

Hinweis

Das vorliegende Protokoll wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde dieses Protokoll von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:

<https://www.physics-and-stuff.com/>

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit des vorliegenden Protokolls! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

Dieses Werk von [Marvin Zanke](#) ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#).

15.03.16 Versuch 370: Polarisation von Licht

In diesem Versuch geht es um polarisiertes Licht, dessen Eigenschaften und die Wechselwirkung mit Materie.

Wir behandeln verschiedene Polarisatoren, optisch aktive Medien und die Doppelbrechung (durch Spannung induziert).

Größen, Formeln, Begriffe

Photodiode

Halbleiterdiode, in Sperrrichtung betrieben. Sichtbares Licht erzeugt Elektron-Loch-Paare ^{am p-n-Übergang} und so wird durch den inneren Photoeffekt quasi ein Strom messbar.

Interferenzfilter

Optische Bauelemente, die Licht frequenzabhängig filtern, indem diese die Interferenz von Licht ausnutzen.

Kantenfilter

Absorbiert ab einer bestimmten Frequenz (unter bestimmter Wellenlänge) fast alles Licht (oder andersherum) und macht die Transmission deshalb schwächer bis unmöglich.

Polarisiertes Licht

Gibt die Richtung der Schwingung des E-Felds (der Welle) an.

Polarisiert heißt dabei linear, zirkular oder elliptisch polarisiert, während unpolarisiertes Licht hier keine direkte Ordnung hat.

Linear: Feldstärkevektor bleibt in einer Ebene (Linearkombination aus

x-y-Komponenten, die in Phase schwingen.

Zirkular: Feldstärkevektor rotiert um Ausbreitungsrichtung, Betrag von
diesem konstant. x-y-Komponenten haben gleichen Betrag,
aber um 90° phasenverschoben.

Elliptisch: ähnlich zu zirkular, aber Feldstärkevektor muss keinen
konstanten Betrag haben. Analog müssen x-y-Komponente
nicht mehr den gleichen Betrag haben und/oder
die Phasenverschiebung muss nicht genau 90° sein.

Polarisationsgrad: Verhältnis polarisiertem Lichtanteil an gesamtener

Intensität $\cdot \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}}$ bzw.

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

Cauchy-Formel: (im Bereich der normalen Dispersion gilt
für den Brechungsindex:

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}, \quad A, B \text{ materialsabh. Konstanten}$$

Hertzscher Dipol: maximale Abstrahlung normal (senkrecht)

zur Dipolachse (Schwingungsrichtung Teilchen)
und keine Abstrahlung in Richtung der Dipolachse
 $P(\theta) \sim \sin^2 \theta$

Erzeugung polarisiertes Licht:

Reflexionspolarisation, Brewster Winkel, Gitterpolarisation

Doppelbrechung: unterschiedliche Brechungsindices in Abhängigkeit
von Ausbreitungsrichtung und Polarisation

Dadurch Trennung/Aufspaltung in 2 senkrecht

zueinander polarisierte Teilstrahlen (ordentlich/außerordentlich)

Zählt
Brewster Winkel
dann?

Polaroidfilter: Analog zur Gitterpolarisation für sichtbaren Bereich.

Teil, der parallel zu Molekülketten polarisiert, wird absorbiert und über Schwingung in Wärme umgewandelt. Senkrechte Komponente transmittiert.

Dichroismus: Eigenschaft, Licht in Abhängigkeit von Polarisation unterschiedlich stark zu absorbieren.

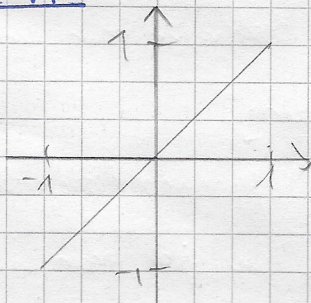
optische Aktivität: Eigenschaft, Polarisationsrichtung zu drehen.

Es gibt rechtsdrehende und linksdrehende Substanzen.

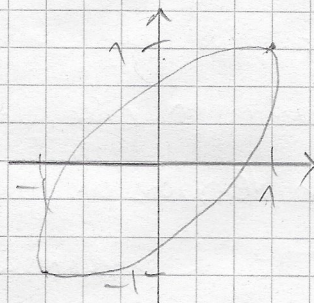
Rechtsdrehend heißt dabei, dass Polarisationsebene vom Beobachter aus rechtsdrehend ist.

Aufgabe A

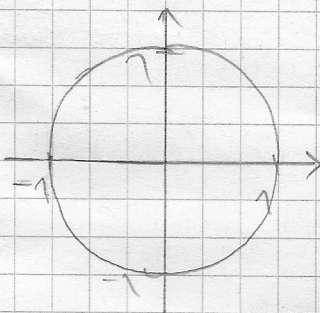
0°



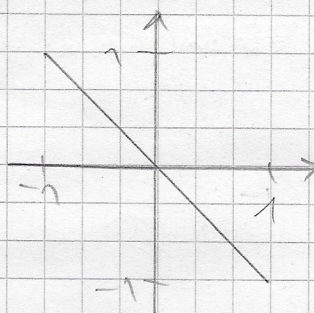
45°



90°



180°



Aufgabe B:

Wie bereits weiter oben erwähnt, $PG = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$

Versuchsaufbau:

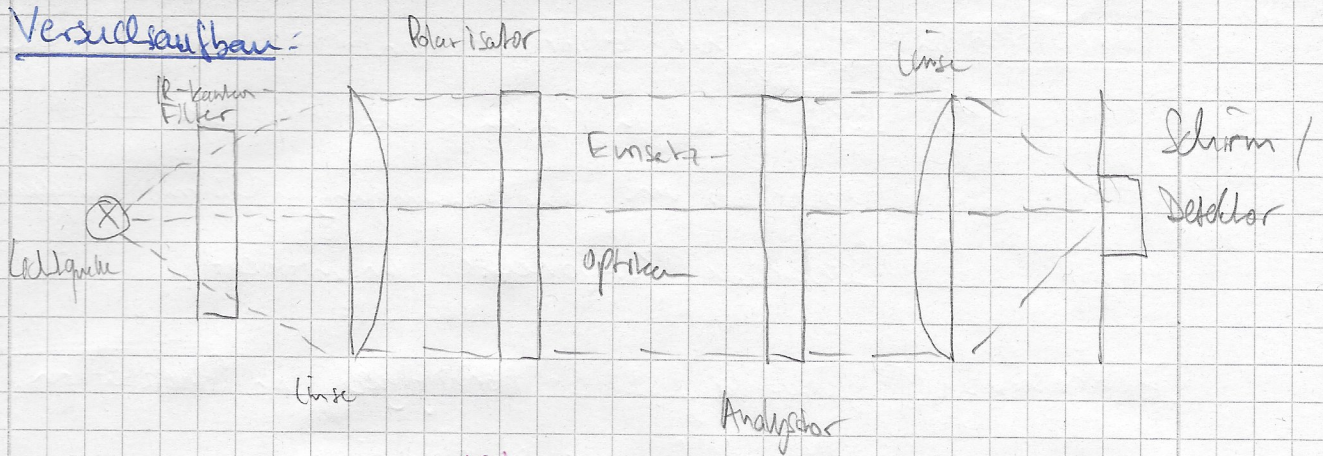


Abb. 7 : . . .

Versuchsdurchführung

Im ersten Versuchssteil soll das Malussche Gesetz ^{experimentell} bestätigt werden.

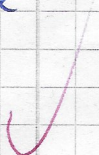
Die Intensität einer Halogenlampe wird mit einer Silizium-Photodiode gemessen, wobei zwischen Lampe und Diode zwei Polarisatoren gestellt und gedreht werden. Dadurch erhält man eine Winkelabhängigkeit der Intensität.

Im nächsten Teil bestimmt man das Drehvermögen eines doppelbrechenden ^(Quarz)-Materials und einer optisch aktiven Zuckerslösung, welche zwischen Polarisator und Analyseur gestellt werden.

Hierzu verwendet man auch wieder Polarisatoren und einen Analyseur. Aus einer Kalibrierungsgeraden bestimmt man auch die Konzentration einer unbekanntem Lösung.

Im letzten Versuchssteil untersucht man spannungsdoppelbrechende Materialien durch mechanische Belastung. Dabei gibt man sich mit einer qualitativen Beschreibung zufrieden und beobachtet Phänomene an Ecken, Kanten, sowie Inhomogenitäten und andere Punkte.

Ist Quarz
optisch aktiv
oder
doppelbrechend?



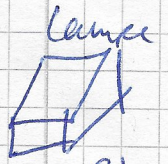
Messung

a)

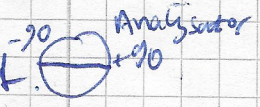
Drehpotentiometer eingestellt auf 93 Skt.

U_0 am Messgerät: $U_0 = (9,8 \pm 0,05) \text{ V}$

Dunkelmessung $U_D = (0,0012 \pm 0,0003) \text{ V}$



$U_{-90}^{\circ} \varphi_0 = -90^\circ$, der Polarisator ist auf -90° gestellt.



$U_{90}^{\circ} \varphi_0 = 90^\circ$, der Polarisator auf $+90^\circ$ gestellt

φ in $^\circ (\pm 0,1)$	U_{90} in Volt ($\pm 0,01$)	U_{90} in Volt ($\pm 0,01$)
-90°	10,55	10,33
-80°	10,18	10,02
-70°	9,43	9,25
-60°	8,22	8,10
-50°	6,73	6,66
-40°	5,22	5,16
-30°	3,75	3,77
-20°	2,60	2,60
-10°	1,85	1,85
0°	1,62	1,61
10°	1,94	1,89
20°	2,70	2,66
30°	3,88	3,82
40°	5,30	5,25
50°	6,88	6,75
60°	8,26	8,20
70°	9,44	9,37
80°	10,15	10,15
90°	10,42	10,43

Tab. 7:

SS

b.) Bei höherer Intensität sehen wir blaues Licht
 Setzt man die 4mm-dicke Platte ein, so
 ändert der Strahl seine Farbe zu gelb
 und wird heller.

Polarisator: 0°
 Analysator: -90°

Quarzplatte: B

Der Strahl hellt auf, weil Polarisation gedreht,
 nicht mehr komplett geblockt. (90° gedrehte Polarisatoren
 \rightarrow keine Transmission)

Farben wechseln, weil Brechungsindex von Wellenlänge
 abhängt (damit auch Geschwindigkeit). Deshalb
 erfahren verschiedene Farben verschiedene Phasendifferenzen.

Polarisator (ϕ_0): 0°

Analysator von -90° nach 0° : gelb über grün zu blau
 " " " 0° nach 90° : blau über rot zu gelb

$\phi_0 = 0^\circ$ für folgende Messungen

55

430nm	ϕ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)	488nm ϕ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)	568nm ϕ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)	654nm ϕ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)
1	$88,5^\circ$	36°	$6,5^\circ$	-28°
2	80°	44°	7°	-29°
3	$85,5^\circ$	$43,5^\circ$	6°	$-27,5^\circ$
4	$85,0^\circ$	$44,5^\circ$	7°	-32°
5	$85,0^\circ$	$40,5^\circ$	$7,5^\circ$	$-29,5^\circ$
458nm		520nm	620nm	
1	$65,5^\circ$	24°	-13°	
2	$65,0^\circ$	23°	$-12,5^\circ$	
3	$63,0^\circ$	$20,5^\circ$	$-11,5^\circ$	
4	$65,0^\circ$	24°	-12°	
5	$64,0^\circ$	$24,5^\circ$	$-12,5^\circ$	

Tafel 2:

$\varphi_0 = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$ (Lippik)

Käufchen: $\varphi_1 \pm \varphi_0$ (Ka)

c)	1mol/l φ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)	2mol/l φ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)	3mol/l φ in $^\circ$ ($\pm 0,5$)	
1	-4,5°	-33°	-43°	grüner Filter, weil Auge am empfindlichsten bei grün $\lambda = 500 \text{ nm}$
2	-14°	-36°	-45°	
3	-16°	-32°	-43,5°	
4	-15,5°	-38,5°	-48°	
5	-17°	-35°	-44,5°	
	1mol/l	2mol/l	3	oder $\lambda = 568 \text{ nm}$
1	-55°	-66°	-34°	
2	-58°	-71°	-36°	
3	-49°	-68°	-34,5°	
4	-50,5°	-63,5°	-37,0°	
5	-53,5°	-65°	-35°	

Tab. 3:

SS

d)	CD-Hülle	ohne Filter	mit Filter
einbringen		Es kommt Licht durch nichts außer in Mitte und am Rand und kanten \rightarrow Farben kräftiger beobachtbar	deutliche Stellen in der Farbe \downarrow
drehen		mehr Farben	
deformieren		Farben, aber schwer zu realisieren	
Tesa			
einbringen		nichts	nichts
drehen		heller, andere Farben	deutlich, einfarbig, hell aber nur an manchen Stellen
deformieren		andere Farben, heller	heller, bräutet sich aus

Tab. 4:

Geordnetes gleiches Verhalten wie CD... - SS

Auswertung

a) Für die Tabelle übernimmt man erst einmal f_0 und φ sowie dessen Fehler. Dann ermittelt man $x = \varphi - f_0 \Leftrightarrow \Delta x = \Delta \varphi$ ✓

Man übernimmt den Messwert der Spannung U_n , der Skalenwert für den Strom in der Photodiode und damit die einfallende Lichtintensität ist, da hier proportionale Zusammenhänge gelten, und es also bloß um einen Faktor verschieden ist. ✓

Subtrahiert man nun den Dunkelstrom vom Messwert, so erhält man die um den Dunkelstrom korrigierten Intensitäten U (ebenfalls wieder in der Spannung - Volt angegeben).

$$U = U_n - U_0 \Leftrightarrow \Delta U = \Delta U_n$$

Man plottet nun mit Graphplot $(\varphi - f_0)$ gegen U und erhält den Plot 3 auf der nächsten Seite.

Die Werte filtert man dann mit

$$f(x) = a \cdot \cos^2(x) \text{ und erhält für } a \text{ den Parameter: } a = (10,8674 \pm 0,2349) \text{ V}$$

Für das χ^2 erhält man

$$316319 \quad \text{oder} \quad 8549,25$$

Ich weiß leider nicht genau, wo man dies nun ablesen muss. Mir ist es auch ein Rätsel, warum dieser Wert so groß sein sollte, da wir ziemlich kleine Fehler angenommen hatten (siehe Tabelle).

Ich habe den Log von Graphplot mit ausgedruckt.

Sorry... Alles gut ☺) Unwissen ist nicht

schlimm, wenn man damit so umgeht wie du!

hebe, deshalb ist er so groß!

Frage mich sonst, nehme dann erkläre ich es in Ruhe

Nulllage Pol. ϕ_0	Winkel An. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$	Dunkelstrom $I_0(U_0)$	Messwert U_1	ΔU_1	Korr. Int. U	ΔU
in Grad	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad	in Volt	in Volt	in Volt	in Volt	in Volt
-90	-90	0.1	0	0.1	0.0012	10.55	0.01	10.5488	0.01
-90	-80	0.1	10	0.1	0.0012	10.18	0.01	10.1788	0.01
-90	-70	0.1	20	0.1	0.0012	9.43	0.01	9.4288	0.01
-90	-60	0.1	30	0.1	0.0012	8.22	0.01	8.2188	0.01
-90	-50	0.1	40	0.1	0.0012	6.73	0.01	6.7288	0.01
-90	-40	0.1	50	0.1	0.0012	5.22	0.01	5.2188	0.01
-90	-30	0.1	60	0.1	0.0012	3.75	0.01	3.7488	0.01
-90	-20	0.1	70	0.1	0.0012	2.6	0.01	2.5988	0.01
-90	-10	0.1	80	0.1	0.0012	1.85	0.01	1.8488	0.01
-90	0	0.1	90	0.1	0.0012	1.62	0.01	1.6188	0.01
-90	10	0.1	100	0.1	0.0012	1.94	0.01	1.9388	0.01
-90	20	0.1	110	0.1	0.0012	2.7	0.01	2.6988	0.01
-90	30	0.1	120	0.1	0.0012	3.88	0.01	3.8788	0.01
-90	40	0.1	130	0.1	0.0012	5.3	0.01	5.2988	0.01
-90	50	0.1	140	0.1	0.0012	6.88	0.01	6.8788	0.01
-90	60	0.1	150	0.1	0.0012	8.26	0.01	8.2588	0.01
-90	70	0.1	160	0.1	0.0012	9.44	0.01	9.4388	0.01
-90	80	0.1	170	0.1	0.0012	10.15	0.01	10.1488	0.01
-90	90	0.1	180	0.1	0.0012	10.42	0.01	10.4188	0.01
90	-90	0.1	-180	0.1	0.0012	10.33	0.01	10.3288	0.01
90	-80	0.1	-170	0.1	0.0012	10.02	0.01	10.0188	0.01
90	-70	0.1	-160	0.1	0.0012	9.25	0.01	9.2488	0.01
90	-60	0.1	-150	0.1	0.0012	8.1	0.01	8.0988	0.01
90	-50	0.1	-140	0.1	0.0012	6.66	0.01	6.6588	0.01
90	-40	0.1	-130	0.1	0.0012	5.16	0.01	5.1588	0.01
90	-30	0.1	-120	0.1	0.0012	3.77	0.01	3.7688	0.01
90	-20	0.1	-110	0.1	0.0012	2.6	0.01	2.5988	0.01
90	-10	0.1	-100	0.1	0.0012	1.85	0.01	1.8488	0.01
90	0	0.1	-90	0.1	0.0012	1.61	0.01	1.6088	0.01
90	10	0.1	-80	0.1	0.0012	1.89	0.01	1.8888	0.01
90	20	0.1	-70	0.1	0.0012	2.66	0.01	2.6588	0.01
90	30	0.1	-60	0.1	0.0012	3.82	0.01	3.8188	0.01
90	40	0.1	-50	0.1	0.0012	5.25	0.01	5.2488	0.01
90	50	0.1	-40	0.1	0.0012	6.75	0.01	6.7488	0.01
90	60	0.1	-30	0.1	0.0012	8.2	0.01	8.1988	0.01
90	70	0.1	-20	0.1	0.0012	9.37	0.01	9.3688	0.01
90	80	0.1	-10	0.1	0.0012	10.15	0.01	10.1488	0.01
90	90	0.1	0	0.1	0.0012	10.43	0.01	10.4288	0.01

Tab. 5

```
gnuplot> load "Malus.txt"
iter   chisq      delta/lim  lambda  a
  0  1.3243873795e+07  0.00e+00  1.28e+03  2.000000e+01
  1  3.2481804532e+05  -3.98e+06  1.28e+02  1.110161e+01
  2  3.1631866713e+05  -2.69e+03  1.28e+01  1.086751e+01
  3  3.1631866654e+05  -1.86e-04  1.28e+00  1.086744e+01
iter   chisq      delta/lim  lambda  a
```

After 3 iterations the fit converged.
 final sum of squares of residuals : 316319
 rel. change during last iteration : -1.8598e-09

degrees of freedom (FIT_NDF) : 37
 rms of residuals (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 92.4616
 variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 8549.15 = $\frac{a}{b}$
 p-value of the Chisq distribution (FIT_P) : 0

Final set of parameters

=====	Asymptotic Standard Error
a	=====
= 10.8674	+/- 0.2349 (2.161%)

Abb. 2

$$c = \frac{a}{b}$$

$$I = a$$

$$I = b$$

$$I = \frac{a}{b}$$

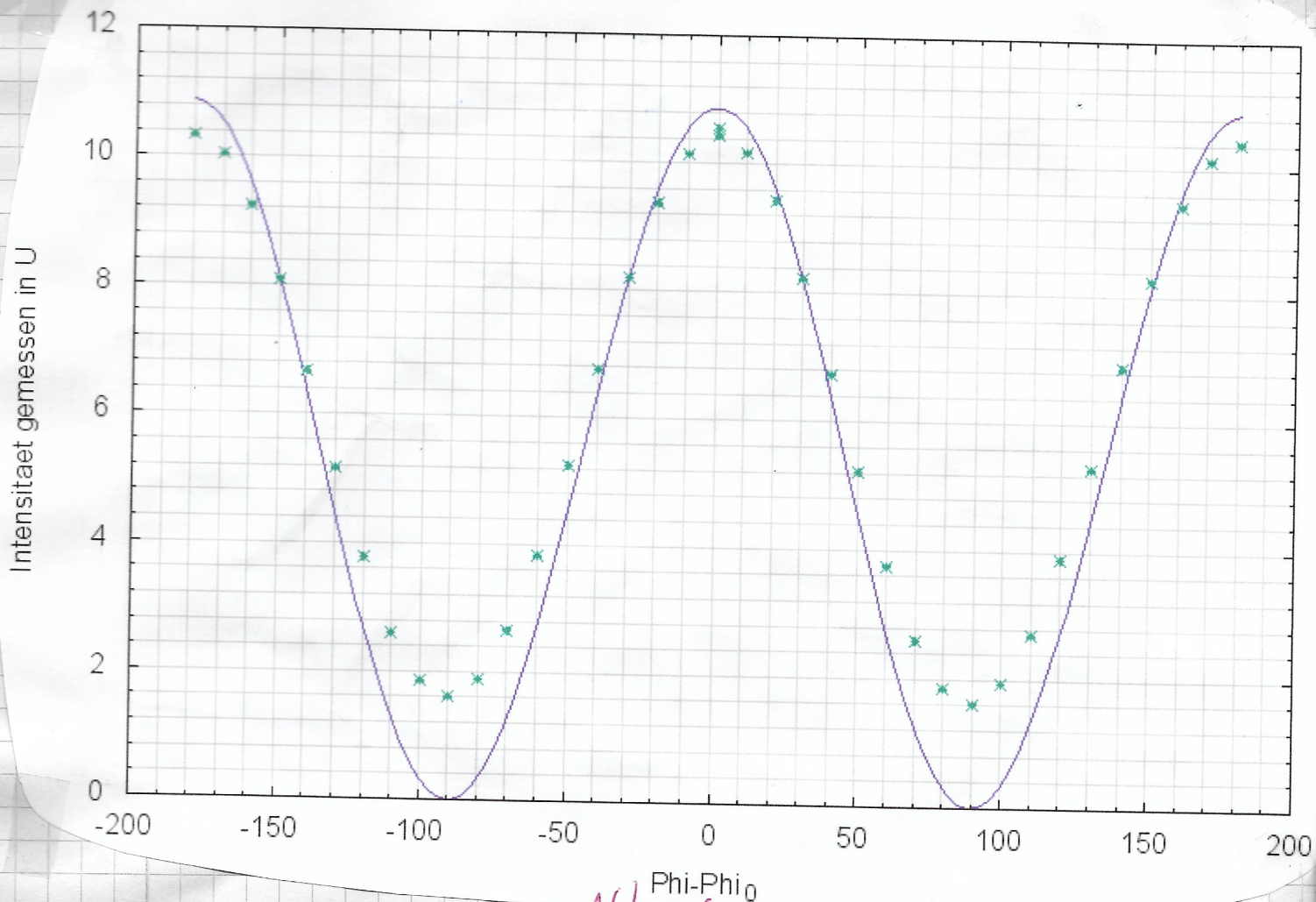


Abb. 3i

Die Funktionswerte an sich sehen einem Cosinus (bzw. \cos^2) schon sehr ähnlich. Das χ^2 aus GnuPlot erscheint ~~aber~~ allerdings etwas sehr groß. **Fa**

Vermutlich haben wir also unsere Fehler zu klein gewählt. Da wir die Winkelwerte allerdings bis

auf $\frac{1}{10}$ Grad genau ablesen konnten, muss der Fehler eher bei ΔU liegen, welcher mit 0,01 V

vermutlich zu klein gewählt war. Deswegen haben

wir anhand der Schwankung des Messgeräts um den

Messwert festgemacht, welcher ziemlich gering war. Dabei

haben wir völlig vernachlässigt, dass das Messgerät

an sich Fehler machen kann. Außerdem ist das

Licht natürlich nicht perfekt polarisiert, weshalb wir

einen Offset $f(x) = a \cos^2(x) + b$ haben, mit $b > 0$ haben.

richtig!)

↓

Siehe Ende
Vom Protokoll,
neuer Plot
mit Offset.

Dieser verfälscht unseren Fit weiterhin.

Man sucht sich aus der Tabelle nun I_{\max} und I_{\min} raus, um den Polarisationsgrad des Lichts zu bestimmen.

$$I_{\max} = (10,5488 \pm 0,01) \text{ V}$$

$$I_{\min} = (1,6088 \pm 0,01) \text{ V}$$

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

$$\Rightarrow P_G = (0,7353 \pm 0,00164),$$

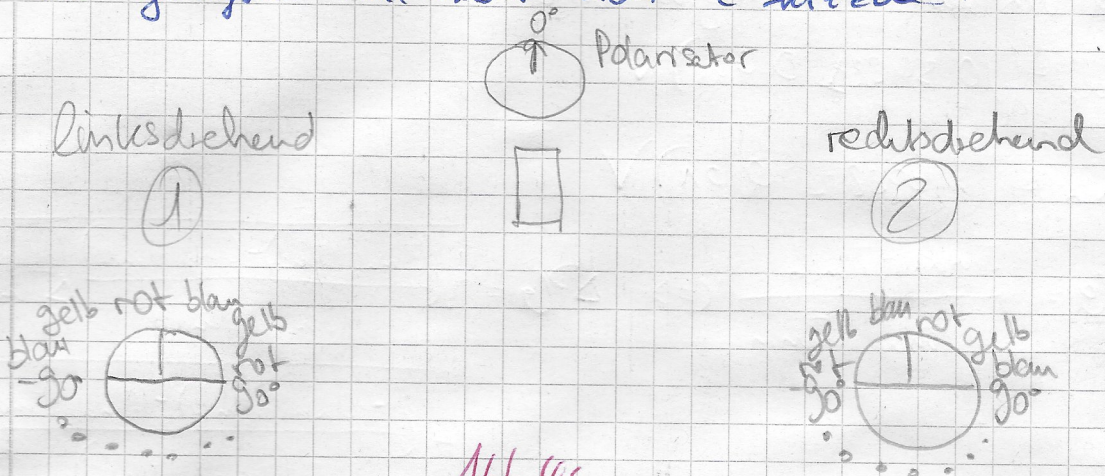
Was im Prinzip kein zufriedenstellendes Ergebnis ist. Zu gut deutsch: Der Polarisator der Uni ist schrott, oder aber der Lichtstrahl hinter dem Polarisator (unpolarisiert) ist zu groß. Da dies allerdings durch den Dunkelstrom abgedeckt ist, gilt erstere. **Richtig**

b) Nachdem man Polarisator und Analyser um 90° zueinander verstellt hat, erhält man minimale Intensität. Durch eine 4mm-dicke Quarzplatte (bei uns Platte B) erscheint uns der transmittierte Strahl nun gelb.

Für Begründungen hierfür, siehe Messung.

Der Polarisator ist auf 0° eingestellt und der Analyser wird von -90° bis 0° und von 0° weiter bis 90° gedreht. Dabei wechselt es von gelb zu grün, dann über blau zu rot und kommt wieder bei gelb an ($\Delta\varphi = 2\pi$).

Hierzu überlegt man sich nun, dass blaues Licht die stärkste Phasenverschiebung erhält und rot im Vergleich dazu die geringste. Man macht sich 2 Skizzen:



Nun stellt man fest, dass die 2. Skizze genau auf unsere Farbabfolge zutrifft. Das Quarz ist also rechtsdrehend!

(*) liegt vermutlich an Startparametern für den

Man übernimmt nun für die 7 Bandpassfilter die Tabellen der Messung, wobei man hier die Wellenlängen direkt in μm umrechnet. Die Wellenlänge sei als fehlerfrei angenommen und so errechnet man auch jeweils $\frac{1}{\lambda^2}$ in $\frac{1}{\mu\text{m}^2}$.

Man übernimmt den Winkel φ des Minimums der Helligkeit und ermittelt $\varphi - \varphi_0$, wobei dies hier sehr einfach ist, da $\varphi_0 = 0^\circ$ gesetzt war. Damit gilt $\varphi - \varphi_0 = \varphi \Leftrightarrow \Delta(\varphi - \varphi_0) = \Delta\varphi$.

Man mittelt über die 5 genommenen Messwerte für jeden Filter und erhält so für jeden Filter (bzw. jedes $\frac{1}{\lambda^2}$) ein Drehvermögen $\varphi - \varphi_0$ inklusive Fehler.

Man plottet dies mit GnuPlot und filtert eine Gerade an $f(x) = a \cdot x + b$ ($\varphi - \varphi_0 = b + \frac{a}{\lambda^2}$).

Hierfür erhält man als Werte: $a = (34,3823 \pm 0,6049) \text{ grad} \cdot \mu\text{m}^2$
 $b = (-101,327 \pm 2,331) \text{ grad}$

λ^2 liegt mit 12,46 im annehmbaren Bereich, dieser Fit ist also ein guter Fit!

Wenn man λ in nm λ in nm dann mit $\frac{1}{\lambda}$ dem Wert, so an eine Gerade filtern für GnuPlot das recht ist. Wäre nicht zu klein! λ in nm zu filtern heißt auch nicht. Verstehen id nicht...

Fit. Kann ich a den Output zu sehen aber auch nicht genau sagen

Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
4.30E-01	88.5	0.5	88.5	0.5
	80	0.5	80	0.5
	85.5	0.5	85.5	0.5
	85	0.5	85	0.5
	85	0.5	85	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			84.8	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	5.408328826			

Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
4.58E-01	65.5	0.5	65.5	0.5
	65	0.5	65	0.5
	63	0.5	63	0.5
	65	0.5	65	0.5
	64	0.5	64	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			64.5	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	4.767262257			

Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
4.88E-01	36	0.5	36	0.5
	44	0.5	44	0.5
	43.5	0.5	43.5	0.5
	44.5	0.5	44.5	0.5
	40.5	0.5	40.5	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			41.7	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	4.199140016			

Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
5.20E-01	24	0.5	24	0.5
	23	0.5	23	0.5
	20.5	0.5	20.5	0.5
	24	0.5	24	0.5
	24.5	0.5	24.5	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			23.2	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	3.698224852			

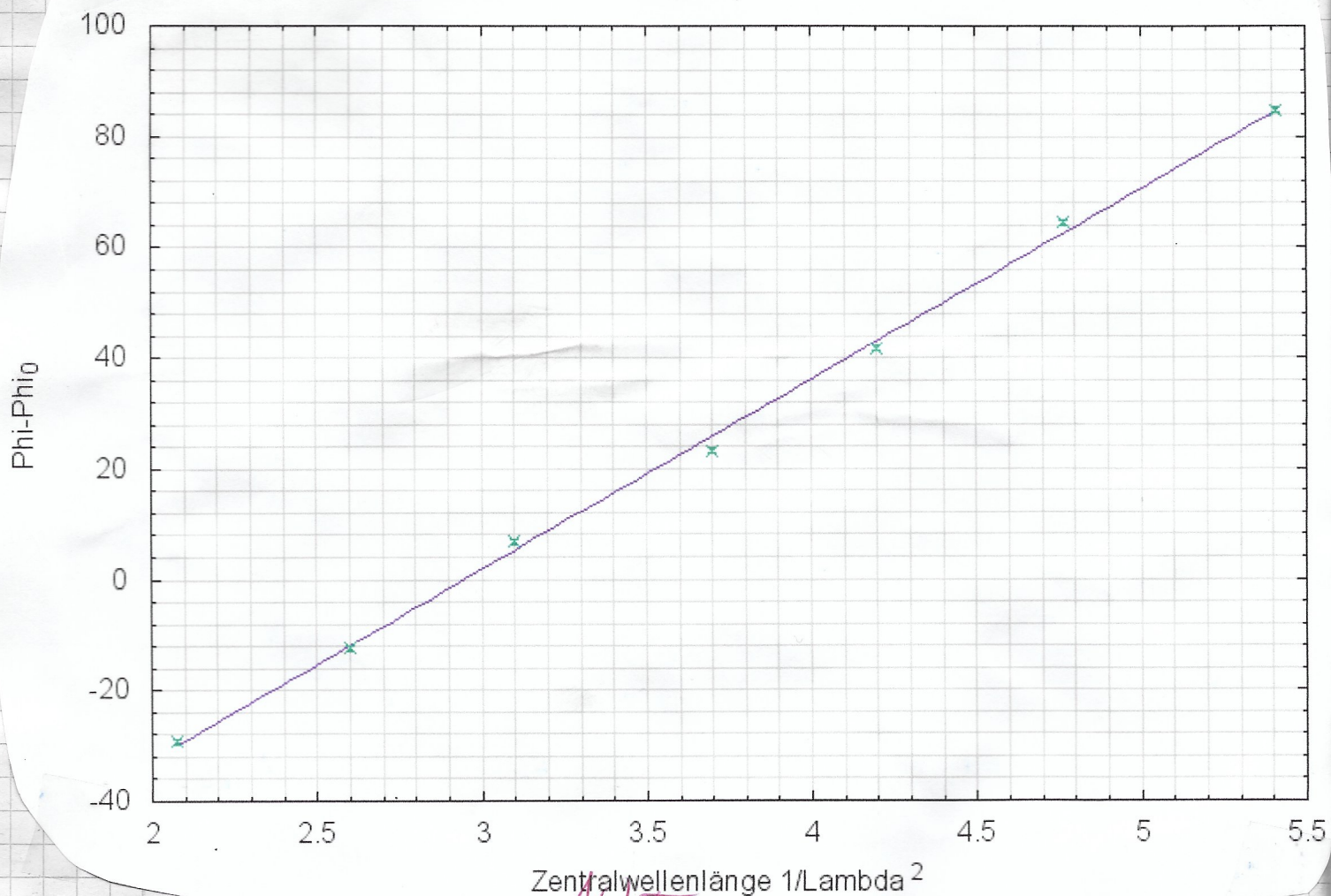
Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
5.68E-01	6.5	0.5	6.5	0.5
	7	0.5	7	0.5
	6	0.5	6	0.5
	7	0.5	7	0.5
	7.5	0.5	7.5	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			6.8	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	3.099583416			

Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
6.20E-01	-13	0.5	-13	0.5
	-12.5	0.5	-12.5	0.5
	-11.5	0.5	-11.5	0.5
	-12	0.5	-12	0.5
	-12.5	0.5	-12.5	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			-12.3	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	2.601456816			

Tab. 61

Filter	Min. Hell. Φ	$\Delta\phi$	$\phi-\phi_0$	$\Delta(\phi-\phi_0)$
6.94E-01	-28	0.5	-28	0.5
	-29	0.5	-29	0.5
	-27.5	0.5	-27.5	0.5
	-32	0.5	-32	0.5
	-29.5	0.5	-29.5	0.5
$\emptyset(\phi-\phi_0)$			-29.2	0.5
Inv. Z.W. $1/\lambda^2$	2.076256758			

Zentralwellenlänge $1/\lambda^2$ gegen Drehwinkel $\Phi - \Phi_0$



Für das spezifische Drehvermögen gilt nun:

$$\varphi - \varphi_0 \propto \frac{\beta}{\lambda^2} = \frac{a}{\lambda^2} = \underbrace{\varphi_\lambda}_{\text{Spez. Drehv.}} \cdot l$$

$$\Leftrightarrow \varphi_\lambda = \frac{a}{\lambda^2 \cdot l} \Rightarrow \Delta \varphi_\lambda = \frac{\Delta a}{\lambda^2 \cdot l}$$

Nehmen wir als optische Wellenlänge nun grünes Licht $\lambda_g \approx 568 \text{ nm}$, so folgt mit $l = 4 \text{ mm} = 4000 \mu\text{m}$

$$\varphi_\lambda = (0,0152 \pm 0,0027) \text{ }^\circ/\mu\text{m}$$

$$= (15,2 \pm 0,27) \text{ }^\circ/\text{mm}$$

Bei Wikipedia findet man auf der Seite für Quarz ein Drehvermögen von $21^\circ/\text{mm}$ bis $28^\circ/\text{mm}$,

je nach Quelle und Wellenlänge.

Damit liegen wir ziemlich weit aus dem Wertebereich raus, was zum Großteil vermutlich daran lag, dass es schwierig war, das Minimum der Helligkeit exakt zu finden. Außerdem ist es nicht klar, für welche Wellenlänge man das spezifische Drehvermögen hätte ausrechnen sollen.

OK

c)

Hier geht man ähnlich wie in Aufgabenteil b) vor. Man übernimmt zuerst alle Werte aus unseren Messungen in eine Tabelle in Excel. Man hat im Versuch für den Analysator wieder $\varphi_0 = 0^\circ$ gemessen für identische Helligkeiten beider Sichtfelder. Also gilt:

$$\varphi - \varphi_0 = \varphi \quad \text{und} \quad \Delta(\varphi - \varphi_0) = \Delta\varphi$$

Wir mitteln wieder für jede Konzentration über die 5 Messungen und plotten dann die Konzentration c in $\frac{\text{mol}}{\text{l}}$ gegen den Drehwinkel $\varphi - \varphi_0$. Als Fit setzen wir an: $f(x) = a \cdot x$, da wir wissen, dass für $c = 0$ auch $(\varphi - \varphi_0) = 0$ gelten soll. Man erhält mit Graphpad dann:

$$a = (-13,8851 \pm 0,5794)^\circ \frac{\text{l}}{\text{mol}}$$

Und $\chi^2 = 73,8635$, was etwas zu hoch scheint. Wir hätten unsere Messfehler in $(\varphi - \varphi_0)$ vermutlich etwas größer wählen können um dies zu verhindern. Der Versuch ist allgemein leider sehr schwierig durchzuführen, da es extrem subjektiv war, wann genau beide Hälften gleich hell waren. Zum Teil erstreckte sich der Bereich über 10° .

Konzentration	Hell.abgl. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$
mol/l	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad
1.0	-4.5	0.5	-4.5	0.5
	-14	0.5	-14	0.5
	-16	0.5	-16	0.5
	-15.5	0.5	-15.5	0.5
	-17	0.5	-17	0.5
$\emptyset(\phi - \phi_0)$			-13.4	0.5
Konz. C	1.0			

Konzentration	Hell.abgl. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$
mol/l	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad
3.0	-43	0.5	-43	0.5
	-45	0.5	-45	0.5
	-43.5	0.5	-43.5	0.5
	-48	0.5	-48	0.5
	-44.5	0.5	-44.5	0.5
$\emptyset(\phi - \phi_0)$			-44.8	0.5
Konz. C	3.0			

Konzentration	Hell.abgl. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$
mol/l	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad
5.0	-66	0.5	-66	0.5
	-71	0.5	-71	0.5
	-68	0.5	-68	0.5
	-63.5	0.5	-63.5	0.5
	-65	0.5	-65	0.5
$\emptyset(\phi - \phi_0)$			-66.7	0.5
Konz. C	5.0			

Konzentration	Hell.abgl. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$
mol/l	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad
2.0	-33	0.5	-33	0.5
	-36	0.5	-36	0.5
	-32	0.5	-32	0.5
	-38.5	0.5	-38.5	0.5
	-35	0.5	-35	0.5
$\emptyset(\phi - \phi_0)$			-34.9	0.5
Konz. C	2.0			

Konzentration	Hell.abgl. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$
mol/l	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad
4.0	-55	0.5	-55	0.5
	-58	0.5	-58	0.5
	-49	0.5	-49	0.5
	-50.5	0.5	-50.5	0.5
	-53.5	0.5	-53.5	0.5
$\emptyset(\phi - \phi_0)$			-53.2	0.5
Konz. C	4.0			

Konzentration	Hell.abgl. Φ	$\Delta\phi$	$\phi - \phi_0$	$\Delta(\phi - \phi_0)$
mol/l	in Grad	in Grad	in Grad	in Grad
?	-34	0.5	-34	0.5
	-36	0.5	-36	0.5
	-34.5	0.5	-34.5	0.5
	-37	0.5	-37	0.5
	-35	0.5	-35	0.5
$\emptyset(\phi - \phi_0)$			-35.3	0.5
Konz. C	?			

Tab. 7

Konzentration der Zuckerlösung gegen Drehwinkel $\Phi - \Phi_0$

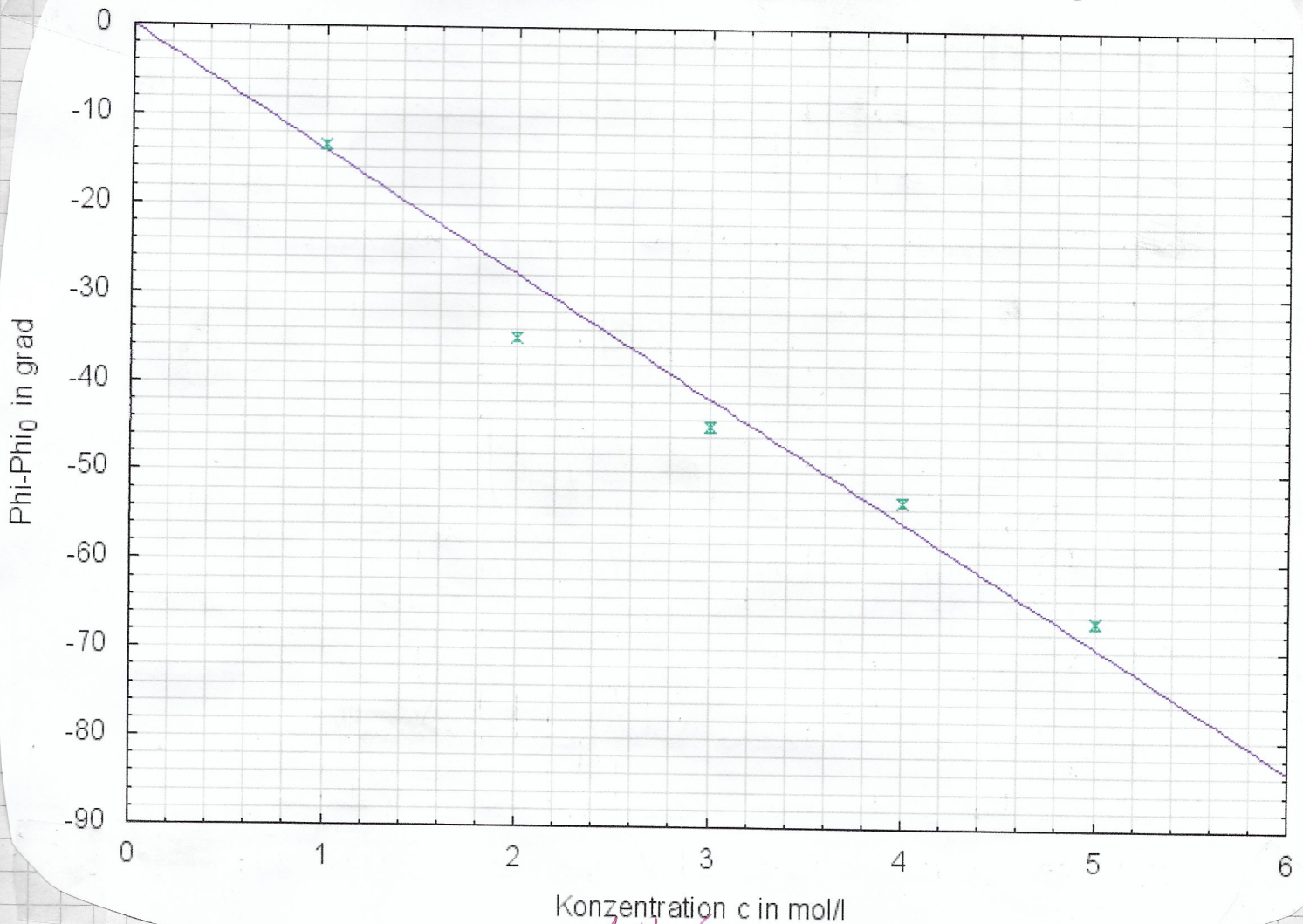


Abb. 6:

Da $\varphi = \varphi_A \cdot l \cdot c$ gilt offensichtlich:

$$a = \varphi_A \cdot l \Leftrightarrow \varphi_A = \frac{a}{l} \left[\frac{\text{°} \cdot \text{dm}^2}{\text{mol}} \right] \quad \begin{array}{l} \text{da } l \equiv \text{dm}^3 \\ \text{falls } l \text{ in dm} \end{array}$$

$$\Rightarrow \Delta \varphi_A = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{l} \right)^2 + \left(\frac{a}{l^2} (\Delta l) \right)^2}$$

$\lambda = 570 \text{ nm}$
($\text{g} \cdot \text{min}$)

$$\Rightarrow \varphi_A = (-14,173 \pm 0,609) \frac{\text{dm}^2 \cdot \text{°}}{\text{mol}}, \text{ mit } l = (9,8 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$= (-1,4173 \pm 0,0609) \frac{\text{°}}{\text{cm} \cdot \text{mol}} \quad \left[= (0,98 \pm 0,01) \text{ dm} \right]$$

Für unsere Konzentration der Kurve B rechnen wir:

$$\varphi = a \cdot c \Leftrightarrow c = \frac{\varphi}{a}, \text{ da } l \text{ gleich lang ist.}$$

$$\Rightarrow \Delta c = \sqrt{\left(\frac{\Delta \varphi}{a} \right)^2 + \left(\frac{\varphi}{a^2} (\Delta a) \right)^2}$$

$$\Rightarrow c = (2,54 \pm 0,87) \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

B hat $3,14 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$

Der Wert trägt leider einen sehr großen Fehler, erscheint aber realistisch, da die Drehwinkel für Kristall B genau zwischen denen von $2 \frac{\text{mol}}{\lambda}$ und $3 \frac{\text{mol}}{\lambda}$ liegen. ✓

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

a) Die besten "Ergebnisse" konnten wir mit der CD-Hülle erzielen. Mit weißem Licht kann beim Einbringen alles (fast) Licht durch. An den Kanten - also am Rand - und in der Mitte konnte man hingegen bereits ein Farbmuster erkennen. Dies hat eindeutig was mit der Oberfläche und Beugung zu tun. An allen anderen Stellen, dort wo das Licht ohne Effekt passieren konnte, scheint der "Kristall" keine Unregelmäßigkeiten zu haben, bis auf Stellen mit Kratzern. Auch dort konnte man auf dem Schirm ein Farbmuster erkennen. Beim drehen wurden mehr Farben sichtbar, und diese erschienen deutlicher. (*) Wir haben so anscheinend die optische Achse des Kristalls verdeckt, sodass hier Doppelbrechung stattfindet. Beim Drehen konnte man leider nicht viel erkennen, es wurden ganz schwach Farben sichtbar. Mit Bandpassfilter konnte man jeweils erkennen, wie die Farbe beim Einbringen völlig transparent konnte und beim Drehen sowie dehormieren zum Teil schwächer wurde (dort wurde es dann schwarz). Für das Geodreieck haben wir exakt gleiche Ergebnisse erzielt, wie für die CD-Hülle. ✓

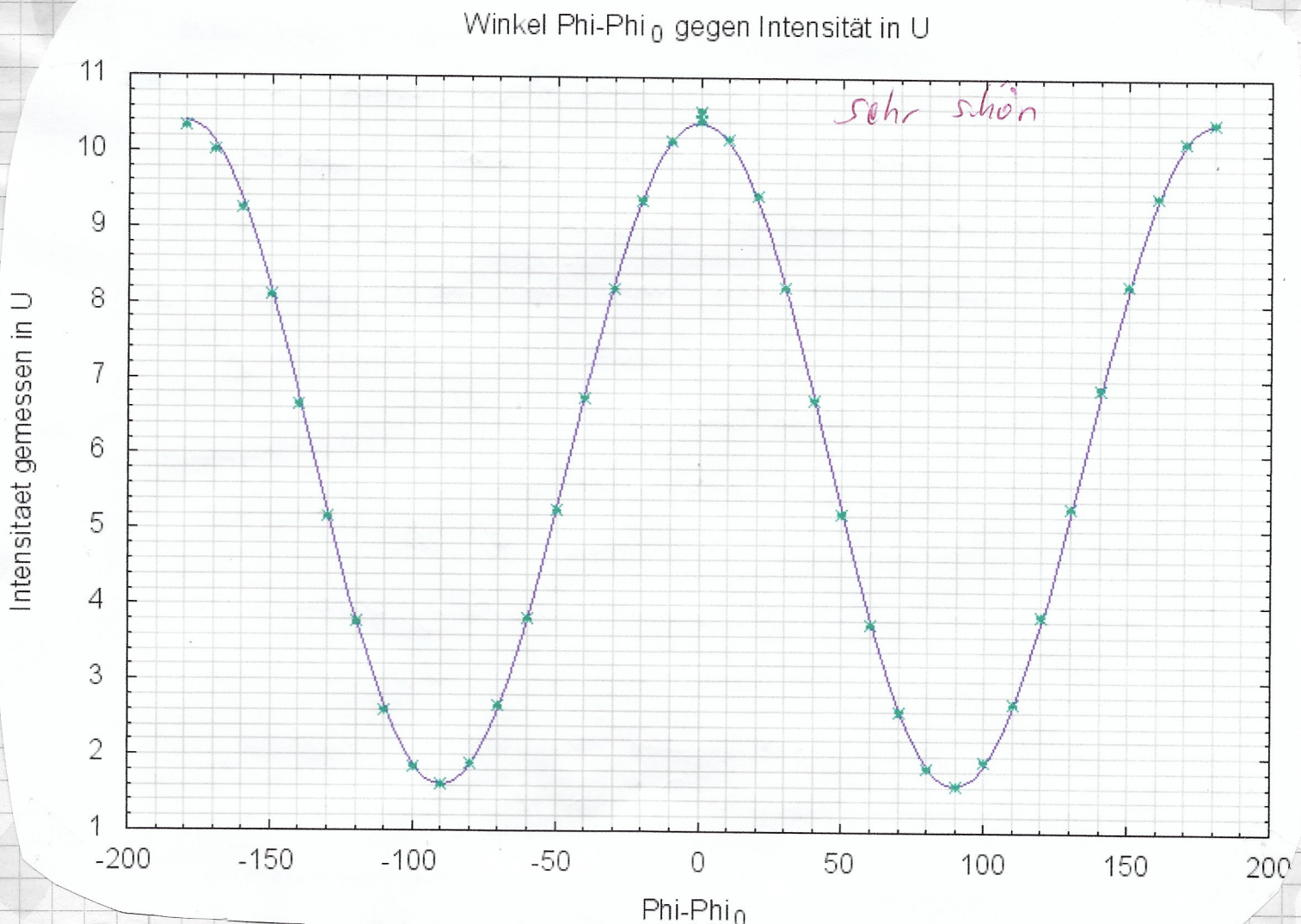
(*) Sie vorziehen für verschiedene Winkel bzgl. der opt. Achse des Aufbaus, also auch beim Drehen selbst.

Beim Tesa-Film war der einzige Unterschied, dass beim Einbringen Körner farben- und nicht am Rand - zu erkennen waren. Das deutet auf eine gleichmäßige Kristallstruktur im Tesa hin. Hier scheint es nicht eine ausgezeichnete optische Achse zu geben.

Außerdem erschienen beim Drehen andere Farben, welches heller als bei der CD waren. Mit Farbfilter sah man deutlich mehr Stellen, die nicht beleuchtet waren, wenn man das Tesa gedreht hat, als man bei den anderen Gegenständen beobachten konnte.

Beim Dehnen haben sich die Farben nach außen hin ausgebreitet.

Ergänzung a: $f(x) = a \cos^2(x) + b$ $a = (8,79384 \pm 0,02807)$ $b = (1,60704 \pm 0,1793)$
 $\chi^2 = 39,1872$ Deutlich besserer Fit mit Offset also!



Fazit:

Der Versuch war - wie alle anderen Optik-Versuche bisher leider auch - eher von magerer Ausbeute.

Während wir beim ersten Versuchsteil zwar noch einigermaßen gute Messwerte genommen haben, um das Malussche Gesetz zu bestätigen, mussten wir ohne Offset dafür ein großes χ^2 und große Messfehler in Kauf nehmen.

Der Grund dafür war, wie sich kurz darauf durch den Polarisationsgrad P_G feststellte, dass die Polarisation des Licht überhaupt nicht perfekt polarisiert haben. Außerdem hatten wir durch Tischlampen (auch von Nachbartschichten) immer eine Verätschung der Lichtintensität.

Im zweiten Versuchsteil konnten wir gut die Konstanten für die Biotische-Formel ermitteln, haben für das Drehvermögen von Quarz dann allerdings einen Wert erhalten, der stark vom Literaturwert abweicht. Grund hierfür könnte zum einen sein, dass nicht vorgegeben war, welche Wellenlänge man betrachten sollte. Zum anderen ist es möglich, dass unsere Kalibrationsgerade und damit die materialabhängige Konstante B fehlerbehaftet sind. Dies wiederum liegt an falsch gemessenen Winkeln.

Beim dritten Versuchsteil blieb leider auch der große Erfolg aus. Wir konnten zwar "gute" Werte für das spezifische Drehvermögen der optisch aktiven Zuckerlösung bestimmen und haben auch die Konzentration auf einen plausiblen Wert bestimmen können, mussten aber wieder große Fehler sowie ein großes χ^2 in Kauf nehmen.

Im letzten Versuchsteil habe ich wirklich nichts lernen

Können, außer dem Aufgabe 370.d) vom Optik Praktikum
an der Uni Bonn reine Zeitverschwendung ist, da wir
Sowieso keine Ahnung haben, wie man quantitative Aussagen
über Spannungsoptische Experimente macht und dieser Versuch
damit noch mehr als sinnlos ist. Sorry, noch weniger
als sinnlos natürlich! ✓

Trotz der "Probleme" ein Protokoll
genau wie ich es mir vorstelle! Danke :D
Ergebnisse und Probleme werden sinnvoll
diskutiert