

# Versuch 3.3: Polarisierung und Doppelbrechung

Praktikanten: Carl Böhmer, Maxim Singer

Betreuer: Mathias Sinther

Durchführung: 18.04.2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen</b>	<b>2</b>
1.1 Polarisierung . . . . .	2
1.2 Doppelbrechung . . . . .	4
1.3 optische Aktivität . . . . .	4
<b>2 Versuchsziel</b>	<b>5</b>
<b>3 Durchführung und Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1 Gesetz von Malus . . . . .	5
3.2 Rotationsdispersion . . . . .	7
3.3 Doppelbrechung . . . . .	8
3.4 Dispersionsbestimmung mittels Kompensator . . . . .	11
<b>4 Fazit</b>	<b>13</b>
<b>5 Quellen</b>	<b>14</b>
<b>6 Eigenständigkeitserklärung</b>	<b>14</b>

## 1 Grundlagen

### 1.1 Polarisation

Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle beschreibt die Orientierung ihres elektrischen Feldvektors. Da es sich um Transversalwellen handelt, steht im Vakuum der Vektor stets orthogonal auf der Ausbreitungsrichtung. Bei unpolarisiertem Licht treten die elektromagnetischen Wellen mit allen möglichen Schwingungsrichtungen auf, obwohl man natürlich dem Licht das von einer natürlichen Lichtquelle ausgeht für einen kurzen Zeitraum eine bestimmte Polarisation zuordnen könnte. Im zeitlichen Mittel gibt es jedoch keine bevorzugte Polarisation. Von linear polarisiertem Licht spricht man, wenn die Schwingung des E-Feldes in einer festen Ebene verläuft. Für eine sich in z-Richtung ausbreitende Welle lässt sich das E-Feld in x- und y-Komponenten zerlegen:

$$E_x = E_{0x} \cos(kz - \omega t) \quad E_y = E_{0y} \cos(kz - \omega t + \epsilon)$$

Falls  $\epsilon = 0$  ist oder ein ganzzahliges Vielfaches von  $2\pi$ , so schwingen die beiden Komponenten in Phase und das resultierende E-Feld in einer Ebene. Es handelt sich also um eine lineare Polarisation. Sobald  $\epsilon$  einen anderen Wert annimmt, beginnt der Vektor um die Ausbreitungsrichtung zu rotieren. Blickt man dem Licht

entgegen sieht man den Vektor eine elliptische Bahn beschreiben und man spricht von elliptisch polarisiertem Licht. Ein Spezialfall liegt vor, wenn  $\epsilon = \pm\pi/2 + m \cdot 2\pi$  ( $m \in \mathbb{Z}$ ) und die Amplituden der beiden Komponenten  $E_{0x}$  und  $E_{0y}$  gleich sind. Dann läuft der elektrische Feldvektor eine Kreisbahn ab, wenn man der Welle entgegenblickt. Man spricht von zirkular polarisiertem Licht, welches man in links- und rechtszirkulares unterscheiden kann, abhängig von der Drehrichtung welche man beobachtet.

Es gibt verschiedene Methoden um linear polarisiertes Licht zu erzeugen:

- Polarisationsfilter: Ein solcher Filter kann beispielsweise ein Drahtgitter sein. Durch eine unpolarisierte Lichtwelle werden längs der Drähte die Elektronen beschleunigt und geben diese Energie als Joule'sche Wärme an die Gitteratome ab. Hinter dem Filter überlagert sich das von den Elektronen erzeugte elektrische Feld mit dem der einfallenden Welle destruktiv. Da jedoch quer zum Gitter in ihm selbst kaum Ströme zu erzeugen sind, kommt die zum Gitter senkrechte Komponente des Lichtes ungehindert durch diesen Filter und das Licht ist nach dem Durchgang in dieser Ebene polarisiert.
- Reflexion: Bei der Reflexion unter dem Brewster Winkel ist der reflektierte Strahl vollständig linear polarisiert. Er schließt mit dem Transmittierten einen Winkel von  $90^\circ$  ein. Im Elektronenoszillatormodell schwingen die Elektronen nahe der Oberfläche, an der die Reflexion stattfindet, in diesem Fall in der zum gebrochenen Strahl senkrechten Ebene, in der auch die reflektierte Welle liegt. Da innerhalb dieser (Licht ist eine Transversalwelle) keine Schwingungen in Ausbreitungsrichtung stattfinden können, muss die reflektierte Lichtwelle in dieser Ebene linear polarisiert sein.
- Doppelbrechung: Die beiden verschiedenen Brechungsindizes für die orthogonal aufeinander stehenden Polarisationsrichtungen in doppelbrechenden Kristallen kann man sich zu nutze machen, um eine dieser beiden Linearpolarisationen zu isolieren (Entscheidend hierfür ist die Lage der Hauptachse, näheres dazu im nächsten Abschnitt). Da die beiden unterschiedlich polarisierten Lichtwellen unter verschieden großen Winkeln gebrochen werden, treten sie auch an verschiedenen Stellen aus dem Kristall, werden also getrennt.
- Dichroismus: In dichroitischen Materialien lässt sich, wie in Doppelbrechenden, eine Hauptachse finden. Senkrecht zu ihr polarisierte Wellen werden stark absorbiert, so dass nur zu ihr parallel polarisierte Wellen durch das Material hindurchtreten. Senkrecht auf die Hauptachse einfallende Wellen werden deshalb durch solche Materialien linear polarisiert.

- **Streuung:** Wird eine unpolarisierte Lichtwelle an einem Molekül gestreut, so wird dieses in Schwingungen versetzt, die, wegen der Transversalität der Lichtwellen, in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung ablaufen. Gestreute Lichtwellen, deren Ausbreitungsrichtung einen Winkel von  $90^\circ$  mit der Ausbreitungsrichtung der einfallenden Lichtwelle einschließt, sind linear polarisiert. Denn aus dieser Richtung betrachtet verläuft die Schwingung des Moleküls nur in einer Richtung. Der Mechanismus ist im Grunde der gleiche wie bei der Reflexion unter dem Brewster Winkel.

## 1.2 Doppelbrechung

Unter Doppelbrechung versteht man das Phänomen eines Materials für verschiedene Polarisationsrichtungen unterschiedliche Brechzahlen aufzuweisen, d.h. die Dielektrizitätszahl ist als Tensor zweiter Stufe zu verstehen und nicht mehr als Skalar. In solchen doppelbrechenden Materialien lässt sich stets eine optische Achse finden. Dies ist beispielsweise in Kristallen eine Achse hoher Symmetrie. Eine senkrecht zur optischen Achse linear polarisierte Welle bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v_{\perp} = c/n_o$  (der sogenannte ordentliche Strahl), eine parallel zu ihr linear polarisierte Welle mit der Geschwindigkeit  $v_{\parallel} = c/n_e$  (der außerordentliche oder extraordinäre Strahl). Allgemein spaltet sich eine beliebig linear polarisierte ebene Welle, die auf ein doppelbrechendes Medium mit beliebig orientierter optischer Achse trifft in diese beiden Strahlen auf, deren Polarisierungen senkrecht aufeinander stehen. Dabei „driftet“ der außerordentliche Strahl vom ordentlichen weg, da die Wellenflächen, die von einem Punkt des außerordentlichen Strahls ausgehen, ellipsenförmig sind. Die Ellipse entsteht dadurch, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Richtung der optischen Achse  $v_{\parallel}$  beträgt, senkrecht zu ihr aber  $v_{\perp}$ . Trifft die ebene Welle auf das doppelbrechende Material wobei die optische Achse in Ausbreitungsrichtung liegt, so kommt es zu keinerlei Strahlaufspaltungen, da das E-Feld ohnehin stets senkrecht zu ihr liegt. Interessant ist noch der Fall, dass die Achse senkrecht zur Ausbreitungsrichtung steht. In diesem Fall driftet die außerordentliche Komponente nicht weg, wohl aber breitet sie sich mit einer anderen Geschwindigkeit aus, d.h. ihre Wellenlänge ist eine andere als die der ordentlichen Komponente. Auf diese Weise lässt sich ein Phasenunterschied  $\epsilon$  und somit aus linear polarisiertem Licht elliptisches oder zirkulares Licht erzeugen.

## 1.3 optische Aktivität

Ein optisch aktives Medium kennzeichnet sich dadurch, dass es die Schwingungsebene von einfallendem linear polarisiertem Licht dreht. Da sich eine linear polarisierte Welle aus zwei gegensinnig zirkular polarisierten Wellen zusammenset-

zen lässt, kann man dieses Phänomen mit unterschiedlichen Brechzahlen für die beiden zirkularen Lichtwellen beschreiben, wodurch eine Phasenverschiebung der beiden Wellen gegeneinander entsteht. Die Schwingungsebene des austretenden Lichtes ist dann um einen bestimmten Winkel gedreht, welcher sich zu  $\Phi = \Phi_{spez} \cdot d$  ergibt. Dabei ist  $d$  die Dicke des Mediums und  $\Phi_{spez}$  der spezifische Drehwinkel. Dieser hängt dabei entscheidend von der Wellenlänge des Lichtes ab.

## 2 Versuchsziel

Gegenstand dieses Versuches ist die Untersuchung von polarisiertem Licht. Dazu wird zunächst das Gesetz von Malus überprüft und im weiteren Verlauf die Wellenlängenabhängigkeit der Rotation der Polarisationssebene beim Durchgang durch ein Quarzplättchen gemessen. Zudem wird die Dispersion der Doppelbrechung eines Glimmerplättchens bestimmt. Dazu werden zwei verschiedene Methoden angewandt.

Der Versuchsaufbau ist in der Abbildung 1 dargestellt. Farbfilter, Glimmer- und Quarzplättchen, sowie der Soleilsche Kompensator wurde je Aufgabe verwendet. Als Lichtquelle diente eine Halogenlampe und als Detektor ein Photoelement mit unbekanntem Charakteristiken. Die Werte wurden von einem analogen Voltmeter mit zwei Skaleneinteilungen abgelesen.

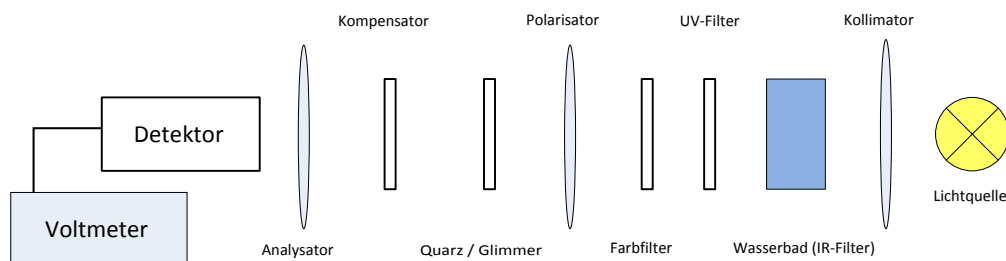


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit allen verwendeten Elementen.

## 3 Durchführung und Auswertung

### 3.1 Gesetz von Malus

Bei dieser Aufgabe sollte untersucht werden, ob das Gesetz von Malus gilt. Das Malussche Gesetz sagt aus, dass die Strahlungsintensität einer linear polarisierten Welle nach einem Polarisationsfilter mit  $\cos(\Phi)^2$  skaliert, wobei  $\Phi$  der Winkel

zwischen der Polarisationssebene des Eingangsstrahls und der Transmissionsebene des Polarisationsfilters ist.

$$I(\Phi) = I_0 \cos^2(\Phi)$$

Um diese Gesetzmäßigkeit zu überprüfen haben wir mit einem Voltmeter indirekt die Intensität ( $I \propto U$ ) der elektromagnetischen Welle nach dem Analysator in Abhängigkeit vom Winkel gemessen. Der Winkel wurde von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  in  $10^\circ$ -Schritten gewählt. Bei der Messung zwischen  $0^\circ$ - $90^\circ$  und  $100^\circ$ - $180^\circ$  wurde unplanmäßig der Analysator verschoben, so dass das Photoelement mehr Licht abbekommen hat, was schließlich in einer unterschiedlichen Skalierung der beiden Messbereiche resultierte. Aus diesem Grund wurden in den Graph auch zwei verschiedene  $\cos^2(\Phi)$ -Funktionen eingezeichnet (Abb. 2).

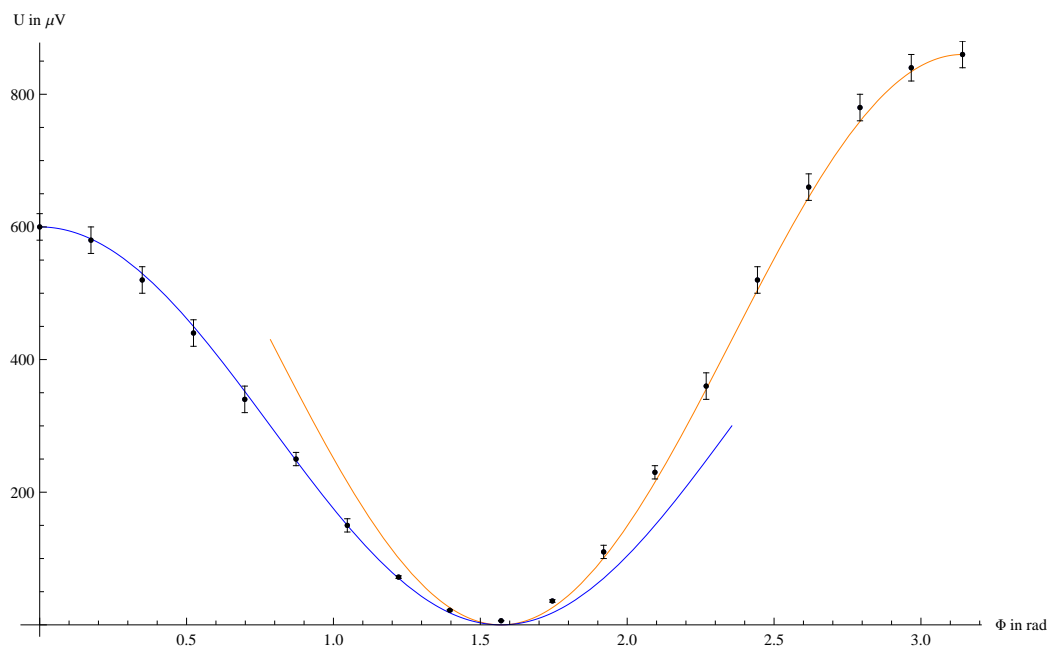


Abbildung 2: Messpunkte und die  $I_0 \cos^2(\Phi)$ -Funktion zum Vergleich. Die Fehlerbalken entsprechen einem Skalenteil auf dem Voltmeter und variiert, je nach dem welche Skala benutzt wurde. Der Ablesefehler des Winkels wurde vernachlässigt, da dieser sehr genau eingestellt werden konnte und im Vergleich zum Spannungsunsicherheit klein ist.

Wie man in dem Graphen erkennt, werden die Messwerte hinreichend gut durch den  $\cos^2(\Phi)$ -Verlauf beschrieben. Somit kann das Gesetz von Malus bestätigt werden.

## 3.2 Rotationsdispersion

In diesem Versuch wurde die Rotation der Polarisationssebene, die durch ein Quarzplättchen hervorgerufen wurde, in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts untersucht.

Die Wellenlänge wurde mit einem der sechs Filter ausgewählt. Der Polarisator und der Analysator wurden überkreuzt und das Quarzplättchen dazwischen eingesetzt. Durch die optische Aktivität des Quarzes hat sich die Polarisationssebene der Lichts gedreht, so dass durch den Analysator Licht durchkam. Anschließend wurde durch das Drehen des Analysators wieder das Minimum gesucht und die Winkeldifferenz erfasst.

Um das Minimum zu erkennen haben wir zwei Methoden verwendet. Bei der ersten haben wir das Photoelement mit dem Voltmeter verwendet und beobachtet bei welchem Winkel der Zeigerausschlag am kleinsten ist und bei der zweiten Methode wurde per Augenmaß entschieden, wo das Minimum liegt.

Als Ablesefehler des Winkels haben wir pauschal  $5^\circ$  gewählt, weil die Minima flach waren und man in einem gewissen Winkelbereich nicht sagen konnte, bei welchem Winkel genau das Minimum lag.

$\lambda$ in nm	V: $\Phi$ in $^\circ$	A: $\Phi$ in $^\circ$
435	16.5	18
467	17	50
516	66	62
585	91.5	91
616	100	187.5
686	120	109

Tabelle 1: Rotationswinkel in Abhängigkeit nach Wellenlänge. Messverfahren: V - mit dem Voltmeter, A - mit dem Auge.

An die Messdaten wurde eine Funktion  $I(\Phi) = \frac{k}{\lambda^a}$  angenähert. Die Fitparameter für beide Methoden sind  $a_V = -3,096$  und  $a_A = -2,496$ . Beide Werte weichen stark von dem erwarteten  $a = -2$  ab. Wie man in den Plots erkennt, liegt es an der starken Abweichung der Messwerte für die Wellenlängen 435 nm und 467 nm.

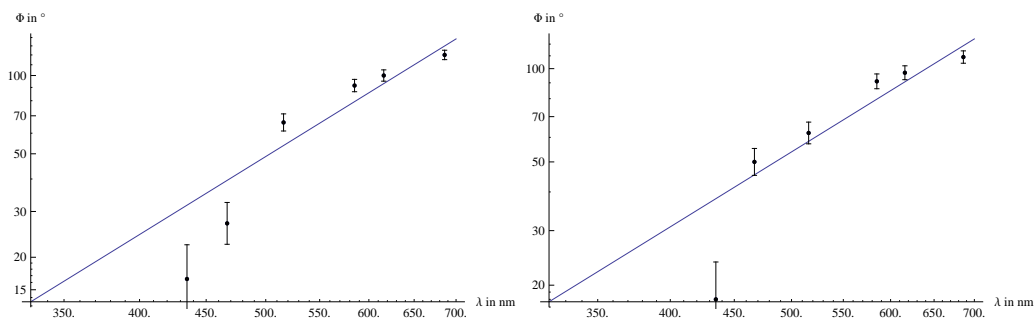


Abbildung 3: Rotationsdispersion. Das Minimum wurde mit dem Voltmeter bestimmt. Die ersten beiden Messpunkte weichen deutlich von dem erwarteten  $\lambda^{-2}$ -Verhalten ab.

Abbildung 4: Rotationsdispersion. Das Minimum wurde mit dem Auge bestimmt. Der erste Messpunkt weist eine deutliche Abweichung vom  $\lambda^{-2}$ -Verhalten ab.

Da die Abweichung für  $\lambda = 435 \text{ nm}$  bei beiden Messmethoden auftreten, gehen wir davon aus, dass der Grund dafür die Absorptionseigenschaften des Farbfilters sind. Vermutlich kommt durch den Filter nicht genügend Licht durch um ein deutliches Minimum auszumachen, zumindest erwägen wir diese Begründung für die Messung mit dem Voltmeter. Bei der Messung mit dem Auge sieht man sowieso kein allgemeines Intensitätsminimum, sondern nur einen Farbwechsel. Da die Farbwahrnehmung extrem subjektiv ist, könnten auch kognitiven Fähigkeiten eine Rolle spielen.

Entfernt man die ersten beiden Messpunkte aus der Voltmeter-Messreihe und den ersten Messpunkt aus der Auge-Messreihe, so bekommt man als neue Fitparameter  $a_V = -1,995$  und  $a_A = -1.958$ .

### 3.3 Doppelbrechung

Bei dieser Aufgabe wurde ähnlich wie in Aufgabe 1 die Intensitätsverteilung in Abhängigkeit des Rotationswinkels des Analysators zur Polarisationssebene gemessen, nur befindet sich jetzt ein doppelbrechendes Medium - ein Glimmerplättchen - zwischen dem Polarisator und dem Analysator. Diese Messung wurde mit sechs verschiedenen Farbfilttern im Winkelbereich von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  in  $10^\circ$ -Schritten durchgeführt und die Intensitätsverteilung in polaren Koordinaten dargestellt (Abb. 5-10).



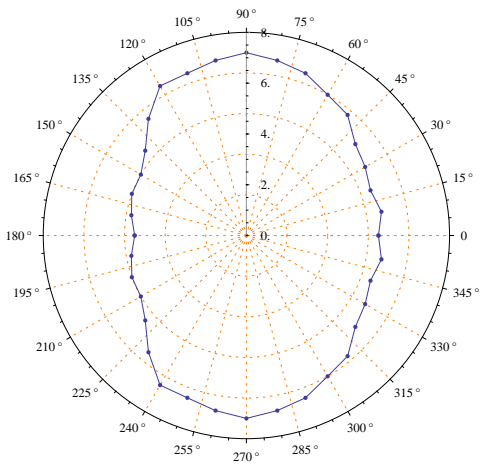


Abbildung 5:  $\lambda=435$  nm

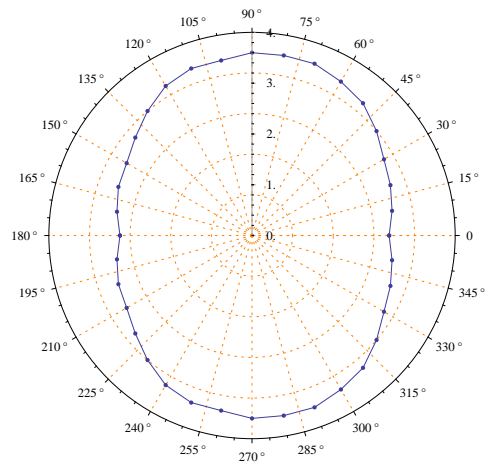


Abbildung 6:  $\lambda=465$  nm

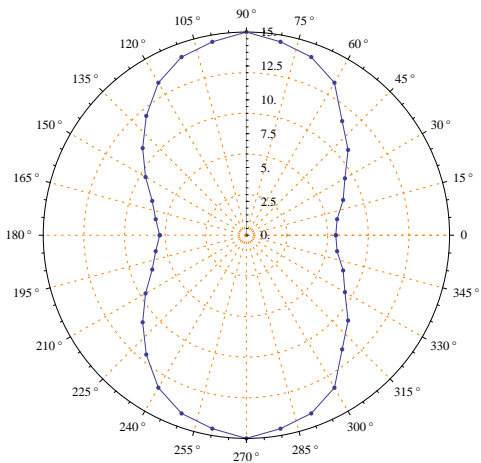


Abbildung 7:  $\lambda=516$  nm

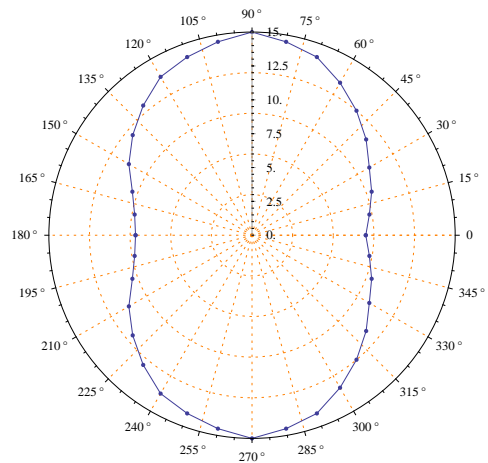


Abbildung 8:  $\lambda=585$  nm

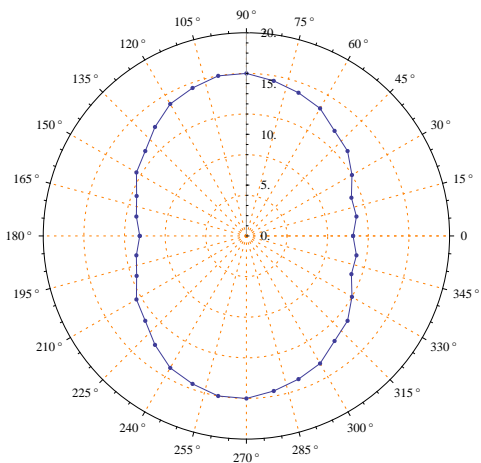


Abbildung 9:  $\lambda=616$  nm

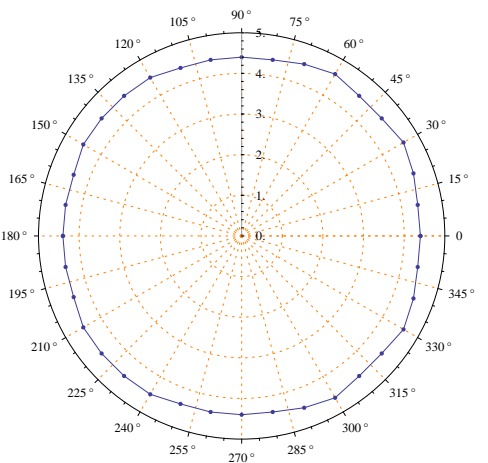


Abbildung 10:  $\lambda=686$  nm

Um die Drehung der Polarisationssebene zu bestimmen, benutzen wir auf dem Aufgabenblatt hergeleitete Beziehung.

$$\frac{b}{a} = \tan\left(\frac{\Phi}{2}\right)$$

Dabei ist  $\Phi$  die Drehung und a, b die Hauptachsen der Ellipse, die die Intensitätsverteilung annähern. Berücksichtigt man, dass die Intensität über Spannung gemessen wird und stellt man die Gleichung nach  $\Phi$  um, so bekommt man eine Beziehung für die Rotation in Abhängigkeit von den minimalen und maximalen gemessenen Spannungswerten.

$$\Phi = 2 * \arctan\left(\sqrt{\frac{U_{max}}{U_{min}}}\right)$$

$\lambda$ in nm	$U_{min}$ in $\mu V$	$U_{max}$ in $\mu V$	$\Phi$ in $^\circ$
435	$4.4 \pm 0.2$	$7.2 \pm 0.2$	$104.0 \pm 1.5$
467	$2.6 \pm 0.1$	$3.6 \pm 0.1$	$99.3 \pm 1.3$
516	$6.4 \pm 0.2$	$15 \pm 0.5$	$113.7 \pm 1.2$
585	$8.4 \pm 0.2$	$15 \pm 0.5$	$106.4 \pm 1.1$
616	$10.5 \pm 0.5$	$16 \pm 0.5$	$102.0 \pm 1.6$
686	$4.4 \pm 0.1$	$4.5 \pm 0.1$	$90.6 \pm 0.9$

Tabelle 2: Rotationswinkel in Abhängigkeit nach Wellenlänge. Um die Unsicherheiten von  $\Phi$  zu bestimmen, wurde die Gaußsche Fehlerfortpflanzung benutzt.

Erwartet wurde ein linearer Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und dem Rotationswinkel. Stellt man die Daten grafisch dar (Abb. 11), so stellt man fest, dass die Messwerte für  $\lambda=435$  nm bzw.  $\lambda=467$  nm wie bereits in Aufgabe 2 aus der Reihe tanzen, ansonsten aber deutlich ein linearer Zusammenhang erkennbar ist.

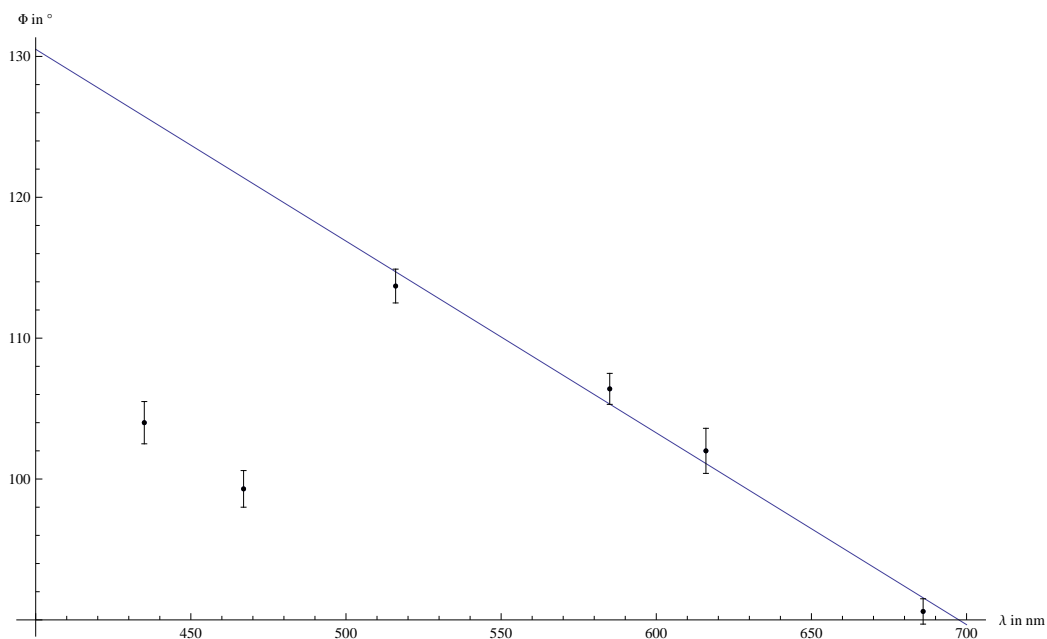


Abbildung 11: Wellenlängenabhängigkeit der optischen Aktivität eines Glimmerplättchens. Die Gerade entspricht einer Fitfunktion für die letzten vier Messwerte.

### 3.4 Dispersionsbestimmung mittels Kompensator

Als zweite Messmethode für die Dispersion des Glimmerplättchens wird ein Soleil'scher Kompensator verwendet. Dieser wird unter  $45^\circ$  zwischen die gegeneinander gekreuzten Polarisator und Analysator gestellt. Durch Verschieben der Keile gegeneinander werden die Minima nullter, -1. und +1. Ordnung gesucht. Dazu wird der Ausschlag des Voltmeters beobachtet. Die Trommelskala hat keine feste Einheit, deshalb wird diese Messung zur Eichung benutzt, denn der Abstand zwischen nulltem und +1. sowie nulltem und -1. Minimum entspricht einer Phasenverschiebung des außerordentlichen Strahls von  $360^\circ$ .

Aus praktischen Gründen wurde die Eichung der Trommelskala des Kompensators für jeden einzelnen Farbfilter vorgenommen und danach direkt mit dem Glimmerplättchen im Strahlengang die Phasenverschiebung durch selbiges untersucht, indem ebenfalls die drei Minima durch Durchstimmen des Kompensators bestimmt werden. Aufgrund der schwankenden Anzeige des Messgerätes war es nicht eindeutig festzustellen, welches nun das Minimum nullter Ordnung war. Da jedoch die Abstände der Minima vor allem interessieren, führt dies zu keinen Einschränkungen. Für den 435 nm Filter war aufgrund der Schwankungen keine Messung möglich, beim Durchstimmen des Kompensators waren keine ausgewählten Zeigerbewegungen zu beobachten. Vermutlich ist der Detektor in diesem Wellenlängenbereich nicht empfindlich genug oder der Filter lässt nur eine

geringe Lichtintensität hindurch. Die reine Ableseungenauigkeit ist sehr gering, dominierend für die Messunsicherheit sind die recht ausgedehnten Minima, da stets auf einer gewissen Breite der Minimalwert am Messgerät abzulesen war. Deshalb wird von einer Ungenauigkeit von 0.5 Skalenteilen ausgegangen. Der Fehler der Skaleneichung wird über die Standardabweichung bestimmt, wobei dies kritisch zu beurteilen ist, da nur zwei Messwerte vorhanden sind.

$\lambda$ (nm)	-1. Minimum	0. Minimum	1. Minimum	Skaleneichung ( $\frac{\circ}{\text{Skalenteil}}$ )
467	41.4	30.8	20.7	$34.78 \pm 1.14$
516	42.3	30.0	17.9	$29.50 \pm 0.35$
585	56.0	42.4	28.6	$26.27 \pm 0.28$
616	57.2	41.5	27.8	$24.49 \pm 2.15$
686	26.0	42.9	58.5	$22.15 \pm 1.33$

Tabelle 3: Minima ohne Glimmerplättchen und Eichung der Trommelskala

$\lambda$ (nm)	-1. Minimum	0. Minimum	1. Minimum	$\Delta$	$\epsilon$ ( $^{\circ}$ )
467	37.8	26.0	16.6	$4.17 \pm 0.85$	$145.03 \pm 29.94$
516	38.1	26.5	14.2	$3.80 \pm 0.51$	$112.10 \pm 15.10$
585	51.7	38.3	24.2	$4.27 \pm 0.22$	$112.17 \pm 5.90$
616	52.7	38.4	23.4	$4.10 \pm 1.23$	$100.41 \pm 31.39$
686	21.2	38.1	53.3	$4.93 \pm 0.33$	$109.20 \pm 9.82$

Tabelle 4: Minima mit Glimmerplättchen und daraus bestimmte Phasenverschiebung

Zur Bestimmung der Phasenverschiebung  $\epsilon$  wurde zunächst die Differenz zwischen den Positionen der Minima mit und ohne Glimmer berechnet und aus diesen drei Werten der Mittelwert  $\Delta$  gebildet. Dieser Mittelwert multipliziert mit der jeweiligen Skaleneichung gibt die Phasenverschiebung an. Als Fehler für  $\Delta$  wird wieder die Standardabweichung herangezogen. Der Fehler der Phasenverschiebung ergibt sich durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung.

Der Vergleich zwischen dieser Bestimmungsmethode der Rotationsdispersion und der aus der Aufgabe 3 ist mehr als ernüchternd (Abb. 12). Wenn man überhaupt einen Vergleich zwischen den Messwerten anstellen kann, so sind nur die Messwerte in dem mittleren Wellenlängenbereich zu nehmen. In diesem Bereich gibt es eine gute Übereinstimmung im Rahmen der Messunsicherheiten. Die großen Abweichungen in den Randbereichen des Spektrums sind vermutlich auf das wellenlängeabhängige Verhalten des Photoelements zurück zu führen. Genauso könnten

aber auch der Kompensator oder die Farbfilter einen Fehler aufweisen. Es lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, welche Methode besser funktioniert, aber rein aus ästhetischen Gründen sehen die Ergebnisse aus der Aufgabe 3 ordentlicher aus, was unter anderem daran liegt, dass die Messunsicherheiten bei dieser Methode deutlich kleiner sind.

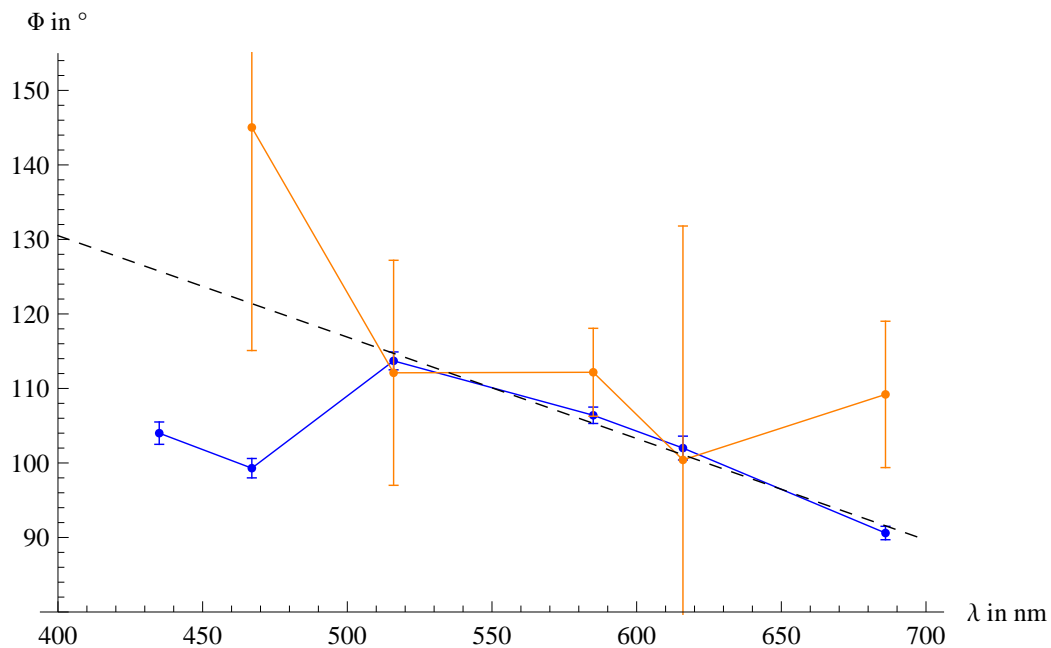


Abbildung 12: Die Rotationsdispersion bestimmt mit Soleilschen Kompensator (orangerfarben) und Glimmerplättchen (blau). Schwarze, gestrichelte Gerade entspricht der Fitfunktion der letzten vier Messwerte der Glimmerplättchen-Methode.

## 4 Fazit

Insgesamt hat der Versuch alle erwarteten Gesetzmäßigkeiten bestätigt, wenn es auch große Abweichungen der Messwerte mit den Filtern 1 und 2 gab. Es wäre gut, wenn man die Filter austauscht bzw. ihre Funktion überprüft. Zwei zusätzliche Filter bei etwa 490 nm und 650 nm würden auch zu etwas mehr Klarheit in der Datenlage führen.

Genauso wünschenswert wäre ein Detektor, der bei allen Wellenlängen ähnlich gut sensitiv reagiert.

## 5 Quellen

### Literatur

[ANLEITUNG] Anleitung zum Versuch 3.3

[MAPPE] Literaturmappe zum Versuch 3.3

## 6 Eigenständigkeitserklärung

Wir versichern hiermit, dass wir die vorliegende Ausarbeitung selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt haben. Die Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, haben wir durch die Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Darmstadt, 01.05.2011

Carl Böhmer, Maxim Singer