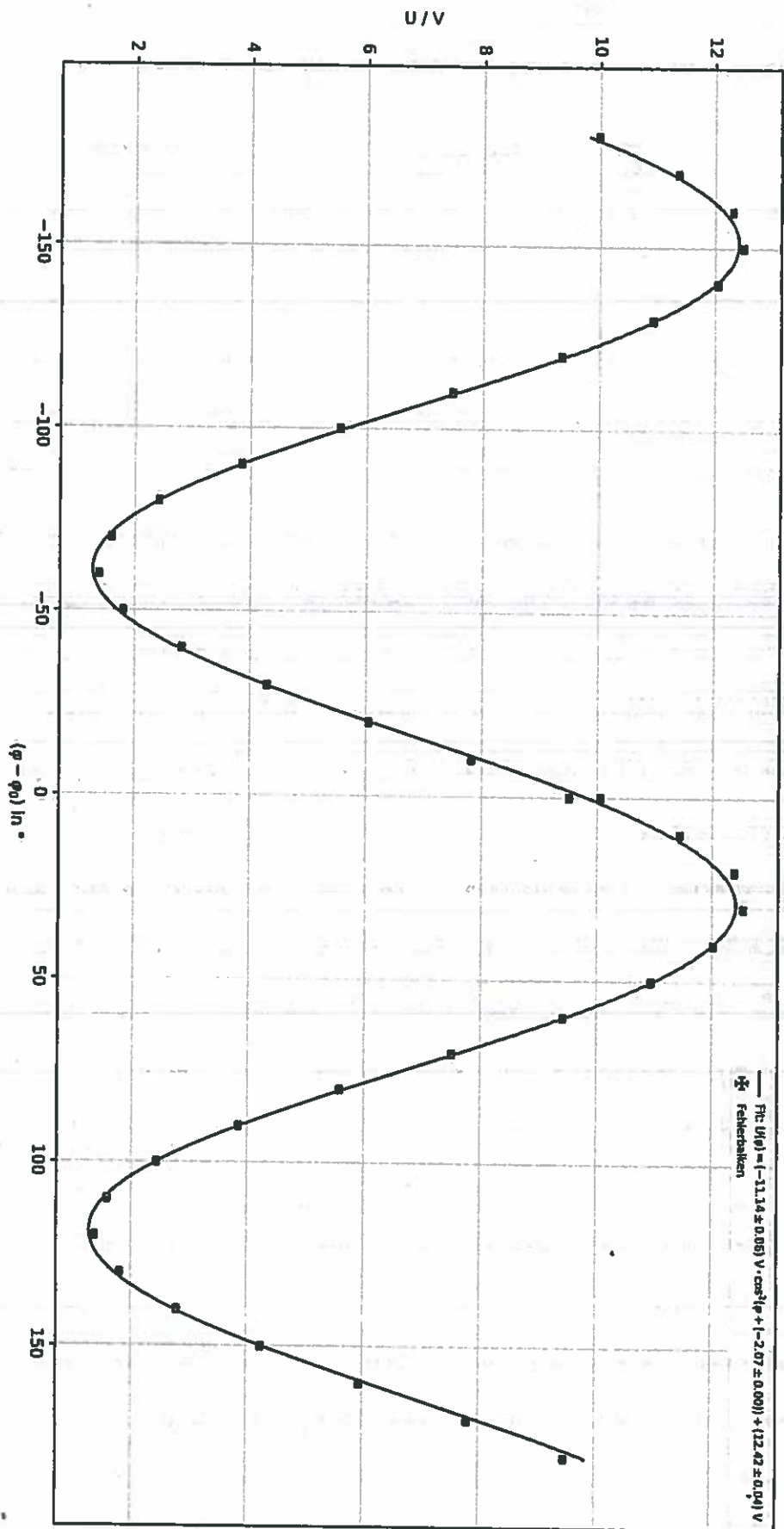


Die Justierung beginnt bei der Halogenlampe. Wir verschieben sie innerhalb des Gehäuses so gegen die Linse, dass annähernd paralleles Licht austritt. Dies kontrollieren wir, indem wir die Glühwendel scharf auf eine weit entfernte Wand abbilden. Nun setzen wir die beiden Polarisatoren ein und platzieren eine weitere Linse dahinter, in deren Brennpunkt die durchgelassene Intensität mit einer Photodiode gemessen wird. Den Verstärker stellen wir so ein, dass die maximal von den Polarisatoren durchgelassene Intensität auf dem Digitalmultimeter einer Spannung von etwa 10 V entspricht. Wir stellen fest, dass auch bei vollständig abgedunkelter Photodiode noch eine Spannung messbar ist. Dies liegt daran, dass in der Verstärkungszone auch ohne Licht hin und wieder Elektronen-Loch-Paare entstehen, die einen „Dunkelstrom“ verursachen. Wir notieren uns die dazugehörige „Dunkelspannung“, um die wir unsere später gemessenen Spannungswerte korrigieren müssen. Nun stellen wir den Polarisator auf -30° , drehen den Analysator im Bereich von -30° bis $+90^\circ$ und messen in 10° -Abständen die transmittierte Intensität. Denselben Vorgang wiederholen wir für den auf $+30^\circ$ gestellten Polarisator.

Mit der Auftragung der Intensität, bzw. der entsprechenden Spannung, gegen die Winkeldifferenz $\varphi - \varphi_0$ zwischen Polarisator und Analysator wollen wir das Malussche Gesetz verifizieren. Der auf der nächsten Seite befindliche Plot zeigt unser Ergebnis:

Man erkennt, dass sich der \cos^2 -Plot sehr gut an unsere tatsächlichen Messwerte ^{als Messwerte bestätigt} anfügt. Man erkennt auch, dass die Position, in der die durchgelassene Intensität minimal wird, auf den Werten von Polarisator und Analysator mit einer Winkeldifferenz von 90° entspricht, wie man es theoretisch erwarten würde. Außerdem waren auch die Polarisationsfilter gegenüber der Z-Achse verschoben. Außerdem fällt auf, dass auch im Minimum der Intensität noch eine Spannung von etwa 1,4 V gemessen wird. Das heißt, dass keine Leistung der Photodiode bei angeschlossenem Verstärker gemessen werden kann. Es ist das Licht auf die

Intensität an der Photodiode



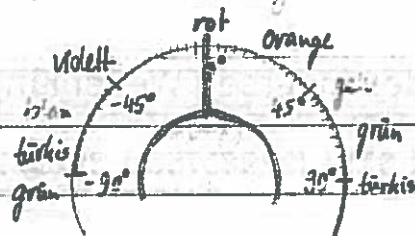
die Fehler scheinen
etwas zu klein zu sein

Photodiode tritt und somit der Polarisationsgrad nach Durchgang durch den Polarisator kleiner als eins sein muss. Mit $U_{\max} = 12,55 \text{ V}$ und $U_{\min} = 1,38 \text{ V}$ finden wir: ($\Delta U = 0,05 \text{ V}$)

$$PG = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} = 0,802 \pm 0,007$$

guter Wert & gute Erhellung,
ist der Wert denn realistisch?

370.b Wir entfernen nun die Photodiode und bauen an ihrer Stelle einen Schirm ein. Dann setzen wir unser Quarzplättchen (B) zwischen Polarisator und Analysator. Wir stellen fest, dass bei der Drehung der beiden Polarisationsfilter gegeneinander der Lichtstrahl nun nicht mehr heller oder dunkler wird, sondern lediglich seine Farbe wechselt. Dies liegt daran, dass Quarz ein optisch aktives Material ist, das die Polarisationsrichtung des Lichtes dreht. Weil der Brechungsindex und damit die Drehung von der Wellenlänge abhängen (Rotationsdispersion), werden die unterschiedlichen Farben des weißen Lampenlichts unterschiedlich stark gedreht, sodass immer nur gewisse Wellenlängenbereiche den Analysator durchdringen und sich die Farbe auf dem Schirm je nach Analysatorwinkel ändert. In unserem Fall (Polarisatorstellung: 90°) ergab sich folgender Farbverlauf:



Nach der Biot'schen Formel $P - P_0 = A + \frac{B}{\lambda^2} + \dots$ wird Licht kleinerer Wellenlänge (blau) stärker ^{stärker} ~~gelicht~~ als Licht größerer Wellenlänge (rot). Wir erkennen, dass in der ^{richtigen} ~~richtigen~~ ~~Stärke~~ die Wellenlänge ^{der Farben} entlang des Uhrzeigersinns von der Nulllage aus abnimmt, also muss es sich bei dem Quarzplättchen um ein rechtsdrehendes Material handeln. ^{korrekt}

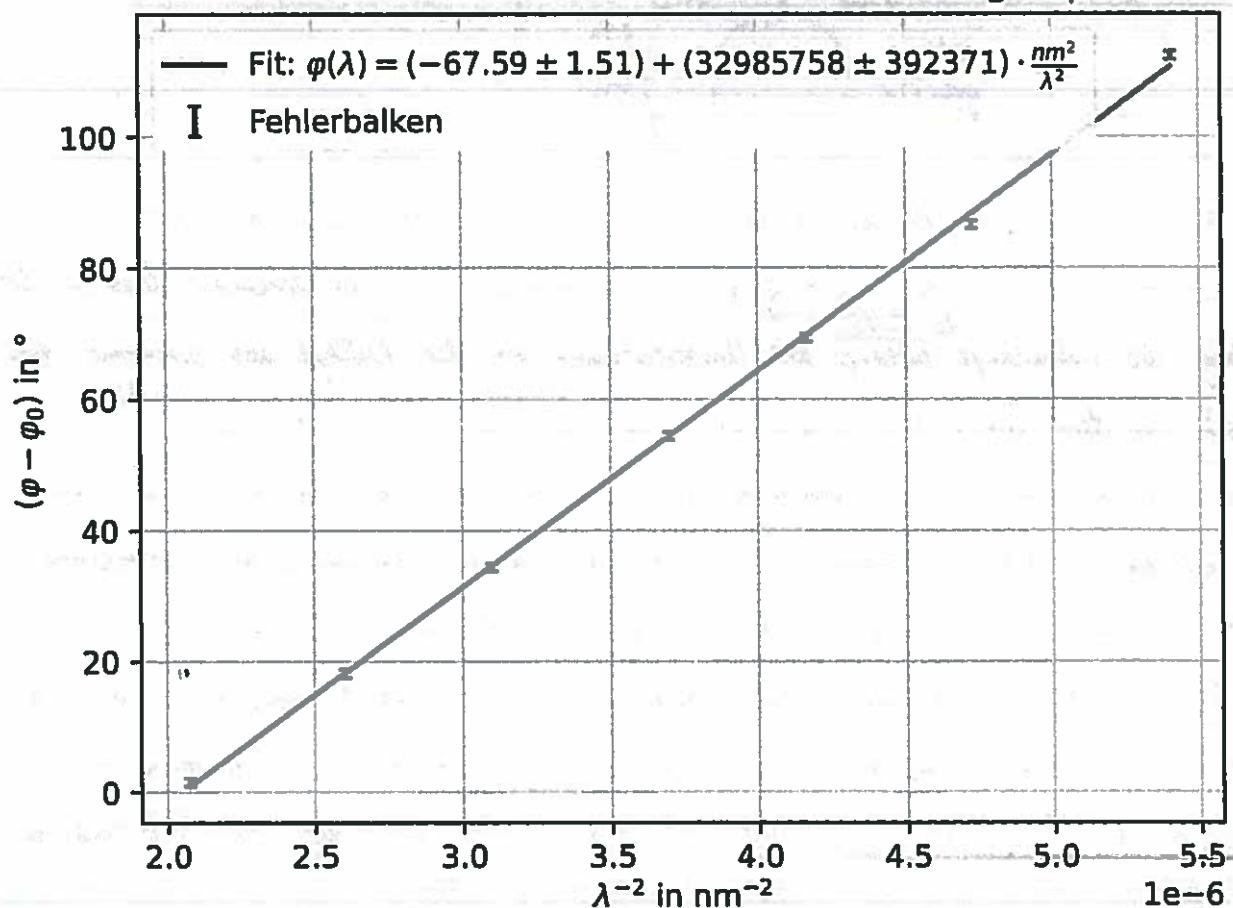
Wir wollen nun die Koeffizienten A und B aus der Biot'schen Formel für unser Quarzplättchen bestimmen. Dazu bauen wir zwischen Halogenlampe und Polarisator das Filter mit verschiedenen Bandpassfiltern ein. Nun messen wir für jeden der sieben Filter für fest festgelegten Winkel θ den dazugehörigen Polarisationswinkel P_0 , unter dem die transmittierte Lichtintensität minimal wird. Da insbesondere bei dem roten und dem blauen Filter nur noch recht wenig Licht auf den Schirm hinter der Linse trat und so die

Bestimmung des Intensitätsminimums sehr schwer war, wählen wir einen Fehler von $\Delta\varphi = 3^\circ$. Aus unseren Messwerten berechnen wir die Winkeldifferenzen $\varphi - \varphi_0$ und aus den fünf Einzelmessungen den Mittelwert für jeden Filter:

430nm	460nm	490nm	520nm	568nm	620nm	694nm	$\Delta(\varphi - \varphi_0)$
(-32°)	85°	67°	54°	34°	18°	0°	3°
115°	86°	72°	56°	35°	18°	5°	3°
112°	87°	69°	54°	35°	19°	0°	3°
113°	85°	69°	54°	35°	18°	3°	3°
110°	90°	70°	54°	33°	18°	0°	3°
112.5°	86.6°	69.4°	54.4°	34.4°	18.2°	1.6°	0.6°

Bei der ersten Winkeldifferenz von -32° haben wir uns anscheinend vermess^{en}, der Wert wurde daher für die Mittelwertbildung nicht berücksichtigt. Nun tragen wir die mittleren Winkeldifferenzen über den inversen Wellenlängenquadraten auf. Gemäß der Biotischen Formel erwarten wir eine Gerade mit y-Achsenabschnitt A und Steigung B:

Drehwinkel als Funktion des inversen Wellenlängenquadrates



Am Diagramm erkennen wir eindeutig den erwarteten linearen Zusammenhang. Wir lesen ab:

$$A = (67,59 \pm 1,51)^\circ, \quad B = (32\,985\,758 \pm 392\,371)^\circ \text{nm}^2$$

gib das in Zehnerpotenzen an

Für das spezifische Drehvermögen gilt:

$$\varphi_{\text{spez}} = \frac{B}{\lambda^2 \cdot l} \quad \text{mit } l \text{ der Dicke des optisch aktiven Materials}$$

Wählen wir als Wellenlänge $\lambda = 589 \text{ nm}$ (gelb), so ergibt sich mit $l = 4 \text{ mm}$

$$\varphi_{\text{spez}} = (23,7 \pm 0,28)^\circ/\text{mm}$$

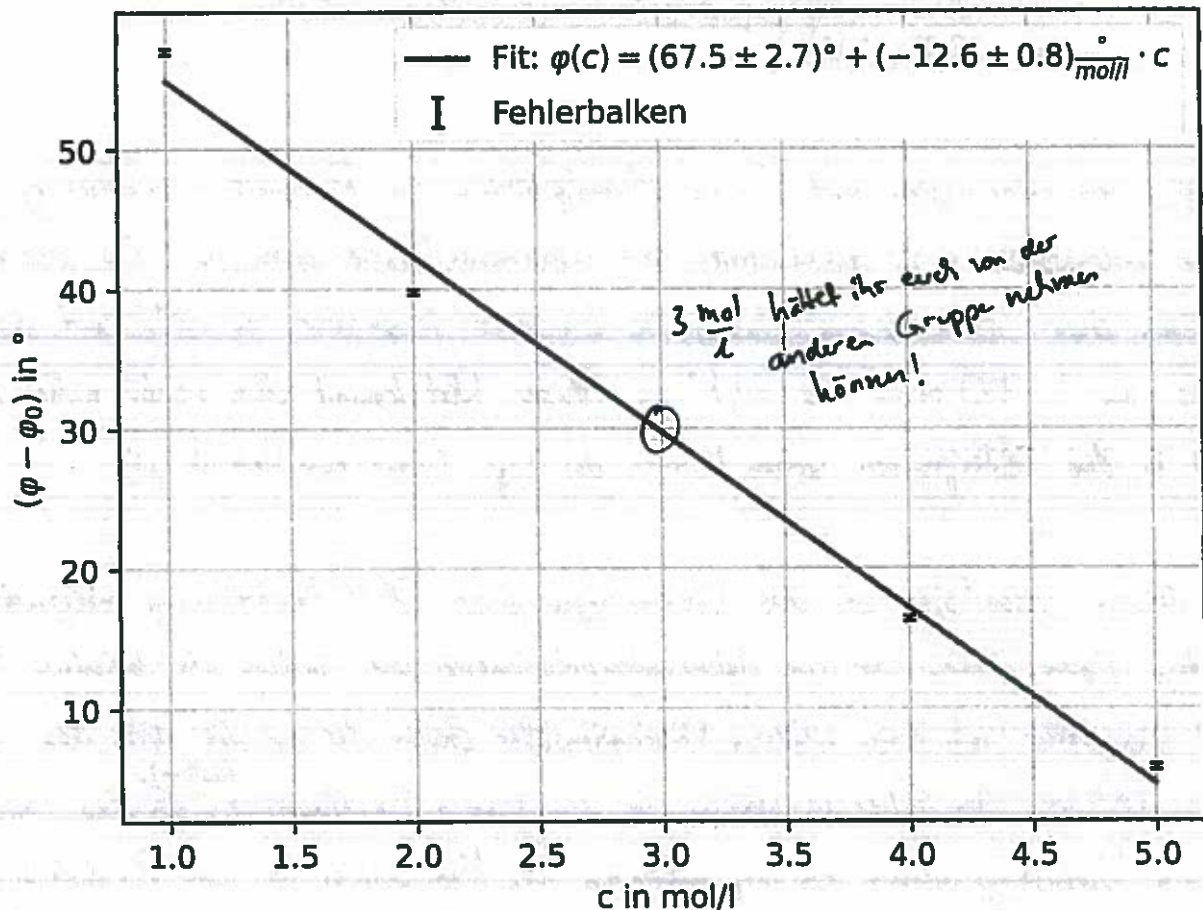
Ein Hersteller von Polarimetern und Quarz-Kontrollplättchen zur Polarimeter-Kalibrierung gibt auf seiner Internetseite (www.opticalactivity.com/instruments/quartz-control.php) das spezifische Drehvermögen einer 1mm dicken Quarzplatte bei einer Temperatur von 20°C und einer Wellenlänge von $\lambda = 589,44 \text{ nm}$ zu $21,7^\circ$ an. Unser Wert kommt dem relativ nahe, wenn auch nicht in den Fehlergrenzen. Worum könnte das liegen (aber euer Wert ist gut)

370.c In diesem Versuchsteil soll das Drehvermögen einer D(-)-Fructose-Lösung untersucht werden. Dazu bauen wir ein Halbschattenspolarimeter auf, indem wir zwischen Polarisator und Analysator noch einen weiteren Polarisationsfilter stellen, der nur die Hälfte des Sichtfelds abdeckt. Am Filterrad wählen wir den grünen Bandpassfilter ^(520nm), da das Auge in diesem Wellenlängenbereich am empfindlichsten ist. Nun setzen wir die Rundküvetten mit den Zuckertösungen zwischen Analysator und Polarisator und drehen den Analysator so lange, bis die Intensität auf dem dahinterliegenden Schirm für beide Sichtfeldhälften gleich groß ist. Der Vorteil des Halbschattenspolarimeters liegt darin, dass das Auge besser zwei verschiedene Helligkeiten abgleichen kann als festzustellen, wann genau die durchgelassene Intensität am geringsten ist.

Das Drehvermögen der Zuckertlösung ist proportional zur Konzentration c . Wenn wir also den Drehwinkel $\varphi - \varphi_0$ für verschiedene Lösungen bekannter Konzentration messen, können wir "dadurch auf die unbekannte Konzentration einer weiteren Lösung schließen. Auf der folgenden Seite sind die gemittelten Drehwinkel über der Konzentration der Lösungen in einem Diagramm aufgetragen:

1mol/l	2mol/l	4mol/l	5mol/l	?mol/l	$\Delta(\varphi - \varphi_0)$
56°	40°	17°	6°	43°	1°
57°	39°	17°	5°	43°	1°
57°	40°	16°	6°	42°	1°
57°	40°	16°	5°	43°	1°
58°	40°	16°	7°	44°	1°
57.0°	39.8°	16.4°	5.8°	43.0°	0.2°

Drehwinkel als Funktion der Konzentration



Die Gerade erfasst die Datenpunkte nur mäßig gut. Wenn möglich haben wir unsere Messfehler zu klein abgeschätzt oder der Drehwinkel ist eventuell nicht exakt proportional zur Konzentration. Für die unbekannte Konzentration gilt nun:

$$\varphi(c) = (67.5 \pm 2.7)^\circ - (12.6 \pm 0.8) \frac{^\circ}{\text{mol/l}} \cdot c \stackrel{!}{=} (43.0 \pm 0.2)^\circ$$

$$\Rightarrow c = \frac{(67.5 \pm 2.7) - (43.0 \pm 0.2)}{(12.6 \pm 0.8)} \frac{\text{mol}}{\text{l}} = (1.95 \pm 0.25) \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

1.618 mol/l ist richtig, sehr gut.

Für das spezifische Drehvermögen $[\varphi]_\lambda$ von D(-)-Fructose finden wir:

$$\varphi = [\varphi]_\lambda \cdot l \cdot c \Rightarrow [\varphi]_\lambda \cdot l \stackrel{!}{=} (-12.6 \pm 0.8) \frac{^\circ}{\text{mol/l}}$$

mit $l = (9,5 \pm 0,1) \text{ cm}$:

$$[\varphi]_{\lambda} = -(1,32 \pm 0,09) \frac{^{\circ}}{\text{mg} \cdot \text{cm}} \quad \text{lingt das plausibel?}$$

Das Drehvermögen ist negativ, was bedeutet, dass die Substanz linksdrehend ist.

370.d Für den letzten Versuchsteil bauen wir das Halbschattenpolarimeter wieder aus und halten transparente Kunststoffgegenstände, in unserem Fall ein Lineal und ein Geodreieck, in den Raum zwischen die beiden Polarisatoren. Wenn die Polarisatoren zuvor so gedreht sind, dass die durchgelassene Intensität minimal ist, so führt das Einbringen der Kunststoffe zu einer Anhebung des Bildes. Als wir eine Bruchstelle des Geodreiecks untersucht haben, konnten wir sogar unterschiedliche Farben beobachten. Der Grund dafür liegt in Spannungen im Material, die Doppelbrechung verursachen können.

Sehr schönes Protokoll, in der Theorie fehlen mir allerdings einige Themen und in der Auswertung könntest du (trotz eurer exzellenten Ergebnisse) mehr auf mögliche Fehlerquellen eingehen. Leider fehlt dein Fazit!

Bitte nachtragen:

- Fazit

Korrektur: 6.) Fazit

Im Versuch 370 haben wir die Polarisation von Licht untersucht. Mit zwei Polarisationsfiltern, die wir gegeneinander verdreht haben, konnten wir das Malussche Gesetz bestätigen und den Polarisationsgrad der Polarisationsfilter zu $P_G = 0,802 \pm 0,007$ bestimmen. Dieser Wert ist nicht besonders hoch, denn schon billige Polarisationsfolien erreichen heutzutage Polarisationsgrade von 99% (<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/polarisationsfilter/11459>). Da die verwendeten Filter aber so aussahen, als befänden sie sich schon viele Jahre in den Beständen

der Universität, klingt der Wert dennoch plausibel.

Im nächsten Versuchsteil haben wir die optischen Aktivitäten von Quarz und D(-)-Fructose untersucht und herausgefunden, dass Quarz rechtsdrehend und D(-)-Fructose linksdrehend ist. Für das spezifische Drehvermögen von Quarz haben wir einen Wert von $[\varphi]_{589}^{20} = (23,77 \pm 0,28) \frac{^\circ}{\text{mm}}$ ermittelt, der in der Größenordnung des Literaturwerts liegt.

Für das spezifische Drehvermögen von D(-)-Fructose haben wir einen Wert von $[\varphi]_{520}^{20} = -(1,32 \pm 0,09) \frac{^\circ}{\text{mm} \cdot \text{cm}}$ gefunden. Wie plausibel dieses Ergebnis ist, kann ich nur schwer einschätzen, da ich keine Vergleichswerte im Internet gefunden habe.

Im letzten Versuchsteil haben wir gelernt, dass auch Spannungen im Material zu Doppelbrechung führen können. Dieser Versuchsteil war allerdings rein qualitativ, d.h. wir konnten anhand unserer Beobachtung keine genaueren Aussagen über Belastbarkeit oder Mängel des Materials treffen.

Schön

Bestanden 16.03.22

